

EHITUSINFO MODELLEERIMISE RAKENDAMINE
EHITISTE ELUTSÜKLI ERINEVATES ETAPPIDES TTÜ
TARTU KOLLEDŽIS ÕPETATAVATE TARKVARADE
TOEL

IMPLEMENTATION OF BUILDING INFORMATION MODELING IN DIFFERENT
PHASES OF BUILDINGS' LIFE CYCLE BASED ON THE SOFTWARE TAUGHT IN
TUT TARTU COLLEGE

EAEI 092730

Magistritöö
ehitiste restaureerimise erialal

Üliõpilane: **Kristjan Lustmets**

Juhendaja: **Ants Soon**

Tartu, 2015

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

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: EAEI092730

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: (allkiri)

ABSTRACT

Lustmets, K. Master's thesis: „Implementation of building information modeling in different phases of buildings' life cycle based on the software taught in TUT Tartu College“. Tartu, 2015. Thesis contains: 112 pages, 10 tables and 81 figures. Thesis is written in Estonian.

The aim of this thesis is to give an overview of modern BIM-technology in order to modernize Estonian construction industry and to increase awareness of BIM technology in the human resources. BIM- technology application is analyzed in the context of buildings' life cycle, according to the level and the possibilities of a small Estonian college study. The methodological basis of this thesis is the need of synergy in different stages of buildings' life cycle, which is the main point of BIM conception and is written in the corresponding software manuals and learning materials as well as in the RKAS guide of modeling. The results of the work done with software that are taught in college, met the requirements and it is possible for students to gain diverse and vast knowledge. The main benefit of the use of software is the increase in work efficiency, quality and cooperability which are brought out in literature review. Since the given field is becoming increasingly important (BIM is becoming mandatory), it is essential to educate the new generation of the labor market in the construction industry and to increase awareness of BIM in the human resources of Estonia.

Keywords: building information modeling, building life cycle, TUT Tartu College, software integration, collaboration, sustainable design, construction industry efficiency.

SISUKORD

TÄHISED, LÜHENDID JA MÕISTED	7
SISSEJUHATUS	9
1. METOODIKA JA TEGEVUSTE KIRJELDUS	11
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	13
2.1 Põhimõisted	13
2.1.1 Ehitusinfo modelleerimine	13
2.1.2 Ehitise elutsükkel.....	16
2.2 BIM ja hoone projekteerimine.....	17
2.2.1 Hoone projekteerimine	17
Ehitise eskiis	18
Eelprojekt	18
Põhiprojekt	18
Tööprojekt	19
2.2.2 BIMi rakendused hoone projekteerimisel.....	19
Mudelprojekteerimine	19
BIMiga ühilduv 3D projekteerimise tarkvara.....	21
BIMi toetava tarkvaraga projekteerimine.....	21
Analüüside ja simulatsioonide tegemine	23
Maksumushinnang.....	26
2.3 BIM ja ehitamine	27
2.3.1 Ehitamine.....	27
Projekti kontrollimine.....	28
Ehitamise planeerimine	29
Ehitusplatsiväline komponentide tootmine	30
Ehitusplatsi organiseerimine.....	31
2.3.2 BIMi rakendused ehitamisel.....	32

Projekti kontrollimine.....	32
Ehitamise planeerimine	33
Ehitusplatsiväline materjalide valmistamine	34
Ehitusplatsi organiseerimine.....	35
2.4 BIM ja haldamine	37
2.4.1 Haldamine.....	37
Projekti hindamine.....	38
Hoone infrastruktuuri keerukus	38
Ajakava haldamine	38
Kulude usaldusväärsus ja haldamine	39
Jätkusuutlikkus	39
Hoone ja informatsiooni varahaldus.....	39
2.4.2 BIMi rakendused haldamisel	40
Hoone ja vara haldamine	40
Hoone toimimise simulatsioon	40
Elutsükli maksumushinnang.....	41
2.5 BIMi kasutamise eelised ja riskid.....	41
2.5.1 Eelised	41
2.5.2 Riskid.....	48
2.6 BIM platvorm vs 2D CAD	49
3. TEGEVUSED.....	51
3.1 BIMi rakendused hoone projekteerimisel.....	51
3.1.1 Mudelprojekteerimine	51
3.1.2 BIMi toetava tarkvaraga projekteerimine ja dokumentatsiooni loomine	54
3.1.3 Analüüside ja simulatsioonide tegemine	59
Päikese liikumise, valguse ja varjude simulatsioon	59
Energiaanalüüs.....	62

Konstruktsioonide kandevõime kontroll	66
3.1.4 Maksumushinnang.....	74
3.2 BIMi rakendused ehitamisel.....	77
3.2.1 Projekti kontrollimine.....	77
3.2.2 Ehitamise planeerimine	80
3.2.3 Ehitusplatsiväline materjalide valmistamine	80
3.2.4 Ehitusplatsi organiseerimine	83
3.3 BIMi rakendused haldamisel	83
3.3.1 Hoone ja vara haldamine	83
3.3.2 Hoone toimimise simulatsioon	85
3.3.3 Elutsükli maksumushinnang.....	85
4. TULEMUSED JA ARUTELU	86
KOKKUVÕTE.....	89
KIRJANDUS	91
LISAD	96
LISA 1. TTÜ Tartu Kolledžis õpetatavad tarkvarad	97
LISA 2. BIMi toetavad tarkvarad	98
LISA 3. Peamiste BIM platvormide tugevused ja nõrkused	105
LISA 4. 3.2.2 Ehitamise planeerimine	107
LISA 5. 3.2.3 Ehitusplatsiväline materjalide valmistamine	108
LISA 6. 3.2.4 Ehitusplatsi organiseerimine.....	110
LISA 7. 3.3.2 Hoone toimimise simulatsioon	111
LISA 8. Videod	112

TÄHISED, LÜHENDID JA MÕISTED

2D – kahemõõtmeline. Kahemõõtmelise kujundi punktid on ühel tasapinnal ja nende märkimiseks on vaja kahe põhiteljega ruumi.

3D – kolmemõõtmeline ehk ruumiline. Kolmemõõtmelise kujundi punktid ei ole ühel tasapinnal ja nende märkimiseks on vaja kolme põhiteljega ruumi.

4D mudel – neljamõõtmeline mudel. Mudeli neljas mõõde saadakse 3D mudelile ajalise mõõtme lisamisel.

5D mudel – viiemõõtmeline mudel. Mudeli viies mõõde saadakse 4D mudelile maksumuse mõõtme lisamisel.

BIM – Building Information Modeling ehk ehitusinfo modelleerimine. Protsess, mille abil genereeritakse ja ühtlustatakse infot projekteerimise, ehitamise ja haldamise jaoks.

CAD – Computer-Aided Design ehk raalprojekteerimine. Projekteerimistegevus, mille puhul kasutatakse projekteerimiseks andmetöötlussüsteeme. Tuntuim programm on AutoCAD.

Ehitise elutsükkel – protsess, mis hõlmab endas tervet ehitise kulgu: planeerimist, projekteerimist, ehitamist, haldamist, hooldamist ja viimaks hülgamist või taaskasutamist.

Ehitise elutsükli haldamine – protsess, kus hallatakse tervet ehitise kulgu alates planeerimisest lõpetades hülgamise või taaskasutamisega, saavutamaks parem projekti efektiivsus.

Eriosad – insenertehnilised osad, mis jagunevad: vesi ja kanalisatsioon, küte, ventilatsioon, jahutus, tugevvool ja nõrkvool.

EVS – Eesti Standardikeskus.

Genereerima – tekitama, esile kutsuma.

GPS – Global Positioning System ehk üleilmne asukoha määramise süsteem.

IFC – Industry Foundation Classes. Modelleerimisel kasutatav standard.

Integreerimine – lõimimine.

Koondmudel – terviklik hoone mudel, mis sisaldab konstruktiivset osa ja eriosasid.

Mahtude mudel – mudel, millelt saab hoone ruumide arvu, tüübid ja –pindalad ning hoone üldkubatuuri.

Modelleerimine – ehk mudelprojekteerimine on informatsiooniga rikastatud 3D mudeli loomine.

MP juhend – Mudelprojekteerimise juhend.

MTÜ – Mittetulundusühing.

Parameeter – muutuja, millele antakse konkreetse rakenduse jaoks konstantne väärtus ja mis võib tähistada rakendust.

RKAS – Riigi Kinnisvara AS.

Simuleerimine – andmetöötlussüsteemi kasutamine mingi füüsilise või abstraktse süsteemi käitumuslike valitud omaduste esituseks.

TTÜ TK – Tallinna Tehnika Ülikooli Tartu Kolledž.

Virtuaalne – arvutiga tekitatav, tegelikkust realselt jäljendav või kujutluslik.

Visualiseerimine – andmetöötlussüsteemi kasutamine protsesside või objektide mudelite või omaduste esituseks neist arusaamise hõlbustamiseks.

SISSEJUHATUS

Hooned ja ehitustehnoloogiad muutuvad järjest keerulisemaks ja nõuded ehitistele kogu elutsükli vältel rangemaks. Seoses sellega muutub arhitektide, inseneride, ehitajate ja haldajate töö järjest detailsemaks, keerukamaks ja mahukamaks. On tekkinud vajadus uute lahenduste ja tehnoloogiate, mis muudaksid nende valdkondade inimeste töö efektiivsemaks, järele. Ühe uuendusena on hakatud hoonete ehitusinfot modelleerima (building information modeling, edaspidi BIM). Modelleerides ehk mudelprojekteerides luuakse hoonest informatsiooniga rikastatud 3D mudel, mida kutsutakse BIM mudeliks ja see kutsutakse kogu protsessi ka BIM-projekteerimiseks.

Mitmed arenenud riigid on seda oma ehitussektoris edukalt rakendanud. Eestis ei ole BIMi rakendamine veel levinud. Eestis on loodud Eesti BIM Kompetentsikeskus MTÜ, mis tegeleb BIMi tutvustamisega. Riigi kinnisvara AS (edaspidi RKAS) on Soome vastavaid materjale kohendades välja andnud eestikeelse mudelprojekteerimise juhendi (edaspidi MP juhend). Mudelprojekteerimine on üks viis, tõstmaks produktiivsust ehitussektoris, mistõttu on BIMi laialdane kasutuselevõtt Eestis vajalik. Sellepärast on BIMi rakenduste kasutuselevõtu propageerimine oluline ja BIMi puudutav teave peab olema hästi kättesaadav ning selgesti mõistetav.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on ehitiste elutsükli taustal teostada nüüdisaegsete BIM-tehnoloogiate ülevaade ja rakenduste analüüs vastavalt ühe väikese Eesti kolledži õppetöö tasemele ning võimalustele Eesti ehitussektori kaasajastamiseks ja inimressursi BIM teadlikkuse tõusuks.

Eesmärkide saavutamiseks püstitas töö autor järgnevad ülesanded:

- Selgitada kirjanduslike allikate abil erinevate BIM-tehnoloogiate ja töövahendite olemust ja rakendamise võimalusi, nendega kaasnevat eeliseid ja riske ehitiste elutsükli erinevates etappides.
- Teostada üle ehitiste elutsükli erinevate etappide BIM-rakendusi kasutades Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledžis (edaspidi TTÜ TK) õpetatavaid tarkvarasid.
- Kontrollida, kas nende tarkvaradega on võimalik töötada RKAS MP juhendi jt standardite nõuetele vastavalt.
- Põimida kirjanduse ülevaate ja tegevuste osad ühtseks tervikuks.

- Koostada ülevaatlilik BIMi tutvustav iseseisvaks õppimiseks sobiv materjal.

Töö jaguneb kirjanduse ülevaateks ja tegevuste osaks. Esimeses osas antakse erinevatele allikatele toetudes ülevaade BIMi olemusest ning kasutusvõimalustest. Sisuline analüüs jaguneb hoone elutsükli etappide alusel peatükkideks. Teoreetilise põhiallikana toetutakse kirjastuse John Wiley & Sons poolt 2011. aastal välja antud raamatule „BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors“. Teises pooles rakendatakse TTÜ TKs õpetatavaid tarkvarasid praktilistes näidetes, mis ilmestavad töö teoreetilist osa. Näidete loomisel toetun 2013 aasta RKAS MP juhendile, et kontrollida, kas käesoleva tarkvaraga on võimalik nõuetele vastavalt töötada. Tarkvaradeks on Autodesk Revit (2012, 2014 ja 2015) (edaspidi Revit), Autodesk Robot Structural Analysis Professional (2014) (edaspidi Robot) ja Vertex BD (2015) (edaspidi Vertex).

Käesolev töö on jaotatud neljaks peatükiks. Esimeses peatükis on kirjeldatud töös kasutatud meetodikat ja tegevusi. Teises peatükis on teostatud kirjanduse ülevaade tööd puudutavatest teemadest. Kolmandas peatükis on tegevused, mis näidetena ilmestavad töö teemasid. Neljandas peatükis on esitatud töö tulemused ja arutelu. Lisades on TTÜ TKs õpetatavate tarkvarade kirjeldused, tabelid BIMi toetavatest tarkvaradest, tabel peamiste BIM platvormide tugevustest ja nõrkustest, teiste autorite loodud BIMi rakendusvõimaluste näited ning videod.

1. METOODIKA JA TEGEVUSTE KIRJELDUS

Lõputöö metoodiliseks aluseks on ehitiste elutsükli erinevate etappide tegevuste sünergia vajadus, mis on BIM-kontseptsiooni nurgakiviks ning on sisse kirjutatud vastavate tarkvarade tegevusjuhenditesse ja koolitusmaterjalidesse, samuti RKAS mudelprojekteerimise juhendisse. Näidete loomisel on kasutatud tarkvarade arendajate juhend- ja õppematerjale ning tarkvarade kasutajate õppevideoid. Lisaks on järgitud RKAS MP juhendit.

Töös on teostatud BIMi alase kirjanduse ülevaade. Esmalt on kogutud olemasolevat teemaga seotud kirjandust ja siis seda analüüsitud. Töös on toetutud põhiliselt välismaisele kirjandusele, sest eestikeelne erialane kirjandus praktiliselt puudub. Kirjanduse ülevaates on kombineeritud tähtsamate erialaste käsiraamatute, aktuaalsete ja asjakohaste teadusartiklite ning uurimustööde analüüs. Esiteks on kirjeldatud põhimõisteid ja ehitise elutsükli osasid üldiselt ühildades neid vastavate osade BIMi rakendusvõimalustega. Eelnevale kirjanduse analüüsile toetudes on välja toodud BIMi rakendamise kaasnevad eelised ja riskid. BIMi toetava tarkvara rakendamise kaasneva tootlikkuse kasvu ilmestamiseks, võrreldes levinud 2D CAD tarkvara kasutamisega, on välja toodud Sacks'i ja Barak'i uuringu mõõtmistulemused.

Töös on praktiliselt, TTÜ TK tarkvara kasutades, realiseeritud BIMi rakendusvõimalused, mis on kirjanduse ülevaate osas välja toodud ehitise elutsükli erinevate etappide kohta. Töö praktiline pool ilmestab kirjanduse ülevaates välja toodud teoreetilist osa. Kirjeldatud on TTÜ TK inventariseerimismudeli loomist. Mudelit on kasutatud BIM projekteerimise, päikese liikumise, valguse ja varjude simulatsiooni, energiaanalüüsi, materjali maksumushinnangu, vastuolude kontrolli ning hoone ja vara haldamise näidete loomisel. Veel on loodud näited konstruktsioonide kandevõime kontrolli ja ehitusplatsi välise materjalide valmistamise kohta. Lisatud on ka näiteid, mis ei ole töö autori tehtud, et ilmestada terve elutsükli BIMi rakendusvõimalusi. Nendeks näideteks on ehitamise planeerimine, BIMi rakendamine ehitusplatsil ja hoone toimimise simulatsioon. Autori koostatud näidete loomisel on kasutatud TTÜ TKs õpetatavaid tarkvarasid: Revit, Robot ja Vertex (vaata Lisa 1). Need tarkvarad on BIMi lähendusi toetavad ja võimaldavad. (Ehitusinseneri tööd toetava tarkvara õppimiseks on TTÜ TK hankinud Autodesk tarkvarakomplekti Education Master Suite). EDU Master Suite on suur kogu erinevatest tarkvaradest ja sinna kuuluvad ka Revit ning Robot. RKAS MP juhendit rakendatakse

järgmiste põhieesmärkide saavutamiseks: projektlahenduste 3D visualiseerimine, energiavajaduse simulatsioonide teostamine, kiiremate ja täpsemate ehituslike mahtude arvutamiseks ja projektlahenduste vastuolude kontrolli tõhustamiseks.

Seejärel teostatakse kirjanduse ülevaadet ja tegevusi koos analüüsides järeldused selle kohta, kas ja kuidas TTÜ TKs õpetatava tarkvaraga loodud näited vastavad teoreetilisele osale ja juhendis nõutule. Lisaks tehakse järeldused, kas teooria osas leitud eelised ilmnevad praktikas tarkvarade rakendamisel.

2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

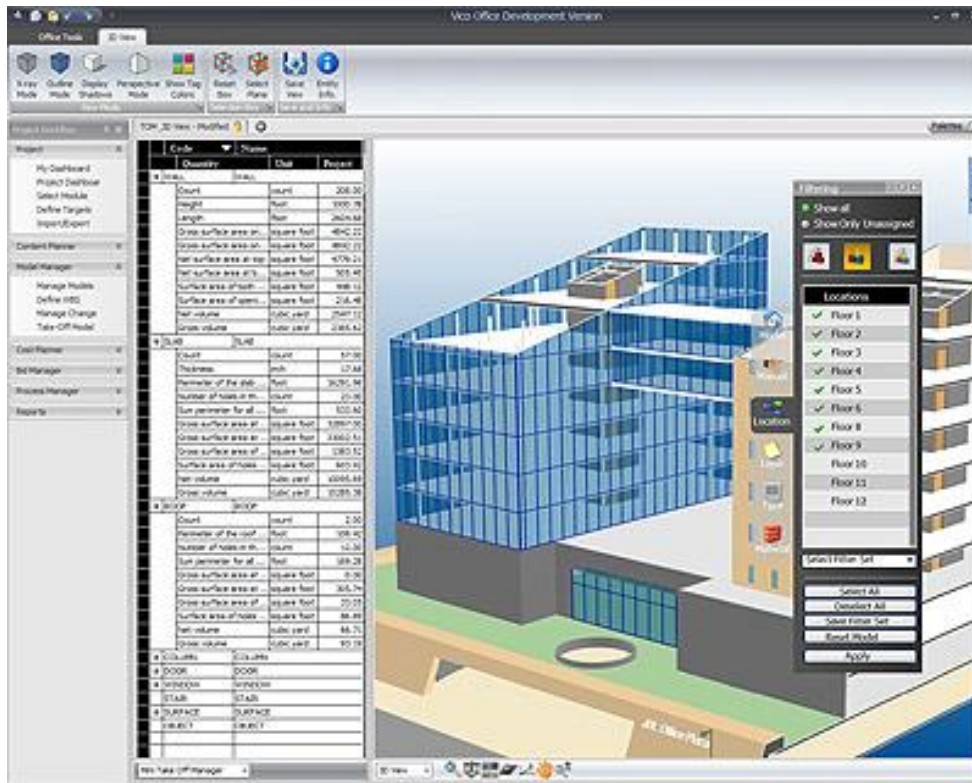
2.1 Põhimõisted

2.1.1 Ehitusinfo modelleerimine

BIM on protsess, mille abil genereeritakse ja ühtlustatakse infot projekteerimise, ehitamise ja haldamise jaoks – seda kogu hoone elutsükli vältel (joonis 1). BIM võimaldab kõigil osapooltel ligipääsu ühtsele infomudelile (joonis 2) samal ajal, kasutades selleks erinevaid koostimivaid tehnoloogilisi rakendusi. (Alt, 2012)



Joonis 1. BIM ja Ehitise elutsükli osad. Allikas: Bexel Consulting kodulehekülg

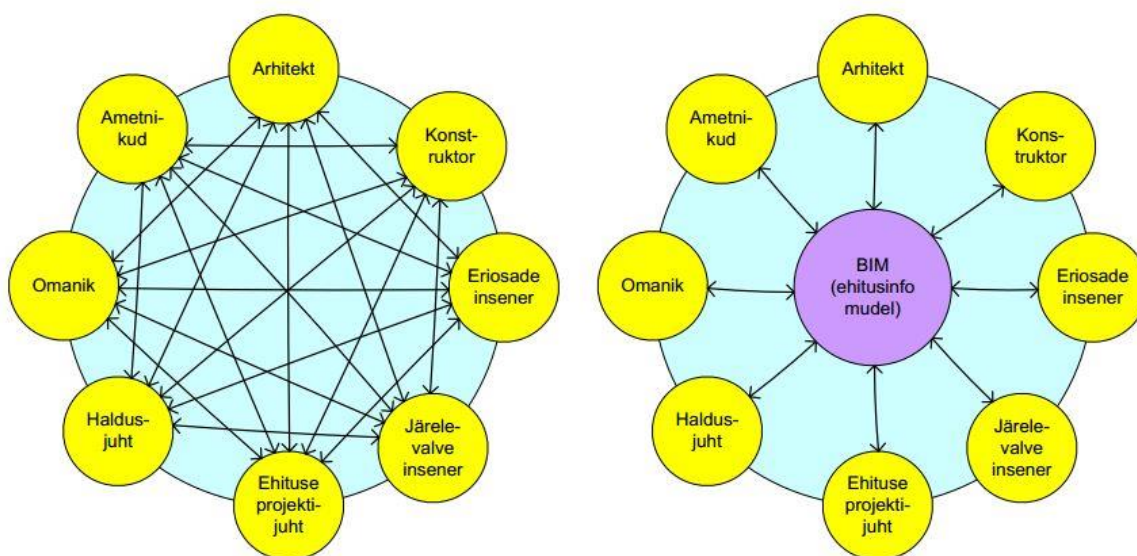


Joonis 2. Ehitise infomudel. Allikas: Vico Software kodulehekül

Mõiste BIM võeti kasutusele umbes 30 aastat tagasi, kuid laiemalt on hakatud seda mudelit ja neid tehnoloogiaid kasutama 21. sajandil. Tänapäeval kasvab BIMi kasutus kiiresti enamikes arenenud riikides. Osad riigid on alustanud BIMi kasutamise kohustuslikuks muutmist. Näiteks on Suurbritannias alates 2016. aastast kohustus kasutada BIMi riiklike ehitusprojektide puhul, mis on üks osa eesmärgist vähendada riiklike ehitusprojektide kulusid 15-20% (Government Construction Strategy, 2012). Positiivseid näiteid BIMi kasutuselevõtu populaarsuse kohta saab tuua ka näiteks Soomest, kus koguni 65% uuringule vastanutest kasutab BIMi (Finnish BIM survey, 2013) või USAst, kus BIMi kasutamine on hüppeliselt tõusnud - 2007. aastal kasutas BIMi 17% ning 2012. aastal juba 71% ettevõtetest (McGraw-Hill, 2012). Eestis kasutab 2013. aastal Eesti Äritarkvara Liidu poolt koostatud uuringu kohaselt BIMi vaid veidi üle 8% uuringus osalenud ettevõtetest. See on väga madal näitaja võrreldes eespool mainitud riikidega.

Ka Eestis on ehitussektor pideva surve all. Nõutakse firmade tootluse ja efektiivsuse kasvu ning ehitussektori infrastruktuuri arengut, et tõuseks ehitiste kvaliteet ja sektori jätkusuutlikus. Samas nõutakse hoone elutsükli kulude kahanemist, tellimuste kiiremat täitmist ja korratava töö hulga vähenemist läbi osapoolte vahelise koostöö ja

kommunikatsiooni tõhususe tõusu. Korratavaks tööks loetakse enamasti erinevate projekti osapoolte olemasolevate andmete uuesti sisestamist. Virtuaalne ehitamine aitab neid nõudmisi täita. BIM võimaldab erinevate osapoolte töö omavahel ühendada terve ehitise elutsükli jooksul (joonis 3). Nii väheneb korratava töö hulk ja parandades osapoolte vahelist koostööd saadakse paremaid lahendusi, mis võimaldavad vähendada hoone elutsükli kulusid. BIMi kasutusele võtmine on alfaasis suurt ressursi nõudev tegevus. BIM nõuab uusi teadmisi, uut tarkvara ja uusi oskusi, kuid see investering tasub end ära. Kasu oskuslikust BIMi rakendamisest ületab kasutuselevõtuga kaasnevad esialgsed kulutused väljaõppele ja tarkvarale. (Mihindu ja Arayici, 2008)



Joonis 3. Traditsiooniline osapoolte vaheline koostöö vs osapoolte vaheline koostöö BIM protsessis. Allikas: A. Alt esitlus

BIM on 21. sajandi ehitustööstuses üks paljulubavamaid arengusuundi, mis julgustab osapooli omavahel integreeruma. BIMi toetava ja võimaldava tehnoloogiaga luuakse ehitisest täpne virtuaalne mudel, mida kasutatakse planeerimisel, projekteerimisel, ehitamisel ja haldamisel. See aitab arhitektidel, inseneridel ja ehitajatel hoonet virtualiseerida, et juba ehitise elutsükli alfaasis avastada potentsiaalsed projekteerimis-, ehitus- või haldamisvead. (Azhar, 2011)

BIM annab aluse uutele projekteerimis- ja ehitusvõimalustele ning muudab projekti meeskonna omavahelisi rolle ja suhteid. Hästi teostatud BIM võimaldab paremini ühendada projekteerimis- ja ehitusprotsessi, mis tähendab parema kvaliteediga hooned madalama

hinna ja lühema projekti valmimise ajaga. Projekti osapoolte töö teostamise toeks on loodud palju tarkvarasid, mis loovad erinevatele valdkondadele hulgaliselt tööriistu: eskiisprojekti, projekteerimise, analüüsi, tootejooniste ja tootmise, ehitusjuhtimise, koguste väljavõtte ja eelarvestamise, ajakava loomise ning failide jagamise ja koostöö tööriistad. Erinevatest BIMi toetavatest tarkvaradest saab ülevaate autori loodud eestikeelsetest tabelitest (vaata Lisa 2). (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

BIM mudel on kui integreeritud andmebaas, mis sisaldab infot (koos dokumentidega) terve hoone kohta. Kogu informatsioon on parameetiline ja seega seotud. Muutes mudelis ühte objekti, toimuvad muudatused automaatselt terve projekti kõigis vaadetes ja muudes rakendustes, mis saavad oma informatsiooni mudelilt. Erinevalt CADipõhistest kahemõõtmelistest joonistest sisaldab BIM mudel ehitise ruumilisi konstruktsioone ja sõlmi. Mudelit saab efektiivselt kasutada läbi kogu projekteerimise ja ehitamise protsessi. Infomudel annab tervikliku pildi kogu ehitusprotsessist alates hoone eskiisist ja ehitise dokumentatsioonist kuni reaalse ehitise valmimise ning isegi hoone ehitusjärgse haldamiseni. (Krygiel, Nies, 2008)

Ehitustööstuse haare on lai ja pakutavate tarkvarade hulk väga suur. Erinevad tarkvarad määratlevad infot erinevalt. Seega on väga oluline, et info oleks loodud ühes standardis, mis võimaldab infot probleemideta jagada. Standardiseeritud andmeid saab erinevate tarkvarade vahel vahetada. BIMi puhul on selleks IFC standard. IFC standardi peamiseks ülesandeks on ühtse andmemudeli tagamine, et saaks toimuda sujuv globaalne koostöö. (Baoping, Wei, Xin, 2010)

2.1.2 Ehitise elutsükel

Ehitustööstus seisab nii majanduslike kui sotsioloogiliste väljakutsete ees. Olemasolevad ettevõtted olid majanduskriisi tõttu sunnitud välja töötama üha efektiivsemaid lahendusi. Uued turule tulevad firmad on konkurentsivõime tagamiseks järjest innovaatilisemad ning rakendavad kiiresti arenevat infotehnoloogiat. Kasvav keskkonnateadlikkus ning riiklikud karmid nõuded sunnivad firmasid ka sellele valdkonnale rohkem tähelepanu pöörama. Ehitustööstus on uute reeglitega tihedalt seotud ja jätkusuutlikkuse tagamiseks tuleb muudatustega kaasa minna. (Bricogne, Eynard, Troussier, Antaluca, Ducellier, 2011)

Ehitusprojektides on hakatud tähelepanu pöörama elutsükli haldamisele. Ehitise elutsükkel on protsess, mis hõlmab endas tervet ehitise kulgu: planeerimist, projekteerimist, ehitamist, haldamist, hooldamist ja viimaks hülgamist või taaskasutamist. Elutsükli haldamise eesmärk ehitusel on leida projekti eesmärkide vahel tasakaalupunkt saavutamaks parem projekti efektiivsus. Infotehnoloogia abiga on ehitusprojektis võimalik elutsükli haldust rakendada. (Xuehui, 2003 andmetel Baoping, Wei, Xin, 2010)

Ehituses 20. sajandi keskpaigast kasutusele võetud infotehnoloogia on endaga kaasa toonud märkimisväärseid edusamme, kuid arenguruumi on veel palju. Hetkel piirdub infotehnoloogia rakendamine ehitussektoris pigem erinevate valdkondade individuaalse tööga. Sujuva valdkondade vahelise koostöö saavutamiseks vajatakse rakendusi, mis võimaldaksid üheaegselt hallata ehitusprojekti elutsükli kõiki komponente. Viimastel aastatel on selliseid rakendusi ka kasutusele võetud, millest levinuim on BIMi rakendamine. (Baoping, Wei, Xin, 2010)

2.2 BIM ja hoone projekteerimine

2.2.1 Hoone projekteerimine

Projekteerimine on ehitise või selle osa arhitektuurne ja ehituslik kavandamine, ehitise tehnosüsteemide kavandamine, ehitises kasutatava tehnoloogia kavandamine ning ehitise elueast lähtuv ehitise nõuetele vastava kasutamise ja hooldamise tehnomajanduslik hindamine. Projekteerimise tulemuseks on ehitusprojekt. (Ehitusseadus, 2013)

Hoone projekteerimine on esimene suurem osa ehitise elutsüklist. Selles osas määratakse ära milline hoone välja hakkab nägema, kuidas seda ehitatakse, millised on selle omadused, kuidas seda hooldada ja kuidas lammutada. Hea projekt on funktsionaalselt efektiivne ja täidab tellija soovid. Hea projektiga saavutatakse ka madalamad elutsükli kulud, tehes seda nii, et ehitus- ning eksploatatsioonieagsed kulud on tasakaalus. Muidugi tagab kvaliteetne projekt sobiva ehituse ja hoolduse lahenduse ning on esteetiliselt sobiv. Parema tulemuse saavutamiseks on oluline erinevate valdkondade omavaheline koostöö.

Ehitusprojekt on ehitise või selle osa ehitamiseks ja kasutamiseks vajalike dokumentide kogum, mis koosneb seletuskirjast, tehnilistest joonistest, hooldusjuhendist ja muudest asjakohastest dokumentidest (jooniseid selgitavad skeemid, tabelid, graafikud, ekspertiiside

ja uuringute aruanded ja muud dokumendid). Traditsiooniliselt koostatakse ehitusprojekt kolmes staadiumis: eelprojekt, põhiprojekt ja tööprojekt. (Nõuded ehitusprojektile, 2010)

Ehitise eskiis

Enne ehitusprojekti koostamist võib koostada ehitise eskiisi. Ehitise eskiis on kavandite ja neid selgitavate dokumentide kogum, mille eesmärgiks on anda tellijale planeeringutega ja ümbritseva ruumiga võimalikult hästi seostatud, erinevaid huve tasakaalustatult arvestav terviklik ruumiline lahendus (Nõuded ehitusprojektile, 2010). Eskiis on etapp, mis esitab projekteerijale kõige suuremad nõuded ja milles on oluliste täiustuste maht kõige suurem. Siin tuleb ühendada inseneri teadus, praktilised teadmised, tootmismeetodid ja kaubanduslik välimus. Selles etapis tehakse kõige tähtsamad otsused. Samas on see etapp kõige loomingulisem. Need varased otsused kujundavad suuresti hilisema projekti käigu ning määratakse ehitise keerukus, kasutamine, valmimise aeg ja maksumus. (French, 1999)

Eelprojekt

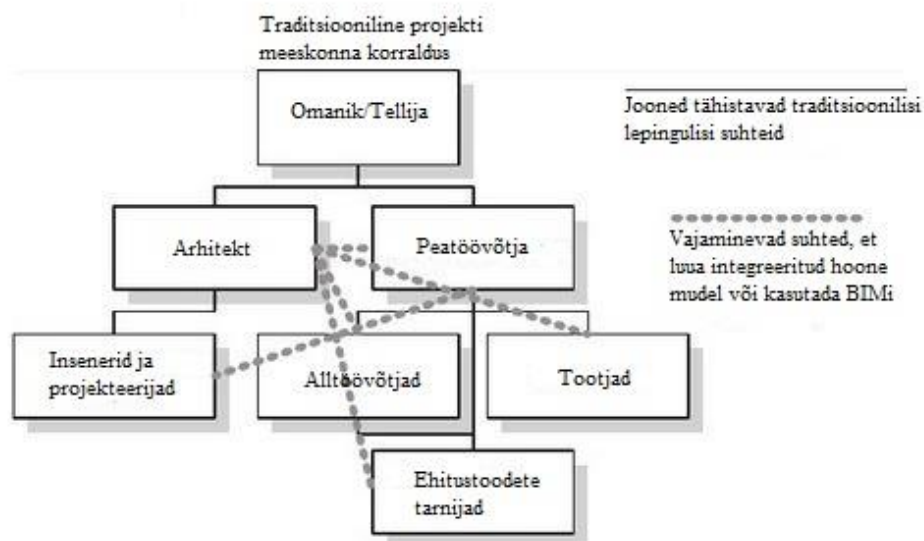
Eelprojekt on oluline osa ehitise valmimise protsessist. Kui teha eelprojektile eelnevalt hoone eskiis, siis on võimalik paremini otsustada, kas hoone vastab nõutud funktsionaalsetele ja säästvatele nõutele. Varakult erinevaid ehitise konstruktiivseid alternatiive hinnates, kasutades analüüsi/simulatsiooni tarkvara, saab tõsta ehitise üldist kvaliteeti. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Põhiprojekt

Kui hoone on jõudnud eelprojekti osast edasi, tuleb hakata projekti detailsemalt täpsustama. Mehaanilised objektid vajavad suurust ja konstruktsiooni elementide lahendused tuleb projekteerida. Neid töid viivad läbi tavaliselt erialainsenerid. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Tööprojekt

Ehitusprojekti viimane osa on tööprojekt, mille loomise meetodeid on mitmeid. Üheks meetodiks on traditsioonilisel projektimeeskonna korraldusel (joonis 4) põhinev meetod, kus projekterijad loovad koos kliendiga viimase soovidele vastava põhiprojekti. Sellisel juhul peavad töövõtjad tööprojekti ja vajalikud dokumendid ise koostama. Seda meetodit on traditsiooniliselt palju kasutatud, kuna arhitektid ja insenerid ei taha vastutada ehitusküsimuste lahendamise eest. Integreeritum on meetod, kus projekteerimise meeskond teeb töövõtjate ja tootjatega juba projekteerimise alguses koostööd (joonis 4). Nii on projekterijad tootmise probleemidest projekteerimise käigus teadlikud ning luuakse tööprojekt, mis ühendab tootmisalased teadmised ja projekti kavatsused. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)



Joonis 4. Projekti meeskonna korraldus. Allikas: Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011

2.2.2 BIMi rakendused hoone projekteerimisel

Mudelprojekteerimine

Üha enam võetakse traditsioonilise projekteerimise protsessi kõrval kasutusele mudelprojekteerimist ehk BIM-projekteerimist. Eestis hetkeolukorras ei ole seda veel kogu projekteerimistöode mahus võimalik teha ning projektlahenduste menetlemisel

ratsionaalselt kasutada, seetõttu koostatakse protsessis paralleelselt ka traditsioonilisi dokumente. Mudelprojekteerimise standardit ei ole veel välja töötatud ja RKAS MP juhendis esitatud tegevused erinevad EVS 811 „Hoone ehitusprojekt“ kirjeldatud staadiumitest ning tööde käigust. On arvestatud sellega, et modelleerimise käigus oleks võimalik esitada projektdokumentatsiooni vastavalt EVS 811 sätestatule. EVS 811 projekteerimisstaadiumitega võrreldes teostatakse mudelprojekteerimine põhimõtteliselt kuni põhiprojekti staadiumi detailsuseni. Mudelprojekteerimise mahtu kuulub ka integreeritud koondmudeli koostamine. (Riigi Kinnisvara AS Mudelprojekteerimise juhend, 2013)

Tellijal on tulevases hoonest oma ettekujutus. Arhitekti töö on need soovid sellisel paberile kujutada, et tellija nõudmised hoone osas oleksid täidetud ja tulemus oleks tellijale visuaalselt köitev. Kunagi tehti kõik joonised käsitsi, mis oli väga aeganõudev tegevus. Nüüd, tehnoloogia arenedes, projekteeritakse arvuti abiga üha keerukamaid hooneid. Kasutusel on mitmeid tarkvarasid, mille valik sõltub tellija soovidest ja projekteerija eelistustest. Alati ei soovi tellija lisaks ehitusprojektile saada BIM mudelit, siis ei ole projekteerijal mingit kohustust BIMi toetavat ja võimaldavat tarkvara kasutada. Oskuslikult BIMi toetavat tarkvara rakendades on projekteerijal aga võimalik oluliselt aega säästa ja luua täpsemalt tellija soovidele vastav projekt.

BIMi toetav tarkvara areneb ja täiustub pidevalt. Erinevate tootjate tarkvarad võivad kõik küll sama töö ära teha, kuid nad ei ole identsed. Tarkvarad erinevad näiteks kaasnevate tööriistade, lisatarkvarade ja mudeli eelloodud komponentide varamute poolest. Erinevatel peamistel BIM platvormidel on omad tugevused ja nõrkused. Peamiste BIM platvormide tugevustest ja nõrkustest saab ülevaate autori loodud tabelist (vaata Lisa 3). Seega on projekteerijal võimalus valida tarkvara, mis sobib antud tööks kõige paremini. Erinevaid BIMi toetavaid tarkvarasid on palju ning iga arendaja püüab oma tarkvara parimal tasemel hoida, mistõttu need pidevalt uuenevad. Suuremad tarkvara-arendajad tulevad suuremate uuendustega välja kord aastas. Uus tarkvara võib küll parem olla, kuid tarkvara uuendamine on kulukas. Seega tuleb tähelepanu pöörata ka sellele, mis uuendustega on tegu ja kas need on igapäevatoos vajalikud.

BIMiga ühilduv 3D projekteerimise tarkvara

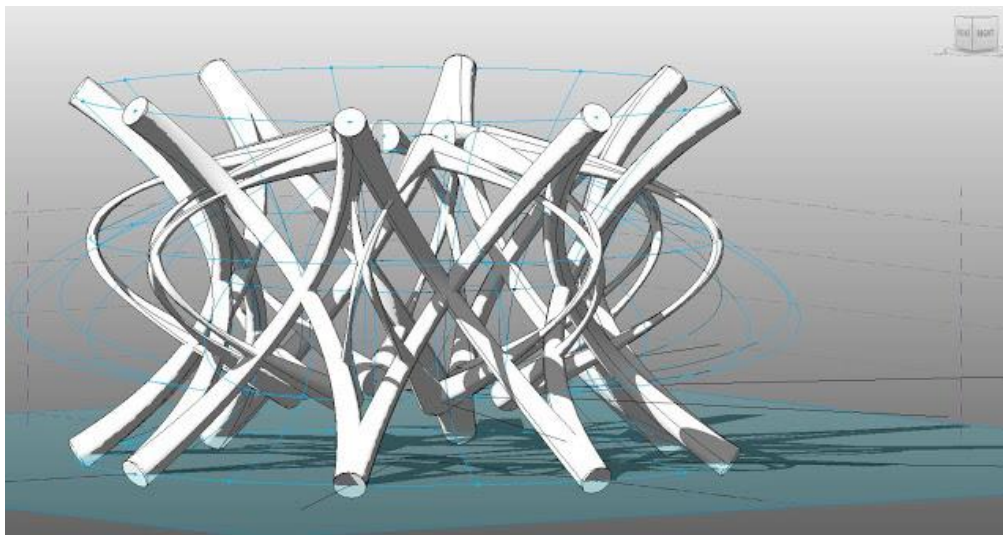
3D projekteerimise tarkvarad on BIMi toetavast tarkvarast kasutajasõbralikumad. Nende eesmärgiks on kiire 3D mudeli projekteerimine ja jooniste loomine. Nendega on lihtsam projekteerida, kuna objektidel puudub igasugune lisainformatsioon. Nende tööriistadega saab väga hästi ja kiiresti töötada, kui eesmärgiks on visualiseerida hoone, panna paika ruumijaotus ja luua tellijale eskiis. Tarkvara võimaldab väga detailselt projekteerida erineva keerukusega hooneid ning hoone jooniseid vastavalt ehitusprojekti staadiumi nõuetele. Lisavõimaluste puudumise tõttu on selline tarkvara BIMi toetavast tarkvarast odavam.

Tarkvara, mis suudab üksnes 3D mudeleid projekteerida, ei ole aga BIMi toetav tarkvara. Ilma objektide lisainformatsioonita kulub töödele nagu energiaanalüüs, konstruktsioonide arvutamine ja maksumushinnangu loomine palju rohkem aega, sest igale tööle vastav informatsioon tuleb vastava töö läbiviimiseks eraldi sisestada. Nii suureneb võimalus vigade tekkeks. BIM aitab säästlikumalt ehitisi luua ning paljud projekteerimise tarkvarad on arendatud nii, et nende tööd oleks võimalik salvestada ka BIMi toetava tarkvaraga avatavas formaadis. BIMi toetavat tarkvara kasutavad koostööpartnerid saavad tehtud tööd avada ja täiustada endale vajalikus mahus.

BIMi toetava tarkvaraga projekteerimine

BIMi toetava tarkvaraga projekteerimine võib algselt küll töömahukam olla ja esimestel kordadel kasutades ka keerukam, kuid lõpuks saadav kasu on võrreldes teiste 3D tarkvaradega oluliselt suurem. BIMi toetavate tarkvaradega toimub projekteerimine hoone erinevate elementide loomisena. Luues mingi hoone elemendi (näiteks posti), saab ta teha vastava detailsusega (näiteks armatuuri olemasolu või kinnitusvahendid). Kui element on valmis, saab talle anda omadusi (näiteks materjal, mõõtmed ja kaal). Kui mudel on valmis, saab mudeli põhjal luua omale plaanid, vaated ja lõiked ning lisaks vastavalt eelnevalt antud omadustele, seda informatsiooni ära kasutada näiteks tabelite loomisel (informatsioon tuleb mudelilt). Andes juba töö alguses elementidele omadused (mehaanilised, energeetilised jt), ei pea seda hiljem uuesti tegema ja see säästab aega. Tarkvara on väga sobilik siis, kui tellijal on soov saada madala elutsükli kuluga hoone. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

BIMi toetava tarkvara miinuseks on loetud seda, et sellega ei ole võimalik teha keerukaid vabas vormis kehasid, seda eriti hoonete fassaadide puhul. Paljud tarkvarad on liikunud selles suunas, et sellised puudujäägid eemaldada. Praeguseks võimaldavad need programmid luua vabavormilisi objekte (joonis 5), millele hiljem omistada objekti tüüp. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)



Joonis 5. BIMi toetava tarkvaraga loodud keerulise kujuga objekt. Allikas: BIM troublemaker kodulehekülg

BIMi toetav tarkvara annab kasutajale tööriistad, mis võimaldavad projekteerida vastavalt iga ehitusprojekti staadiumi nõuetele. Uue staadiumi mudeli saab luua eelnevat mudelit täiustades. Eri valdkondade projekteerijad saavad samaaegselt töötada ning hiljem oma tööd ühte mudelisse kokku panna. Seejuures kontrollib tarkvara automaatselt ebakõlasid nagu näiteks objektide omavahelist vastuolu. (Krygiel, Nies, 2008)

Hoonete puhul nagu laborid ja haiglad on projekti nõudmised sageli koguseliselt esitatud. BIMi toetav tarkvara võimaldab projekteerimisel hoone mudelit kasutada nende nõuete vastavuse kontrolliks. Näiteks on võimalik ruumid jagada gruppidesse ja kontrollida, kas vastava grupi ruumide kogupindala vastab nõuetele. Mudeliga on võimalik automaatselt kontrollida ka kvaliteedi nõuetele vastavust, näiteks ruumide omavahelist kaugust. (Krygiel, Nies, 2008)

Objektidele on võimalik juba väga varases projekteerimise etapis anda kindlad materjalid ja neile vastavad reaalsed omadused, mis loob mitmeid võimalusi. Esiteks annab see tellijale hoonest väga reaalse visuaalse ülevaate, mis mudeli täienedes järjest detailsemaks muutub.

See on ruumiline mudel hoonest, kus on võimalik ka sees käia (joonis 6). Teiseks võimaldab objektidele varajane informatsiooni omistamine teha erinevaid analüüse ja simulatsioone. Nende põhjal on võimalik teha projekteerimises muudatusi, et saada kvaliteetsem hoone. Kolmandaks võimaldab see kulusid varakult ja täpsemalt hinnata, kuna tarkvara loeb kokku ka materjalide kogused. Nii on projekteerijal hea ülevaade sellest, kuidas erinevad lahendused projekti hinda mõjutavad. Samuti annab see tellijale projekti kuludest parema ülevaate. Neid punkte kasutades on võimalik luua tellijale visuaalselt sobiv ning hea kvaliteedi ja hinna suhtega hoone. (Krygiel, Nies, 2008)

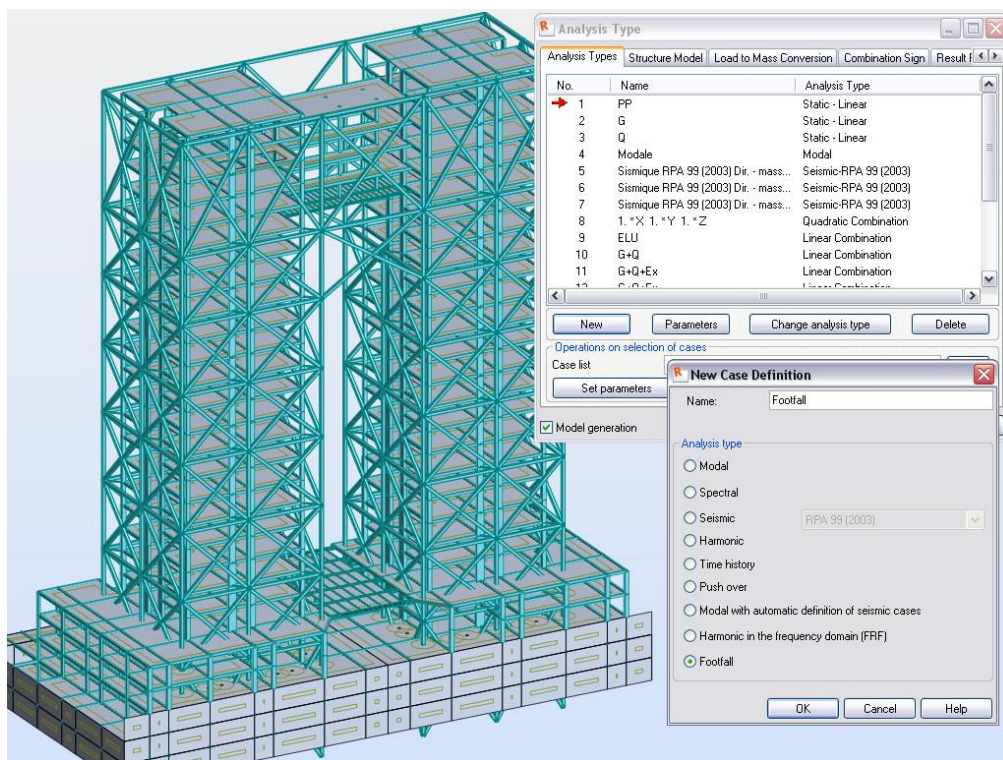


Joonis 6. BIM mudel hoonest. Allikas: Solum Surveying Ltd. kodulehekül

Analüüside ja simulatsioonide tegemine

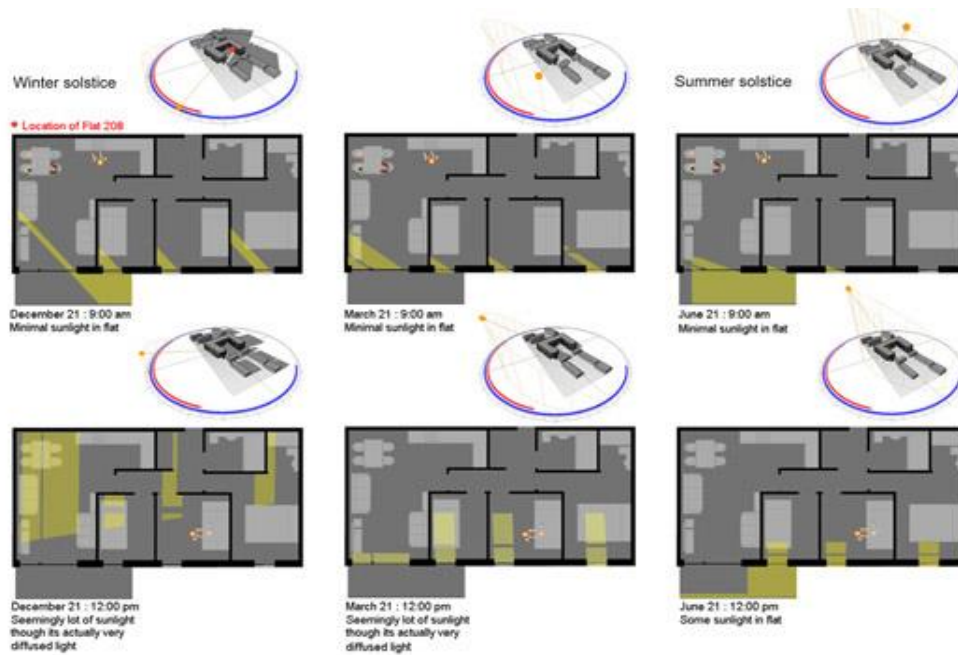
Tänu BIMile on mudelilt võimalik saada rohkem informatsiooni kui tavalise 3D modelleerimisega. BIM võimaldab mudeli põhjal teha simulatsioone ja analüüse. Projekteerimise faasis on osa vajaminevast infost mudelisse juba sisestatud ja seda ei ole analüüside ja simulatsioonide läbiviimiseks uuesti sisestada vaja. Sõltuvalt informatsiooni detailsusest on analüüside ja simulatsioonide tulemused väga reaalsed. Nii on võimalik analüüsida hoone konstruktsioone, simuleerida mudelile päikesevalgus ja vaadata kuidas varjud hoonet mõjutavad, samuti teha energiaanalüüse.

Konstruksioonide analüüsimiseks on eraldi tarkvarad. BIMi toetavate tarkvaradega on võimalik ära kasutada olemasoleva mudeli infot. Mudelis kajastuvad konstruksioonid saab tarkvarasse üle kanda. Konstruksioonidele saab anda koormused ja analüüsida, kas kandevõimed on tagatud (joonis 7). Samuti on võimalik välja arvutada minimaalsed kandevõimet tagavad ristlõiked ning selle arvelt kokku hoida. Kui konstruksioonide mõõtmed ja omadused on välja arvatud, saab need mudelis uuendada.



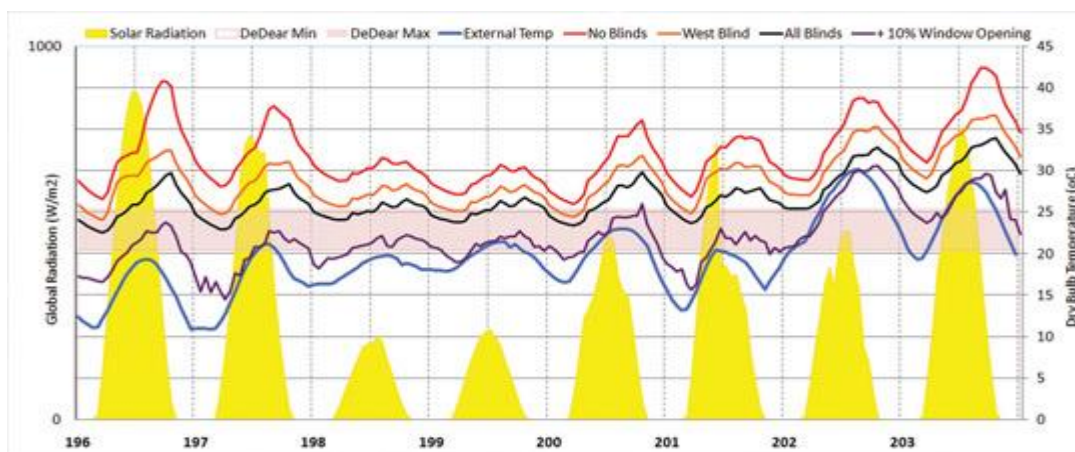
Joonis 7. Konstruksioonide analüüs. Allikas: Autodesk kodulehekül

Simulatsioonid nagu päikese liikumise, valguse ja varjude simulatsioon (joonis 8) aitavad hoonet paremini planeerida. Kasutades maksimaalselt ära loodusjõude, on võimalik vähendada hoonega kaasnevat kulusid. Orienteerides hoone vastavalt päikesele, on võimalik päikese energiat ja valgust ära kasutada. Saab vaadata, millistel hoone külgedel kasutada rohkem valgust läbilaskvamaid pindu või teha päikesevarje. Ruumid saab seada vastavalt päevavalgusele, projekteerides valgust vajavad ruumid päikesepoolsesse külge ja vajadusel kasutada rohkem klaasi (teha suuremad aknad või üldse klaasist fassaad), et kuluks vähem energiat. Samuti on võimalik saada säästlikum hoone, andes hoonele analüüsi andmetele tuginedes õige kuju. Hea kujuga hoones on kõigile ruumisolijatele tagatud piisav päikesevalgus. (Krygiel, Nies, 2008)



Joonis 8. Hoone päikese liikumise, valguse ja varjude simulatsioon. Allikas: Onyx Green kodulehekül

Hoonele saab teha energiaanalüüsi (joonis 9), mis võtab arvesse hoone asukohta, orientatsiooni, arhitektuurilisi omadusi, materjalide omadusi, ventilatsiooni, ruumide rahvastatust, valgustuse ja seadmete koormust. Lisaks saab veel arvestada taastuvenergiat ja CO₂ emissiooni. Energiaanalüüsi eesmärk on teha ligikaudne arvutus kogu hoone energiatarbimise kohta mingi kindla aja jooksul energiasäästliku hoone loomiseks. Energiavajaduse arvutusi tehes peaks projekteerijatele olema tähtis hoone aastane energiavajadus ning nõuetele vastav kasutusmugavus. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

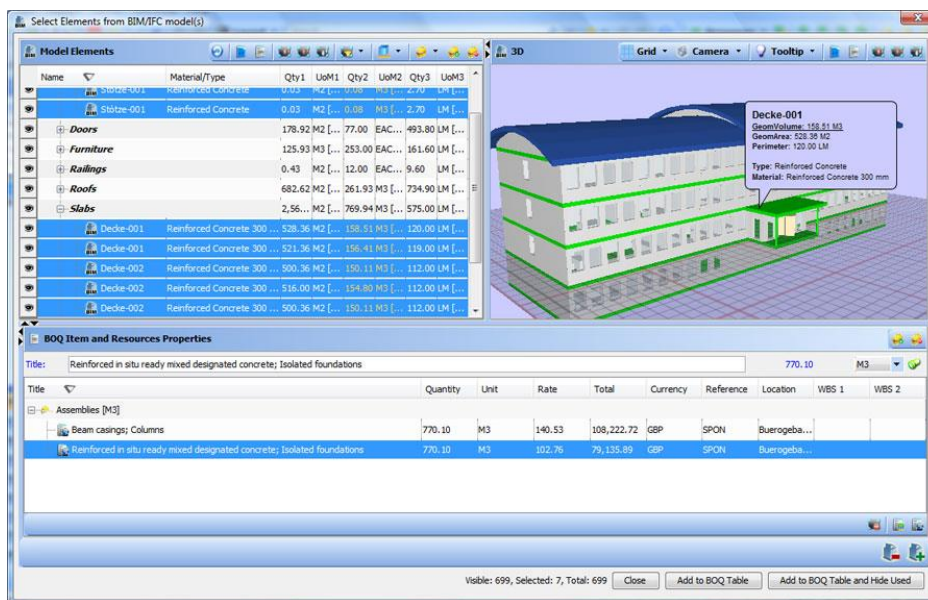


Joonis 9. Energiaanalüüs. Allikas: Onyx Green kodulehekül

Maksumushinnang

Maksumushinnang on oluline nii tellija, töövõtja kui ka tootja jaoks. BIMi toetavate tarkvarade rakendustega on võimalik arvutada ligikaudne projekti maksumus juba varases tööstaadiumis. Isegi algsele mudelile, millel pole veel palju informatsiooni, suudab rakendus anda ligikaudse maksumuse. Tarkvara teeb arvutused ruumide nimede ning neile määratud omaduste, põranda-, katuse- ja välisseinte pindade ning treppide ja liftide arvu põhjal. Programm arvutab andmete põhjal automaatselt summad, sest see sisaldab mahukat andmebaasi erinevate lahenduste maksumusest. Projekti informatsiooni täienedes muutub maksumushinnang järjest täpsemaks. Mahtude automatiseerides väheneb vigade hulk, mis varem inimlikest eksimistest tekkis ja see säästab aega ning muudab maksumushinnangud täpsemaks. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

BIM mudel loeb automaatselt objektid koos ruumalade ja pindaladega kokku ning teeb seda kohe, kui objekt on lisatud (joonis 10) (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011). Tänu sellele rakendusele saab, muutes hoone struktuuri või materjale, võrrelda erinevate lahenduste maksumust ning koostöös energiaanalüüsi programmiga tõsta hoone efektiivsust ja vähendada elutsükli maksumust. (Krygiel, Nies, 2008)



Joonis 10. Elementide ja materjalide koguste mudel. Allikas: Vico Software kodulehekül

Leides parima lahenduse on projekterijatel võimalus tellija ressursse võimalikult hästi ära kasutada. BIM pakub alternatiivi traditsioonilisele lahendusele, kus projekti maksumust vähendati alles projekti lõpus, eemaldades kulukad objektid. Maksumuse arvutamine projekterimise käigus annab tõhusama tulemuse. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

2.3 BIM ja ehitamine

2.3.1 Ehitamine

Ehitussektor areneb koos kasvava tulemuslikkuse nõudlusega. Projekti teostamise tähtajad lühenevad, kulud peavad olema konkurentsivõime tagamiseks üha väiksemad, reguleerimine on rangem, projekti ülesanded keerulisemad, ehituse hangete meetodid järjest mitmekesisemad, tehnoloogia areneb ja selle kvaliteeti on järjest raskem saavutada ning hoida. Selline olukord paneb ehitajad proovile. BIM oma võimalustega (joonis 11) aitab ehitajatel muutuvate olukordadega paremini toime tulla. (Chowdhury, 2009)



Joonis 11. BIM rakendused ehitusprotsessis. Allikas: Vico Software kodulehekül

Ehitamine pole kaugeltki isoleeritud tegevus. See hõlmab koostööd ja erinevate valdkondade projekterimis- ning tootmisoskuseid. Tavaliselt juhib ehitustöid projektijuht, kellel on abiks töödejuhataja, projekterija, ehitusinsener või arhitekt. Ehitamiseks loetakse ehitise püstitamist, laiendamist, rekonstrueerimist, tehnosüsteemi muutmist või asendamist ja lammutamist. Ehitamine peab toimuma vastavalt ehitusprojektile (välja arvatud väikeehitise korral). (Ehitusseadus, 2013)

Kvaliteetse hoone ehitamiseks on oluline korrektne projekt. Siiski võib juhtuda, et projektis esineb vigu. Vältimaks vigade avastamist alles ehitamise käigus tuleks projekt enne ehitama

asumist üle kontrollida. Töövõtja jaoks on vajalik ka projekti analüüs. Peale projekti kontrollimist ja analüüsi saab alustada ehitamise planeerimist. Efektiivne plaan tagab eduka ehitusprojekti juhtimise ja elluviimise ning arvestab ka ehituse keskkonnamõjude ning ehitusplatsi ohutusega.

Ükski ehitus ei saa toimuda ilma ehitusmaterjalideta. Tootmise spetsialiseerumine on suurendanud hoone komponentide ja süsteemide ehitusplatsiväliselt valmistamist ja kokkupanekut. Kui komponendid on valmis ja jõudnud ehitusplatsile saab alustada nende paigaldamist (ehitamist). Ehitamise käigus peab töövõtja kontrollima, juhendama ja jälgima, et tööd toimuksid plaanijärgselt ja saaksid tehtud vastavalt nõuetele. Nii saab tellijale üle anda sellise hoone, mida ta soovis.

Terviklikus ehitusprotsessis osalevad inimesed on pideva surve all. Neilt nõutakse edukaid projekte hoolimata kitsast eelarvest, piiratud tööjõust, tihedast ajakavast ja piiratud või vastuolulistest andmetest. BIM kontseptsiooniga saab aga juba enne füüsilist ehitusprotsessi kavandada hoone virtuaalse ehituse. Nii on võimalik vähendada otsuste ebakindlust, parandada ohutust, välja selgitada probleemid ning simuleerida ja analüüsida võimalikke mõjusid. Lisaks saavad erinevate valdkondade alltöövõtjad sisestada mudelisse just nende ala kriitilise informatsiooni, mis võimaldab ehitust paremini planeerida. (Chowdhury, 2009)

Projekti kontrollimine

Töövõtjal on vaja enne ehitama asumist veenduda projekti teostatavuses. Selleks tuleb projekti kontrollida ja analüüsida. Projekti kontrollimise käigus saadakse esmane nägemus sellest, kuidas ehitus peaks toimuma hakkama ning kas ja kus võib esineda komplikatsioone. Täpsemal kontrollil saab kindlaks teha, kas projektis esineb erinevate komponentide omavahelist vastuolu. Need vastuolud tuleks avastada enne ehitamise alustamist. Vastasel juhul ehitusprotsess pikeneb ning töövõtja peab leidma uue mooduse, et erinevad komponendid korrektselt toimivana hoonesse mahutada. Lisaks saab projekti kontrollides teada projekti mahu ja selle põhjal hinnata ehituse maksumust.

Traditsiooniliselt toimub jooniste vastuolude kontroll manuaalselt valguslaual. Samamoodi kasutatakse 2D CAD tööriistu, kus asetatakse joonised teineteise peale, et visuaalselt ja manuaalselt tuvastada võimalikud vastuolud. Need lähenemisviisid on aeglased, kulukad,

vigaderohked ja sõltuvad jooniste ajakohasusest. Hooned on muutumas üha keerukamaks ning sellised kontrollimise viisid on töövõtjale üha suuremaks väljakutseks. Nende probleemide vältimiseks ja parandamiseks on loodud automaatsed vastuolude kontrolli süsteemid. Nii on võimalik töövõtjal oluliselt aega kokku hoida ja avastada vigu lihtsamalt juba enne ehitama asumist. Lisaks on võimalik peale iga muudatust sooritada uus kontroll. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Ehitamise planeerimine

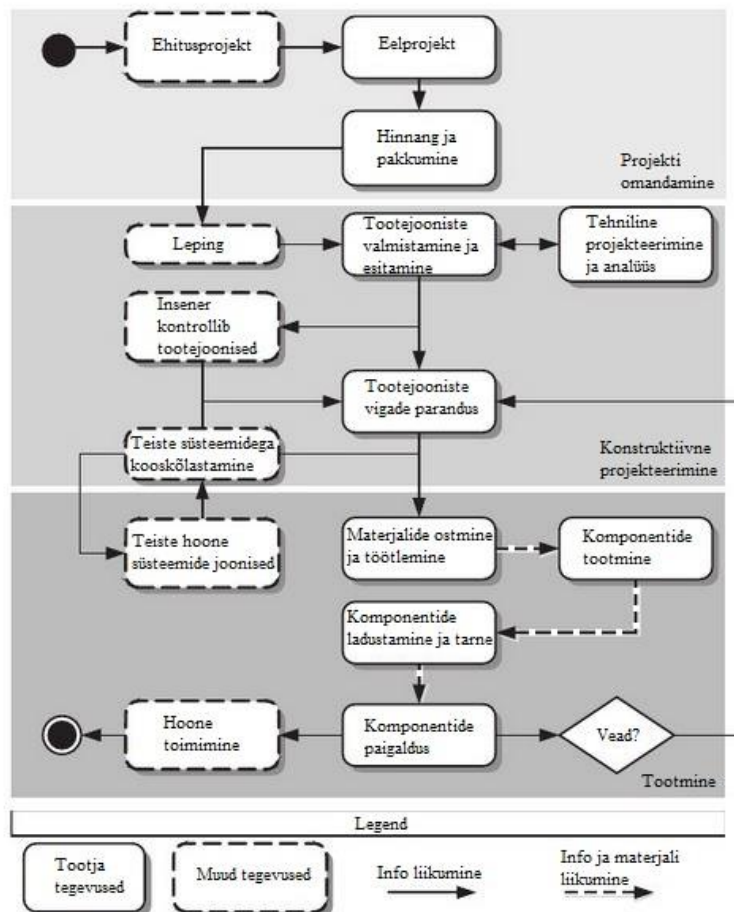
Ehitamise planeerimine on oluline ja keeruline tegevus. See hõlmab endas tehnoloogia valikut, tööülesannete määratlust, vajalike ressursside koguste ja tööde kestvuse hindamist ning erinevate tööde sobivat järjestamist. Hea ehitusplaan on ehituse eelarve ja tööde ajakava koostamise aluseks. Iga töövõtja jaoks on tööde koordineerimine kriitiline tööprotsess. Planeerimisel on pöhirõhk tavaliselt orienteeritud kuludele või ajakavale. Keerukate hoonete puhul tuleb arvestada mõlemaga. Seega on oluline, et eelarve ja ajakava oleksid kooskõlas. (Hendrickson, Au, 1998)

Traditsiooniliselt on projektide planeerimisel kasutatud tulpdiagramme, kuid need ei suuda näidata, kuidas või miks on antud järjekorras olevad tegevused seotud. Samuti ei saa nendega arvutada projekti lõpetamise kriitilist teed. Tänapäeval kasutatakse kriitilise tee meetodil põhinevat tarkvara, et luua, uuendada ja jagada plaane. Need süsteemid näitavad, kuidas tegevused seostuvad ja võimaldavad arvutada kriitilist teed. Lisaks saab nende süsteemidega teha asukohapõhiseid ajakavasid. Nendega on parem teha erinevates asukohtades rutiinset tööd tegevatele meeskondadele graafikuid (tööaja, materjalide jne). (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Ehitussektorit süüdistatakse keskkonnaprobleemides ning liiges ressursside tarbimises nii ehitusel kui hilisemal hoone toimimisel ja selle ümbruse reostamises. See on viinud rohelisema ehitamiseni, kus kasutatakse keskkonnasõbralikumaid projekte ja materjale, et minimeerida kaasnevaid keskkonnamõjusid ja jõuda säästlike hooneteni. Jätkusuutlikule arengule ja keskkonnamõjude vähendamisele aitab kaasa oskuslik ehituse planeerimine. Tuleb arvestada kust ja kui palju materjale tarnida. Keskkonnasõbralikum on ehitus, mis toimub kohaliku materjaliga ja kus on arvestatud materjalikoguste ja mõõtmetega nii, et jääks võimalikult vähe jäätmeid. (Ding, 2006)

Ehitusplatsiväline komponentide tootmine

Tööstuslik ehitamine ja hoone komponentide tootmine toob kaasa paljude ehitusega seotud tööde liikumise ehitusplatsilt välja. Elementide valmistamine (joonis 12) toimub ehitusplatsiväliselt (tehastes). Ehitusplatsil toimub elementide montaaž kraanade või muude tõste-masinate abil. Nii on võimalik tagada komponentide kõrgem kvaliteet, sest tehastes on tootmiseks paremad tingimused. Paljud hoonekomponendid on alati valmistatud väljaspool ehitusplatsi, näiteks kliimaseadmed. Mitmed komponendid nagu saematerjal ja torustik on valmistatud standardsuuruste järgi. Ka ajutisi esemeid nagu betoonivorme (raketisi) saab väljaspool ehitusplatsi kokku panna ja siis ehitusplatsile transportida. Betooni jaoks vajamineva armatuuri saab tootmishoones mõõtu lõigata ja anda sellele soovitud kuju. (Hendrickson, Au, 1998)



Joonis 12. Komponentide valmistamise protsess. Allikas: Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011

Keerukaid hooneid ei ole tavaliselt võimalik ehitada masstoodangus olevate toodetega, vaid nad vajavad spetsiaalselt nende jaoks projekteeritud ja valmistatud komponente. Nii nõuab ehitusplatsiväline materjalide valmistamine suurt planeerimist ja täpset tehnilist teavet. Ebatäpse või mittetäieliku info korral võib juhtuda, et toode ei sobi ehitusplatsil kasutamiseks. Tehnika arenedes on töövõtja ja tootja vaheline teabevahetus paranenud ja see on kaasa aidanud ehitusplatsivälise tootmise suurenemisele. Komponentide odavam ja tõhusam tootmine kontrollitud tehasetingimustes ning nende tõhus paigaldamine on muutunud üha tavalisemaks. (Chowdhury, 2009)

Ehitusplatsi organiseerimine

Töövõtja ülesanne on ehitusplatsil projektile vastava ehituse tagamine ja dokumenteerimine. Ehitamine peab toimuma projekti nõuete kohaselt, et tagada tellija soovidele vastav hoone. Lisaks on oluline, et ehitus toimuks vastavalt ehitusplaanile. Tööd peavad olema teostatud õigeaegselt, et ehitus püsiks ettenähtud ajakavas ja hoone saaks tellijale üle antud õigel tähtajal. Samuti tuleb tööde käigus kontrollida ehituse eelarves püsimist.

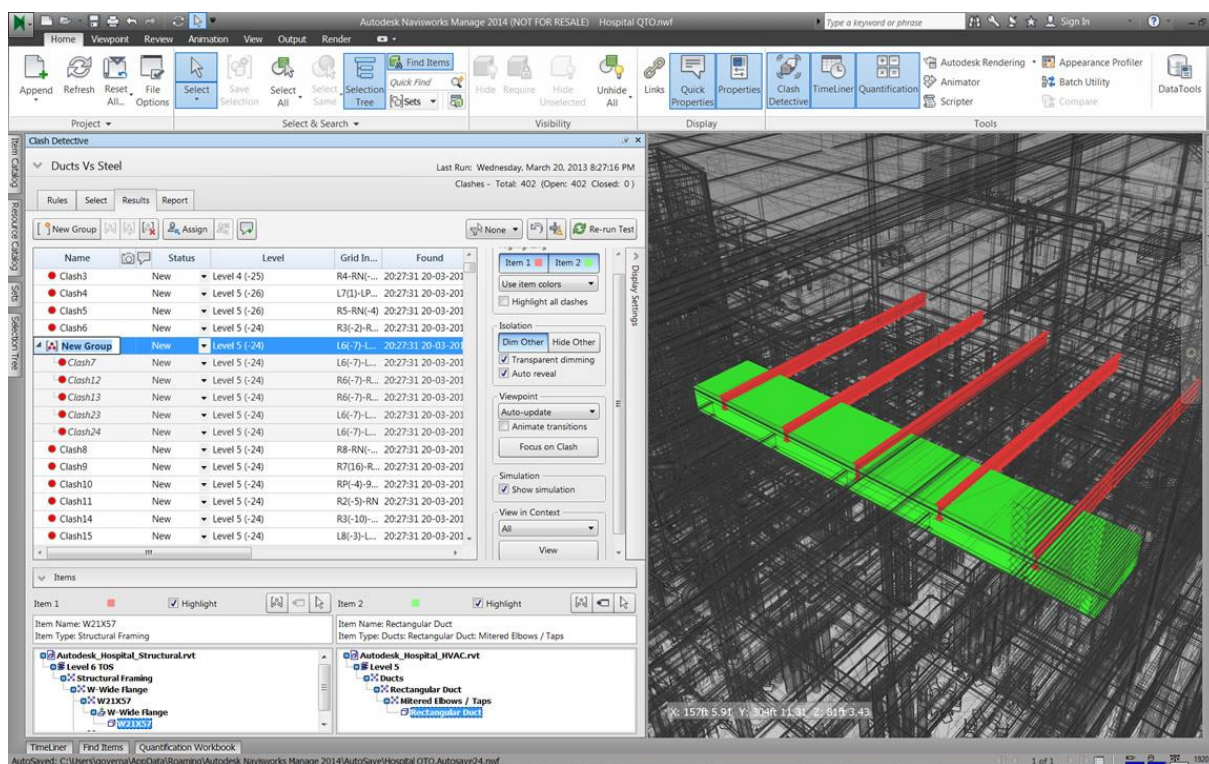
Juhul, kui mõni töö on tehtud valesti ega vasta projektis nõutule, on töövõtja ülesanne see viga tuvastada. Tuvastatud viga tuleb parandada ja see nõuab tööde ümbertegemist. Selleks, et viga vältida, tuleb tööandjal töölisi juhendada. Kui tööde teostamise käigus selgub, et viga esineb hoopis projektis, siis peab tööandja hoolitsema selle eest, et see viga saaks ka projektis parandatud. Seega on töövõtjal vaja igapäevaselt teada, mis tööd on ehitusplatsil tehtud, mis teostamisel ja mis tulemas.

Omades ehitusplatsil toimuvast head ülevaadet, saab paremini tegeleda logistikaga. Töövõtja peab kontrollima ja jälgima, et tööde teostamiseks vajalikud materjalid ja tehnika oleks õigeaegselt õiges kohas olemas. Samuti peab jälgima, et järelejäänud materjalid ja tehnika saaksid ehitusplatsilt minema viidud, et teha ruumi teiste tööde teostamiseks. Hästi organiseeritud ehitusplatsil on kõigil parem ja ohutum tööd teha.

2.3.2 BIMi rakendused ehitamisel

Projekti kontrollimine

BIMi vastuolude kontrolli tööriistad (joonis 13) võimaldavad automaatset geometriaal põhinevat kontrolli kombineerida reeglitel põhineva analüüsiga, et tuvastada erinevaid vastuolusid. Need tööriistad võimaldavad töövõtjatel valikuliselt kontrollida erinevaid süsteeme. Näiteks on võimalik kontrollida vastuolusid mehaaniliste ja konstruktiivsete süsteemide vahel, sest kõik mudelis olevad komponendid on seotud konkreetset tüüpi süsteemidega. Seega saab vastuolusid kontrollida projekti igal detailsusastmel ja kõigi hoone süsteemide vahel.



Joonis 13. Vastuolude kontroll. Allikas: Autodesk kodulehekül

Valdavalt on kahte tüüpi vastuolude kontrolli tehnoloogiaid:

1. Vastuolude kontroll BIM projekteerimise tööriistaga. Kõik suuremad BIM projekteerimise tööriistad sisaldavad selliseid lahendusi, mis võimaldavad projekteerijal projekteerimise käigus mudeleid kontrollida. Siiski on töövõtjal vaja neid mudeleid sageli integreerida. See ei pruugi aga BIMi projekteerimise tööriistas

halva koostöövõime või objektide paljususe ja keerukuse tõttu edukalt õnnestuda. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

2. BIMiga integreeruvad tööriistad, mis teostavad vastuolude kontrolli. Nende tööriistadega on kasutajal võimalik importida ja visualiseerida paljude modelleerimistarkvarade 3D mudeleid. Need tööriistad on kõrgetasemelisemad ja nad on võimelised avastama rohkem erinevat tüüpi vastuolusid. Puuduseks on nendel tarkvaradel see, et avastatud vigu ei saa kohe parandada, sest integreeritud mudelil puudub algse mudeliga otsene ühendus. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Ehitamise planeerimine

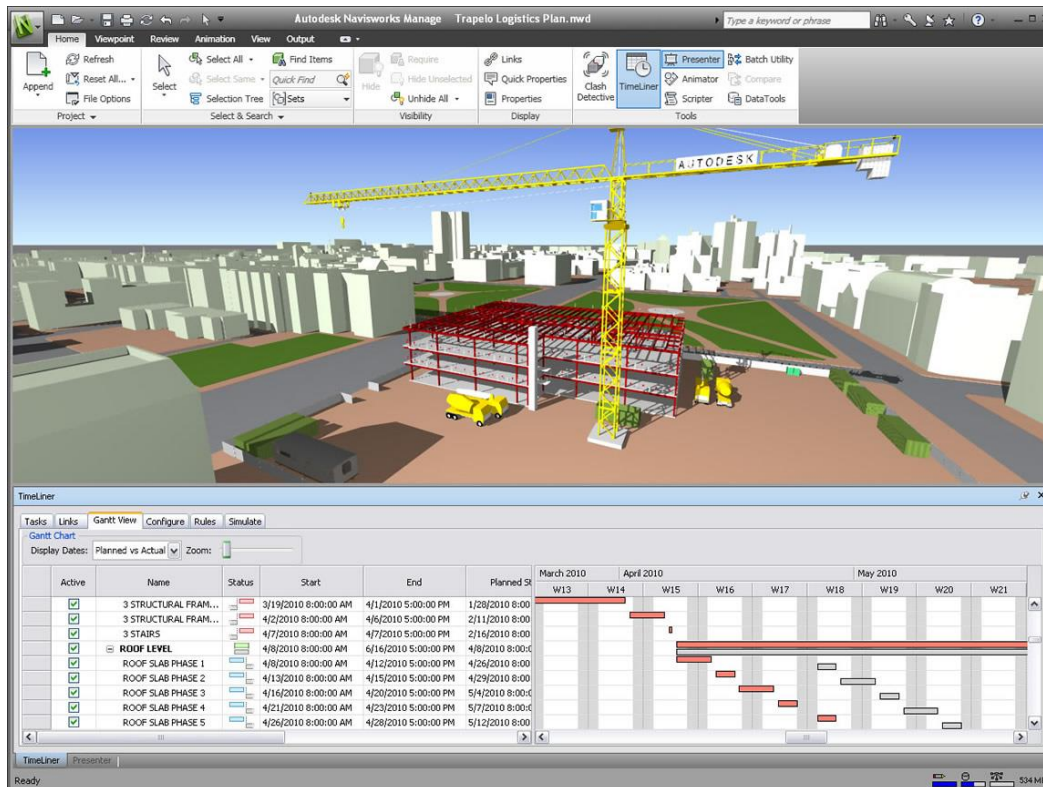
Konfliktid ehitusplaanis on ehitamisel üks peamistest muredest. Erinevate keeruliste tegurite tõttu võib tegelik ehitamine planeeritud aegu ületada. Traditsioonilised meetodid ei suuda piisavalt tõhusalt ruumilisi komponente hõlmata ning neid ei saa projekti või ehitise mudeliga otse siduda. Manuaalselt planeerimine on intensiivne ülesanne ega ole sageli projektiga sünkroonis. Nii on ajakava ja selle mõju ehitusplatsi logistikale projekti osapooltele raskesti mõistetav. Teostatava ajakava saavad määrata üksnes inimesed, kes on projektiga põhjalikult tutvunud ja teavad, kuidas seda ehitatakse. (Wang, Love; 2012)

Nende puuduste kõrvaldamiseks on loodud erinevaid tehnoloogiaid:

- 1) kasutada analüüsivahendeid, mis optimeerivad tegevuste järjestuse, ühendades endas BIM mudeli komponendid ja ehitusmeetodi teabe. Need tööriistad hõlmavad ruumilist teavet ning ressursside kasutamise ja tootlikkusega seotud infot, mille abil saab ehitusplatsil toimuva muuta ohutumaks, keskkonnasõbralikumaks ja efektiivsemaks. BIMi virtuaalse ehituse põhjal saab töövõtja projekti ehitamise ja kaasneda võivate probleemidega tutvuda juba enne ehituse algust. Selle põhjal saab ta teha parema ehitusplaani. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

- 2) 4D mudel, kus 3D mudelile lisanduvad ajalised näitajad. Ehitamise ajakava on ühendatud 3D mudeliga, mis võimaldab visualiseerida hoone ehitamise järjestust. 4D tööriistad võimaldavad planeerijatel ehitamise visuaalse planeerimisega paralleelselt tegeleda ka ajafaktoriga. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

3) 5D mudel (joonis 14), kus 3D mudelile ja ajalistele näitajatele lisandub maksumus. Seda infot kasutavad eelarvestajad. Selle põhjal on võimalik vaadata, kuidas mõjutavad projekti muudatused ajakava ja eelarvet. BIMi toetavad tarkvarad võimaldavad planeerijatel kiiresti 3D, 4D ja 5D mudeleid luua, vaadata ja muuta. See on kaasa toonud efektiivsemad ja usaldusväärsemad ehitamise planeeringud. (Salih, 2013)



Joonis 14. 5D mudel. Allikas: Autodesk kodulehekül

Ehitusplatsiväline materjalide valmistamine

Tavaliselt toimuvad ehitamine ja materjalide valmistamine ehitusplatsiväliselt paralleelselt, seega on vajalik tihe koostöö nende rühmade vahel. Ehituses võivad tekkida kulukad viivitused, kui tootmisettevõtte ei suuda õigeaegselt toota piisavalt hoone elemente. Samuti muudavad viivitused keerulisemaks materjalide käsitlemist ehitusplatsil ja mõjutavad oluliselt teisi töid. Selleks, et materjalid saaksid õigeaegselt valmis, on vajalik täpne, usaldusväärne ja kehtiv teave. BIM süsteemid võimaldavad lihtsamaid ehitamise meetodeid, kui neid rakendada kogu organisatsiooni osakondade vahel või läbi kogu tarneahela. Seega on oskuslik BIMi rakendamine vajalik nii töövõtjale, alltöövõtjale ja tootjale, et kiirendada

ehitusprotsessi õigeaegselt saabuvate kvaliteetsete materjalidega, mida on hea paigaldada ja mis ei nõua lisatööd (ümbertegemise arvelt) ehitusplatsil. (Wang, Love; 2012)

BIM annab töövõtjatele võimaluse sisestada ehitise komponendi andmed otse BIM mudelisse. Nendeks andmeteks on 3D geomeetria, materjali kirjeldus, viimistluse nõuded, tarne järjestus ja ajastus enne tootmisprotsessi ning selle ajal. Projekt saab lisaväärtuse kui töövõtja koordineerib oma tööd paremini alltöövõtjate tööga. Kui töövõtjatel on võimalik vahetada täpset BIM mudeli informatsiooni materjalide valmistajatega, siis saavad nad säästa aega, kontrollides ja valideerides mudelit. Selle tulemusel väheneb vigade arv ja materjalide valmistajatel on võimalik varem osaleda planeerimise ja ehitamise protsessis. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Alltöövõtjale ja tootjale on tähtis, et neile saadetud komponent oleks korrektselt projekteeritud. Need komponendid nõuavad hoolikat koostööd kogunud inseneride ja projekteerijate vahel. Komponendid peavad sobima hoonesse nii, et nad ei takistaks teisi hoone süsteeme ja liituksid korrektselt. Projekteerimine ja koordineerimine 2D CAD süsteemidega on vigaderohke, töömahukas ja pika tsükliajaga. BIMi toetavad tarkvarad võtavad neid probleeme arvesse, võimaldades virtuaalselt ehitada komponente ja koordineerida neid kõigi hoone süsteemidega enne iga osa tootmist. Seega võimaldab BIM alltöövõtjatele ja tootjatele tõhusamat turustamist, visualiseerimist, automatiseeritud hindamist, väiksemaid tsükli-aegu projekteerimisel ja tootmisel, peaaegu kõigi koordinatsiooni vigade elimineerimist projekteerimisel, madalamaid projekteerimise kulusid, automatiseeritud tootmistehnoloogia kasutamist ja paremat materjalide valmistamist ning monteerimist ehitusplatsi väliselt. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Ehitusplatsi organiseerimine

BIMi toetavad tarkvarad võimaldavad töövõtjal jälgida ja kontrollida ehitusplatsi, lihtsustavad tööliste juhendamist, andes visuaalselt parema pildi nõutavast tööst. BIM tehnoloogiate rakendamine ehitusplatsil kasvab märgatavalt kui mobiilsete seadmete (joonis 15), mis võimaldavad BIMi informatsiooni töölistele edasi anda, kasutamine muutub igapäevaseks. Tahvelarvuti, mis on ühendatud GPSga ja millega on võimalik avada BIM

rakendusi, võimaldab töövõtjal kõndida ehitusplatsil ja vaadata vastavas piirkonnas olevaid töid ning juhendada töölisi. (Smith, 2012)



Joonis 15. Mobiilne seade, mis GPS abiga näitab rajatavate konstruktsioonide täpse asukoha. Allikas: Korec kodulehekül

Töövõtjad peavad ehitusplatsil paigaldatavaid hoone komponente kontrollima, et nende omadused (mõõtmed, tugevusklass jne) vastaks nõuetele. Vigade leidmisel kulub lisaeg nende kõrvaldamiseks. Hoone mudelit saab kasutada, et kontrollida kas tegelik ehitamise seisund vastab mudelile. Isegi kui projekti meeskond loob täpse mudeli, on võimalus, et paigaldamise käigus tekib mõni inimlik viga. Nende vigade avastamine, kohe kui nad tekivad või nii kiirelt kui võimalik, omab suurt väärtust. On olemas ka erinevaid automatiseeritud tehnoloogiaid, et toetada ehitusplatsi kontrollimist, juhendamist ja jälgimist (laserskaneerimise ja GPS tehnoloogiad). (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

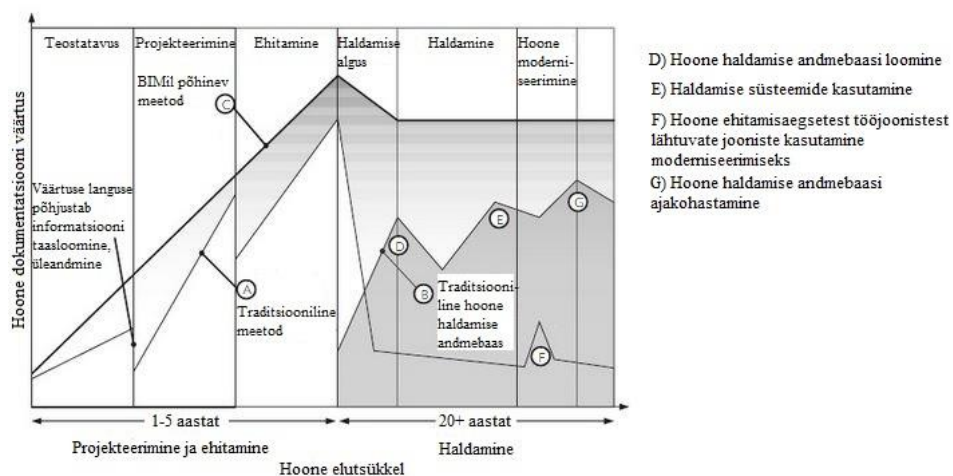
Ajakavas ja eelarves püsimist aitavad kontrollida 4D ja 5D mudelid. Mudelitelt on võimalik vaadata, kuidas hoone peaks välja nägema soovitud ajal ja seda siis võrrelda olemasoleva olukorraga ehitusplatsil. Lisaks on 5D mudelil juures ka maksumusega seotud andmed, mis aitavad kontrollida eelarves püsimist. Selliste mudelitega on töövõtjal võimalik paremini vaadata tööde järjestust ja ennast paremini kurssi viia eesolevate töödega ning nendega kaasneva võivaid probleeme märgistada. Nii on võimalik suurendada tööde efektiivsust. (Smith, 2012)

2.4 BIM ja haldamine

2.4.1 Haldamine

Paljud hoone omanikud/tellijad vaatavad ehitamist, võrreldes kogu hoone elutsükli ja muude aja jooksul kogunevate tegevuskuludega, kui suhteliselt väikest väljaminekut (Gaddie, 2003). Teenuseid pakkuvad ettevõtted osutavad sageli omanike lühinägelikkusele ja nõudmistele, mis lõpuks mõjutavad projekti kvaliteeti, ehituse maksumust ja ajakava (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011). Muutuvad turutingimused sunnivad omanikke oma vaateid muutma. Nii pannakse üha rohkem rõhku hoone valmimisprotsessile ja kaalutakse, kuidas see nende äri mõjutab. (Gaddie, 2003)

BIM pakub sellistele probleemidele leevendust. Omanikud saavad BIMiga kaasnevatest võimalustest palju kasu. On oluline, et omanikud mõistaksid, kuidas BIM rakendused loovad konkurentsieeliseid, võimaldavad nende organisatsioonidel paremini turu nõudmistele vastata ning seeläbi saada investeringutelt suuremat tulu (joonis 16). BIMi kasust teadlikud omanikud saavad koos teenusepakkujatega BIMi abil oskusteavet projekteerimis- ja ehitamisprotsessis efektiivsemalt rakendada (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011). Omadusi, mis motiveerivad omanikke BIM tehnoloogiat vastu võtma, on palju: projektimaksumuse varajane ja sage hindamine, hoonete keerukuse suurenemine, lühem valmimisaeg, kulude usaldusväarsus ja parem haldamine, kõrgem toote kvaliteet (vähem lekkeid, rikkeid ja põhjendamatu hooldust), ülevaatlikum varahaldus ja jätkusuutlikkus. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)



Joonis 16. Hoone dokumentatsiooni väärtus omanikule hoone elutsükli vältel. Allikas: Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011

Projekti hindamine

Omanikud peavad suutma projekteerimist igas etapis vastavalt oma nõudmistele hinnata ja juhtida. Algses projekteerimise faasis on see seotud ruumilise analüüsiga. Hiljem hõlmab see analüüse, et hinnata projekti vastavust omapoolsetele nõuetele. BIMi toetavad tarkvarad aitavad omanikel neid analüüse paremini läbi viia ja läbi visuaalsete simulatsioonide saada projekti osapooltelt arusaadavamad tagasisidet. Samuti võimaldavad need tarkvarad erinevaid lahendusi kiiresti uurida ja ümber kujundada ning simuleerida hoone toimimist. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Hoone infrastruktuuri keerukus

Kaasaegsed hooned on keerulised, alludes nii füüsilise infrastruktuuri kui ka organisatsiooniliste, finants- ja õiguslikele nõuetele. Keerulised ehitusnormid, õigus- ja vastutusküsimused on ehitusturul levinud ning on sageli meeskondadele töös takistuseks. Tihti peavad omanikud projekteerimist ja kinnitamist samaaegselt koordineerima. BIMi tööriistad võimaldavad infrastruktuuri reguleerida täielikult integreeritud eriosade, arhitektuursete ja ehituslike süsteemide 3D mudelite abil, toota kõrgema kvaliteediga ja paremini hooldatavaid infrastruktuure läbi interaktiivsete koordineeritud mudelite analüüsi ja läbi kooskõlastatud mudelite ennetada kohtuvaidlusi. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Ajakava haldamine

Sageli on hoone valmimisaja edasilükkumise põhjuseks probleemid ehitamisel. Tootjad peavad pidevalt kursis olema meetodite ja tehnoloogiatega, mis võimaldavad neil valmistada hooneid kiiremini, paremini ja odavamalt. BIMi toetavad tarkvarad pakuvad omanikele ja projekti meeskondadele tööriistu, mis osaliselt automatiseerivad projekteerimist, simuleerivad tulevast toimimist ja rakendavad ehitusplatsivälisest tootmist. See võimaldab omanikel parameetriliste 3D mudelite koordineerimise ja eeltootmise abil lühendada valmimisaega ja vähendada ajakavaga seotud riske. 4D BIM mudelitega saab kiiresti reageerida ettenägematutele ehitusplatsil tekkivatele olukordadele. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Kulude usaldusväarsus ja haldamine

Omanikud seisavad sageli silmitsi ülekuludega või ootamatute kuludega, mis sunnivad neid projekti muutma, minema üle eelarve või projekti sootuks katkestama. Ülekulude ja valede hinnangute ohu vähendamiseks lisavad omanikud ja teenusepakkujad hinnangutele ettenägematuid kulusid või loovad ehitusaegse ebakindlustega toime tulemiseks eelarve varuga. Ebausaldusväärset hinnangud kujutavad endast omanikele märkimisväärset riski ja suurendavad kunstlikult kogu projekti maksumust. (Touran, 2003)

BIMi varane rakendamine projekteerimise käigus omab maksumusele suurt mõju. BIM mudelid pakuvad omanikele usaldusväärset keskkonda, kus arvutada materjalikoguseid ja teha maksumushinnanguid. Peamine motivaator BIMil põhinevate maksumuse hindamise meetodite kasutamiseks on kulude usaldusväarsuse suurenemine. BIMi toetav tarkvara võimaldab hallata kulusid ja saada usaldusväärset, kiiret ja detailsed hinnangud juba protsessi algetapis. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Jätkusuutlikkus

Üha rohkem arvestavad omanikud hoonete energiatõhususe ning projektiga kaasnevate keskkonnamõjudega. Jätkusuutlik hoone on hea äritava ning võib kaasa aidata hoonete turustamisel. BIM mudelid sisaldavad objektide detailset informatsiooni, mis on energia- ja muude keskkonnaanalüüside teostamise aluseks. BIM protsesside abil on võimalik vähendada energiatarbimist ja parandada hoone toimimist. Samuti saab automaatselt sooritada arvutusi, et näha, millisel hulgal on võimalik koguda vihmavett ja saada päikesevalgust ning palju on taaskasutatud materjali. (Krygiel, Nies, 2008)

Hoone ja informatsiooni varahaldus

Hoone omanikud on silmitsi probleemiga, kuidas käsitleda informatsiooni kui vara. Tänapäeval toodetakse infot igas projekti etapis. Sageli on seda vaja taassisestada või jagada erinevate etappide ja organisatsioonide vahel. Projekti lõpuks on informatsiooni väärtus langenud, sest see ei vasta ehitatud hoonele ning on raskesti ligipääsetav ja hallatav. Koostöös loodud ja ajakohastatud BIM mudelit kasutades on vähem mitmekordset

infosisestust või -kadu. BIMi toetavaid tarkvarasid rakendades on võimalik tellida sobiv hoone tõhusamalt, kiiresti luua hoone haldamise andmebaas, hallata hoone vara, hinnata täienduste või hooldustööde mõju ja lõpuks planeerida läbimõeldud lammutus. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

2.4.2 BIMi rakendused haldamisel

Hoone ja vara haldamine

Enamus olemasolevaid hoonete haldamise tööriistu tuginevad ruumide kujutamisel polügonaaalsel 2D informatsioonil või tabelisse sisestatud arvandmetel. Hoone haldajad ei vaja üldjuhul ruumide ja nendega seotud seadmete ning muu hoone vara haldamiseks 3D informatsiooni. Siiski võib 3D komponendipõhine mudel hoone haldamise toimingutele väärtust lisada. Hoone mudelid annavad olulist kasu hoone informatsiooni sisestamise algfaasis ja selle informatsiooniga töötamisel. BIMi toetavate tarkvaradega saavad omanikud automaatselt luua hoone haldamiseks vajaliku komponentide andmebaasi. See vähendab oluliselt aega, mis kulub hoone andmebaasi loomiseks traditsioonilisel meetodil, mis hõlmab manuaalset ruumide loomist pärast projekti lõppu. Hoone haldamine võib nõuda BIM mudeli viimist teatud BIM haldamise tööriista või kolmanda osapoole lisatarkvarasse. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Hoone toimimise simulatsioon

Hoone toimimise simulatsiooni tööriistade hulka kuuluvad rahvahulga käitumise tööriistad, hädaolukorras evakueerimise või reageerimise simulatsioonid. Need tööriistad nõuavad simulatsioonide teostamiseks täiendava informatsiooni sisestamist. Mõningatel juhtudel kasutavad need tööriistad ainult BIM mudeli geomeetrilisi omadusi. Enamjaolt ei hõlma tööriistad spetsialiseerunud simulatsioone, vaid reaalses kasutatavaid visualiseerimise tööriistu, mis kasutavad BIM mudelit sisendina. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

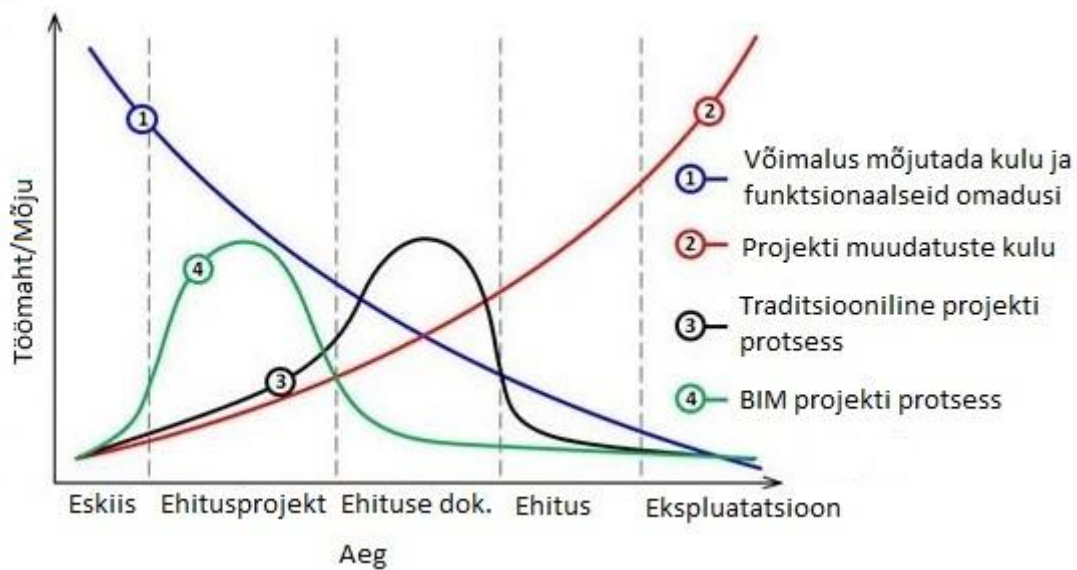
Elutsükli maksumushinnang

Omanikud kasutavad hinnanguid, et võrrelda oma projekti eri lahenduste maksumust ning teostada finantsprognose või -analüüse. Sageli tehakse need hinnangud varajases projekteerimise faasis, enne kui meeskond on jõudnud detailse hoone mudelini. Hinnangud on loodud omaniku esindaja või konsultandi poolt, kasutades pindala- või ühikukulu meetodeid. Mõned hindamise tarkvarad on loodud spetsiaalselt omanikele. Siiski on enamkasutatavaks hindamise tarkvaraks Microsoft Excel. BIMi toetava tarkvaraga on omanikel võimalik mudelitelt välja võtta infot mahtude ja maksumuse kohta. Imporditud hoone mudelitest on võimalik teha automaatseid ning manuaalseid väljavõtteid. BIM mudeliga on omanikul võimalik saada täpsemad ehitise elutsükli maksumushinnangud. Mudelilt saab informatsiooni hoone materjalide koguste ja maksumuse kohta, lisaks vastava lahendusega kaasnevad kulud energiale (küte, jahutus ja valgustus). Mudeli põhjal saab hinnata täpsemalt hoone ehitamisega ja haldamisega kaasnevaid kulusid. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

2.5 BIMi kasutamise eelised ja riskid

2.5.1 Eelised

Patrick MacLeamy on loonud graafiku (joonis 17), mis näitab, kuidas mõjutavad projekti varases staadiumis vastu võetud otsused üldist ehitusprojekti funktsionaalsust, kulu ja kasu. BIM protsessi rakendades nihutatakse töömahukas osa projekti protsessist ehitusprojekti faasi, kus on suurem võimalus projekti mõjutada. Lisaks on ehitusprojekti faasis tehtavad muudatused soodsamad võrreldes samade muudatuste tegemisega hilisemates faasides. Seega on inseneridel BIM protsessi rakendades võimalik läbi viia projektis rohkem muudatusi ja seda tehes säästa raha võrreldes traditsioonilise protsessiga.



Joonis 17. Töömahu ja kulu graafik erinevates projekti etappides. Allikas: Patrick MacLeamy, 2004

Projekti visualiseerimine

Projekti kavatsuste selge kommunikatsioon varaseimas staadiumis on alati kasulik. 3D mudeliga suureneb projekti loetavus. Varem pidi inimene, kes ei osanud 2D jooniseid lugeda, projekti täielikuks mõistmiseks ootama hoone maketi (prototüübi) valmimiseni. 3D mudeliga saab hoonest traditsiooniliste vaadete kõrval teha väga realistlikke pilte. Seega saavad projektist aru kõik, kes selle vastu huvi tunnevad. (3D CADCEA Ltd, 2007)

Tellijal, kelle jooniste lugemisoskus ei ole kõige parem, saab parema ülevaate hoone 3D mudelist. 3D mudel võimaldab hoonet vaadata igast suunast, käia mudelis sees ning hinnata hoone värvivalikut ja sobivust ehituskohta maastikku ja naabreid arvestades. Nii saab tellija mitte ainult hea ülevaate hoonest väljast, vaid ka arusaama, millised hakkavad välja nägema siseruumid. Lisaks annavad hea ülevaate erinevad analüüsid ja simulatsioonid.

BIM mudelit saab kasutada projekti visualiseerimiseks igas staadiumis ja selle igalt vaatepunktist on võimalik saada ruumilist infot. Projekti iga objekti või täpsustatud vaate kohta saab välja võtta täpsed joonised. Tehes mudelile muudatusi, on kohe peale nende sisestamist võimalik saada uued joonised. See võimalus vähendab märkimisväärselt ajakulu ja vigade hulka, mis kaasnevad ehitise jooniste tegemisega igal erialal. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Üldiselt on BIM mudeli kasutamine märgatavalt vähendanud töövõtjal esinevaid küsimusi, mis puudutavad projekti kokkulangevust joonistega ning projekteeritud elemendid ei vaja täpsemat selgitamist. See vähendab projekti juhtimiseks kuluvat aega. Samuti aitab see vältida projekti pikenemist ja vähendab viivitusi. (Smith, 2012)

Automaatne mudelipõhine jooniste genereerimine

Virtuaalne 3D hoone mudel on kõigi 2D ja 3D jooniste allikaks. See elimineerib 2D jooniste vigade põhjustatud probleemid. BIMi mudel on objektipõhine. Tehes objektis muudatusi, leiab see aset kohe kogu mudeli ulatuses. See säästab oluliselt ümbertegemisele kuluvat aega. 2D jooniste puhul tuleb muudatus käsitsi läbi viia igas vaates eraldi. (3D CADCEA Ltd, 2007)

3D mudel on vaba objektide joonduse ja ruumilise paiknemise vigadest. Mõned uuendused toimuvad parameetrilistest reeglitest lähtudes automaatselt, teisi saab kontrollida ja uuendada visuaalselt või läbi vastuolude kontrolli. Muudatus on mudelis ja kõigis vaadetes täpselt kajastatud. Lisaks on BIMi toetavate tarkvaradega projekti muudatusi võimalik kiiremini lahendada, sest muudatusi saab jagada, visualiseerida, hinnata ja lahendada ilma aeganõudva paberivahetuseta. Paberipõhiste süsteemide uuendamisel on suur oht vigade tekkeks. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Töö kvaliteedi tõus

Kasutades analüüsi/simulatsiooni tarkvara, saab varakult hinnata ehitise erinevaid konstruktiivseid alternatiive ja seeläbi tõsta ehitise üldist kvaliteeti (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011). 3D projekteerimisega tõuseb töö kvaliteet, sest mudelilt saab rohkem infot kui 2D joonistelt. Selle tulemusena vähenevad 2D joonistamisega tekkivad inimlikud vead. Probleemid, nagu objektide vastuolud, valed kogused või mitteühilduvad osad, olid sagedasemad, kuna ainult 2D joonistega töötav projekteerija pidi liiga palju infot meeles pidama ja hoonet endale ise ette kujutama. (3D CADCEA Ltd, 2007)

Materjalide koguste arvutamine

Terviklik hoone mudel näitab enamuste (sõltuvalt modelleerimise tasemest) projektis olevate materjalide ja objektide täpsed kogused. Neid koguseid, kirjeldusi ja andmeid saab kasutada materjalide hankimiseks nii toodete tarnijatelt kui ka alltöövõtjatelt. Selline objekti defineerimine ei ole võimalik kõigi materjalide puhul, kuid paljude puhul (teraselemendid, monteeritavad betoonelemendid, mõned mehaanilised komponendid, mõned aknad ja uksed) on tulemused olnud väga kasulikud. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Kulude prognoos

Enne kui omanik palkab arhitekti, tuleb otsustada, kas soovitud suuruse, kvaliteedi ja ruumijaotusega hoonet on võimalik antud raha ja ajaga ehitada. Kui hoone vastab omaniku finantsilistele võimalustele, võib omanik edasi minna mõttega, et tema eesmärgid on saavutatavad. Ei ole kasulik kulutada ressursse kavanditele, mis ületavad eelarve. Lisades ligikaudsele hoonemudelile maksumuse andmed, tõuseb kavandi väärtus omaniku jaoks suuresti. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

BIM tehnoloogia suudab igal projekteerimise etapil mahtude ja pindade põhjal luua täpse kulude prognoosi. Varases projekteerimise järgus toimub kulude hindamine valemite, mis võtavad arvesse olulisi projekti mahtusid, näiteks parkimiskohtade arvu, pinna tüübist (näiteks büroopind) sõltuvat pindalakulu või pindalapõhist ühiku maksumust, põhjal. Projekti edenedes selguvad täpsemad mahud, mida on võimalik kasutada detailsema maksumuse hinnangu loomiseks. Kõiki osapooli on võimalik kaasnevate kuludega kursis hoida juba enne, kui lahendus jõuab täpsustada ehituse pakkumise loomiseks nõutava tasemeni. Projekteerimise viimases etapis loodud kalkulatsioon, mis põhineb mudeli kõikide objektide mahtudel, võimaldab luua täpse hinnangu lõpliku maksumuse kohta. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

5D BIM mudel ühendab mudeli maksumushinnanguga. Nii kajastuvad kõik projekti muudatused koheselt eelarves. Teisisõnu 5D mudel võimaldab arhitektidel, töövõtjatel ja inseneridel mudeliga tööd teha nii, et maksumushinnang muutub automaatselt peale igat muudatust projektis. (Salih, 2013)

Projekti osapoolte sujuvam koostöö

BIM tehnoloogia hõlbustab projekti osapoolte samaaegset töötamist. Tööd on võimalik teha ühtse serveris paikneva faili baasil, kuhu iga osapoole muudatus kohe sisse läheb ja alati viimase projektiversiooniga tegemist võimaldab. Kõigi valdkondade mudelid on võimalik koondada ja neid võrrelda. Koostöö saab toimuda ka traditsiooniliste joonistega, kuid töö ühe või mitme koordineeritud 3D mudeliga on palju lihtsam ja kiirem, sest muudatuste haldamine on hästi juhitud. Samuti annab see varem aimu probleemidest ja loob võimaluse projekti pidevalt täiustada. Valdkondade vahelisi liideseid on lihtne nii süstemaatiliselt kui ka visuaalselt kontrollida ning konfliktid ja ehituslikud vead avastatakse juba enne ehitama asumist. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

BIMi toetavat tarkvara kasutades on meeskonnal projekti nõuetest parem ülevaade ja võimalus projekti arenedes teha maksumuse väljavõtteid. See võimaldab projekti ja maksumust paremini mõista ning väldib paberivahetust ja sellega kaasnevat viivitust. Kõik see kiirendab ehitusprotsessi, vähendab kulusid ja õigusvaidluste tõenäosust ning tagab terve projekti meeskonna sujuvama töö. 3D mudel lühendab projekti loomise aega, vähendab märgatavalt vigu ja puudujääke. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Ajakava

4D ehitamise planeerimine nõuab ehitamise plaani ühendamist projekti objektidega mudelis. Nii on võimalik simuleerida ehitusprotsessi ja näidata, kuidas näevad välja hoone ja ehitusplats soovitud ajahetkel. See graafiline simulatsioon annab hea ülevaate, kuidas hoonet päevast-päeva ehitada, paljastab võimalike probleemide allikad ja loob võimalusi täiustuste tegemiseks (ehitusplatsil, meeskonnas ja varustuses, ruumilistes vastuoludes ja ohutuse probleemides). Paberdokumendid sellist analüüsi ei võimalda. Lisaks on võimalik saada, lisades mudelisse ajutised ehitusobjektid (toestussüsteemid, tellingud, kraanad ja muud peamised seadmed). Neid objekte saab ühendada ajakava tegevustega ja ehitamise plaanis kajastada. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Projekti kvaliteedinõuete vastavuse kontroll

BIM mudel võimaldab määrata ruumide mahtusid. Hoonete puhul nagu koolid, laborid ja haiglad on projekti nõudmised sageli koguseliselt esitatud, seega on hoone mudelit võimalik kasutada nende nõuete vastavuse kontrollimiseks. 3D mudeliga on võimalik automaatselt kontrollida ka kvaliteedinõuetele vastavust, näiteks ruumide omavahelist kaugust. Tehes hoone detailsele mudelile eelnevalt hoone kavandi, on võimalik paremini otsustada, kas hoone vastab nõutud funktsionaalsetele ja säästvatele nõuetele. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Mudelipõhine komponentide tootmine

Kandes projekti mudeli BIM tootmise tööriista ja täpsustades informatsiooni tootmise objektide detailsuseni, saab mudelilt objektidest täpse ülevaate, mis on piisav nende tootmiseks ja ehitamiseks. Komponentid on juba ruumiliselt määratletud, mis lihtsustab nende automatiseeritud tootmist. Tarnijatel üle maailma on võimalik arendada mudelit, et saada tootmiseks vajalikku informatsiooni. See hõlbustab ehitusplatsivälisest tootmist, vähendab kulusid ja ehitamise aega. Lisaks tähendab BIMi rakendamine väiksemaid paigaldusmeeskondi, kiiremat paigaldust ja ruumikokkuhoidu ehitusplatsil. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Ehitusohutus

Võimalus näha ehituse kulgu ja ehitusega kaasneva võivaid ohte mudelis juba enne ehitamise algust loob parema ülevaate ehitusohutuse seisukohalt. Avastades ohud on võimalik mudelisse modelleerida ajutisi ehitusobjekte, mis aitavad elimineerida neid ohte. Nii saab juba modelleerides arvestada ehitusohutusega ja seega luua ohutum töökeskkond töölistele, mis toob kaasa ohutuma ehituse ja aitab hoida töötajate tervist. (Smith, 2012)

Hoone toimimise ja haldamise info

Ehitusprotsessi käigus peavad peatöövõtja ja eriosade töövõtjad koguma paigaldatud materjalide ja hoones olevate süsteemide hoolduse kohta informatsiooni. Seda teavet saab hoone mudelis objektidega siduda. Nii on võimalik informatsioon omanikule üle anda, et omanik saaks seda oma hoone haldamise süsteemides kasutada. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Hoone mudel on kõigi hoone süsteemide informatsiooni (visuaalse ja tehnilise) allikaks. Eelnevad analüüsid, mille põhjal määrati mehaanilised seadmed ja juhtsüsteemid, saab omanikule esitada. Selle teabe põhjal saab kontrollida, kas kõik hoone süsteemid töötavad korralikult peale ehituse lõppu. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

BIMi toetavad tarkvarad võimaldavad projekteerimise spetsialistidel mudelis näidata oodatava eluea andmeid ja asendamise kulusid. See aitab omanikel paremini mõista kasu, mida on võimalik materjalidesse ja süsteemidesse investeerides saada. Esialgu võib see olla kulukam, kuid kokkuvõttes saavutatakse hoone elutsükli jooksul parem tasuvusaeg. (FM:Systems, 2013)

Hoone mudel, mida on uuendatud kõigi ehitamise käigus tehtud muudatustega, annab täpse ülevaate ehitatud ruumidest ja süsteemidest ning on heaks aluseks hoone haldamisel. BIM annab ideaalse platvormi reaalses toimivate juhtsüsteemide jälgimiseks ja loob sobiva keskkonna anduritele, millega on võimalik kaugjuhitav hoone haldamine. (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011)

Energiasäästlikkuse, jätkusuutlikkuse ja ökonoomsuse tõus

Erinevad analüüsitööriistad loovad hoone kvaliteedi parandamiseks mitmeid võimalusi. Energiaanalüüsi töövahendiga on võimalik hinnata hoone energiavajadust juba projekti varasemates staadiumites. Traditsiooniliste töövahenditega ei ole see väga otstarbekas, sest info sisestamine nõuab aega. 2D protsessis kasutatakse energiaanalüüsi alles projekti lõpus, mis võtab ära võimaluse teha muudatusi hoone energiasäästlikkuse parandamiseks (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011). Samuti vähendab detailsem teave olemasolevatest tingimustest hoone moderniseerimis- ja renoveerimisprojektide kulu ja keerukust. (FM:Systems, 2013)

2.5.2 Riskid

BIMi rakendamisega kaasnevad riskid võib jagada kahte suurde kategooriasse: juriidilised (või lepingulised) ja tehnilised. Esimene risk on puudulik BIM andmete omandiõiguse määratlemine ja vajadus neid andmeid läbi autoriõiguse seaduste ja muude õiguslike kanalite kaitsta. Näiteks, kui omanik maksab projekti eest, siis võib omanikule tunduda, et ta omab seda. Meeskonna liikmed kasutavad projekti, luues ärisaladuse alla kuuluvat teavet ja ka seda infot on vajalik kaitsta. Seega ei ole lihtsat vastust andmete omandiõiguse küsimusele. Selleks, et vältida autoriõiguse küsimuste lahkarvamusi, on parimaks lahenduseks omandiõiguste ja kohustuste sätestamine hankedokumentides (Rosenberg, 2007). See tähendab unikaalset lähenemist igale projektile sõltuvalt osalejate vajadustest. Eesmärgiks on hoiduda takistustest või negatiivsetest stiimulitest, mis ei lase osalejatel mudeli potentsiaali täielikult realiseerida. (Thompson, 2001)

Kui projekti meeskonna liikmed peale omaniku ja arhitekti/inseneri loovad andmeid, mis integreeritakse BIM mudelisse, võivad tekkida litsentseerimise küsimused. Vastuolud võivad tekkida näiteks juhul kui projektid on loodud projekteerija poolt, kes ei oma projekti asukohas litsentsi. (Thompson, Miner, 2007)

Lisaks on lepinguliseks probleemiks mudelisse andmete sisestamise kontroll ja ebatäpsuste eest vastutuse kandmine. BIM mudeli andmete ajakohastamine ja täpsuse tagamine tähendab suurt riski. Enne BIM tehnoloogia kasutamisele võtmist tuleb läbi rääkida olulised punktid, mis kaasnevad teemadega nagu hüvitiste taotlused ja projekteerijate piiratud garantiid ning vastutusest loobumine. Need probleemid toovad kaasa uusi kulusid projekteerimise ja projekti haldamise protsessis. Kuigi neid uusi kulusid võib oluliselt kompenseerida efektiivsuse ja ajakava kasum, on nad siiski kulutused, mille keegi projekti meeskonnast peab kinni maksma. Seega enne kui BIM tehnoloogiat võib täielikult kasutama hakata, ei tule ainult selle kasutamisega kaasnevaid riske identifitseerida ja eraldada, vaid ka tasuda kulu, mis kaasneb BIMi rakendamisega. (Thompson, Miner, 2007)

BIMi integreeritud kontseptsioon hajutab vastutust ja suurendab sellega kaasnevat riski. Võib juhtuda, et ehitise omanik esitab projektis viga märgates hagi. Tekib probleem, kes BIM protsessi panustajatest, kas arhitekt, insenerid või keegi teine, on projektis sisalduva vea eest vastutav. Kui selle kindlaksmääramisele järgnevad erimeelsused, ei ole juhtiv

professionaal nõude esitaja ees mitte ainult seaduslikult vastutav, vaid tal võib tekkida raskusi tõendada teiste (näiteks inseneride) süüd. (Rosenberg, 2007)

Lisades BIM mudelile maksumuse ja ajakava mõõtmete kihte, muutub probleemiks erinevate programmide tehnoloogiliste liideste kasutamine, mis ei pruugi erinevatel osapooltel ühtida. Integratsioon on sujuv, kui all- ja peatöövõtja kasutavad sama tarkvara. Paljud peatöövõtjad nõuavad, et alltöövõtjad esitaksid oma detailse ajakava ja töödele vastava kulude liigenduse enne projekti algust. Peatöövõtja paneb seejärel andmed kokku, loob ühtse ajakava ja kogu projekti kulude jaotuse. Juhul, kui andmed on puudulikud või saadetud erinevatelt tarkvaradelt, peab meeskonna liige (tavaliselt peatöövõtja või ehituse juht) andmed ühtse ajakava ja kulude arvestamise tarkvaras uuesti sisestama ja ajakohastama. See tarkvara võib olla BIMi toetava tarkvara moodul või mõni muu BIM mudeliga integreeruv tarkvara. Praegu on enamik neist projektijuhtimise tööriistadest välja töötatud eraldi. Vastutus kulude ja ajakavade andmete täpsustamise ja koordineerimise osas peab olema lepingus paika pandud. (Thompson, Miner, 2007)

Üks kõige tõhusamaid viise nende riskide vähendamiseks on luua ühine ja integreeritud projekti tarneleping. Leping jagab BIMi rakendamise kaasnevad riskid projektis osalejate vahel koos hüvedega. American Institute of Architects on väljastanud näite BIMi rakendamise kohta, et aidata projektis osalejatel määratleda nende arengukava integreeritud projektide elluviimiseks (Building Design and Construction, 2008). Selline näide võib aidata projektis osalejatel määratleda mudeli juhtimise korraldust, autorsust, omandiõigust ja projekteerimise nõudeid erinevates projekti etappides (Azhar, 2011). Nii on ka Eestis RKAS väljastanud MP juhendi uusima versiooni 2013 aastal.

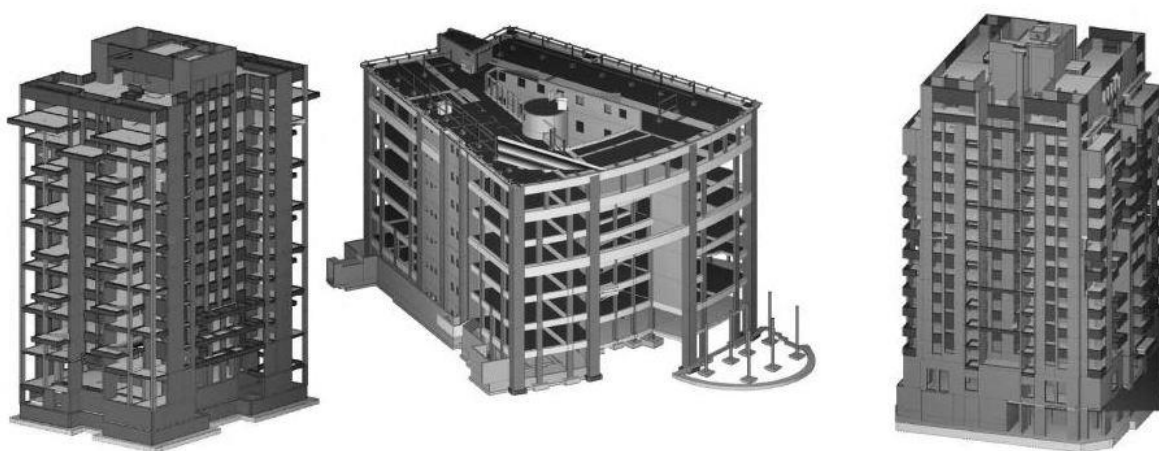
2.6 BIM platvorm vs 2D CAD

On avaldatud mitmeid erinevaid hinnanguid BIMi toetava tarkvara rakendamise mõjust otsesele tootlikkuse kasvule võrreldes levinud 2D CAD projekteerimisega, aga vähe on saadaval salvestatud mõõtmistulemusi. Üks suuremahuline uuring viidi läbi Sacks'i ja Barak'i poolt 2007. aastal. Uuringus loodi tööjoonised ja armatuuri joonised kohapeal valatavate raudbetoon konstruktsioonidega hoonetele (joonis 18) kasutades BIM platvormi parameetrilist modelleerimist, kohandatavat automatiseeritud elementide täpsustamist ja automaatset jooniste ettevalmistamist. Hoonete joonised olid eelnevalt loodud 2D CAD

tarkvaraga ja tunnid, mis töö tegemiseks kulusid, salvestati. Nagu tabelist 1 võib näha, on projekteerimistöodele kuluv aeg vähenenud kolme hoone puhul vahemikus 21 kuni 61 protsenti.

Töö etapp	Töötunnid		
	Projekt A	Projekt B	Projekt C
Modelleerimine	131	191	140
Armatuuri täpsustamine	444	440	333
Jooniste tegemine	89	181	126
3D kokku	664	875	599
2D kokku	1704	1950	760
Vähemine	61%	55%	21%

Tabel 1. Uuringu andmed kolme raudbetoonhoone kohta. Allikas: Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011



Joonis 18. Uuringus käsitletud hoonete A, B ja C mudelid. Allikas: Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011

3. TEGEVUSED

3.1 BIMi rakendused hoone projekteerimisel

3.1.1 Mudelprojekteerimine

Puistee 78 hoone mudel on loodud Autodesk Revit 2012 tarkvaraga. Mudel loodi 2012. aastal TTÜ Tartu Kolledži ehitiste restaureerimise neljanda lennu kursuslaste koostööl õppeaines Arvutigraafika I. Puistee 78 hoone on kolmekorruseline punasest tellisest fassaadikatte, krohvitud sokli ja plekk-katusega rohkem kui sada aastat tagasi ehitatud muinsuskaitse all olev koolihoone. Ehitise peafassaad on klassitsistlikus stiilis ja koosneb keskrisaliidist ning kahest sümmeetriliselt paiknevast külgrisaliidist. Ehitise teisel korrusel on kasutatud neogootilikke elemente. Hoone ehitusalune pind on 452,6 m², suletud netopind 1135,7 m² ja maht 4896 m³. Kuna tegu on olemasolevast hoonest loodud mudeliga, nimetatakse seda inventariseerimismudeliks (Mudelprojekteerimise juhend, 2013). Mudeli tegemisel ei lähtunud RKAS MP juhendist, vaid eesmärgiks oli saada hoonest võimalikult täpne ja visuaalselt sarnane mudel. Hoone modelleerimisel kasutati olemasolevaid jooniseid ja dokumente ning vajadusel mõõdeti ka käsitsi.

Autori ülesandeks oli koos ühe kursusekaaslasega modelleerida hoone kõik trepid. Selleks olid abiks treppide modelleerimise juhendmaterjalid. Treppide modelleerimiseks Revitis tuleb:

1. Avada *Architecture* menüü > *Stairs* > *Stair by Sketch*.
2. Valida *Boundary* ja joonistada trepile sobiva kujuga külje piirid. Piirid ei pea olema paralleelsed ja neid ei tule omavahel ühendada.
3. Järgmiseks valida *Riser* ja joonistada trepi piiride vahele astmed. Astmeid joonistades on näha mitu astet on joonistatud ja soovitatavat astmete arvu. Astmed ei pea olema joonistatud paralleelselt.
4. Sarnaselt saab luua treppidele juurde vahekorruseid ja mademeid.
5. Vajutades nupule *Finish* saab lõpetada treppide modelleerimise. Trepi suunda on võimalik muuta vajutades trepil olevale sinisele noolele.
6. Tarkvara lisab automaatselt loodud trepile juurde käsipuud, mille kuju ja asukohta on võimalik muuta.

Tarkvara võimaldas iga trepi luua eraldi elemendina (ehitiseosa) ja määrata just talle omased parameetrid (nt trepi alguse ja lõpu kõrgused). Trepi erinevatele osadele (marss, made ja käsipuud) modelleeriti neile vastavad kujud, kasutades olemasolevate jooniste mõõte ja kohapeal mõõtmist. Kui treppide kehad olid loodud, omistati neile vastavad materjalid, et saada visuaalselt võimalikult sarnane element. Veel tuli määrata ehitiseosa tüübid (nt trepp, sein, põrand või aken) ja nimi. Töös tehti koostööd seinte ja vahelagede modelleerijatega, et treppide lisamisel lõplikusse mudelisse ei tekiks vastuolusid. Treppide mudelit seinte ja vahelagede mudelitega ühendades sai vastuolud kiirelt ja lihtsalt teada. Tulemuseks olid reaalsele olukorrale vastavate kehade ja sarnaste välimustega trepid (joonis 19), mis sobitusid vigadeta lõplikusse mudelisse.

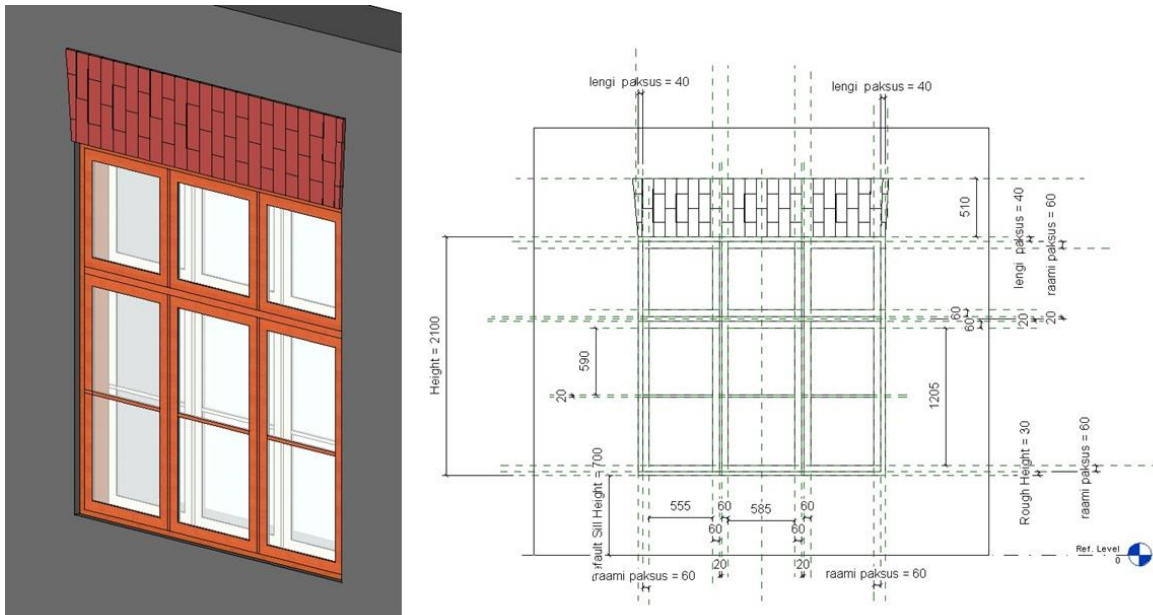


Joonis 19. Puiestee 78 inventariseerimismudeli tänavapoolne trepp (vasakul) ja peatrepp.

Revit võimaldas kõigil kursustel samaaegselt tegeleda kindlate hoone konstruktsioonidega ja keskenduda just neile olulisele informatsioonile ning teha ka koostööd teistega. Revit andis igale tudengile suure valiku tööriistu (joonis 20), millega said kõik neile määratud konstruktsioone modelleerida. Näiteks olen toonud hoone esimese korruse akna (joonis 21). Sarnaselt treppide loomisele toimus teiste ehitiseosade loomine. Töö tegemise kiirendamiseks on valik erinevaid tööriistu (näiteks olemasolevate joonte või elementide lõikamine, pikendamine, kopeerimine ja peegeldamine).



Joonis 20. Reviti modifitseerimise tööriistad.



Joonis 21. Puiestee 78 hoone esimese korruse aken. Allikas: TTÜ TK kodulehekül

Kui kõik hoone elemendid olid modelleeritud, sai need ühendada ühtseks mudeliks. Ühendamine toimus tõrgeteta, kuna elementide loomisel oli tehtud koostööd ja nende mõõdud olid üksteisega kooskõlas. Selline tööde jaotus, kus iga osaline sai tegeleda ühe kindla elemendiga ja sellega kaasnevate probleemidega, võimaldas mudeli väga kiiresti valmis saada. Tulemuseks oli väga reaalne täppismudel olemasolevast hoonest (joonis 22).



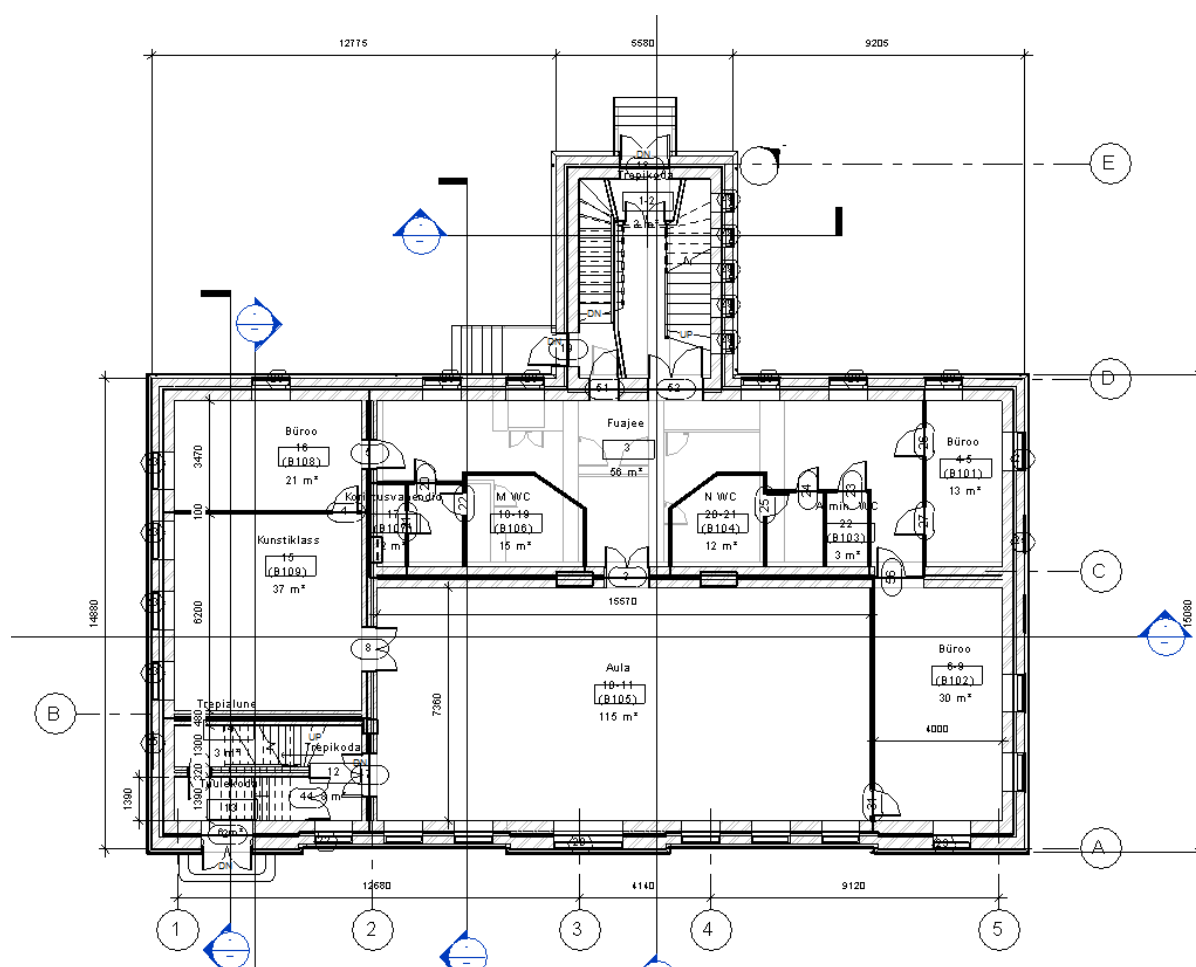
Joonis 22. Puiestee 78 hoone mudel. Allikas: TTÜ TK kodulehekül

Olemasolev mudel on suureks informatsiooni allikaks. Näiteks on võimalik väga kiiresti luua TTÜ haldusosakonna spetsiifilistele soovidele vastav ruumide hetkekasutuse tabel. Seda saab kasutada edasiste näidete puhul ja õpitubadeks. Edasistel näidetel saab mudeli informatsiooni (visuaalsed omadused, mõõdud, mahud ja energeetilised omadused) võtta kasutusse täpselt sellises mahus nagu seda on sisestatud, olemasolevat infot ei ole vaja enam uuesti sisestada. Mudeli toel on korraldatud suurele osale Tartu ja lähikonna koolide gümnaasiumiosa õpilastele ehitusinfo juhtimise õpitubasid. Õpilastele on väga atraktiivne reaalselt ja virtuaalselt samas majas „jalutada“, põneva rakursi all maja ja lõigete pilte genereerida, varjude liikumist nii sees kui väljas uurida eri aasta- ja kellaaegadel, kulgemisteel nähtavast video luua, kiiresti saada maja kasutust iseloomustav energiaarvutus jne.

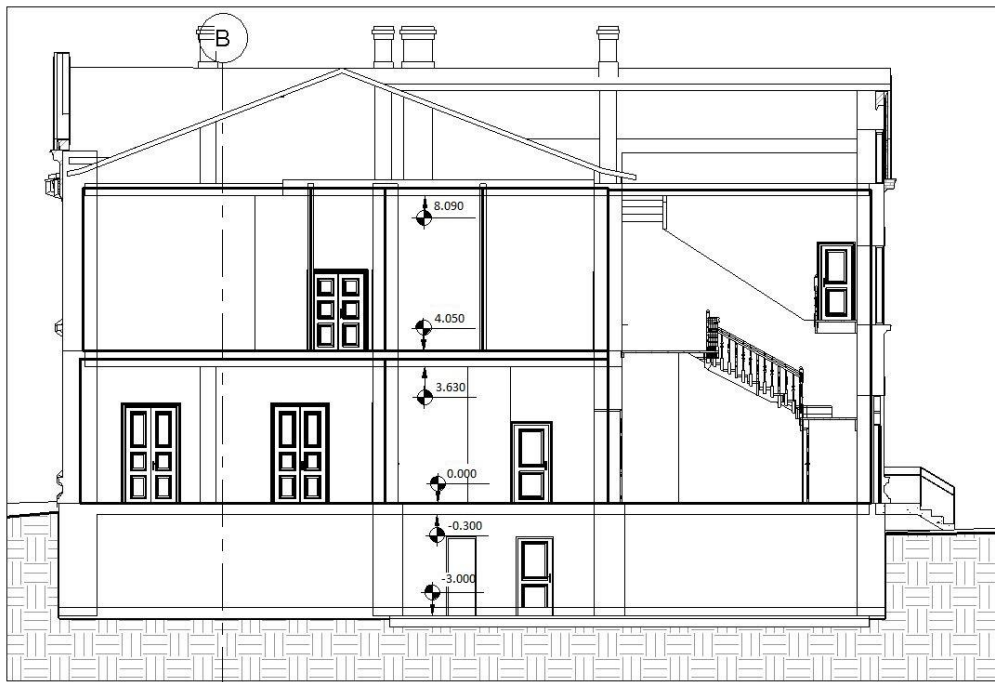
3.1.2 BIMi toetava tarkvaraga projekteerimine ja dokumentatsiooni loomine

BIMi toetava tarkvaraga projekteerimise näited on tehtud Autodesk Revit 2015 tarkvaras Puiestee 78 hoone mudelil. Kui mudel on olemas, saab automaatselt võtta sellelt korruste plaanid ja kasutada neid jooniste (joonis 23) loomisel, millele saab lisada vajalikud mõõtmed ja andmed. Veel saab koostada mahtude ja komponentide tabeleid, mida on võimalik

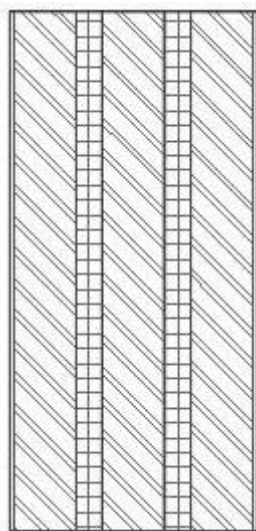
joonistele lisada. Plaanidele saab märkida kohti, kust soovitakse lõikeid. Tarkvara teeb automaatselt mudelis oleva informatsiooni põhjal lõike (joonis 24), millele on võimalik lisada erinevate pindade kõrguseid. Lisaks on võimalik saada erinevate konstruktsioonide lõikeid, näiteks seina lõige (joonis 25). Konstruktsioonide kandevõime kontrollimise tarkvaras (Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014) on võimalik saada täpsed kandekonstruktsioonide joonised (joonis 26). Erinevate vaadete joonised on ka mudeli pealt lihtsasti kättesaadavad (joonis 27).



Joonis 23. Puiestee 78 hoone esimese korruse plaan.

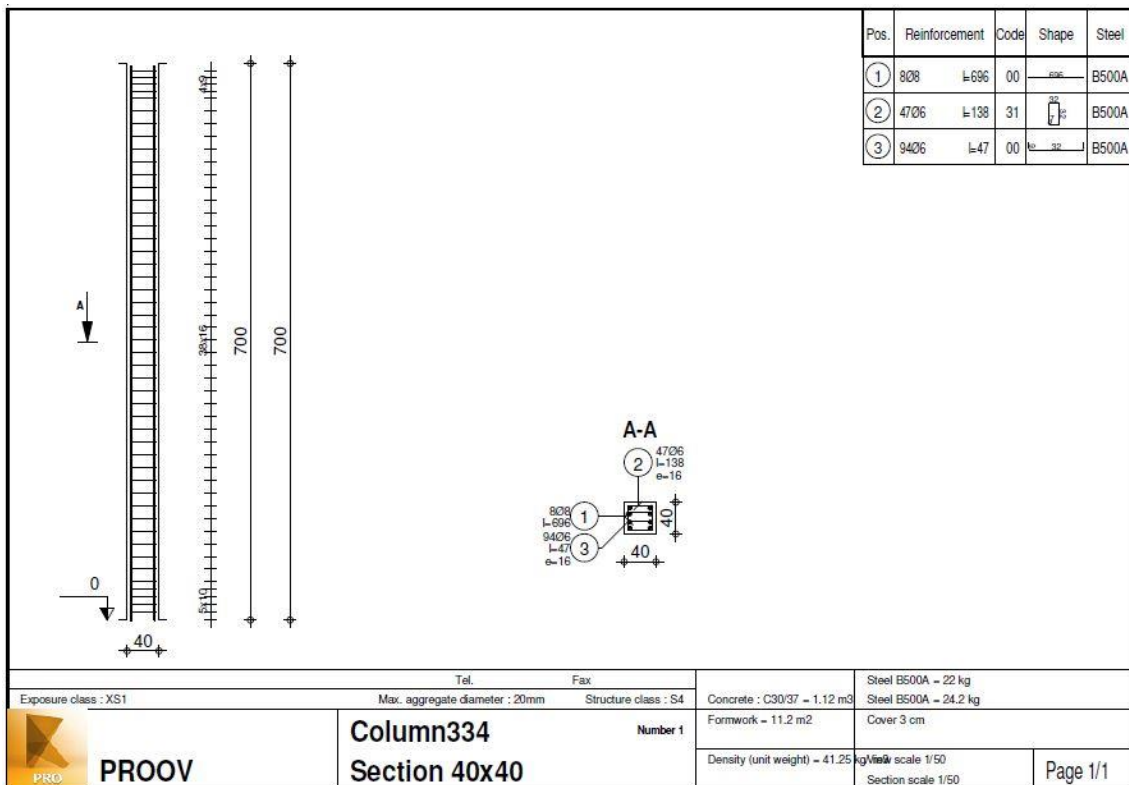


Joonis 24. Puiestee 78 hoone lõige.



Krohv 10mm
 Savitellis 120mm
 Saepuru 50mm
 Savitellis 120mm
 Saepuru 50mm
 Savitellis 120mm
 Krohv 10mm

Joonis 25. Kandva siseseina lõige koos kihtide paksustega.



Joonis 26. Raubbetoonposti armeerimise joonis.



Joonis 27. Puiestee 78 hoone vaade.

Hoonest on võimalik teha ruumilisi visualiseeringuid nii väljast (joonis 28) kui seest (joonis 29). Visualiseeringud loob tarkvara vastavalt valitud konstruktsioonimaterjalidele ja nende visuaalsetele omadustele. Mudelisse on võimalik lisada valgusteid, seega saab visualiseerida hoonet päikese ja kunstliku valgustuse tingimustes nii seest kui väljast päeval ja pimedal ajal

(joonis 30). Tänu 3D mudelile on võimalik hoonet vaadata just selle nurga alt, kust vaataja ise soovib, nii seest kui väljast. Mudelist on võimalik genereerida videoid, mis annavad veel parema ülevaate hoonest. Video salvestamisel on võimalik liikuda ringi ümber mudeli ja mudelis sees, samal ajal muutes vaate kõrgust ja suunda. Töö autor on koostanud lühikese video Puiestee 78 hoone mudelist (Lisa 8 video 1).



Joonis 28. Puiestee 78 hoone visualiseering. Allikas: TTÜ TK kodulehekül



Joonis 29. Puiestee 78 hoone trepikoja visualiseering.

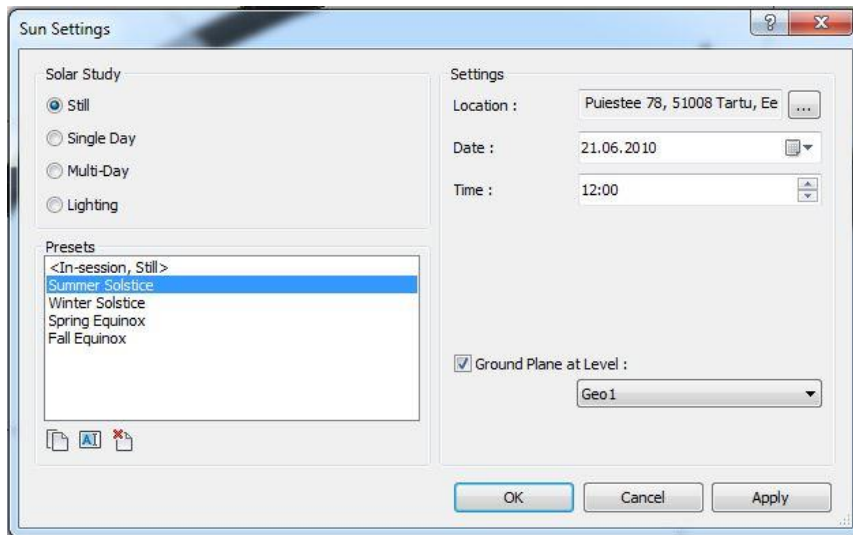


Joonis 30. Puiestee 78 hoone visualiseering pimedas.

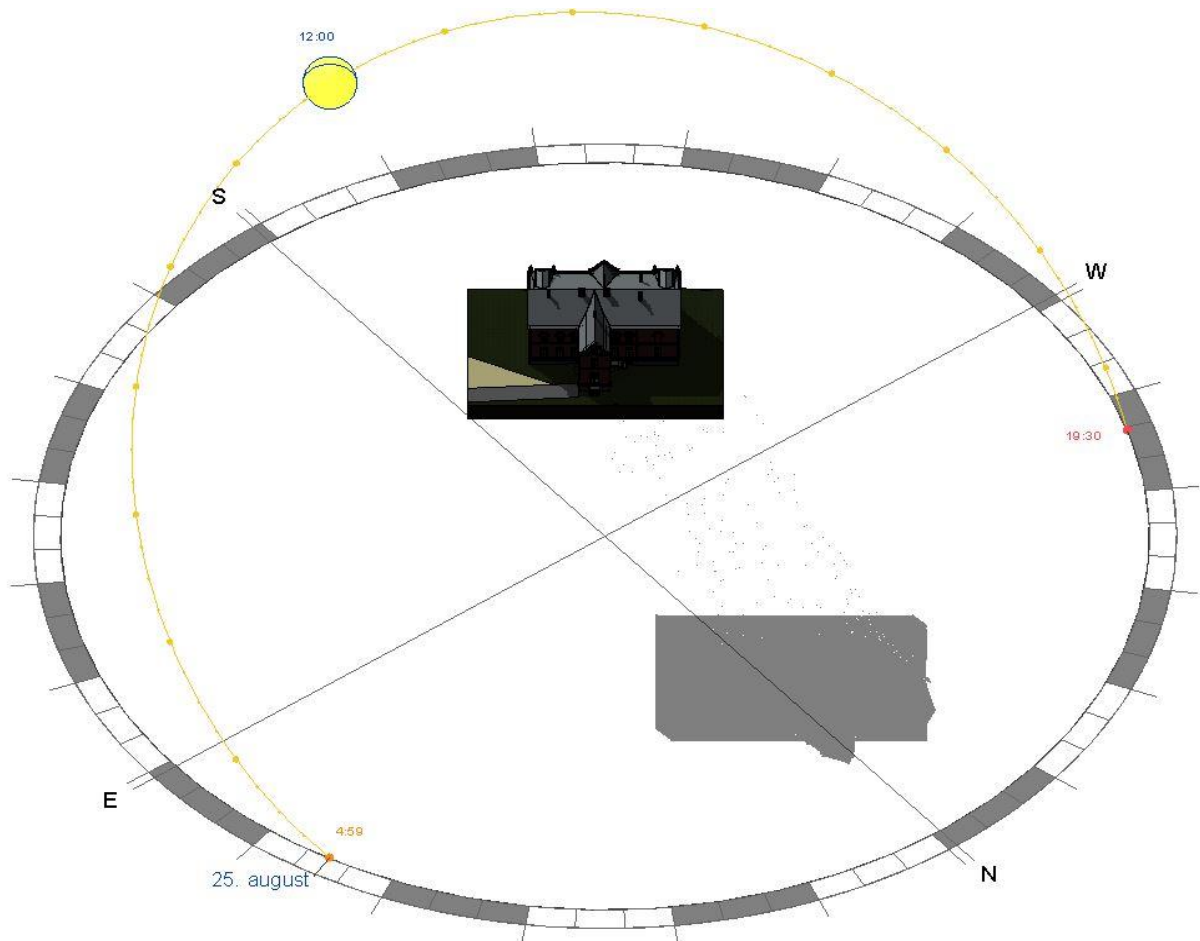
3.1.3 Analüüside ja simulatsioonide tegemine

Päikese liikumise, valguse ja varjude simulatsioon

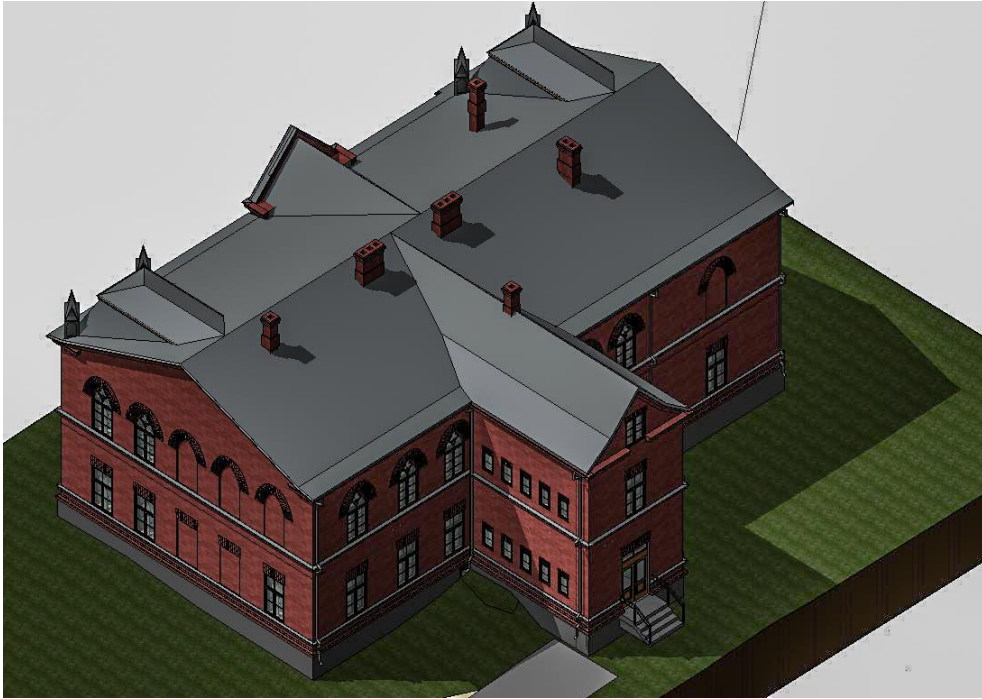
Päikese liikumise, valguse ja varjude simulatsioon on tehtud Autodesk Revit 2014 tarkvaras Puiestee 78 hoone mudelil. Simulatsiooni teostamiseks on vaja sisestada mudelisse hoone asukoha koordinaadid või aadress, soovitud kuupäev ja kellaaeg (joonis 31), millele vastavalt simuleerib tarkvara mudelile päikese, mis valgustab mudelit. Simulatsioon näitab, kust (ilmakaarest) ja millal (täpne kellaaeg) päike tõuseb ja loojub ning vastavalt kellaajale päikese täpse asukoha. Vastavalt päikese asukohale valgustab päike mudelit ja loob varjud (joonis 32). Näiteks toon varjude asetuse suvisel pööripäeval 21. juunil (joonis 33) ja talvisel pööripäeval 21. detsembril (joonis 34). Mõlema näite puhul on kellaajaks valitud 12:00, seega on hea võrrelda valguse olemasolu ja sellega kaasnevaid varje. Suvisel pööripäeval tõuseb Tartus päike kell 3:12 ja loojub 21:17. Talvisel pööripäeval tõuseb päike kell 9:06 ja loojub 15:15.



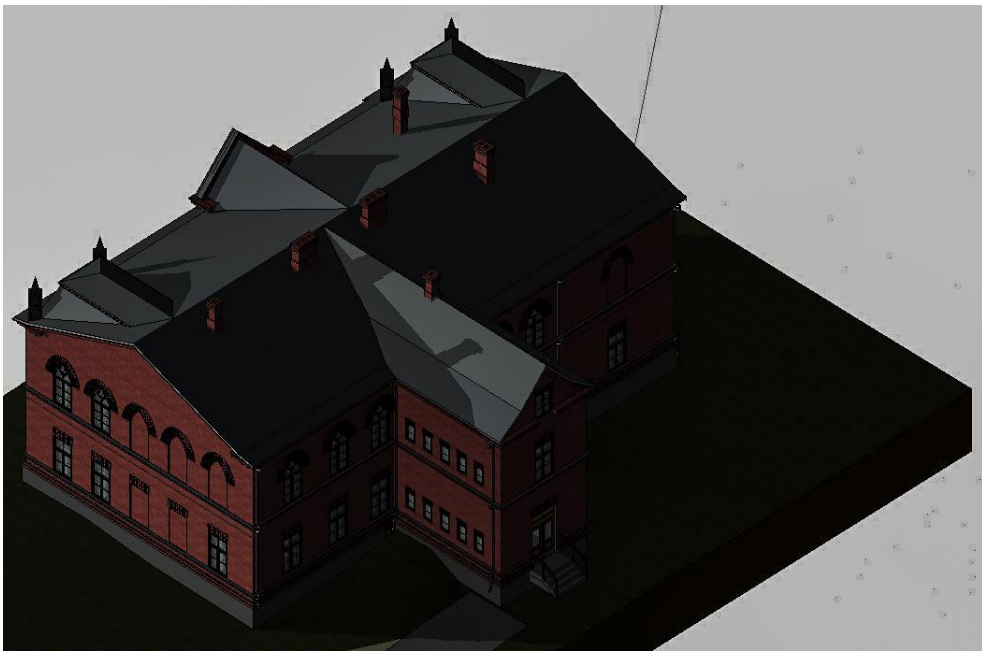
Joonis 31. Päikese seaded.



Joonis 32. Päikesevalguse simulatsioon.



Joonis 33. Suvise pööripäeva valgus ja varjud kell 12:00.



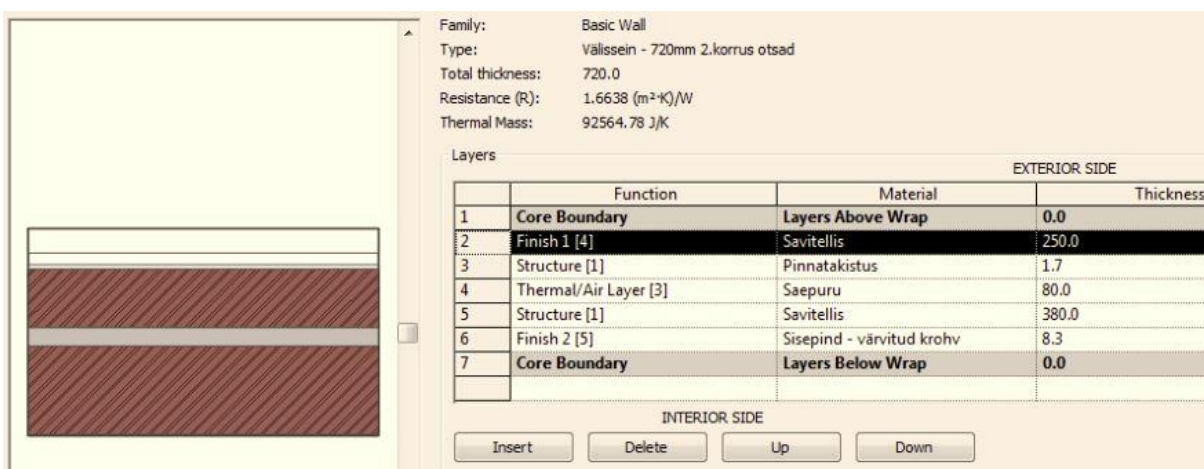
Joonis 34. Talvise pööripäeva valgus ja varjud kell 12:00.

Energiaanalüüs

Energiaanalüüs on tehtud Autodesk Revit 2014 tarkvaras Puiestee 78 hoone mudelil. Hoonesimulatsiooniks vajalikest lähteandmetest saab ülevaate RKAS MP juhendi lisast 2, kus on kirjas vajalikud lähteandmed vastavalt modelleerimisstaadiumitele. Täpsemate analüüsitulemuste saamiseks on vaja määrata akende ja uste analüütilised omadused (joonis 35). Tarkvara võimaldab valida paljude erinevate akende ja uste tüüpide, millele ta automaatselt arvutab vajaminevad omadused, vahel. Lisaks on vaja määrata ka ülejäänud hoone konstruktsioonide (seinad, vahelaed, põrandad ja katus) analüütilised omadused. Nende konstruktsioonide puhul toimub omaduste määramine sarnaselt. Näiteks on võetud sein (joonis 36). Tähtis on määrata seina materjalide kihid ja nende paksused. USA standarditel põhinev tarkvara ei arvuta ise pinnatakistust ning ka see kiht tuleb lisada. Järgmiseks on vaja määrata erinevate materjalide energeetilised omadused (joonis 37), pärast mida arvutab tarkvara automaatselt seina analüütilised omadused. Juhul kui ei ole teada, mis konstruktsioonidega hoone projekteeritakse, on võimalik valida tüüplahendusi (joonis 38).

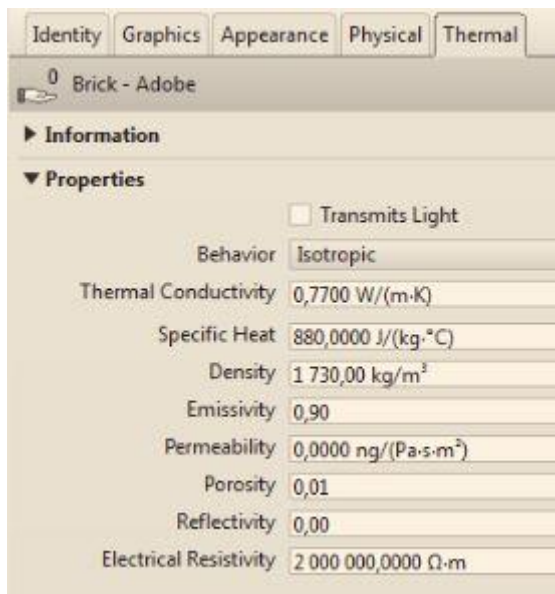
Analytical Properties	
Analytic Construction	Triple glazing - 1/4 in thick - clear/clear/clear glass
Heat Transfer Coefficient (U)	1.5330
Thermal Resistance (R)	0.6523 (m ² ·K)/W
Solar Heat Gain Coefficient	0.610000
Visual Light Transmittance	0.700000

Joonis 35. Akna analüütilised omadused.

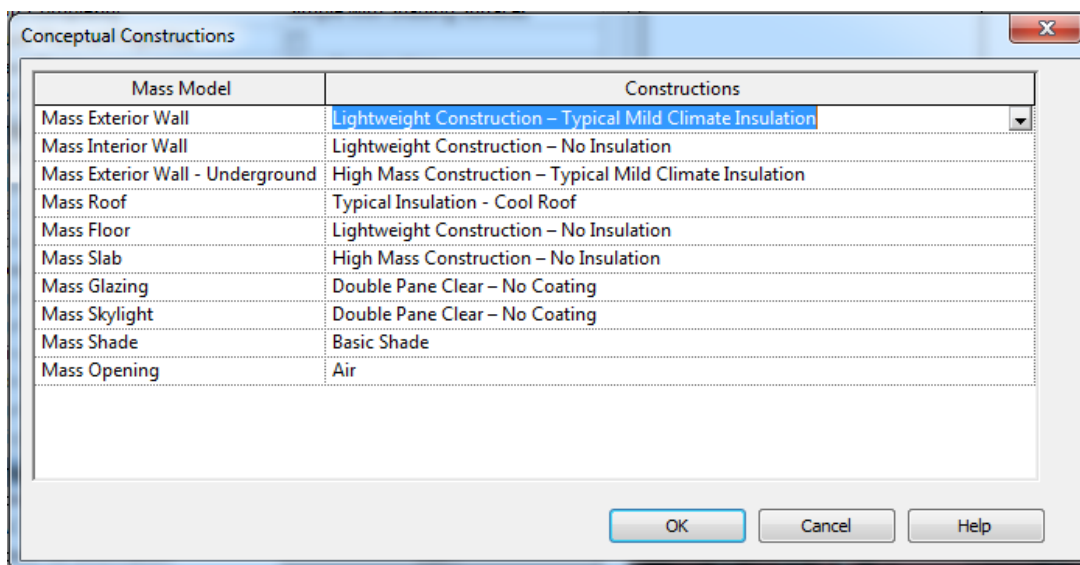


Family: Basic Wall			
Type: Välissein - 720mm 2.korrus otsad			
Total thickness: 720.0			
Resistance (R): 1.6638 (m ² ·K)/W			
Thermal Mass: 92564.78 J/K			
Layers			
EXTERIOR SIDE			
1	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0
2	Finish 1 [4]	Savitellis	250.0
3	Structure [1]	Pinnatakistus	1.7
4	Thermal/Air Layer [3]	Saepuru	80.0
5	Structure [1]	Savitellis	380.0
6	Finish 2 [5]	Sisepind - värvitud krohv	8.3
7	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0
INTERIOR SIDE			
Insert			
Delete			
Up			
Down			

Joonis 36. Seina analüütilised omadused.

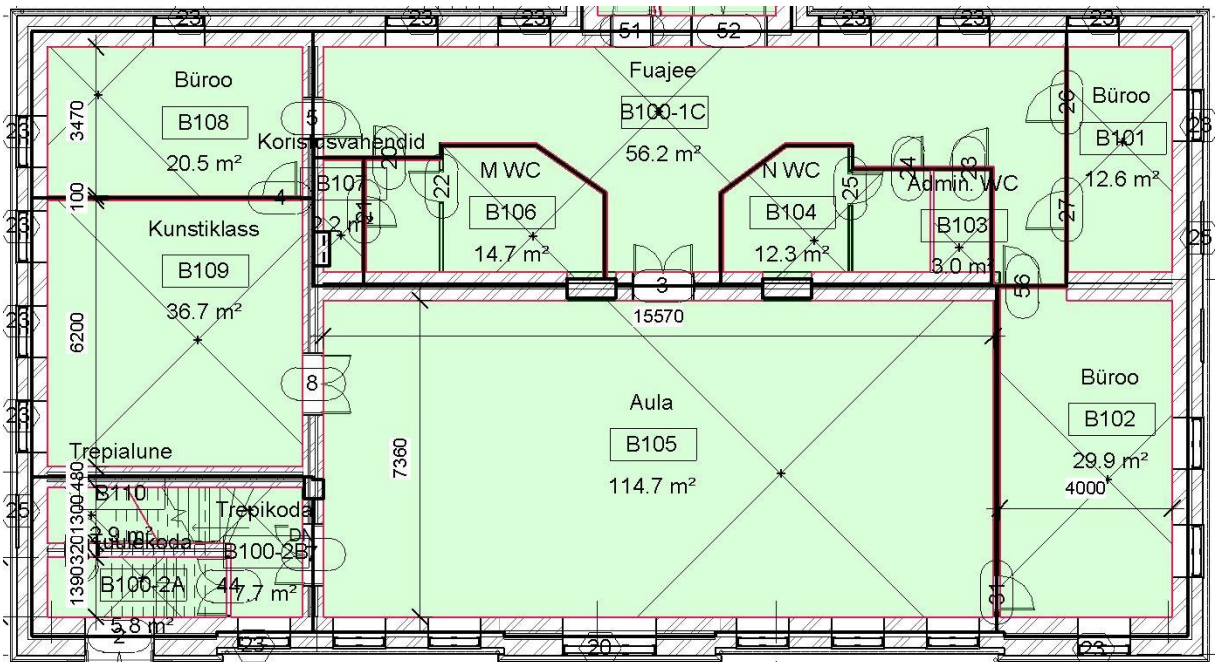


Joonis 37. Materjali energeetilised omadused.



Joonis 38. Konstruksioonide lahendused.

Arvutuste teostamiseks tuleb ära määrata ka ruumobjektid (joonis 39), mida saab teha erinevate korruste põhiplaanidel. Valides mingi ruumi põhiplaanilt, võtab tarkvara automaatselt arvesse seda ruumi piiravaid seinu, aknaid ja uksi. Lisaks on vaja määrata ruumi piirav põrand ja lagi. Ruumobjekt arvestab ainult vaba ruumi pinda. Määratud ruumobjektidele on võimalik anda energiaanalüüsi omadusi (joonis 40). Saab valida, kas ruum on köetav ja ventileeritav ning millist tüüpi ruumiga on tegu. Erinevatele ruumitüüpidele määrab tarkvara automaatselt standardile vastava inimeste arvu (saab ka muuta) ning vajamineva kütte- ja ventilatsioonikoormuse.



Joonis 39. Ruumobjektid.

Energy Analysis	
Zone	2 Korrus Büro
Plenum	<input type="checkbox"/>
Occupiable	<input checked="" type="checkbox"/>
Condition Type	Heated and cooled
Space Type	Office - Enclosed
Construction Type	<Building>
People	<input type="button" value="Edit..."/>
Electrical Loads	<input type="button" value="Edit..."/>
Calculated Heating L...	2002.64 W
Design Heating Load	2002.64 W
Calculated Cooling L...	3243.77 W
Design Cooling Load	3243.77 W

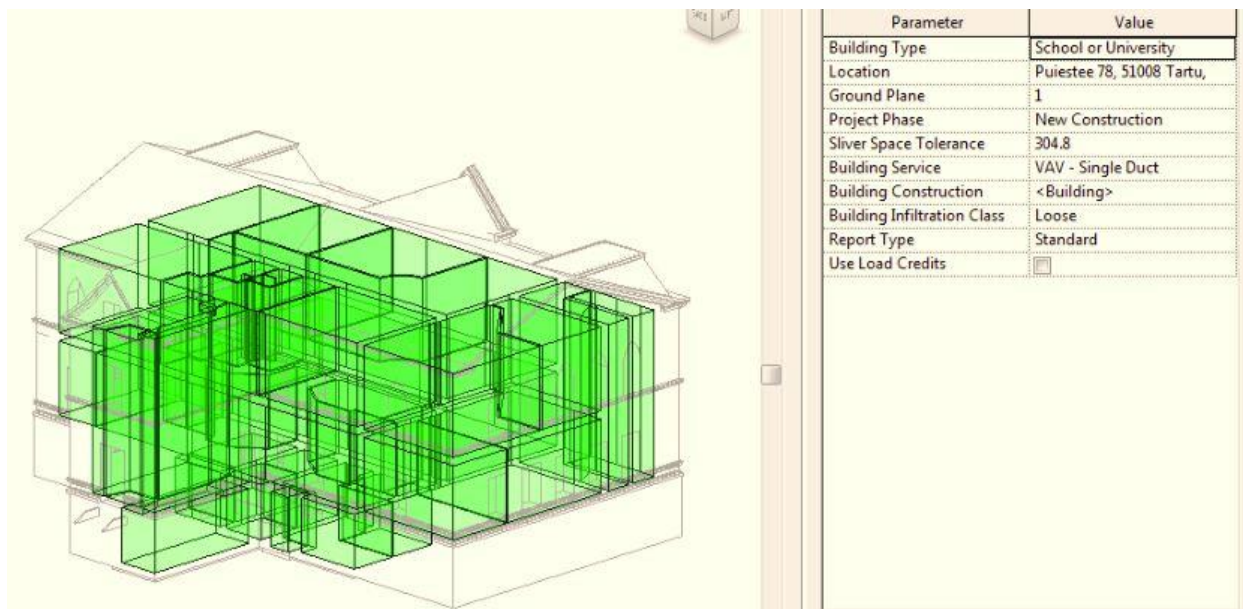
Joonis 40. Ruumobjekti energiaanalüüsi omadused.

Vajalik on seadistada ka energiasätteid (joonis 41). Sealt on võimalik määrata näiteks hoonetüüp, hoone täpne asukoht ning kütte- ja ventilatsioonimasinad. Kui kõik energiaanalüüsi seadistused on tehtud, saab avada kütte- ja ventilatsioonikoormuste akna, mis näitab ära kõik ruumobjektid 3D mudelina, mida energiaanalüüsis kasutatakse, ja üldised energia seaded (joonis 42). Edasi on võimalik teha hoone energiaanalüüs, mille tulemuseks on projekti energiaanalüüsi kokkuvõte (joonis 43), kus näitab ära projekti nime, asukoha, energiaanalüüsi läbi viimise aja ja ka asukohale vastavad temperatuuri näitajad. Veel on ka hoone energiaanalüüsi kokkuvõte (joonis 44), mis näitab ära hoone tüübi, pindala, ruumala ning kütte ja ventilatsiooni koormused. RKAS MP juhendis lisas 3 on välja toodud simulatsiooniarvutused, mis on vajalikud hoone sisekliima ja energiavajaduse

kirjeldamiseks vastavalt modelleerimisstaadiumitele. Lisaks on võimalik ruumobjekte kokku panna tsoonideks ja nii saab informatsiooni ka erinevate tsoonide kohta. Luues massmudeli on võimalus saada kontseptuaalseid analüüsi tulemusi, mille hulka kuulub näiteks CO₂ analüüs.

Parameter	Value
Common	
Building Type	School or University
Location	Puiestee 78, 51008 Tartu, Eesti
Ground Plane	1
Detailed Model	
Export Category	Rooms
Export Complexity	Simple with Shading Surfaces
Include Thermal Properties	<input type="checkbox"/>
Project Phase	New Construction
Sliver Space Tolerance	304.8
Energy Model	
Analytical Space Resolution	457.2
Analytical Surface Resolution	304.8
Core Offset	3600.0
Divide Perimeter Zones	<input checked="" type="checkbox"/>
Conceptual Constructions	Edit...
Target Percentage Glazing	40%
Target Sill Height	750.0
Glazing is Shaded	<input type="checkbox"/>
Shade Depth	600.0
Target Percentage Skylights	0%
Skylight Width & Depth	914.4
Energy Model - Building Services	
Building Operating Schedule	Default
HVAC System	Central VAV, HW Heat, Chiller 5.96
Outdoor Air Information	Edit...

Joonis 41. Energia sätted.



Joonised 42. Kütte ja ventilatsiooni koormused.

Project Summary

Location and Weather	
Project	Project Name
Address	
Calculation Time	15. august 2014. a. 12:43
Report Type	Standard
Latitude	58.39°
Longitude	26.73°
Summer Dry Bulb	28 °C
Summer Wet Bulb	21 °C
Winter Dry Bulb	-23 °C
Mean Daily Range	9 °C

Joonis 43. Projekti kokkuvõte.

Building Summary

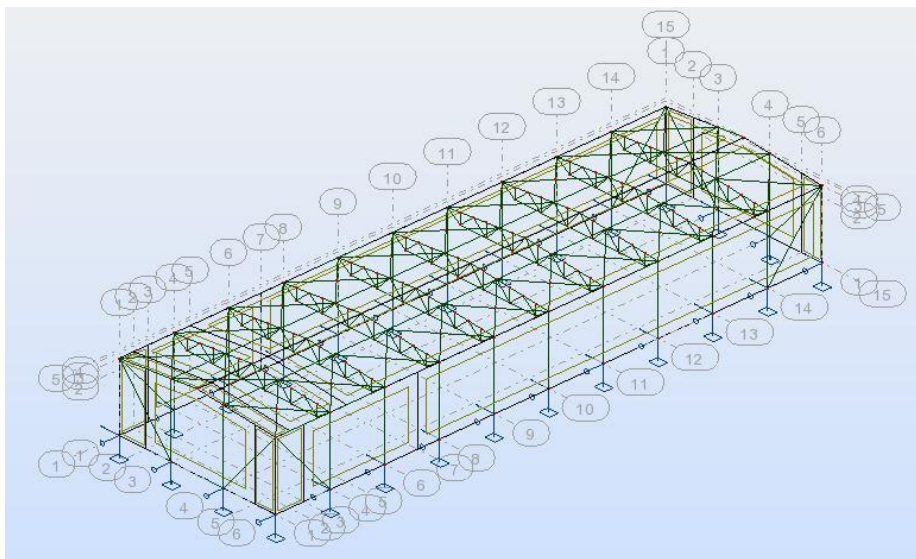
Inputs	
Building Type	School or University
Area (m ²)	709
Volume (m ³)	2,849.31
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	91,434
Peak Cooling Month and Hour	July 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	83,051
Peak Cooling Latent Load (W)	8,384
Maximum Cooling Capacity (W)	102,570
Peak Cooling Airflow (L/s)	6,827.7
Peak Heating Load (W)	58,015
Peak Heating Airflow (L/s)	2,820.9
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	129.03
Cooling Flow Density (LPS/m ²)	9.63
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	74.67
Cooling Area / Load (m ² /kW)	7.75
Heating Load Density (W/m ²)	81.87
Heating Flow Density (LPS/m ²)	3.98

Joonis 44. Hoone kokkuvõte.

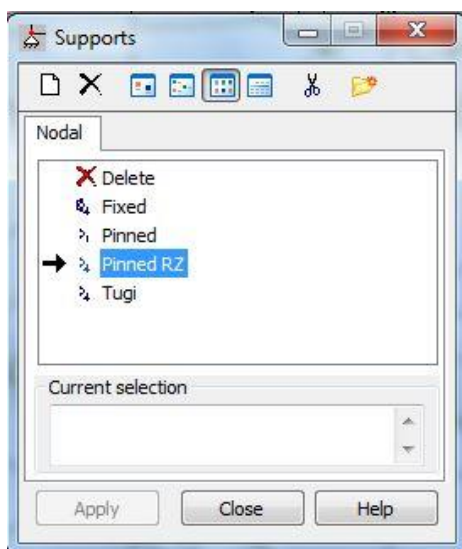
Konstruksioonide kandevõime kontroll

Konstruksioonide kandevõime kontroll on tehtud Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 tarkvaras. Konstruksioonide kandevõime kontrolli näiteks on projekteeritud hoone, mille kandevkonstruktsioonideks on raudbetoonpostid ja terasfermid (joonis 45). Tarkvara võimaldab luua konstruktiivseid mudeleid nii puidust, terasest kui betoonist elementidega. Tarkvaral on erinevatele materjalitüüpidele palju erinevaid eelloodud lahendusi ning on võimalik luua ka oma mõõtmetega elemente. Selleks, et tarkvara saaks arvutada sobivaid minimaalseid ristlõikeid on vaja täpsustada kandevkonstruktsioonid. Teraskonstruksioonide puhul on kasutatud nelikanttorusid ja postide puhul raudbetooni. Tarkvara võimaldab määrata elementidele erinevaid tugesid (joonis 46) ja ka elementide vahelisi liigendeid (joonis 47). Kui postide toed ja elementide vahelised liigendid on määratud, on mudeli põhi valmis. Edasi luuakse arvutuskeemid, kust

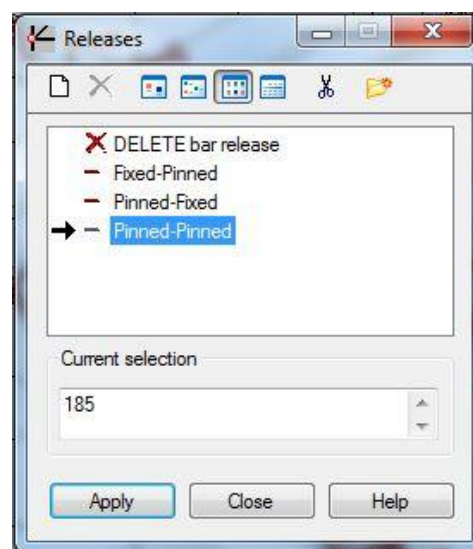
on võimalik näha elementide mõõtmeid, liigendeid ja tugesid, näiteks fermi eestvaade (joonis 48) ja hoone külgsuuna (joonis 49).



Joonis 45. Hoone kandevkonstruktsioonide mudel.



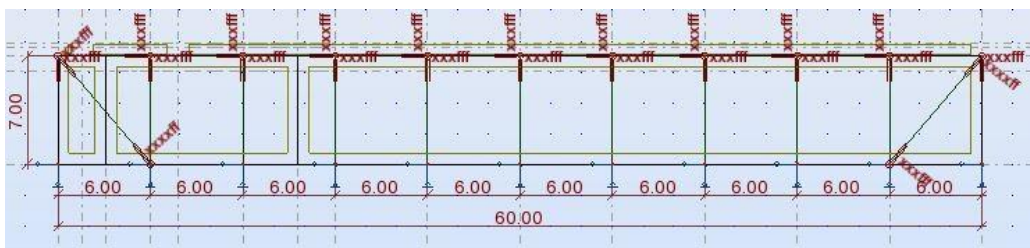
Joonis 46. Toed.



Joonis 47. Liigendid.

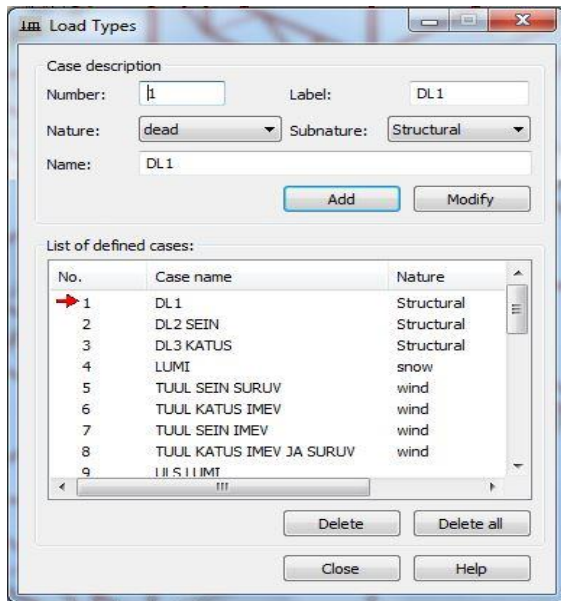


Joonis 48. Fermi eestvaade koos liigenditega ja tugedega.

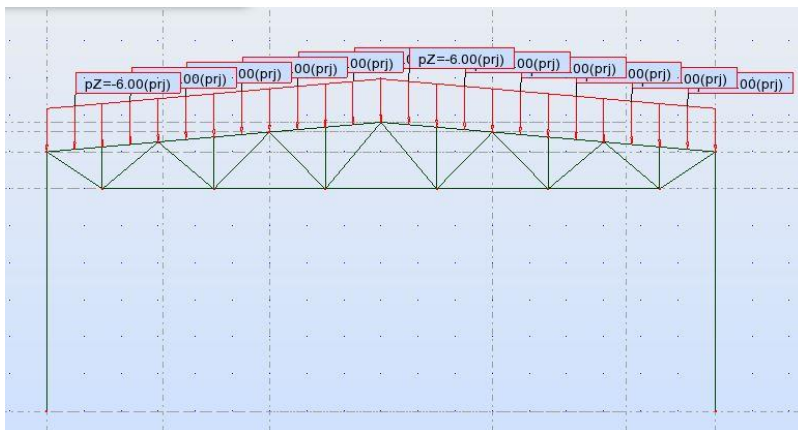


Joonis 49. Hoone külgsaade koos liigendite ja tugedega.

Järgmiseks on vaja konstruktsioonidele lisada kõik neile mõjuvad koormused. Koormuste sisestamisel saab määrata koormustele nime, tüübi, valida mõjuva jõu suuruse ja suuna (joonis 50) ning need omistada vastavatele elementidele. Toon näite lumekoormusest fermidele (joonis 51). Edasi saab sisestada vastavad koormuskombinatsioonid, mis konstruktsioone mõjutavad (joonis 52). Toon näite fermi kandepiiriseisundi kombinatsioon lume ja tuulega (joonis 53). Kui koormuskombinatsioonid on sisestatud, saab hakata konstruktsioonide kandevõimeid kontrollima. Kui mudel on valmis ja koormused määratud, saab stabiilsust kontrollida, et tuvastada, kas koormused on elementidele õigesti määratud, kas kõik liigendid ja toed on õigetel kohtadel ja olemas.



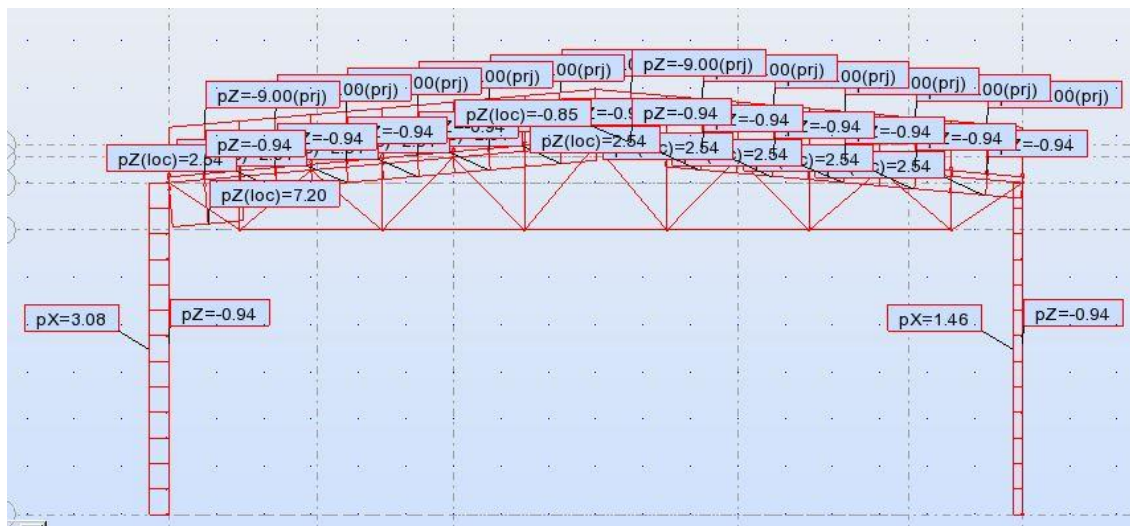
Joonis 50. Koormused.



Joonis 51. Fermile mõjuv lumekoormus.

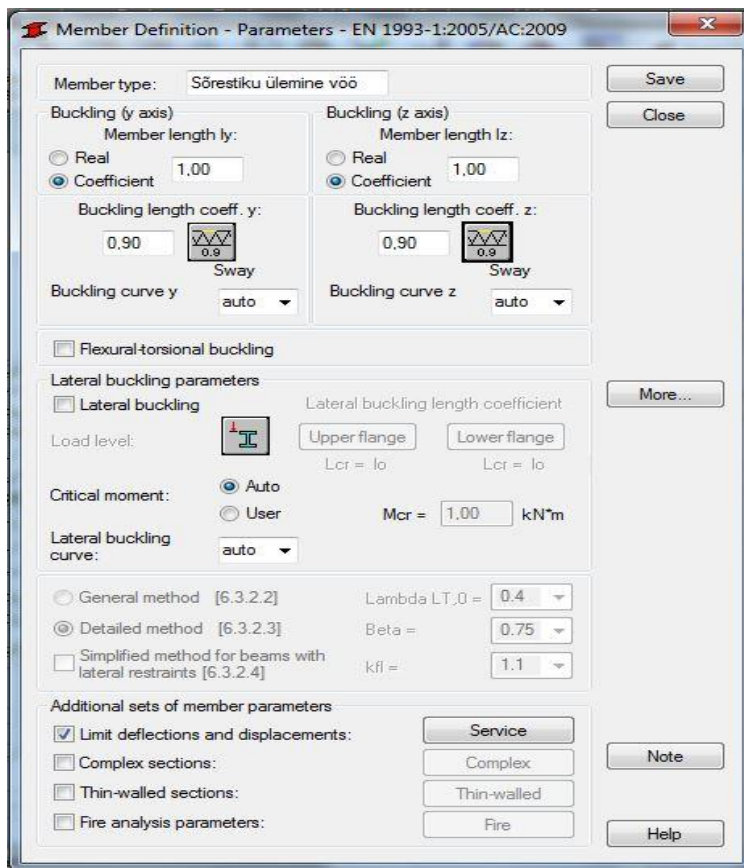
Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
9 (C)	ULS LUMI	Linear Combination	ULS		$(1+2+3)*1.20+4*1.50$
10 (C)	ULS LUMI+tuul katus imev ja suruv	Linear Combination	ULS		$(1+2+3)*1.20+4*1.50+(5+7+8)*0.90$
11 (C)	ULS TUUL katus imev	Linear Combination	ULS		$(1+2+3)*1.20+(5+6+7)*1.50$
12 (C)	ULS TUUL katus imev ja suruv+lumi	Linear Combination	ULS		$(1+2+3)*1.20+4*0.75+(5+7+8)*1.50$
13 (C)	SLS LUMI	Linear Combination	SLS		$(1+2+3+4)*1.00$
14 (C)	SLS LUMI+tuul katus imev ja suruv	Linear Combination	SLS		$(1+2+3+4)*1.00+(5+7+8)*0.60$
15 (C)	SLS TUUL	Linear Combination	SLS		$(1+2+3+5+6+7)*1.00$
16 (C)	SLS TUUL katus imev ja suruv+lumi	Linear Combination	SLS		$(1+2+3+5+7+8)*1.00+4*0.50$
20 (C)	ULS TUUL 90	Linear Combination	ULS		$(1+2+3)*1.20+(17+18+19)*1.50$
21 (C)	ULS TUUL 90+lumi	Linear Combination	ULS		$(1+2+3)*1.20+(17+18+19)*1.50+4*0.75$
22 (C)	ULS LUMI+ tuul 90	Linear Combination	ULS		$(1+2+3)*1.20+4*1.50+(17+18+19)*0.90$
23 (C)	SLS TUUL 90	Linear Combination	SLS		$(1+2+3+17+18+19)*1.00$
24 (C)	SLS TUUL 90+ lumi	Linear Combination	SLS		$(1+2+3+17+18+19)*1.00+4*0.50$
25 (C)	SLS LUMI+ tuul 90	Linear Combination	SLS		$(1+2+3+4)*1.00+(17+18+19)*0.60$
26 (C)	SLS QPR LUMI	Linear Combination	SLS		$(1+2+3)*1.00+4*0.20$

Joonis 52. Koormuskombinatsioonid.

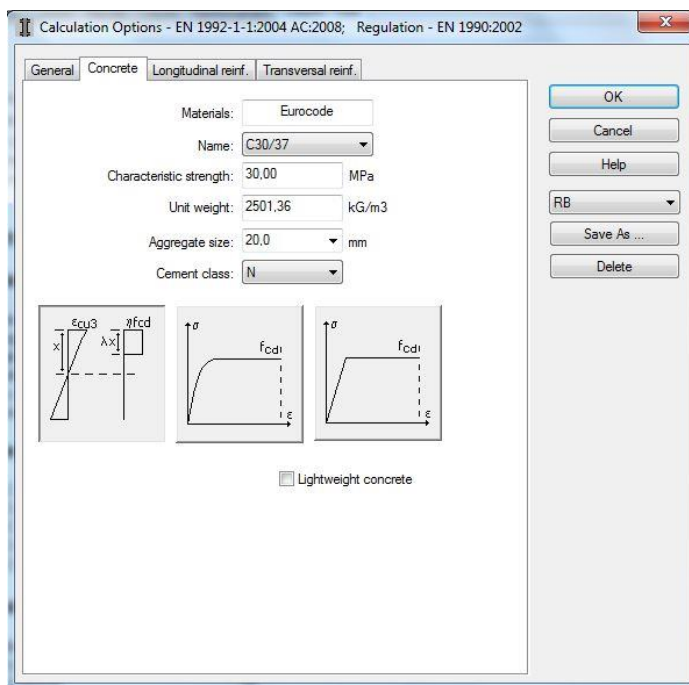


Joonis 53. Fermi kandepiiriseisundi kombinatsioon lume ja tuulega.

Kui stabiilsus on tagatud, saab hakata kandevkonstruktsioone täpsustama. Igale elemendile on võimalik määrata oma ristlõike kuju ja mõõtmed. Sarnased elemendid on võimalik grupeerida, et lihtsustada tööd sarnaste elementide puhul. Elementidele saab määrata vastavalt standarditele materjalide klassid ja erinevatele materjalidele vastavad parameetrid (joonis 54 ja 55), mida tarkvara kasutab kandevõime kontrollimisel. Võimalik on valida eraldi elemente, mille kandevõimet kontrollida ja ka elementide gruppe. Lisaks saab määrata, mis koormusi kandevõime kontrollis kasutatakse. Kui vajalik informatsioon on sisestatud, saab vaadata, kas valitud läbimõõduga elementide kandevõime on tagatud ja kui suurelt ning kui ei ole tagatud, siis kui palju jääb puudu (joonis 56). Kui elemendi kandevõime on tagatud ja sobiv, saab selle elemendi kohta ka täpsemad arvutustulemused (joonis 57).



Joonis 54. Teraselementide parameetrid.



Joonis 55. Raudbetooni parameetrid (üldised, betooni ja armatuuri andmed).

EN 1993-1.2005/AC:2009 - Code Group Verification (ULS) 1to11

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 11 Sõrestiku diagonaalid						
14 Sõrestiku dia	SQUA 50x50x3	S 355	82.78	82.78	0.80	9 ULS LUMI
Code group : 2 Katuse nurgadiagonaalid						
337	SQUA 60x60x3	S 355	184.36	184.36	0.84	10 ULS LUMI+tuul k
Code group : 4 Katuse küljediagonaalid						
470	SQUA 70x70x4	S 355	159.46	159.46	0.87	10 ULS LUMI+tuul k
Code group : 3 Katuse otsadiagonaalid						
489	SQUA 70x70x4	S 355	159.15	159.15	0.77	11 ULS TUUL katus
Code group : 7 Katuse otsatalad						
418 Katuse otsat	SQUA 100x100x6	S 355	158.75	158.75	0.93	10 ULS LUMI+tuul k
Code group : 1 Seinadiagonaalid						
395 Seinadiagon	SQUA 120x120x6	S 355	199.92	199.92	0.92	11 ULS TUUL katus
Code group : 5 Katuse otsa pikijäikussidemed						
361 Katuse otsa	SQUA 80x80x4	S 355	195.16	195.16	0.75	12 ULS TUUL katus
Code group : 6 Katuse keskmised pikijäikussidemed						
356 Katuse kesk	SQUA 90x90x4	S 355	172.27	172.27	0.78	11 ULS TUUL katus
Code group : 8 Sõrestiku alumine vöö						
326 Sõrestiku al	SQUA 70x70x3	S 355	99.47	99.47	0.89	9 ULS LUMI
Code group : 9 Sõrestiku ülemine vöö						
296 Sõrestiku ül	SQUA 80x80x4	S 355	44.08	44.08	0.85	9 ULS LUMI
Code group : 10 Sõrestiku postid						
23 Sõrestiku pos	SQUA 40x40x3	S 355	87.98	87.98	0.17	9 ULS LUMI

Calc. Note Close
Help
Ratio
Analysis Map
Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Joonis 56. Teraselementide kandevõime kontrolli raport.

CODE: EN 1993-1-2:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.
ANALYSIS TYPE: Code Group Verification

CODE GROUP: 9 Sõrestiku ülemine vöö
MEMBER: 296 Sõrestiku ülemine vöö_296

POINT: 1 COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:
Governing Load Case: 9 ULS LUMI (1+2+3)*1.20+4*1.50

MATERIAL:
S 355 (S 355) $f_y = 355.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: SQUA 80x80x4

h=8.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=8.0 cm	Ay=5.87 cm ²	Az=5.87 cm ²	Ax=11.75 cm ²
tw=0.4 cm	Iy=111.04 cm ⁴	Iz=111.04 cm ⁴	Ix=180.44 cm ⁴
tf=0.4 cm	Wply=33.07 cm ³	Wplz=33.07 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N _{Ed} = 251.32 kN	My _{Ed} = -1.44 kN*m	Mz _{Ed} = 0.01 kN*m	
N _{c,Rd} = 417.05 kN	My _{Ed,max} = -1.83 kN*m	Mz _{Ed,max} = 0.01 kN*m	
N _{b,Rd} = 374.73 kN	My _{c,Rd} = 11.74 kN*m	Mz _{c,Rd} = 11.74 kN*m	Vz _{Ed} = 7.24 kN
	MN _{y,Rd} = 6.04 kN*m	MN _{z,Rd} = 6.04 kN*m	Vz _{T,Rd} = 120.38 kN
			Tt _{Ed} = 0.00 kN*m
			Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 1.51 m	Lam _y = 0.58
Lcr,y = 1.36 m	Xy = 0.90
Lamy = 44.08	ky _y = 1.13



About z axis:

Lz = 1.51 m	Lam _z = 0.58
Lcr,z = 1.36 m	Xz = 0.90
Lamz = 44.08	kyz = 0.73

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.60 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.82} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{2.82} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.06 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\lambda_{y} = 44.08 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 44.08 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.85 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

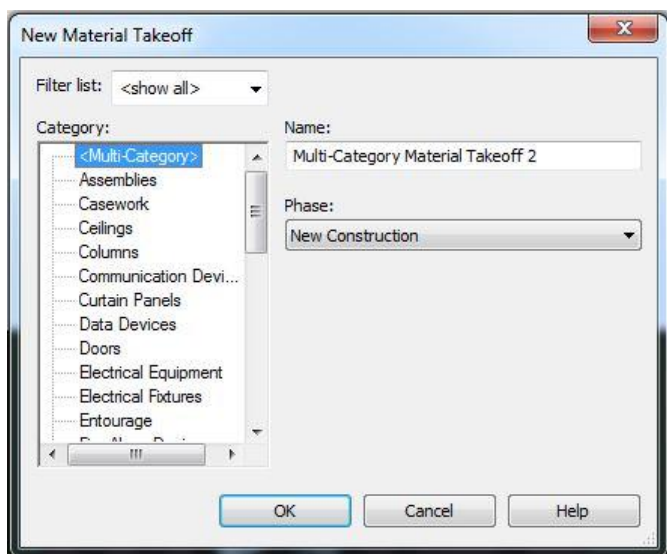
$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.79 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Section OK !!!

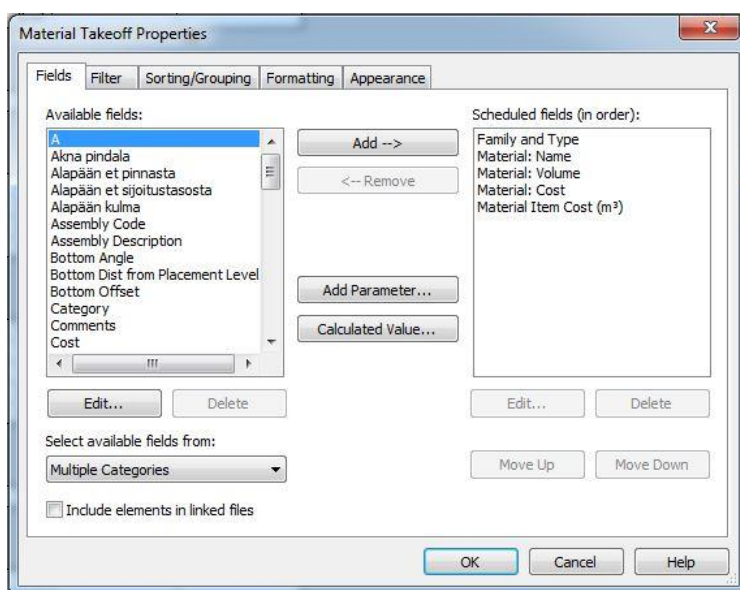
Joonis 57. Teraslemendi täpsed arvutustulemused.

3.1.4 Maksumushinnang

Maksumushinnang on tehtud Autodesk Revit 2014 tarkvaras Puiestee 78 hoone mudelil. RKAS MP juhendis on välja toodud, mis on erinevate modelleerimisstaadiumite maksumushinnangute aluseks. Kui mudel on olemas, saab maksumust hinnata, luues tabeli. Tabelit luues saab tarkvaral lasta automaatselt kokku lugeda materjalide kogused (joonis 58). Tarkvara võimaldab valida kõiki materjalide kategooriaid korraga või ükshaaval. Tervikliku maksumuse saamiseks tuleb valida kõik materjalid. Edasi saab valida, mis väljad luuakse maksumuse tabelisse (joonis 59).

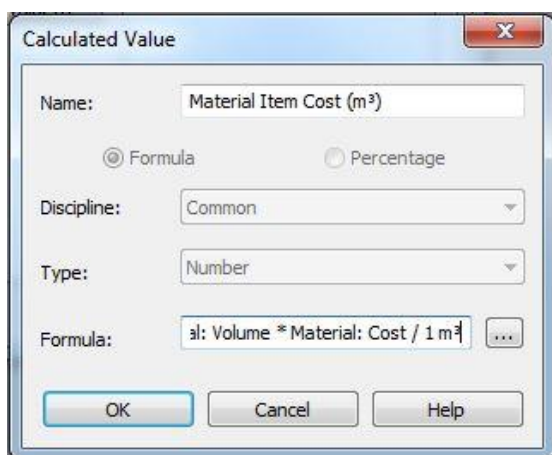


Joonis 58. Materjali koguste arvutamise kategooriad.



Joonis 59. Materjali koguste tabeli seaded.

Võimalike väljade valik on väga suur. Selleks, et saada kompaktne, kuid siiski ülevaatlik maksumuse tabel, valitakse tabelisse neli välja (Perekond ja tüüp, Materjali nimi, Materjali ruumala, Materjali maksumus kuupmeetrile). Lisaks võimaldab tarkvara ka teha ise välja. Tehakse üks lisaväli (Materjali maksumus), mis korrutab väljad (Materjali pindala ja Materjali maksumus kuupmeetrile) ning paremate ühikute saamiseks jagan uue väärtuse läbi ühe kuupmeetriga (joonis 60).



Joonis 60. Lisaväli, mis võimaldab sisestada valemeid.

Lisaks on võimalik luua tabelile filtreid, sorteerida ja grupeerida andmeid, muuta teksti asukohta väljas ja maksumuse välja ühikuid ning ka seadistada tabeli välimust. Kui seadistused on tehtud loob tarkvara tabeli (joonis 61). Tabelis on võimalik anda väljas (Materjali maksumus kuupmeetrile) materjalidele vastavad kuupmeetri hinnad (hind läheb automaatselt pärast esimest sisestamist kõigile sama tüübi materjalidele) ja tabel arvutab materjalide maksumuse (joonis 62). Lisaks arvutab tarkvara sama materjali grupi hinna kokku.

<Multi-Category Material Takeoff>				
A	B	C	D	E
Family and Type	Material: Name	Material: Volume	Material: Cost	Material Item Cost
aknaraam				
teise korruse sisemine aken: teise korruse sise	aknaraam	0 m³		
aknaraam: 1				0€
Aknaraam ja -leng				
Pööningu aken: Pööningu aken	Aknaraam ja -leng	0 m³		
Aknaraam ja -leng: 1				0€
betoon				
iluring: Type 1	betoon	0 m³		
iluring: Type 1	betoon	0 m³		
iluring: Type 1	betoon	0 m³		
iluring: Type 1	betoon	0 m³		
betoon: 4				0€
Concrete				
Stair: Private 2	Concrete	0 m³		
Stair: Private 3	Concrete	1 m³		
Stair: Private 4	Concrete	1 m³		
Stair: Private 5	Concrete	0 m³		
Stair: Private 6	Concrete	0 m³		
Concrete: 5				0€
Concrete 2				
Stair: Private 2	Concrete 2	0 m³		
Concrete 2: 1				0€
Concrete - Cast In Situ 2				
Basic Wall: Piirdesein - 100mm 4	Concrete - Cast In	1 m³		
Basic Wall: Piirdesein - 100mm 4	Concrete - Cast In	0 m³		
Concrete - Cast In Situ 2: 2				0€
Concrete - Cast In Situ 3				
Foundation Slab: 150mm Foundation Slab 2	Concrete - Cast In	1 m³		
Concrete - Cast In Situ 3: 1				0€
Concrete - Cast In Situ 4				
Basic Wall: Piirdesein - 100mm 5	Concrete - Cast In	0 m³		
Basic Wall: Piirdesein - 100mm 5	Concrete - Cast In	0 m³		
Basic Wall: Piirdesein - 100mm 6	Concrete - Cast In	0 m³		
Stair: Monolithic Stair 2	Concrete - Cast In	1 m³		
Stair: Monolithic Stair 3	Concrete - Cast In	1 m³		
Concrete - Cast In Situ 4: 5				0€

Joonis 61. Maksumuse tabel.

Savitellis				
Basic Wall: Kandev sisesein - 480mm	Savitellis	16 m³	250€	3,981€
Basic Wall: Kandev sisesein - 480mm	Savitellis	9 m³	250€	2,158€
Basic Wall: Kandev sisesein - 480mm	Savitellis	18 m³	250€	4,599€
Basic Wall: Kandev sisesein - 480mm	Savitellis	10 m³	250€	2,376€
Basic Wall: Kandev sisesein - 480mm	Savitellis	2 m³	250€	478€
Basic Wall: Kandev sisesein - 480mm	Savitellis	5 m³	250€	1,188€
Basic Wall: Kandev sisesein - 480mm	Savitellis	4 m³	250€	1,037€
Basic Wall: Kandev sisesein - 480mm	Savitellis	1 m³	250€	254€
Basic Wall: Kandev sisesein - 480mm	Savitellis	6 m³	250€	1,598€
Basic Wall: Kandev sisesein - 660mm	Savitellis	37 m³	250€	9,292€
Basic Wall: Kandev sisesein - 660mm	Savitellis	6 m³	250€	1,538€
Basic Wall: Kandev sisesein - 660mm	Savitellis	51 m³	250€	12,701€
Basic Wall: Sisesein - 320mm	Savitellis	3 m³	250€	671€
Basic Wall: Sisesein - 320mm	Savitellis	5 m³	250€	1,133€
Basic Wall: Sisesein - 320mm	Savitellis	3 m³	250€	741€
Basic Wall: Trepikoda1 730mm	Savitellis	8 m³	250€	2,080€
Basic Wall: Trepikoda1 730mm	Savitellis	8 m³	250€	1,909€
Basic Wall: Vundament 480mm	Savitellis	8 m³	250€	2,095€
Basic Wall: Välisein 720mm	Savitellis	33 m³	250€	8,240€
Basic Wall: Välisein 720mm	Savitellis	29 m³	250€	7,291€
Basic Wall: Välisein 720mm	Savitellis	27 m³	250€	6,719€
Basic Wall: Välisein 720mm	Savitellis	12 m³	250€	3,081€
Basic Wall: Välisein 720mm	Savitellis	12 m³	250€	3,060€
Basic Wall: Välisein 720mm	Savitellis	18 m³	250€	4,441€
Basic Wall: Välisein 900mm	Savitellis	11 m³	250€	2,671€
Basic Wall: Välisein 900mm	Savitellis	10 m³	250€	2,518€
Basic Wall: Välisein 900mm	Savitellis	12 m³	250€	2,905€
Basic Wall: Välisein - 2.k trepikoda	Savitellis	22 m³	250€	5,516€
Basic Wall: Välisein - 2.k trepikoda	Savitellis	18 m³	250€	4,500€
Basic Wall: Välisein - 2.k trepikoda ots	Savitellis	16 m³	250€	3,989€
Basic Wall: Välisein - 720mm 2.k. tänavapoolne	Savitellis	14 m³	250€	3,391€
Basic Wall: Välisein - 720mm 2.k. tänavapoolne	Savitellis	13 m³	250€	3,363€
Basic Wall: Välisein - 720mm 2.korrus	Savitellis	35 m³	250€	8,683€
Basic Wall: Välisein - 720mm 2.korrus	Savitellis	22 m³	250€	5,527€
Basic Wall: Välisein - 720mm 2.korrus otsad	Savitellis	52 m³	250€	13,071€
Basic Wall: Välisein - 720mm 2.korrus otsad	Savitellis	46 m³	250€	11,568€
Basic Wall: Välisein - 900mm 2.k. tänavapoolne	Savitellis	12 m³	250€	2,976€
Basic Wall: Välisein - 900mm 2.k. tänavapoolne	Savitellis	15 m³	250€	3,647€
Basic Wall: Välisein - 900mm 2.k. tänavapoolne	Savitellis	4 m³	250€	911€
Basic Wall: Välisein - 900mm 2.k. tänavapoolne	Savitellis	13 m³	250€	3,241€
Basic Wall: Välisein - 900mm 2.k. tänavapoolne	Savitellis	2 m³	250€	460€
Basic Wall: Välisein - trepikoda 720mm	Savitellis	16 m³	250€	3,986€
Basic Wall: Välisein - trepikoda 720mm	Savitellis	9 m³	250€	2,368€
Basic Wall: Välisein - trepikoda 720mm	Savitellis	14 m³	250€	3,543€
Savitellis: 44				171,495€

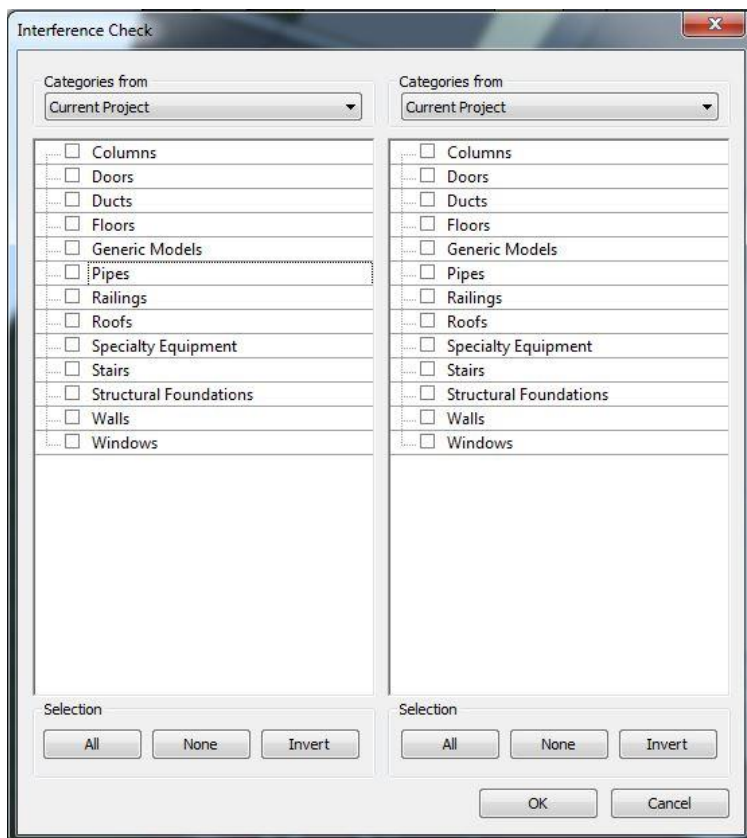
Joonis 62. Savitelliste maksumus.

3.2 BIMi rakendused ehitamisel

3.2.1 Projekti kontrollimine

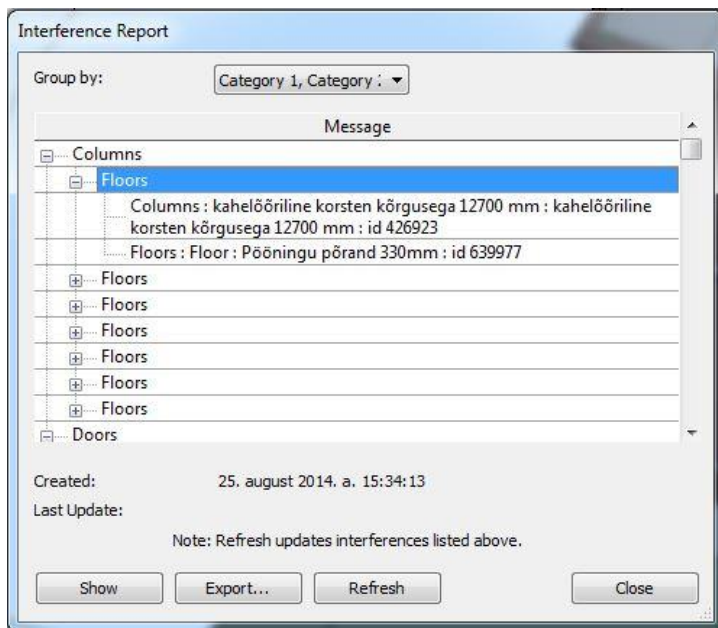
Vastuolude kontroll on tehtud Autodesk Revit 2014 tarkvaras Puiestee 78 hoone mudelil. Avades vastuolude kontrolli akna, on võimalus valida, milliseid projekte (mudeleid) ja konstruktsioonide kategooriaid omavahel kontrollida (joonis 63). Nii on võimalus omavahel

erinevaid mudeleid võrrelda. Näiteks kui ventilatsiooni ja kanalisatsiooni projektid on tehtud eraldi mudelina, on võimalus neid hoone mudeliga võrrelda. Kuna Puiestee 78 hoone mudel on ühe failina, on kontrollitud sama projekti kõigi konstruktsioonide vastuolusid.

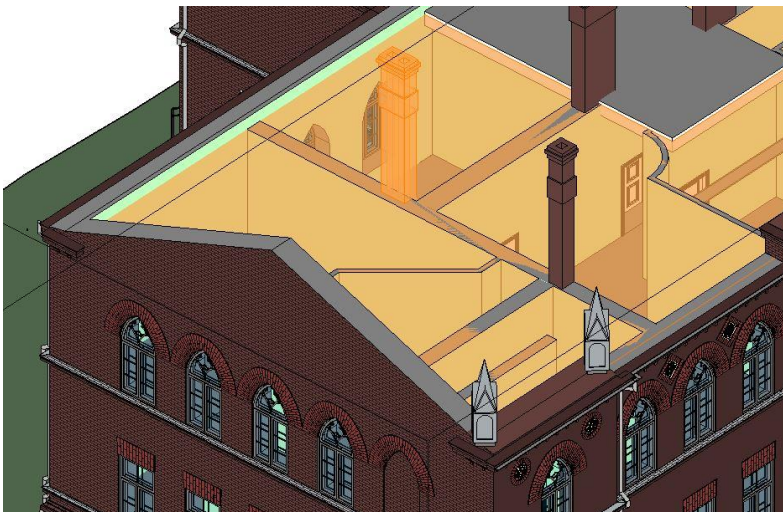


Joonis 63. Vastuolude kontroll.

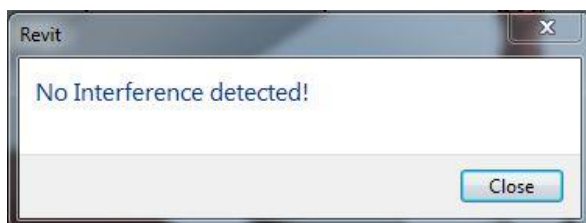
Kui mudelis esineb vastuolusid, tuleb ekraanile nimekiri konstruktsioonidest, mis on omavahel vastuolus (joonis 64). Vajutades nimekirjas olevale vastuolule, on võimalik vaadata täpsemalt, mis on omavahel vastuolus ja mudelis tuuakse antud konstruktsioonid esile (joonis 65). Näiteks on Puiestee 78 mudelis omavahel vastuolus korsten ja pööningu põrand. Kui põranda projekteerimisel korstnaga arvestada, jääb vastuolu olemata ja vastuseks saab, et vastuolusid ei ole (joonis 66).



Joonis 64. Vastuolude raport.



Joonis 65. Esile toodud vastuolus olevad konstruktsioonid (korsten ja pööningu põrand).



Joonis 66. Vastuolusid ei leitud!

3.2.2 Ehitamise planeerimine

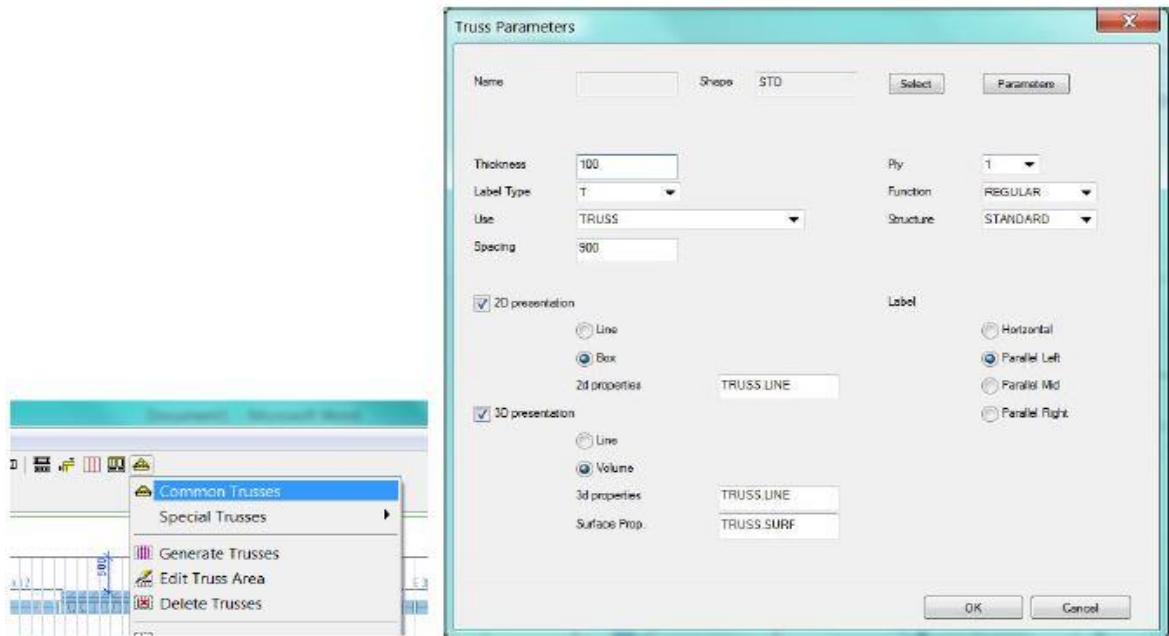
Kasutusel olnud tarkvaraga ei olnud võimalik sobivat näidet luua. Näide ehitamise planeerimise kohta ei ole autori loodud ja selle leiab Lisast 4.

3.2.3 Ehitusplatsiväline materjalide valmistamine

Ehitusplatsivälist materjalide valmistamist võimaldav näide on tehtud Vertex BD tarkvaras. Näite loomisel on kasutatud puitsõrestikelumaja mudelit (joonis 67), mille abil on loodud seinä tootejoonised, et neid oleks võimalik tehases valmistada. Õppematerjalina on kasutatud Vertexi sisest abi. Lisaks on näidatud, kuidas mudelile lisada konstruktsioone (katusesarikad). Mudelile katusesarikate loomiseks on vaja avada katusesarikate loomise aken (joonis 68) ja sisestada sinna vajaminevad sarikate parameetrid. Kui parameetrid on sisestatud, tuleb määrata ala, kuhu sarikad luuakse. Alaks valitakse katust puudutavate seinade piirjooned (joonis 69). Lisaks määratakse sarikate alumine ja ülemine kõrgus. Seejärel loob tarkvara sarikad (joonis 70). Sarikatele saab valida sobiva kuju (joonis 71) ja seejärel ongi sarikad valmis, loomaks neist sarikate tootejoonised. Tootejooniste paremaks ilmestamiseks on need loodud seinä kohta (joonis 72).



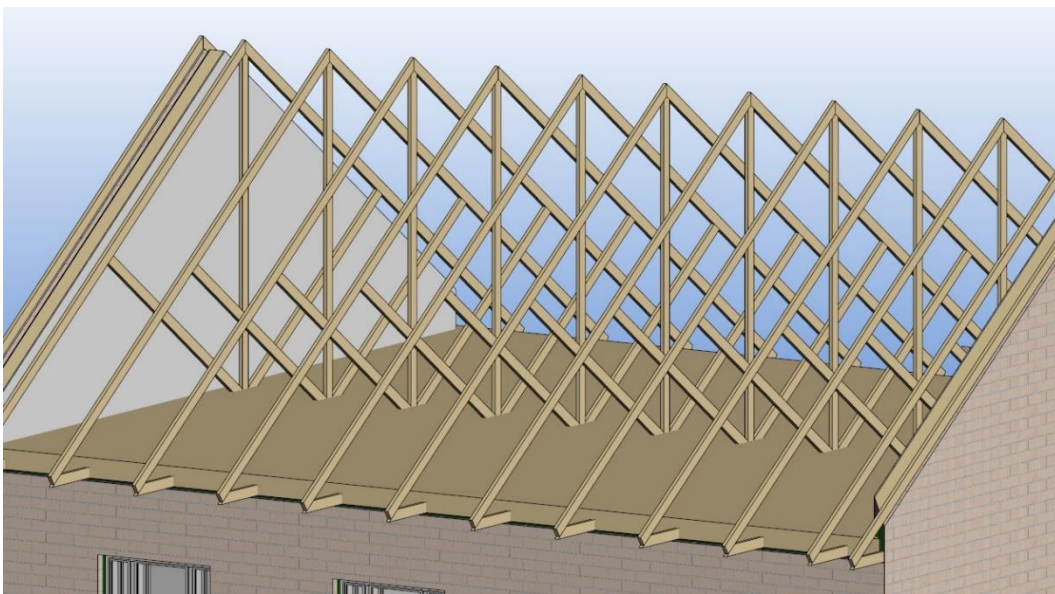
Joonis 67. Elumaja mudel Vertex tarkvaras.



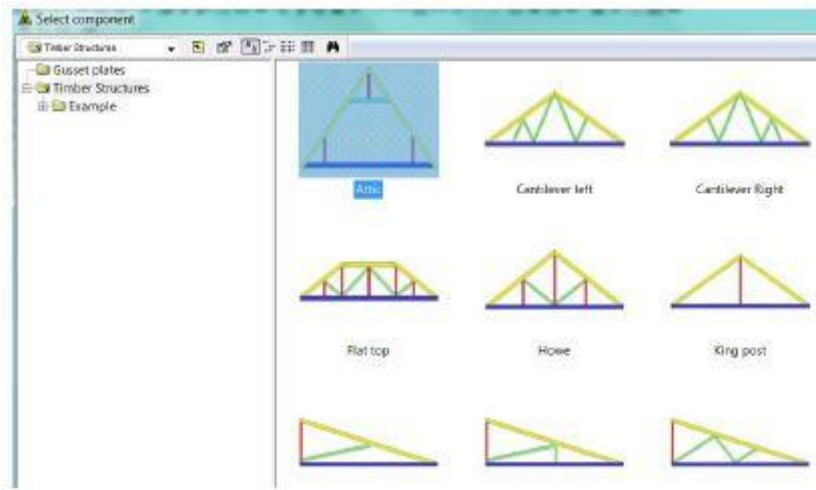
Joonis 68. Katusesarikate loomise aken ja parameetrid.



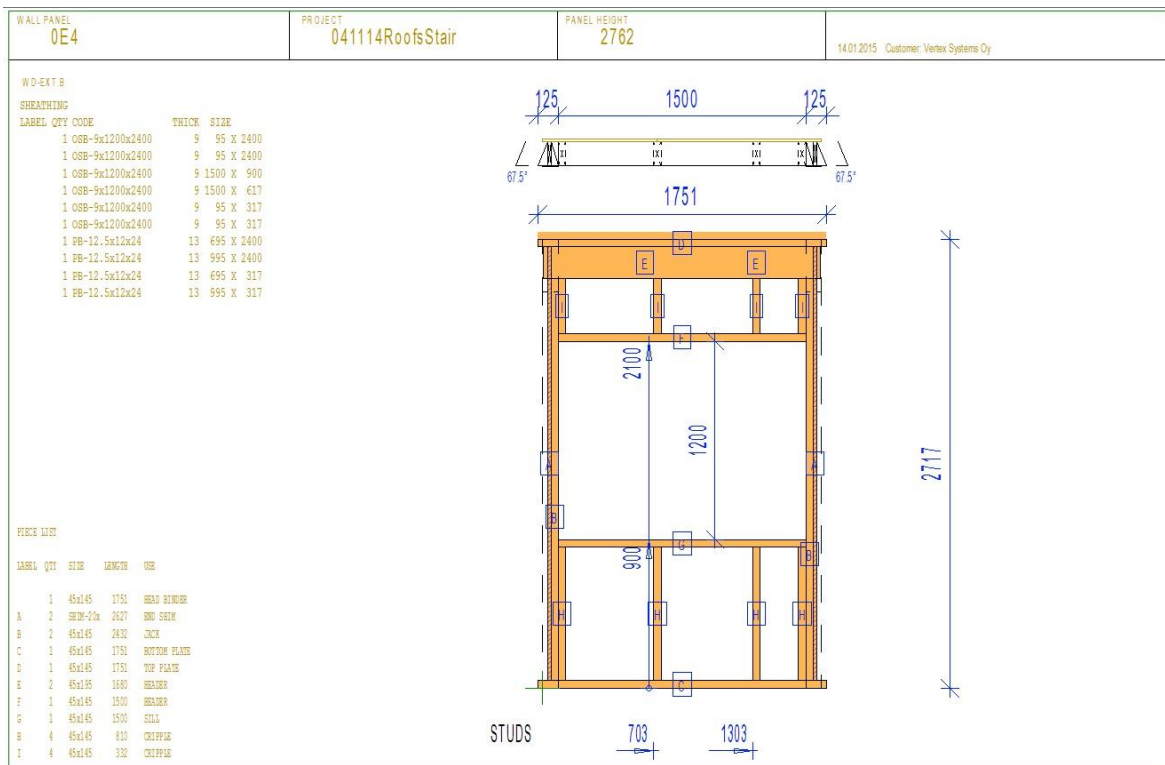
Joonis 69. Katusesarikate ala määramine.



Joonis 70. Katusesarikad mudelis.



Joonis 71. Katusesarikate sobiva kuju valik.



Joonis 72. Seinä sõrestiku tootejoonis.

Ehitusplatsi välise materjalide valmistamise kohta on veel üks näide, mis ei ole autori loodud ja selle leiab Lisast 5.

3.2.4 Ehitusplatsi organiseerimine

Kasutusel olnud tarkvaraga ei olnud võimalik sobivat näidet luua. Näide ehitusplatsi organiseerimise kohta ei ole autori loodud ja selle leiab Lisast 6.

3.3 BIMi rakendused haldamisel

3.3.1 Hoone ja vara haldamine

BIM mudelilt on võimalik saada kerge vaevaga hoone haldamiseks vajaminev informatsioon. Mudelilt saab võtta erinevate pindade pindala või detailide arvu andmed ja koostada tabeleid koos erinevate teenuste kuludega. See loob võimaluse luua ülevaatlikke hoolduskulude tabeleid. Näiteks võib tuua põrandate ja akende hooldamise, mille teostamiseks on pindade pindala vaja või siis ventilatsiooni tehnika hoolduse, mille teostamiseks on vaja masinate arvu ja mudelit.

Kuna hoone mudelile on võimalik liita eriosade mudel, saab terviklikku hoone mudelit kasutada ka rikete tuvastamisel. Näiteks kui hoones on tekkinud veeleke, on omanikul võimalik mudelist vaadata toru asukoht ja võimalikud vee sulgemise kohad selle asemel, et neid ise otsima hakata. Kui on vaja mõni veetoru välja vahetada, saab mudelilt vaadata toru täpse asukoha, andmed ja kõik muu toru kohta vajaliku informatsiooni. Seega on võimalik hooldustööde teostajatel või remontijatel paremini aru saada tööde olemusest ja teostamise kohast, kui koht on kättesaadav, ning ligipääsu võimalusest, kui koht ei ole kättesaadav.

Digitaalne info aitab tööde teostamise meeskonnal ennast olukorraga paremini kurssi viia. Mudelit on võimalik täiustada, kui hoones toimub muutuseid. Mudelisse saab lisada kõik hoones oleva mööbli ja tehnika ning neile andmed omistada (näiteks kasutusjuhendid ja garantii informatsiooni). Ruumides oleva sisustuse (lauad, toolid, lambid või pistikud) täpse arvu teadmine muudab sobiva ruumi otsimise ja haldamise lihtsamaks.

Näiteks olen loonud põrandate hoolduse tabeli Autodesk Revit 2015 tarkvaras Puiestee 78 hoone mudelile (joonis 73). Tabeli loomine käib sarnaselt nagu maksumushinnangu tabeli loomine (3.1.4 Maksumushinnang). Tabel luuakse ruumiandmete põhjal ja lahtrid, mis lisatakse tabelisse on ruumi korrus, number, nimi, põrandakatte tüüp, pindala, lisalahter hooldustöö kulule ja viimaks kalkuleeriv lahter kogu maksumuseks.

<Põrandate hooldus>						
A	B	C	D	E	F	G
Korrus	Number	Nimi	Põrandakate	Pindala	Kulu	Kokku
Kelder						
Plaat						
Kelder	B000-1	Trepikoda	Plaat	13 m ²	1.40€	19€
Kelder	B000-2	Koridor	Plaat	5 m ²	1.40€	7€
Kelder	B001	Riietusruum	Plaat	12 m ²	1.40€	17€
Kelder	B002	Dušširuum	Plaat	6 m ²	1.40€	8€
Kelder	B003	Soojasõlm	Plaat	3 m ²	1.40€	4€
Kelder	B004	Riietusruum	Plaat	17 m ²	1.40€	24€
Kelder	B005	Dušširuum	Plaat	9 m ²	1.40€	12€
Kelder	B006	Tehniline ruum	Plaat	1 m ²	1.40€	2€
Plaat: 8				67 m ²		94€
Kelder: 8				67 m ²		94€
1 Korrus						
Liistparkett						
1 Korrus	B105	Aula	Liistparkett	115 m ²	0.64€	73€
Liistparkett: 1				115 m ²		73€
Linoleum						
1 Korrus	B100-1C	Fuajee	Linoleum	56 m ²	0.32€	18€
1 Korrus	B101	Büroo	Linoleum	13 m ²	0.32€	4€
1 Korrus	B102	Büroo	Linoleum	30 m ²	0.32€	10€
1 Korrus	B108	Büroo	Linoleum	21 m ²	0.32€	7€
1 Korrus	B109	Kunstiklass	Linoleum	37 m ²	0.32€	12€
Linoleum: 5				156 m ²		50€
Plaat						
1 Korrus	B100-1A	Tuulekoda	Plaat	3 m ²	1.40€	4€
1 Korrus	B100-1B	Trepikoda	Plaat	15 m ²	1.40€	21€
1 Korrus	B100-2A	Tuulekoda	Plaat	6 m ²	1.40€	8€
1 Korrus	B100-2B	Trepikoda	Plaat	8 m ²	1.40€	11€
1 Korrus	B103	Admin. WC	Plaat	3 m ²	1.40€	4€
1 Korrus	B104	N WC	Plaat	12 m ²	1.40€	17€
1 Korrus	B106	M WC	Plaat	15 m ²	1.40€	21€
1 Korrus	B107	Koristusvahendid	Plaat	2 m ²	1.40€	3€
1 Korrus	B110	Trepialune	Plaat	3 m ²	1.40€	4€
Plaat: 9				66 m ²		93€
1 Korrus: 15				337 m ²		216€

2 Korrus						
Linoleum						
2 Korrus	B200-1	Fuajee	Linoleum	21 m ²	0.32€	7€
2 Korrus	B200-2	Fuajee	Linoleum	53 m ²	0.32€	17€
2 Korrus	B201	Büroo	Linoleum	38 m ²	0.32€	12€
2 Korrus	B204	Büroo	Linoleum	34 m ²	0.32€	11€
2 Korrus	B205	Büroo	Linoleum	39 m ²	0.32€	12€
2 Korrus	B206	Büroo	Linoleum	18 m ²	0.32€	6€
2 Korrus	B208	Büroo	Linoleum	33 m ²	0.32€	10€
2 Korrus	B209	Büroo	Linoleum	26 m ²	0.32€	8€
2 Korrus	B210	Büroo	Linoleum	29 m ²	0.32€	9€
Linoleum: 9				291 m ²		93€
Plaat						
2 Korrus	B202	M WC	Plaat	5 m ²	1.40€	7€
2 Korrus	B203	N WC	Plaat	3 m ²	1.40€	4€
Plaat: 2				8 m ²		11€
2 Korrus: 11				299 m ²		104€

Joonis 73. Põrandate hoolduse tabel.

3.3.2 Hoone toimimise simulatsioon

Kasutuses olnud tarkvaraga ei olnud võimalik sobivat näidet luua. Näide hoone toimimise simulatsiooni kohta ei ole autori loodud ja selle leiab Lisast 7.

3.3.3 Elutsükli maksumushinnang

BIM mudel võimaldab hoone tellijal paremini ehitise elutsükli maksumust hinnata. Alates projekti maksumushinnangust (vaata täpsemalt alapeatükk 3.1.4 Maksumushinnang). Tellijal ja projekteerimismeeskonnal on hea ülevaade hoone maksumusest ja kui mudelisse tuleb muudatus, saab uue lahenduse maksumuse andmed väga kiiresti.

Lisaks on tellijal ja projekteerimismeeskonnal võimalik saada vastava hoone projekti energiaanalüüs, mis võimaldab tellijal hinnata hoone ülalpidamise kulusid (vaata täpsemalt alapeatükk 3.1.3 Energiaanalüüs).

Kolmandaks on tellijal ja ehitusmeeskonnal võimalik hinnata ehitamisega kaasnevaid kulusid. BIM mudel võimaldab väga täpselt hinnata ehitamisega kaasnevaid kulusid (vaata täpsemalt alapeatükk 3.2.2 Ehitamise planeerimine).

Neljandaks võimaldab BIM mudel hoone omanikul paremini hinnata hoone haldamisega kaasnevaid kulusid (vaata täpsemalt alapeatükk 3.3.1 Hoone ja vara haldamine). Kogu see informatsioon aitab omanikul, kes omab projekti kogu elutsükli jooksul, paremini hinnata terve hoone elutsükli maksumust.

4. TULEMUSED JA ARUTELU

Ehitussektoris on BIM tehnoloogiaid toetavate tarkvarade areng viimastel aastatel olnud väga kiire. Vaid mõni aasta tagasi ilmunud raamatutes esitatu kipub tarkvarade uusimates versioonides sissetoodud võimalustest oluliselt maha jääma. Kõige aluseks on hoone elutsükli etappide terviklik käsitus, millele vastavalt toimub tarkvara väljaarendamine ühtse BIM mudeli kõigis suundades.

TTÜ TKs õpetatavate tarkvaradega oli võimalik luua enamikele ehitise elutsükli etappide BIMi mudeli rakendamisevõimalustele näiteid. Enamik näidetest oli võimalik luua Autodesk EDU Master Suite komplektis sisalduvate toodete, eriti Revit tarkvara kasutades, millel on näidete loomiseks olemas vajalikud ja sobivad tööriistad. Revitiga saab efektiivselt modelleerida, saadud mudelilt kasutada olemasolevat informatsiooni projekteerimiseks ja dokumenteerimiseks, visualiseerimiseks, videote genereerimiseks, mudelis „ringi jalutamiseks“, päikese liikumise, valguse ja varjude simuleerimiseks, energiaanalüüsiks, maksumushinnangu loomiseks, vastuolude kontrollimiseks ning hoone ja vara haldamiseks. Robot tarkvara annab tööriistad, millega saab konstruktsioonide kandevõimeid kontrollida. Vertex tarkvara annab tööriistad elumajade modelleerimiseks sõrestik- ja sarikakonstruktsioonide automaatse genereerimisega (ja redigeerimise võimalusega) ning seda sama mudelit saab kasutada hoone sõrestikdetailide tootejooniste loomisel, mis aitab kaasa ehitusplatsi välisele materjalide tootmisele. Kahjuks pole VERTEX haridusasutuste versioonis kaasatud sõrestikdetailide arvjuhtimisega tööpinkide programmi generaatorit automatiseeritud tootmisprotsessi läbiviimiseks. Kuna olemasolevad tarkvarad on mõeldud peamiselt projekteerimiseks, siis ei olnud nendega võimalik luua häid näiteid ehitamise etapis ehitamise planeerimisele ja ehitusplatsi organiseerimisele. Ehitamise planeerimise näite loomiseks on sobiv tarkvara Vico Office. Selle tarkvara õpetamist TTÜ TK õppekavas ei ole, siiski autori kursus läbis tarkvara kasutamise sissejuhatuse, kus sai ülevaate tarkvara võimalustest. Lisaks ei olnud võimalik head näidet luua haldamise etapis hoone toimimise simulatsiooni jaoks.

See on väga heaks tulemuseks, et kolme erineva tarkvaraga on võimalik luua enamikule rakendamisevõimalustele näiteid. TTÜ TKs õpetatava tarkvaraga saavad üliõpilased mitmekülgsed ja laiad teadmised ning oskused BIMi võimaldava tarkvaraga töötamisel. Tervikliku näidete kogu loomiseks oleks aga vaja paari lisatarkvara, samuti võiks halduse 3D tugi olla sügavamalt välja arendatud. Selleks, et välja selgitada millised tarkvarad

sobiks id kõige paremini täiendamaks TTÜ TK tarkvarade kogu, oleks vaja põhjalikumat edasist uurimist.

Näidete loomisel olid suureks abiks tarkvarade õppe- ja abimaterjalid. Autodesk perekonna tarkvaradel on kaasas tarkvarasisesed juhendmaterjalid. Autodeskil on lisaks olemas ka õppekeskkond Internetis. Autodesk võimaldab oma koduleheküljelt üliõpilastel tasuta alla laadida erinevate tarkvarade õppeversioone. Lisaks sai abi ka Internetist lihtsasti kättesaadavate teiste kasutajate õppevideotest. Samuti oli osade näidete loomisel aluseks RKAS MP juhend, mida järgides saadi kontrollida tarkvaradega tehtava töö tulemuse nõuetele vastavust ja luua nõuetele vastavat tööd. Näited, mille aluseks sai kasutada RKAS MP juhendit, olid kõik loodud Revitiga. Kuna Revit on IFC2x3 sertifitseeritud modelleerimisprogramm, sobib see MP juhendis kirjeldatud nõuetele vastavaks modelleerimiseks. Lisaks vastas Revitiga tehtud töö ka teistele MP juhendis esitatud nõuetele. Seega võib väita, et Revitiga saab nõuete kohaselt modelleerida, koostada energiaanalüüse ja maksumushinnanguid. Kuna Robot ja Vertex on spetsiifilisema kasutusega tarkvarad ei ole neid võimalik kogu RKAS MP juhendi mahus kasutada, küll aga täidavad need oma rakendusala ülesanded nõuetekohaselt. Kokkuvõtvalt saab TTÜ TK tarkvaradega nende rakendusosalal nõuetekohaselt ehitiste elutsükli erinevates etappides ehitusinfot modelleerida.

Tarkvarade abimaterjalide ja tegevusjuhendite maht on suur, mis loob mitmekesiseid võimalusi õppimiseks. Lisaks lihtsustab õppimist vabalt kättesaadavate teiste tarkvara kasutajate videote hulk. Parem arusaam tarkvaradest võimaldab nende laialdasemat kasutamist. RKAS MP juhend on suureks abiks ehitiste projekteerimisel, kuid siiski käsitleb see ainult mudelprojekteerimist. RKAS MP juhendi eeskujul võiks luua juhendid ka BIMi toetavate tarkvarade rakendamisel ehitamise ja haldamise etappides. See tagaks ühtsema reeglistiku BIMi võimaldavate tarkvarade rakendamisel ehitiste elukaare kõigis etappides ja looks paremini mõistetava ning tervikliku BIM protsessi.

Tarkvarad andsid eeliseid, mis kirjanduse ülevaates on välja toodud. Väga suure eelisena võib välja tuua tehtava töö efektiivsuse ja kvaliteedi kasvu. Kui hoonest on olemas informatiivne mudel, lihtsustab see oluliselt teiste rakendusvõimaluste läbiviimist. Lisaväärtuse annab vastuolude kontroll, mis aitab tehtavas töös leida ja ära hoida vigu. Paljud erinevad valdkonnad saavad aluseks võtta sama mudeli, mis muudab omavahelise koostöö paremaks. Koostöö muudaks veel paremaks mudeli ühtsesse serverisse panek, siis

oleks võimalik kõigil osalistel saada ajakohastatud mudel ja informatsioon ning seda oma õigustele vastavalt täiendada ja redigeerida. See on juba realiseeritud Revit tarkvara viimastes versioonides. Kuna omanik on seotud terve ehitise elutsükliga on temal võimalik saada kõige suurem kasu BIM protsessi rakendamisega. Riskid, mis on välja toodud, on enamjaolt lepingulised või juriidilised, seega neid näidete loomisel ei esinenud. Samuti ei esinenud infokadu, mis tuleneb mudeli kasutamisel erinevate tarkvaradega.

Hoone omanike teadlikkuse tõus BIMi rakendamisest ja sellega kaasnevast kasust suurendaks nõudlust BIM protsesside rakendamise järele erinevates ehitiste elutsükli etappides. See omakorda suurendaks ehitussektori efektiivsust ja parendaks erinevate valdkondade spetsialistide koostööd. Omanike teadlikkuse tõusule aitab kaasa eestikeelsete infomaterjalide olemasolu ja laiem levik. Käesoleva töö kirjanduse ülevaate ja tegevuste osa on põimitud ühtseks tervikuks ning töö tulemuseks ongi ülevaatlik BIM protsessi ja selle rakendamist tutvustav materjal, millest on võimalik, lisaks omanikele, kasu saada ka õpilastel, mudelprojekteerimist alustavatel ettevõtetel ning teistel BIM protsessi huvilistel.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös teostati ehitiste elutsükli taustal nüüdisaegsete BIM-tehnoloogiate ülevaade ja rakenduste analüüs vastavalt TTÜ TK õppetöö tasemele ning võimalustele, et kaasajastada Eesti ehitussektorit ja tõsta inimressursi BIM teadlikkust. Töö käigus täideti kõik viis püstitatud ülesannet. Lõputöö on jaotatud neljaks põhipeatükiks.

Esimeses peatükis anti ülevaade lõputöö metoodilisest alusest ja näidete loomisel kasutatud materjalidest. Kirjeldati töö eesmärkide saavutamiseks läbiviidavaid toiminguid, mis olid vajalikud ülevaatliku BIMi tutvustava materjali koostamiseks. Kirjanduse ülevaate eesmärkidest lähtuvalt valiti välja sobivad kirjandusallikad ja töötati välja süsteem BIM protsesside kirjeldamiseks. Tegevuste osas kirjeldati näidete loomise süsteemi ja tarkvara valikut. Lisaks loodi ülevaade tehtud näidetest ja nende koostamise abivahenditest.

Teises peatükis defineeriti ehitusinfo modelleerimise, mille põhieesmärk on ehitise elutsükli erinevate valdkondade inimeste töö efektiivsemaks muutmine, mõiste ulatus. Lisaks anti ülevaade erinevate BIM-tehnoloogiate ja töövahendite olemusest ja rakendamise võimalustest ning nendega kaasnevatest eelistest ja riskidest ehitiste elutsükli erinevates etappides.

Kolmandas peatükis teostati BIM-rakendused teises peatükis välja toodud rakendamise võimaluste kohta kasutades TTÜ TKs õpetatavaid tarkvarasid, et kontrollida tarkvaradega tehtava töö nõuetele vastavust. Lisaks loodi läbitehtud näidetega ja nende kirjeldustega kirjanduse ülevaatega seonduv ühtne terviklik BIM protsessi tutvustav materjal, mis sobib ka iseseisva õppematerjalina kasutamiseks.

Neljandas ehk viimases, tulemuste ja arutelu peatükis analüüsiti tehtud tööd. Mis näitas antud valdkonna tarkvarade arengu kiirust, kus vaid mõni aasta tagasi ilmunud raamatutes esitatu kippus tarkvarade uusimast versioonides sissetoodud võimalustest oluliselt maha jääma. Lisaks arutleti töö käigus kasutatud tarkvarade üle. Kõigi tarkvaradega tehtud töö tulemused vastasid nõuetele ning Revitiga oli võimalik RKAS MP juhendis kõigi nõuete kohaselt modelleerida. Millest sai järeldada, et antud tarkvaradega on TTÜ TK tudengitel võimalik saada mitmekülgsed ja laiad teadmised. Parimate omadustena olid välja toodud tarkvarade kasutamise kaasnivad töö efektiivsuse, kvaliteedi ja koostöö võimaluse kasv.

Kuna enamus väljatoodud riskidest olid lepingulised või juriidilised, siis neid näidete loomisel ei esinenud.

Antud valdkond on muutumas järjest olulisemaks. Eesti Vabariigi majandus- ja taristuminister Urve Palo on Äripäev Ehituses 13.10.2014 lubanud, et ka Eestis muutub BIM kohustuslikuks. Seega on oluline, et ehitussektori tööturu järelkasv omaks teadmisi uue olukorraga toimetulekuks. Lisaks on oluline, et kasvaks üldine Eesti inimressursi BIM teadlikkus ja ülikoolide kohus on seda toetada.

KIRJANDUS

3D CADCEA Ltd. (2007). Benefits of 3D CAD Design. [WWW]

<http://www.3d-cadcea.co.uk/html/benefits.htm> (16.01.2015)

Architectureweek kodulehekülg. Working with BIM [WWW]

http://www.architectureweek.com/cgi-bin/awimage?dir=2006/1011&article=tools_1-2.html&image=13242_image_7.jpg (16.01.2015)

Alt, A. (2012). Building information modeling / ehitusinfo modelleerimine (BIM)

kasutuselevõtmise ehituses. Tartu Teaduspargi kodulehekülg. [WWW]

http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/BIM%20_%20Aivars%20Alt%2009_05%20Tartu%20Teaduspark.pdf (16.01.2015)

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. – *Leadership Manage*, 11(3), 241-252. [WWW]

[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127) (16.01.2015)

Autodesk kodulehekülg. Robot Structural Analysis Professional Features ja Navisworks Features. [WWW] <http://www.autodesk.com/> (16.01.2015)

Baoping, C., Wei, W., Xin, H. (2010). A Research on Construction Project Based on BIM.

- *E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE)*, 2010 International Conference on,

Henan, 1-5. [WWW] http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5660854

(16.01.2015)

Bexel Consulting kodulehekülg. VDC/BIM. [WWW]

<http://www.bexelconsulting.com/technology/vdcbim.aspx> (16.01.2015)

BIM troublemaker kodulehekülg. Complex Rigging pt.3 – and now for something

completely useless. [WWW] [http://bimtroublemaker.blogspot.com/2011/06/complex-](http://bimtroublemaker.blogspot.com/2011/06/complex-rigging-pt3-and-now-for.html)

[rigging-pt3-and-now-for.html](http://bimtroublemaker.blogspot.com/2011/06/complex-rigging-pt3-and-now-for.html) (16.01.2015)

Bricogne, M., Eynard, B., Troussier, N., Antaluca, E., Ducellier, G. (2011). Building

lifecycle management: Overview of technology challenges and stakeholders. - *Smart and*

Sustainable City (ICSSC 2011), IET International Conference on, Shanghai, 1-5. [WWW]

http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6138119&tag=1 (16.01.2015)

Cadalyst kodulehekülj. BIM linked with Project planning enables 4D construction planning. [WWW] <http://www.cadalyst.com/aec/bim-and-project-planning-1-2-3-revit-tutorial-3520> (16.01.2015)

Chowdhury, G. K. (2009). Building Information Modeling in Site Management. [WWW] http://www.academia.edu/2065272/BIM_in_Site_Management (16.01.2015)

Ding, G. K. C. (2006). Sustainable Construction – The Role of Environmental Assessment Tools. - *Journal of Environmental Management*, 86 (3), 451–464. [WWW] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706004270/> (16.01.2015)

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2011). BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2nd ed. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.

Eesti Äritarkvara Liit. (2013). Projekteerimistarkvara ja BIM tehnoloogia kasutuse uuring Eestis aastal 2013. [WWW] <http://www.tarkvaraliit.ee/et/Uudised/211/projekteerimistarkvara-ja-bim-tehnoloogia-kasutuse-uuring-eestis-aastal-2013> (16.01.2015)

Ehitusseadus. (Vastu võetud 15.05.2002, viimati jõustunud 14.07.2013). – Elektrooniline Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/104072013008> (16.01.2015)

Finne, C., Hakkarainen, M., Malleson, A. (2013). Finnish BIM survey 2013. [WWW] https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/tutkimus-_ja_kehittamistoimita/6JKcTDSMO/BIM_Survey_Finland_findings.pdf (16.01.2015)

FM:Systems. (2013). Benefits for Building Owners. [WWW] <http://www.fmsystems.com/bim-integration/bim-benefits-for-building-owners/> (16.01.2015)

French, M. J. (1999). Conceptual design for engineers. Great Britain : Springer-Verlag.

Gaddie, S. (2003). Enterprise Programme Management: Connecting Strategic Planning to Project Delivery. - *Journal of Facilities Management*, 2 (2), 177-191. [WWW] <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1528553> (16.01.2015)

- Government Construction Strategy. (2012). Suurbritannia valitsus. [WWW]
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61151/GCS-One-Year-On-Report-and-Action-Plan-Update-FINAL_0.pdf (16.01.2015)
- Hendrickson, C., Au, T. (1998). Project Management for Construction. [WWW]
<http://pmbook.ce.cmu.edu/> (16.01.2015)
- Jackson, S. (2002). Project Cost Overruns and Risk Management. [WWW]
<http://www.reading.ac.uk/web/files/innovativeconstructionresearchcentre/icrc-31-c-projectcostoverrunsandriskmanagementarcom2002.pdf> (16.01.2015)
- Korec kodulehekülg. Taking BIM on to the Construction Site. [WWW]
<http://www.korecgroup.com/blog/?p=2789> (16.01.2015)
- Krygiel, E., Nies, B. (2008). Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling. Indiana : Wiley Publishing, Inc.
- Liu, Q., Gao, T., Wang, J. (2011). Research on Application of BIM Technology in Construction Project. - *Computer Science and Service System (CSSS), 2011 International Conference on*, Nanjing, 2463-2467. [WWW]
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5974366&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5974366 (16.01.2015)
- McGraw-Hill Construction. (2007-2012). The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings. [WWW]
<http://www.construction.com/about-us/press/bim-adoption-expands-from-17-percent-in-2007-to-over-70-percent-in-2012.asp> (16.01.2015)
- Mihindu, S., Arayici, Y. (2008). Digital Construction through BIM Systems will drive the Re-engineering of Construction Business Practices. - *Visualisation, 2008 International Conference*, London, 29-34. [WWW]
http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4568669&tag=1 (16.01.2015)
- Mudelprojekteerimise juhend. (2013). - *Riigi Kinnisvara AS*. [WWW]
http://www.rkas.ee/files/RKAS_mudelprojekteerimise_juhend_ver_20130131-1.pdf (16.01.2015)

Nõuded ehitusprojektile. (Vastu võetud 17.09.2010, viimati jõustunud 25.09.2010). –
Elektrooniline Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/13359325>
(16.01.2015)

Oasys kodulehekül. MassMotion used in the virtual BIMShowLive 2014 arena. [WWW]
<http://www.oasys-software.com/blog/> (16.01.2015)

Onyx Green kodulehekül. BUILDING ENERGY ANALYSIS ja SOLAR ANALYSIS.
[WWW]
<http://www.greenbuildingadvisors.com/solar-analysis-in-greenbuilding-projects.html>
(16.01.2015)

Patrick MacLeamy. (2004). Mass kodulehekül. What the Heck is BIM? [WWW]
<http://www.mass-plc.com/blog/39/what-the-heck-is-bim> (16.01.2015)

Rosenberg, T. L. (2007). Building information modeling. [WWW]
http://www.academia.edu/1283324/Building_Information_Modeling (16.01.2015)

Salih, J. N. (2013). 5D BIM for Construction Companies. [WWW]
<http://www.bimhow.com/5d-bim-for-construction-companies/> (16.01.2015)

Smith, J. A. (2012). BIM – A Contractors Perspective. [WWW]
https://www.fig.net/pub/monthly_articles/june_2012/june_2012_smith.pdf (16.01.2015)

Solum Surveying Ltd kodulehekül. BIM Modelling. [WWW]
http://solumsurveying.com/?page_id=126 (16.01.2015)

Thompson, D. B. (2001). e-Construction: Don't Get Soaked by the Next Wave. - *The Construction Law Briefing Paper*.

Thompson, D. B., Miner, R. G. (2007). Building Information Modeling - BIM: Contractual Risks are Changing with Technology.

Touran, A. (2003). Calculation of Contingency in Construction Projects. - *Engineering Management, IEEE Transactions on*, 50 (2), 135-140. [WWW]
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1202976&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F17%2F27083%2F01202976.pdf%3Farnumber%3D1202976>
(16.01.2015)

TTÜ TK kodulehekül. Mudel. [WWW] <http://www.ttu.ee/asutused/tartu-kolledz/53722/saastva-tehnoloogia-oppetool/ehitiste-restaureerimise-eriala/tartu-kolledzi-modelleerimine/> (16.01.2015)

Vconstruct kodulehekül. BIM FOR FIELD. [WWW] <http://vconstruct.in/virtual-design-construction-services/bim-field/> (16.01.2015)

Vico Software kodulehekül. 5D Virtual Construction Software. [WWW] <http://www.vicosoftware.com/bim-for-construction-software-products/tabid/84567/> (16.11.2014)

Wang, X., Love, P. E. (2012). BIM + AR: Onsite Information Sharing and Communication via Advanced Visualization. - *Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2012 IEEE 16th International Conference on*, Wuhan, 850-855. [WWW] <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6221920&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F6214739%2F6221782%2F06221920.pdf%3Farnumber%3D6221920> (16.01.2015)

Xuehui, A. (2003). The Construction Project Lifecycle Management Based on Information Technology [J]. - *Intelligent Building and City Information*, 2003 (4), 70-72. (Hiina keeles)

LISAD

LISA 1. TTÜ Tartu Kolledžis õpetatavad tarkvarad

Autodesk Revit

Revit on üks enimkasutatavatest BIMi toetavatest tarkvaradest, mis on mõeldud kasutamiseks nii arhitektidele, inseneridele kui ehitajatele. Tarkvara võimaldab kasutajatel kujundada hoonete ja konstruktsioonide mudeleid ning nende komponente 3Ds, mudeli mõõtmestamiseks saab kasutada 2D projekteerimise vahendeid. Tarkvara annab juurdepääsu hoone informatsioonile hoone mudeli andmebaasis. Revit võimaldab 4D BIMi, planeerimise ja jälgimise tööriistadega, erinevates ehitise elutsükli etappides.

Autodesk Robot Structural Analysis Professional

Robot tarkvara pakub inseneridele võimalust teha erineva suurusega ja keerukusega hoone konstruktsioonidele simulatsioone ja analüüse. Tarkvara tagab tõrgeteta töökeskkonna, et aidata inseneridel kiiremini sooritada erinevate konstruktsioonide simulatsioone ja analüüse. Tarkvara kasutatakse lisatarkvarana konstruktsioonide projekteerimise kiirendamiseks ja lihtsustamiseks. Kuna tarkvara on toodetud sama tootja poolt nagu Revitil on nende tarkvarade omavaheline informatsiooni jagamine lihtsam.

Vertex BD

Vertex on BIMi toetav tarkvara puidust ja külmvormitud terasest sõrestik elumajadele. Tänu BIM tehnoloogiale suudab tarkvara suurendada tootlikkust ja täpsust, luues arhitektuurseid ja konstruktiivseid jooniseid, tootmisjooniseid, materjalide aruandeid, tootmise andmeid ja turunduseks visualiseeringuid. Kogu informatsioon tuleb ühest allikast.

LISA 2. BIMi toetavad tarkvarad

Eskiisprojekti tarkvara

Toote nimetus; tootja	BIM kasutus	Tootja kirjeldus	Esmane funktsioon
Revit Architecture; Autodesk	3D mudelite loomine ja vaatamine	Revit tarkvara töötab nii nagu arhitektid ja projekteerijad mõtlevad, et oleks võimalik toota kõrgema kvaliteediga ja täpsemaid arhitektuurseid projekte. Projekteerimise tööriist, mis on ehitatud, et toetada BIM tööprotsesse. Võimaldab jäädvustada ja analüüsida eskiise ning säilitada oma nägemus läbi projekteerimise, dokumenteerimise ja ehitamise.	Arhitektuurne modelleerimine ja parameetiline projekteerimine.
DProfiler; Beck Technology	Kontseptuaalne projekteerimine ja maksumuse hindamine	DProfiler lihtsustab kiiret mudeli loomist ja reaalsajas analüüse kõigis valdkondades. 3D mudelit luues annab tarkvara kohest tagasisidet maksumuse, energia, elutsükli ja ajakava andmetele. Erinevate valdkondade kasutajad saavad hinnata kompromisse, et leida parim lahendus. DProfiler tarkvara on lihtne õppida ja kasutada isegi neil kellel puudub eelnev modelleerimise kogemus.	Kontseptuaalne 3D modelleerimine koos reaalsajas maksumuse hindamisega.
Bentley Architecture; Bentley Systems	3D mudelite loomine ja vaatamine	Bentley täielikult integreeritud mitmeotstarbelised tooted võimaldavad arhitektidel, konstruktoritel, ehitusinseneridel, elektrinseneridel, mehaanika inseneridel, energia hindajatel, ehitusplatsi planeerijatel ja teistel spetsialistidel projekteerida, analüüsida, ehitada ja hallata ehitisi. Genereeriv projekteerimine võimaldab arhitektidel ja inseneridel jätkata kujundamist ja saavutada tulemusi, mis olid varem praktiliselt mõeldamatud. Kasutades seostuvaid parameetreid ja arvutusmeetodeid saavad projekteerijad uurida laia valikut alternatiive, isegi kõige keerukamate ehitiste puhul, kiirelt ja lihtsalt.	Arhitektuurne modelleerimine.
SketchUp Pro; Trimble	Kontseptuaalne 3D modelleerimine	SketchUp Pro kasutatakse, et kiirelt luua täpseid 3D mudeleid tegutsemiseks ja turustamiseks, esialgseteks hinnanguteks, täpsustamiseks, töömaa planeerimiseks ja ladustamiseks, projekteerimise ja ehitamise valideerimiseks, töötamiseks ja visuaalseks analüüsiks. Võimaldab koostööd ja teabevahetust projekti erinevate osapoolte vahel.	Kontseptuaalne projekti modelleerimine.
ArchiCAD; Graphisoft	Kontseptuaalne 3D arhitektuurne mudel	ArchiCAD on BIM tarkvara arhitektidele. ArchiCADi ehitise info modelleerimisega saavad arhitektid uurida projekti ideid täie kindlusega, teades et iga detail jäädvustatakse ja kõik dokumendid on sünkroniseeritud. Lisaks on võimalik kasutada Graphisofti BIM Serverit, mis on reaalsajas BIM koostöö keskkond. Open BIM projekti koostöö pakub ArchiCADi kasutajatele intelligentset, mudelipõhist töökorraldust ülejäänud projekti meeskonna ja arhitektide vahel, mille tulemusel saavutatakse suurem efektiivsus ehituse protsessis.	Arhitektuurse mudeli loomine.
Vectorworks Designer; Nemetschek	Kontseptuaalne 3D modelleerimine	Vectorworks Designer tarkvara pakub vabadust luua ilma lisatarkvara kasutamata. Programm annab konkurentseelise pakkudes suurel hulgal tööriistu üksikus tarkvaras. Vectorworks Designer võimaldab kavandada, modelleerida ja esitada projekte.	Arhitektuurse mudeli loomine.
Tekla Structures; Tekla	Kontseptuaalne 3D modelleerimine	Mudeli, mis on loodud Tekla BIM tarkvaraga kannavad täpset, usaldusväärset ja detailset informatsiooni, mis on vajalik edukaks ehitise info modelleerimiseks ja ehituse läbiviimiseks. Võimaldab firmadel saavutada sujuvam töökorraldus Tekla Structures'ga ja konstruktiivsete mudelitega. Tekla töötab kõigi materjalidega ja ka kõige keerukamate ehitistega.	Konstruktiivse 3D mudeli tarkvara
Affinity; Trelligence	Kontseptuaalne 3D modelleerimine	Affinity tarkvara annab täieliku komplekti funktsionaalseid projekteerimise tööriistu. Sealhulgas on lihtsasti kasutatavad arhitektuurse plaani, ruumi planeeringu, skemaatilise kujundamise, aruandluse ja projekti kinnitamise tööriistad, mis on kõik ühel platvormil. Affinity ühtlustab projekti töökorraldust, mis säästab meeskonna aega ja kulusid.	3D mudeli tarkvara varajasel kavandi projekteerimisel
Vico Office; Vico Software	Kontseptuaalne 5D modelleerimine	Vico Office on integreeritud ehituse juhtimise lahendus ehitusjuhtidele, mis kasutab ära 2D jooniste ja 3D BIM mudelite parimad omadused, et luua 4D mudelipõhised ajakavad ja 5D mudelipõhised eelarvestused. 3D mudelid võivad tulla erinevatest allikatest (arhitektid, insenerid) ja erinevatelt tarkvaradelt (Revit, Tekla, ArchiCAD, IFC failid, isegi SketchUp ja 3D DWG failid).	5D kontseptuaalset mudelit saab kasutada maksumuse arvutamiseks ja ajagraafikute tegemiseks

Toote nimetus; tootja	BIM kasutus	Projekteerimise tarkvara	Esmane funktsioon
Revit Architecture, AutoCAD Architecture, Autodesk	Arhitektuur ja asendiplaani projekteerimine	Revit tarkvara töötab nii nagu arhitektid ja projekteerijad mõlevad, et oleks võimalik toota kõrgema kvaliteediga ja täpsemaid arhitektuurseid projekte. Projekteerimise tööriist, mis on ehitatud, et toetada BIM tööprotsesse. Võimaldab jäädvustada ja analüüsida eskise ning säilitada oma nägemus läbi projekteerimise, dokumenteerimise ja ehitamise.	Arhitektuurne modelleerimine ja parameetiline projekteerimine.
Revit Structure, Autodesk	Konstruktioonid	Sama nagu Revit Architecture, aga erosade projekteerimise jaoks.	Konstruktioonide modelleerimine ja parameetiline projekteerimine
Revit MEP, AutoCAD MEP, Autodesk	Eriosad (kütte- ja ventilatsiooniosa; veevarustuse- ja kanalisatsiooniosa; elektri- ja nõrkvoolu paigaldiste osa)	Sama nagu Revit Architecture, aga erosade projekteerimise jaoks. Modelleerimine analüüsimiseks.	Eriosade modelleerimine
Bentley BIM Suite; Bentley Systems	Erinevad valdkonnad	Bentley täielikult integreeritud mitmeotstarbelsed tooted võimaldavad arhitektidel, konstruktoritel, ehitusinseneridel, elektrinseneridel, mehaanika inseneridel, energia hindajatel, ehitusplatsi planeerijatel ja teistel spetsialistidel projekteerida, analüüsida, ehitada ja hallata ehtisi. Võimaldab modelleerida ja hallata mitte ainult graafikat, vaid ka informatsiooni. See informatsioon võimaldab automaatselt luua jooniseid ja aruanded, projekti analüüse, ajakavade simulatsioone, hoonete haldamist ja palju muud. Nii saab projekti meeskond teha teadlikumaid otsuseid ja toota paremaid hoonseid.	Arhitektuurseid, konstruktiivsed, mehaanilised, elektrilised ja generatiivsed osad - kõik 3D modelleerimise keskkonnas.
Digital Project; Gehry Technologies	Erinevad valdkonnad	Platform, mis ühendab Dassault Systemes' lahendused ja Gehry Technologies' eritarkvara spetsiaalselt ehitustööstuse süsteemidega. Digital Project loob ühe digitaalse mudeli, millele pääsevad liigi ja mida saavad muuta kõik sama ehitusprojekti töötavad meeskonnad. Annab suure hulga erinevaid tööriistu, et luua ja hallata ehtise infot kogu hoonel elutsükli jooksul.	3D modelleerimise tööriist arhitektuurseks kujundamiseks, projekteerimiseks ja ehitamiseks.
Digital Project MEP Systems Routing; Gehry Technologies	Eriosad	Digital Project Systems Routing on projekteerimise tarkvara, mis võimaldab erosade projekteerijatel teha funktsionaalseid ja detaileid plane eriosadest. Eriosade projekteerija saab optimeerida oma projekti analüüsides ruumivajadusi ja paigalduse järjekorda.	Eriosade projekteerimine
SketchUp Pro; Trimble	Erinevad valdkonnad	SketchUp Pro kasutatakse, et kiirelt luua täpseid 3D mudelid tegutsemiseks ja turustamiseks, esialgseteks hinnangueteks, täpsustamiseks, töömaa planeerimiseks ja kadustamiseks, projekteerimise ja ehitamise valideerimiseks, töötamiseks ja visuaalseks analüüsiks. Võimaldab koostööd ja teabevahetust projekti erinevate osapoolite vahel.	3D arhitektuurne ja konstruktiivne modelleerimine
ArchCAD; Graphisoft	Arhitektuur, eriosad ja hooneliseid projekteerimine	ArchCAD on BIM tarkvara arhitektidele. ArchCADi ehtise info modelleerimisega saavad arhitektid uurida projekti ideid täie kindlusega, teades et iga detaili jäädvustatakse ja kõik dokumendid on süntroniseeritud. Lisaks on võimalik kasutada Graphisof'i BIM Serverit, mis on reaajas BIM koostöö keskkond. Open BIM projekti koostöö pakub ArchCADi kasutajatele intelligentset, mudelipõhist töökorraldust ülejäänud projekti meeskonna ja arhitektide vahel, mille tulemusel saavutatakse suurem efektiivsus ehituse võimaldab hinnata ka liidete maksumust, aidates kasutajal projekteerida ökonoomselt.	3D arhitektuurne ja konstruktiivne modelleerimine ja täpsustamine
Vectorworks; Nemetschek	Arhitektuur	Vectorworks tarkvara on komplekt tööstusalastest CAD ja BIM lahendustest, mis võimaldavad projekteerijatel arendada oma ideid alates esimest kuni projekti valmimiseni.	3D arhitektuurne modelleerimine
Fastrak; CSC (UK)	Konstruktioonid	Fastrak Building Designer annab suure valiku lahendusi teraskonstruktisioon ehitiste projekteerimiseks. Võimaldab luua täieliku projekti mudeli, sisaldades puit-, betoon- ja teraskonstruktisioonide elemente.	3D konstruktiivne modelleerimine
SDS/2; Design Data	Konstruktioonid	SDS/2 Detailing pakub kõrgel tasemel automatiseerimist ja intelligentsust 3D teraskonstruktisioonide projekteerimisel. Kui konstruktisioonide projekteerija ssestab liikmeid nagu sambad ja talad, luuakse automaatselt neile liited koos vajamineva materjaliga, poltidega, aukudega ja keevitusega. SDS/2 Detailing omab unikaalset intelligentset lähenemist liidete projekteerimisel. Tarkvara võtab arvesse raamistikul olukorda ja automaatselt kontrollib vastuosilusi. Lisaks võimaldab hinnata ka liidete maksumust, aidates kasutajal projekteerida ökonoomselt.	3D konstruktiivne modelleerimine ja täpsustamine
RISA; RISA Technologies	Konstruktioonid	RISA on kiire, täpne ja produktiivne. 3D analüüsi ja projekteerimise tarkvara. RISA intuiitvne tarkvara ja tutavad arvutustabelid aitavad kiirelt lahendada probleeme. Sisaldab teras-, betoon-, külmvaltsitud teras-, müüritis-, alumiinium- ja puitmaterjale. RISA tööriistadega tuleb toime erinevatest materjalitüüpidest koosnevate projektidega.	Täielik komplekt konstruktiivse projekteerimise tarkvarast terasele, puidule, betoonile ja müüritisele
Tekla Structures; Tekla	Konstruktioonid	Mudelid, mis on loodud Tekla BIM tarkvaraga, kannavad täpset, usaldusväärset ja detailset informatsiooni, mis on vajalik edukaks ehtise info modelleerimiseks ja ehituse läbiviimiseks. Võimaldab firmadel saavutada sujuvam töökorraldus Tekla Structures'ga ja konstruktiivsete mudelidega. Tekla töötab kõigi materjalidega ja ka kõige keerukamate ehitistega.	3D konstruktiivne modelleerimine, täpsustamine, tootmine ja ehitamise haldamine
CADPIPE; Orange Technologies Inc.	Eriosad	CADPIPE tarkvara koosneb AutoCADil põhinevatest toodetest, mis on mõeldud kanalisatsioon-, kütte-, ventilatsioon- ja elektritööriistadele.	3D erosade modelleerimine
MEP Modeler; Graphisoft	Eriosad	MEP Modeler on ArchCADi lisa. Ettevõtteid, kes kasutavad ArchCADi saavad kasutada MEP Modeleri, et luua ja muuta 3D mudelil põhinevaid eriosade süsteeme (ventilatsioon, kanalisatsioon ja kaablid) ja koordineerida neid ArchCADi virtuaalses ehtises. MEP Modeler kasutab tuttavaid tööriistu, mis on integreeritud ArchCAD keskkonnas.	3D erosade modelleerimine
Fabrication for AutoCAD MEP; East Coast CAD/CAM	Eriosad	Loodud spetsiaalselt mehaanika ja torustiku spetsialistidele, kes soovivad töötada reaalsete tootja materjalidega algusest lõpuni. Fabrication for AutoCAD MEP pakub kaasageid tööriistu ja ehisat tootja materjali AutoCAD MEP tarkvaras. Tarkvara võimaldab tõrgeteta projekti koordineerimist, produktiivset kasvu ja suuremat tootmist täpsust. Võimalus valida pleki lahenduste ja torustiku/kanalisatsiooni lahenduste vahel või mõlemad.	Eriosade täpsustatud modelleerimine tootmiseks
CADmep; Autodesk	Eriosad	CADmep tarkvara on erosade tootmiseks. See tootmist tööriist toetab projekteerimist ja paigaldamise töökorraldust mehaanika-, elektri- ja kanalisatsioonitööde tegijatele. Samuti pakub vahendeid projekti sisu laiendamiseks luues täpsemad, intelligentsemaid ja ehitatavamaid mudeleid ehtise erosade süsteemidest.	3D eriosade täpsustatud modelleerimine tootmiseks
Trimble PipeDesigner 3D; Trimble	Eriosad	Trimble PipeDesigner 3D on projekteerimise tarkvara mehaanika-, elektri- ja kanalisatsioonitööde tegijatele. Sisaldab võimalust ühele reale automaatselt marsruuti leida, IFC eksporti projekti mudeli koordineerimiseks ja info eksporti Trimble Field Link for MEPI ehituse planeerimiseks.	3D eriosade täpsustatud modelleerimine
Trimble DuctDesigner 3D; Trimble	Eriosad	Trimble DuctDesigner 3D on CAD projekteerimise tarkvara lehtmetaili-, kütte- ja ventilatsioonitööde tegijatele, mis võimaldab projekteerida kiirelt ja lihtsasti kasutatava tarkvaraga. Täisfunktsionaalne projekteerimise tarkvara, mis võimaldab luua oma ettevõtte standardid tootmiseks ja projekti seadistamist usaldusväärse Data Editoriga. Laiendatav ja integreeritav projekti töökorraldusega. Tarkvara integreerub Vulcan CAM tarkvara ja Trimble Field Link for MEP'ga.	3D eriosade täpsustatud modelleerimine
HydraCAD; Hydratec Inc.	Tuleohutus	HydraCAD on mõeldud lisatarkvarana AutoCAD'le. HydraCAD on täielikult integreeritud tarkvarapakett, mis on spetsiaalselt suunatud sprinklersüsteemide projekteerimiseks.	3D sprinklerite projekteerimine ja modelleerimine
AutoSPRINK VR; M.E.P. CAD	Tuleohutus	AutoSPRINK VR on eraldiseisev tulekaitse tarkvara Microsoft Windows operatsioonisüsteemidele. Tarkvara on mõeldud sprinklersüsteemide projekteerimiseks. Põhineb suurel hulgal uutel lähenemistel, kudeel ja kompositsioonimeetoditel, mis annab projekteerijatele rohkem võimalusi.	3D sprinklerite projekteerimine ja modelleerimine
FireCAD; Me4 Software	Tuleohutus	FireCAD on tarkvara, mis on loodud tulekaitse süsteemide võrgu projekteerimiseks, põlemiskoorumuste arvutamiseks ja stabiilsuse, tulefokke ja konstruktsiooni soojusisolatsioonikoefitsientide kontrollimiseks. Programm on võimeline igas konfiguratsioonis määrama sprinklerite ja hidrantide torustike suurusi. Samuti on võimalik arvutada pumba rõhku torustikus. FireCAD suudab efektiivselt simulereerida reaalse tulekaitse süsteemide jõudlust.	Tuleohutus võrgu projekteerimine ja modelleerimine
AutoCAD Civil 3D; Autodesk	Infrastruktuuri ja ehitusplatsi korraldus	AutoCAD Civil 3D kasutab BIMi, et aidata ehitusprojekti meeskondadel katsetada läbi rohkem võimalusi ja teha seda projekteerimise protsessis varem. Lisaks võimaldab transpordit-, maaparanduse- ja keskkonnaprojekte teha kiiremini ja tõhusamalt.	Ehitusplatsi arendus
PowerCivil; Bentley Systems	Infrastruktuuri ja ehitusplatsi korraldus	PowerCivil tarkvaraga saab projekteerida infrastruktuuri projekte. Programm annab projekteerimise ja kaardistamise tööriistad ning projekteerimise automatiseerimise tsiviiltranspordit professionaalidele. PowerCivil pakub piirangutest juhitudvat, 3D parameetrist modelleerimist innovatiivse lähenemisega tsiviilkomponentide projekteerimiseks kogu projekti.	Ehitusplatsi arendus
Siteworks for Revit; LANDCADD for Revit; LANDCADD for AutoCAD; Eagle Point	Infrastruktuuri ja ehitusplatsi korraldus	Siteworks for Revit on tööriist Reviti keskkonnas olukordadeks kui projekt vajab keerulist ehitusplatsi modelleerimist ja analüüsimist. LANDCADD annab tööriistad, mida professionaalsed maastikuarhitektid saavad kasutada, et luua ja kujundada elemente asendip laanile.	Ehitusplatsi arendus
Synchro Professional; Synchro Ltd.	Ehitusplatsi korraldus	Synchro Professional on 4D visuaalne projekti juhtimise tarkvara. Võimaldab luua traditsioonilisi ajakavasid ja juhtimist, kvaliteetseid analüüse ja aruanded. Annab võimaluse meeskonnal hinnata lähenemise ja optimeerida projekti plaani, kasutades reaajas 4D visuaalset animatsiooni ja video tootmist, veel enne kui ehitusplatsilegi minnakse.	Planeerimine (4D), tööde järgestamine
Tekla Civil; Tekla	Infrastruktuuri ja ehitusplatsi korraldus	Kõik Tekla Civil tarkvara rakendused kasutavad sama mudelit, et salvestada ja hallata infrastruktuuri andmeid. Mudeli loomise ja muutmise funktsioonid on mitmekülgsed ja loodud igale erinevale projekti valdkonnale. Keskmne mudel on salvestatud standardile vastavasse andmebaasi, mis võimaldab mitmel kasutajal üheaegselt projektiga töötada ja begi sama projekti osaga. Võimaldab luua kõik vajalikud joonised. Joonised on toodetud automaatselt mudeli andmete põhjal ja seega on nad alati ajakohased.	Täiesti integreeritud BIM lahendus, mis põhineb hoonekesksel lähenemisel

Analüüsi tarkvara			
Toote nimetus; tootja	BIM kasutus	Tootja kirjeldus	Esmane funktsioon
Robot Structural Analysis; Autodesk	Konstruktioonide analüüs	Robot Structural Analysis tarkvara võimaldab konstruktsiooniinseneridel teha täpseid hoone konstruktsioonide simulatsioone ja analüüside suurte, keeruliste ehitiste võimekust. Tarkvara pakub sujuva töökorralduse, mis võimaldab inseneridel kiiremini sooritada simulatsioone ja analüüse.	Kahesuunaline side Autodesk Revit Structurega
Green Building Studio; Autodesk	Energia analüüs	Green Building Studio on energia analüüsi tarkvara, mis võimaldab arhitektidel ja projekteerijatel teostada kogu hoone analüüs, optimeerida energia tarbimist ja töötada süsinikneutraalsemate hoone projektide suunas varem. Veebipõhine energiatõhususe tarkvara võimaldab energia ja süsiniku analüüsi tööriistadega aidab meeskondadel saavutada jätkusuutlikke hoone projekte kiiremini ja täpsemalt.	Energia kasutuse ja süsiniku jalajälje mõõtmine
Ecotect Analysis; Autodesk	Energia analüüs	Ecotect Analysis tarkvara on terviklik jätkusuutliku hoone projekteerimise tööriist. Ecotect Analysis pakub laia valikut simulatsioone ja hoone energia analüüse, mis võivad parandada olemasolevate hoonete ja uute hoonete jõudlust. Tarkvara ühendab endas veebipõhise energia, vee ja süsiniku emissioonide analüüsi võimalused tööriistadega, mis võimaldavad visualiseerida ja simuleerida hoone jõudlust vastavas keskkonnas.	Ilma, energia, vee, süsiniku emissioonide analüüs
STAAD.PRO, RAM, Bentley Hevacomp, AECOsim Energy Simulator; Bentley Systems	Konstruktioonide analüüs/projekteerimine, koguste arvutamine, ehitiste energiatõhusus	Bentley täielikult integreeritud mitmeotstarbelsed tooted võimaldavad arhitektidel, konstruktoritel, ehitusinseneridel, elektriinseneridel, mehaanika inseneridel, energia hindajatel, ehitusplatsi planeerijatel ja teistel spetsialistidel projekteerida, analüüsida, ehitada ja hallata ehitisi. Bentley komplekt energia kujunduse, simulatsiooni ja analüüsi tööriistu nagu Bentley Hevacomp ja AECOsim Energy Simulator võimaldavad luua kõrge energiatõhususega hooned. Tarkvara võimaldab arvutada hoonetel täpset energia kasutust, CO2 emissiooni, ekspluaatsioonikulusid ja hoone kasutaja mugavuse prognoosi, hõlbustades jätkusuutlike energiatõhusate hoonete tootmist.	Ehitiste energiatõhususe mõõtmine, määramine ja esitamine
Solibri Model Checker; Solibri	Mudeli paikapildavuse kontroll	Solibri Model Checker on reeglitel põhinev mudeli kontrolli tarkvara. 3D mudelilt on võimalik kontrollida piiramatu arv lahendusi, alates väljapääsu analüüsist kuni puudega inimeste liikumisvõimaluse nõuete täitmiseni lisaks ruumilist koordinaatsiooni ja ruumilist paikapildavust ja võrrelda seda olemasolevate spetsifikatsioonidega.	Reeglitel põhinev mudeli vastavuse kontroll
VE-Pro; Integrated Environmental Solutions	Energia ja keskkonna analüüs	VE-Pro on komplekt hoone jõudluse simulatsiooni tööriistu. VE-Pro võimaldab paremini mõista erinevate madalate energiatarveta projektide toimet.	Paljude valdkondade energia analüüs ja simulatsioon
RISA; RISA Technologies	Konstruktioonide analüüs	RISA on kiire, täpne ja produktiivne. 3D analüüsi ja projekteerimise tarkvara. RISA intuitiivne tarkvara ja tuttavad arvutustabelid aitavad kiirelt lahendada probleeme. Sisaldab teras, betoon, külmalistitud teras, müüritise, alumiinium ja puu materjale. RISA tööriistadega tuleb toime erinevatest materjalitüüpidest koosnevate projektidega.	Täielik komplekt konstruktiivse projekteerimise tarkvarast terasele, puudule, betoonile ja müüritisele
Digital Project; Gehry Technologies	Konstruktioonide analüüs	Platvorm, mis ühendab Dassault Systemes' lahendused ja Gehry Technologies eritarkvara spetsiaalselt ehitustööstuse süsteemidega. Digital Project loob ühe digitaalse mudeli, millele pääsevad ligi ja mida saavad muuta kõik sama ehitusprojektiiga töötavad meeskonnad. Annab suure hulga erinevaid tööriistu, et luua ja hallata ehitise infot kogu hoone elutsükli jooksul.	Terviklik pakett BIM tööriistu, mis põhinevad CATIA CAD mootoril
GT STRUDL; Intergraph	Konstruktioonide analüüs	GT STRUDL pakub inseneridele ja projekteerijatele täielikku konstruktsioonide projekteerimise lahendust. GT STRUDL on kõrge kvaliteediga, täielikult integreeritud ja andmebaasil põhinev tarkvara süsteem üldise raamistikuga ja lõplike elementide analüüsiks ja põhjalikuks konstruktsioonide projekteerimiseks.	Konstruktioonide analüüs
EnergyPlus; U.S. Department of Energy ja LBNL	Energia analüüs	EnergyPlus on kogu hoone energiasimulatsiooni programm inseneridele, arhitektidele ja teadlastele, energia ja vee kasutuse modelleerimiseks hoonetes. Modelleerides hoone jõudlust võimaldab EnergyPlus ehitusspetsialistidel optimeerida ehitusprojekti, et see kasutaks vähem energiat ja vett.	Energia simulatsioon
DOE-2; Lawrence Berkeley National Laboratory	Energia analüüs	DOE-2 on laialdaselt kasutatav ja tunnustatud hoone energiaanalüüsi vabavara programm, mis võimaldab ennustada kõikidele hoone tüüpidele energiakasutust ja -kulu. DOE-2 kasutab hoone plaani, konstruktsioonide, kasutamise, seadmete (valgustus, kütte, ventilatsioon) ja kommunaalteenuste hindade informatsiooni, mille tagab kasutaja koos ilmaandmetega, et teostada hoone simulatsioon ja kalkuleerida kommunaalteenuste arve.	Energia simulatsioon
FloVENT; Mentor Graphics	Ventilatsiooni ja kütte analüüs	FloVENT on tarkvara, mis ennustab 3D õhuvoolu, soojusilekkanne, saaste jaotuse ja mugavuse näitajad igat tüüpi ja suuruses hoonetel, nii seest kui ümbert. FloVENTi kiire ja lihsasti kasutatava menüüga süsteem on loodud spetsiaalselt inseneridele, kes on seotud kütte-, ventilatsiooni- ja kliimaseadmete süsteemide projekteerimisega ja optimeerimisega.	Hoone keskkonna simulatsioon ja analüüs
Fluent; ANSYS	Ventilatsiooni ja kütte analüüs	Fluent tarkvara suudab modelleerida voolu, turbulentsi, soojusilekkanne ja reaktsioone tööstuslike rakenduste jaoks.	Hoone keskkonna simulatsioon ja analüüs
Odeon Room Acoustics Software; ODEON	Akustika analüüs	Odeon Room Acoustics tarkvara on välja töötatud, et simuleerida hoonete interjööri akustikat. Arvestades geometriat ja pindade omadusi, saab akustikat prognoosida, illustreerida ja kuulata. Akustika prognoosi on integreeritud ka heli tugevdamine.	Akustika simulatsioon ja analüüs
ApacheHVAC; Integrated Environmental Solutions	Eriosade analüüs	ApacheHVAC kasutab paindlikku skemaatilist komponendipõhist lähenemist, mis võimaldab kiiresti kokku panna eriosade seadmete- ja kontrollisüsteeme. Võimaldab luua nullist või valida eelnevalt määratud automaatse suurusega süsteeme.	Eriosade süsteemi simulatsioon
eDesign Suite; Carrier	Eriosade analüüs	eDesign Suite on tarkvara kogum, mis on loodud spetsiaalselt eriosade süsteemi projekteerijale. Need programmid on kohandatud, et suurendada tootlikkust ja täpsust, parandada analüüsivõimet ja töö dokumentatsiooni ja lisada "turustamisvõimalus" projekteerija hinnangutele. Individuaalsed programmid võimaldavad tippkoormuse hindamist, süsteemi projekteerimist, hoone energiatõhususe modelleerimist, elutsükli kulude analüüsi ja torustiku projekteerimist.	Eriosasüsteemide analüüs
TRNSYS; TRNSYS	Erinevad analüüs	TRNSYS on äärmiselt paindlik graafikal põhinev tarkvara keskkond, mida kasutatakse erinevate süsteemide käitumise simuleerimiseks. Kui enamik simulatsioone on keskendunud soojus- ja elektrenergia süsteemide tulemuslikkuse hindamisele, siis TRNSYSi võib kasutada ka teiste dünaamiliste süsteemide nagu liiklusvoo või bioloogiliste protsesside modelleerimiseks.	Erinevad jõudluse simulatsioonid

Tootejooniste ja tootmise tarkvara

Toote nimetus; tootja	BIM kasutus	Tootja kirjeldus	Esmane funktsioon
CADPIPE Commercial Piping; Orange Technologies Inc.	Tootejoonised ja tootmine	AutoCADil põhinev programm, mis annab kõik vajalikud tööriistad, et luua tootmise mudelid survetorustikele, kanalatsioonile ja vasktorudele.	Tootmine
Revit MEP; Autodesk	Tootejoonised	Revit MEP tarkvara on BIM lahendus mehaanika-, elektri-, ja veevarustusinseneridele. See pakub integreeritud projekteerimise, analüüsi ja dokumentatsiooni tööriistu, millega toetada projekti süsteemide loomist alates eskiisist kuni ehitamiseni.	Täpsustatud projekteerimine tootejooniste jaoks
SDS/2; Design Data	Tootejoonised	SDS/2 Detailing pakub kõrge tasemel automatiseerimist ja intelligentsust 3D teraskonstruktsioonide projekteerimisel. Kui konstruktsioonide projekteerija sisestab liikmeid nagu sambad ja talad, luuakse automaatselt neile liited koos vajamineva materjaliga, poltidega, aukudega ja keevitusega. SDS/2 Detailing omab unikaalset intelligentset lähenemist liidete projekteerimisel. Tarkvara võtab arvesse raamistiku olukorda ja automaatselt kontrollib kokkupõrkeid. Lisaks võimaldab hinnata ka liidete maksumust, aidates kasutajal projekteerida ökonoomselt.	Täpsustatud projekteerimine tootejooniste jaoks
Fabrication for AutoCAD MEP; East Coast CAD/CAM	Tootmine	Loodud spetsiaalselt mehaanika- ja torustikuspetsialistidele, kes soovivad töötada reaalsete tootja materjalidega algusest lõpuni. Fabrication for AutoCAD MEP pakub kaasageid tööriistu ja ehtsat tootja materjali AutoCAD MEP tarkvaras. Tarkvara võimaldab tõrgeteta projekti koordineerimist, produktiivsuse kasvu ja suuremat tootmise täpsust. Võimalus valida pleki lahenduste ja torustiku/kanalatsioonide lahenduste vahel või mõlemad.	Koostöö AutoCAD MEPga kohandatud andmebaaside ja tootmise jaoks
CADmep; Autodesk	Tootmine	CADmep tarkvara on eriosade tootmiseks. See tootmise tööriist toetab projekteerimist ja paigaldamise töökorraldust mehaanika-, elektri- ja kanalatsioonitööde tegijatele. Samuti pakub vahendeid projekti sisu laiendamiseks luues täpsemaid, intelligentsemaid ja ehitatavamaid mudelid ehitise eriosade süsteemidest.	AutoCAD geomeetria kasutamine tootmiseks
Trimble PipeDesigner 3D; Trimble	Tootmine	Trimble PipeDesigner 3D on projekteerimise tarkvara mehaanika-, elektri- ja kanalatsioonitööde tegijatele. Sisaldab võimalust ühele reale automaatselt marsruuti leida, IFC eksporti projekti mudeli koordineerimiseks ja info eksporti Trimble Field Link for MEPi ehituse planeerimiseks.	Tootmine
Trimble DuctDesigner 3D; Trimble	Tootmine	Trimble DuctDesigner 3D on CAD projekteerimise tarkvara lehtmatali-, kütte- ja ventilatsioonitööde tegijatele, mis võimaldab projekteerida kiirelt ja lihtsasti kasutatava tarkvaraga. Täisfunktsionaalne projekteerimise tarkvara, mis võimaldab luua oma ettevõtte standardeid tootmiseks ja projekti seadistamist usaldusväärse Data Editoriga. Laiendatav ja integreeritav projekti töökorraldusega. Tarkvara integreerub Vulcan CAM tarkvara ja Trimble Field Link for MEPga.	Tootmine
Tekla Structures; Tekla	Tootejoonised	Tekla integreerub enamuses arenenud tootmise või ressursiplaneerimise ja masinaautomaatika süsteemidega, mida teraskonstruktsioonide, betoonelementide ja armatuuri valmistajad kasutavad. Toote informatsiooni saab automaatselt Tekla mudelist üle kanda nende süsteemi, mis vähendab töö hulka ja vigade arvu. Mudelist saab võtta joonised, mis uuenevad mudeli põhjal. Lisaks saab mudelilt materjalide kogused.	Konstruktsioonide tootmine
Vulcan; Trimble	Tootejoonised ja tootmine	Vulcan on lehtmatali projekteerimise tarkvara. Vulcan pakub auto-nest funktsiooni, põhjalikku toruosade andmebaasi ja lihtsustatud graafilist kasutajaliidest, millega on võimalik teha täiskirusel tööd ja samal ajal vähendada jäätmete hulka. Vulcan integreerub Trimble DuctDesigner 3D ja Trimble AutoBid SheetMetalga, mis tagab tõrgeteta töökorralduse alates hindamisest kuni projekteerimise ja tootmiseni.	Tootmine

Ehitusjuhtimise tarkvara

Toote nimetus; tootja	BIM kasutus	Tootja kirjeldus	Esmane funktsioon
Navisworks Manage; Autodesk	Vastuolude kontroll	Navisworks projekti ülevaatamise tarkvara võimaldab arhitektuuri, konstruktsiooni ja ehitamise spetsialistidel terviklikult vaadelda integreeritud mudeleid ja andmeid koos teiste osapooltega, et saavutada parem kontroll projekti tulemuste üle. Integratsiooni, analüüsi ja kommunikatsiooni tööriistad aitavad meeskondadel omavahel tööd koordineerida, lahendada konflikte ning planeerida projekte enne ehitamise või renoveerimise algust.	Mudelipõhine osapooltevaheline vastuolude kontroll
Bentley Navigator; Bentley Systems	Vastuolude kontroll	Bentley Navigatorit tarkvara võimaldab vaadata üle ja analüüsida projekti informatsiooni. Väga mitmekülgsete vaatamise võimalustega parandab Bentley Navigator interaktiivse informatsiooni kvaliteeti. Võimaldab paremat projekti ülevaadet ja aitab vältida kulukaid vigu ehitusel. Lisaks saavad meeskonnad analüüsida projekte virtuaalselt, et avastada ja lahendada vastuolusid ja simuleerida projekti ajakava.	Mudelite ja valdkondade vaheline koordineerimine
Digital Project: Manager; Gehry Technologies	Mudeli koordineerimine	Kergesti kasutatav ülevaatamise ja informatsiooni haldamise tarkvara projektijuhtidele, eelarvestajatele ja ehituspersonalile. Manager võimaldab täielikku projekti omaduste muutmist ja tagab olulised tööriistad kvaliteedi kontrolli (vastuolude kontroll) teostamiseks.	Mudeli koordineerimine ja vastuolude kontroll
Solibri Model Checker; Solibri	Mudeli paikapidavuse kontroll	Solibri Model Checker on reeglitel põhinev mudeli kontrolli tarkvara. 3D mudelilt on võimalik kontrollida piiramatult arv lahendusi, alates väljapääsu analüüsist kuni puudega inimeste liikumisvõimaluse nõuete täitmiseni lisaks ruumilist koordineerimist ja ruumilist paikapidavust ja võrrelda seda olemasolevate spetsifikatsioonidega.	Reeglitel põhinev mudeli vastavuse kontroll
Synchro Professional; Synchro Ltd.	Ehitusplatsi korraldus	Synchro Professional on 4D visuaalne projekti juhtimise tarkvara. Võimaldab luua traditsioonilisi ajakavasid ja juhtimist, kvaliteetseid analüüse ja aruandeid. Annab võimaluse meeskonnal hinnata lähenemisviise ja optimeerida projekti plaani, kasutades reaalsajas 4D visuaalset animatsiooni ja video tootmist, veel enne kui ehitusplatsilegi minnakse.	Planeerimine (4D), tööde järjestamine
Tekla BIMsight; Tekla	Vastuolude kontroll ja mudeli koordineerimine	Tekla BIMsight on tööriist ehitusprojekti koostöö parandamiseks. Kõik ehitusprojekti töötajad saavad oma mudelid ühendada, et kontrollida vastuolusid ja jagada informatsiooni kasutades seda sama lihtsasti kasutatavat BIM keskkonda. Tekla BIMsight võimaldab projektis osalejatel tuvastada ja lahendada probleeme juba projekteerimise järgus enne ehitust.	Mudelite ühendamine ja jagamine ning vastuolude kontroll
Vico Office; Vico Software	Mitmed funktsioonid	Vico Office on integreeritud ehituse juhtimise lahendus ehitusjuhtidele, mis kasutab ära 2D jooniste ja 3D BIM mudelite parimad omadused, et luua 4D mudelipõhised ajakavad ja 5D mudelipõhised eelarvestused. 3D mudelid võivad tulla erinevatest allikatest (arhitektid, insenerid) ja erinevatelt tarkvaradelt (Revit, Tekla, ArchiCAD, IFC failid, isegi SketchUp ja 3D DWG failid).	Ajakavade ja eelarvestuse tegemine

Koguste väljavõtte ja eelarvestamise tarkvara

Toote nimetus; tootja	BIM kasutus	Tootja kirjeldus	Esmane funktsioon
Quantity Takeoff; Autodesk	Koguste väljavõtted	Quantity Takeoff on maksumuse hindamise tarkvara, mis aitab muuta materjali maksumuse määramist kiiremaks, lihtsamaks ja täpsemaks. Maksumuse hindajad saavad luua sünkroniseeritud ja terviklikke projekti vaateid, mis ühendavad BIM tööriistade (Revit Architecture, Revit Structure ja Revit MEP) tähtsa informatsiooni omavahel geomeetria, piltide ja andmetega teistelt tööriistadelt. Automaatne või manuaalne alade mõõtmine ja hoone osade arvestamine. Võimalik tööd eksportida Microsoft Exceli tarkvarasse ja avaldada DWF formaadis.	2D ja 3D keskkonnas väljavõtete loomine
Dprofiler; Beck Technology	Kontseptuaalne eelarvestamine	DProfiler lihtsustab kiiret mudeli loomist ja reaalsajas analüüse kõigis valdkondades. 3D mudelit luues annab tarkvara kohest tagasisidet maksumuse, energia, elutsükli ja ajakava andmetele. Erinevate valdkondade kasutajad saavad hinnata kompromisse, et leida parim lahendus. DProfiler tarkvara on lihtne õppida ja kasutada isegi neil kellel puudub celnev modelleerimise kogemus.	Kontseptuaalne 3D modelleerimine koos maksumuse hindamisega ja elutsükli kulude prognoosimisega
Visual Applications; Innovaya	Eelarvestamine	Tarkvara, mis on loodud, et ära kasutada BIMi intelligentsete hoone objektide eeliseid. See tarkvara lihtsustab ehitustööstuse spetsialistide tööd ja parandab kommunikatsiooni projekteerijate, ehitajate ja klientide vahel. Selle tulemusena paraneb tohutul projekti koordineerimise, meeskonna kommunikatsiooni, ehituse planeerimise, koguste väljavõtte ja projekti eelarvestamise produktiivsus ja tõhusus.	Koguste väljavõtt ja eelarvestamine
Vico Takeoff Manager; Vico Software	Koguste väljavõtted	Vico Takeoff Manager loob kiired ja väga täpsed mudeli- ja asukohapõhised koguste väljavõtted, mis on saadud BIM tööriistadega loodud 3D mudelitest. Kui mudel avada Vico Officega, siis luuakse geomeetria analüüsi algoritm, mis skaneerib 3D mudeli sisu ja automaatselt loob objektide väljavõtted. Iga objekt on määratletud ehituslike andmetega, mis on vajalikud ehituse maksumuse ja ajakava planeerimiseks.	Projekti maksumuse ja ajakavade planeerimise jaoks vajalike koguste väljavõtt

Ajakava loomise tarkvara

Toote nimetus; tootja	BIM kasutus	Tootja kirjeldus	Esmane funktsioon
Navisworks Manage, Navisworks Simulate; Autodesk	Ajakava loomine	Navisworks projekti ülevaatamise tarkvara võimaldab arhitektuuri, konstruktsiooni ja ehitamise spetsialistidel terviklikult vaadelda integreeritud mudeleid ja andmeid koos teiste osapooltega, et saavutada parem kontroll projekti tulemuste üle. Integratsiooni, analüüsi ja kommunikatsiooni tööriistad aitavad meeskondadel omavahel tööd koordineerida, lahendada konflikte ning planeerida projekte enne ehitamise või renoveerimise algust.	Ajakava simuleerimine ja optimeerimine
Bentley Navigator; Bentley Systems	Ajakava loomine	Bentley Navigatori tarkvara võimaldab vaadata üle ja analüüsida projekti informatsiooni. Väga mitmekülgsete vaatamise võimalustega parandab Bentley Navigator interaktiivse informatsiooni kvaliteeti. Võimaldab paremat projekti ülevaadet ja aitab vältida kulukaid vigu ehitusel. Lisaks saavad meeskonnad analüüsida projekte virtuaalselt, et avastada ja lahendada kokkupõrkeid ja simuleerida projekti ajakava.	Ajakava simuleerimine ja optimeerimine
Visual Simulation; Innovaya	Ajakava loomine	Visual Simulation võimaldab BIM mudelile luua ajakava, 4D ehituse planeerimist ja ehitatavuse analüüsi. See parandab tõhusalt projekti kommunikatsiooni, koordineerimist ja ehituse logistika planeerimist. Oma tugeva 3D mootoriga ja väga lihtsasti kasutatava kasutajaliidesega aitab Visual Simulation optimeerida tööde järjestust, mille tulemusena väheneb projekti aeg.	Ajakava simuleerimine ja optimeerimine
Synchro Professional; Synchro Ltd.	Ajakava loomine	Synchro Professional on 4D visuaalne projekti juhtimise tarkvara. Võimaldab luua traditsioonilisi ajakavasid ja juhtimist, kvaliteetseid analüüse ja aruandeid. Annab võimaluse meeskonnal hinnata lähenemisviise ja optimeerida projekti plaani, kasutades reaalsajas 4D visuaalset animatsiooni ja video tootmist.	Ajakava simuleerimine ja optimeerimine
Tekla Structures; Tekla	Ajakava loomine	Tekla tarkvara toetab ehitamise koordineerimist, koguste ja maksumuse hindamist ning tööde ajakava ja järjestuse loomist. Ehitatava hoone informatsioon on täpne, järjepidev ja alati ajakohane.	Ajakava simuleerimine ja optimeerimine
Vico Office Schedule Planner; Vico Software	Ajakava loomine	Vico Schedule Planner on integreeritud tööriist, mis ühendab asukohapõhiseid koguseid ja maksumusi ajakavadega Vico Offices. Integreerib omavahel mudelipõhised koguste väljavõtted Vico Takeoff Managerist, ressursside kogused Vico Cost Plannerist ja projekti asukohad Vico LBS Managerist, et luua väga optimeeritud ajakavasid.	Ajakava tuletatakse koguse-, maksumuse- ja asukohapõhisest BIM mudelist.

Failide jagamise ja koostöö tarkvara

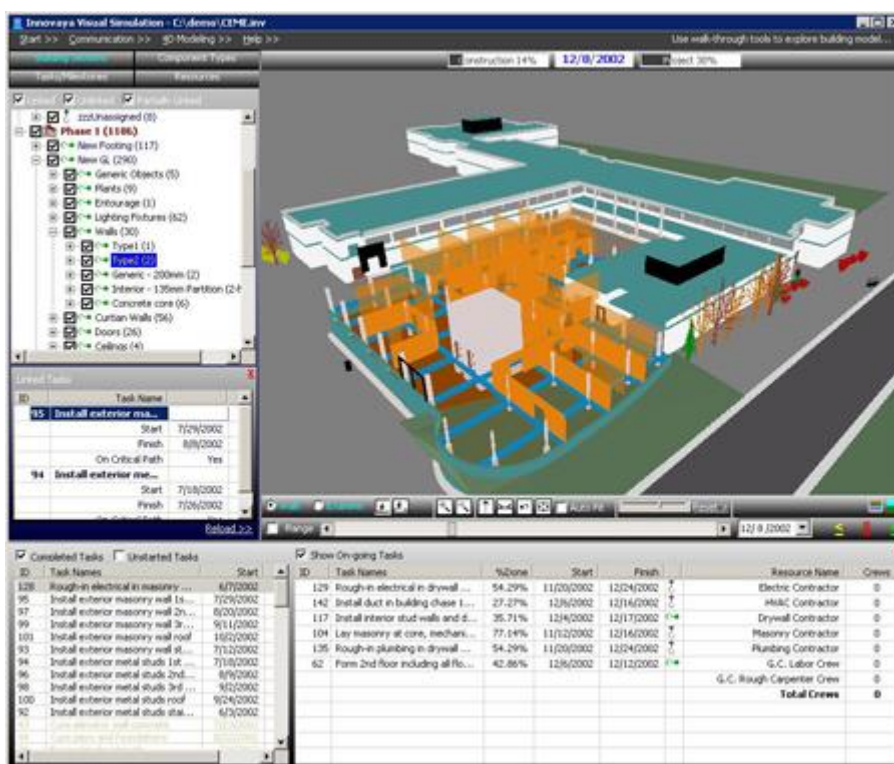
Toote nimetus; tootja	BIM kasutus	Tootja kirjeldus	Esmane funktsioon
Digital Exchange Server; ADEPT Project Delivery	Failide jagamine ja kommunikatsioon	ADEPT Project Delivery missiooniks on edendada BIM protsessi kasutamist projekteerimise ja ehitamise tööstustes. Võimaldab kasutajatel pakkuda kõrgema kvaliteediga tooteid madalama hinnaga ja väiksema projekti riskiga oma klientidele. Pakub professionaalset teenust, tööriistu ja informatsiooni omanikele ja peatöövõtjatele, mis võimaldab neil BIMi eeliseid kasutada täies ulatuses.	Toetab BIMi koostöö protsessis
Buzzsaw; Autodesk	Failide jagamine	Buzzsaw on andmehaldus tarkvara, mis aitab ja toetab BIM tööprotseesse. See sisaldab tööriistu dokumenteerimiseks, modelleerimiseks ja andmete haldamiseks ning see on integreeritud Autodeski projekteerimise ja andmehaldus lahendustega. Buzzsaw'i saab turvaliselt siseneda lauaarvutist, veebist või mobiilsest seadmest.	Kõigi projektiiga seotud dokumentide ja failide hoidla
Constructware; Autodesk	Koostöö	Constructware tarkvara teenus on osa Autodesk lahendusest ehitusele, mis pakub vajamineva keskkonna ehituse projektijuhtimiseks ja koostööks. Ühendab inimesi, informatsiooni ja protsesse nii, et projektid saaksid tõrgeteta valmis, tagab parema ülevaate ja vähendab kulusid.	Veebipõhine haldamise tööriistade kogu ehitusprojektidele
ProjectDox; Avolve	Failide jagamine	ProjectDox on veebipõhine elektrooniline projektide ja dokumentide töökorralduse lahendus, mis võimaldab kodanikel ja omavalitsuse personalil algatada ja lõpetada projektide esitamise, läbivaatamise ja kinnitamise protsessi.	Elektrooniline projektide algatamine, läbivaatamine, jälgimine ja arhiveerimine.
SharePoint; Microsoft	Failide jagamine, hoiustamine ja haldamine	SharePoint loob võimalused töö ühiskasutamiseks ja teistega töötamiseks, projektide ja meeskondade korraldamiseks ning isikute ja teabe leidmiseks.	Veebipõhine portaal failide hoidmiseks, haldamiseks ja jagamiseks
Project Center; Newforma	Projekti informatsiooni haldamine	Project Center tarkvara on ehitustööstuse integreeritud ja terviklik lahendus igasuguse projektilase informatsiooni haldamiseks. Lihtne ligipääs veebist ja takistusteta ühenduvus teiste ettevõtetega, mis kasutavad Newforma tarkvara.	Projekti informatsiooni haldamise süsteem
Doc Set Manager; Vico Software	Jooniste võrdlus	Vico Doc Set Manager automatiseerib projekti ehitusjooniste kontrollimise protsessi. Kasutajad saavad kergesti võrrelda komplekte, mis koosnevad tuhandetest joonistest, mõne minuti jooksul. Mitu kasutajat saavad töötada samal ajal, et lahendada probleeme üheskoos. Tarkvara võimaldab hallata kõiki ehitise dokumentide komplekte ning vaadata, millised neist on kehtivad, millised on olemas ja mis kõige tähtsam, millised on puudu.	Ehitusjooniste muudatuste selgitamine
FTP Sites; Üldised pakkujad	Failide jagamine	Failide üles- ja allalaadimine.	Veebipõhine piiratud turvalisusega failide jagamise keskkond

LISA 3. Peamiste BIM platvormide tugevused ja nõrkused

Peamised BIM platvormid		Nõrkused
Toote nimetus	Tugevused	
Revit	Projekteerimise tööriistana on Revit 2011 tugev. Revit on intuiitivne. Tema projekteerimise tööriistad on suurepärased. Kuid paljud projekteerijad soovivad minna kaugemale kui sisseehitatud objektide piirangud seda võimaldavad. Seega nad kasutavad teisi tööriistu, et projekteerida vabama vormiga viisil ning seejärel impordivad tulemused Revitisse modelleerimiseks. Revitit on lihtne õppida tänu läbimõeldud ja kasutajasõbralikule kasutajaliidesele. Revitil on väga suur objektide raamatukogu. Tänu juhtivale positsioonile turul on Revit eelistatud platvorm teiste BIM tööriistade poolt. Reviti kahesuunaline projekteerimine võimaldab teabe ajakohastamist ja haldamist joonistelt ja mudelilt. Toetab samaaegset projekti kasutamist.	Revit on mällu talletav süsteem ja aeglustub oluliselt projektidega, mis on suuremad kui umbes 300 megabaiti. Revitil on paar piirangut parameetritelisel eeskirjadel. Piiratud toetus keerulistele kaardus pindadele. Revit ei sisalda veel vajalikku tuge kogu objekti juhtimiseks BIM keskkonnas.
Dprofiler	Selle funktsionaalsus võimaldab seda kohandada pea kõigi hoone tüüpidega, põhinedes kokkupaneku kuludel ja toodetel. Reviti liidesena on tal tugevad andmete ülekande võimalused. Suudab analüüsida erinevate hoone eskiiside väärtust põhinedes laial valikul ehitise tehnilistel andmetel ja nendega kaasnevatel kuludel. Võimaldab luua eskiisi tasemel projektile täpse ökonoomse hinnangu.	Pole üldise otstarbega BIM tööriist. Peamine otstarve on ehitusprojektide rahaline hindamine koos alternatiivsete võimaluste hindamisega tavaliselt ilma neid geomeetriselt modelleerimata. Kui mudel on valmis, on täielikult võimalik tööd jätkata praegu ainult Revitis.
Bentley Systems	Bentley pakub väga laia valiku hoone modelleerimise vahendeid. Toetab keeruliste kaardus pindade modelleerimist. Toetab mitmel tasandil parameetriteliste objektide loomist. Võimaldab defineerida keerulisi parameetrisi geomeetria sõlmi. Pakub tuge paljude objektidega suurtele projektidele. On mitmeplatvormiline ja annab serveri võimalused.	Bentley suur tootevalik on osaliselt integreeritud andmete järjepidevuse ja kasutajaliidese tasemel. Seega kulub rohkem aega õppimisele ja navigeerimisele. Integratsioon vähendab erinevate rakenduste väärtust, mida need süsteemid annavad individuaalselt.
Digital Project	Väga võimas ja täielik parameetiline modelleerimine. Võimeline otseselt modelleerima suuri ja keerulisi sõlmi. Toetab ehitusplatsi välisist tootmist. Tugineb 3D parameetrisel modelleerimisel. See on täielik lahendus platvormi tasandil. Sellel on võimas kompleks integreeritud tööriistu (Workbench).	Nõuab palju õppimist, on keeruka kasutajaliidese ja kõrge esialgse maksumusega. Eel määratletud hoone objektide raamatukogud on piiratud. Projekteerimise võimed arhitektuurseks kasutamiseks ei ole täielikult välja arendatud.
ArchiCAD	ArchiCAD versioon 14 omab intuiitivset kasutajaliidest ja on suhteliselt lihtne kasutada. Sellel on suur objektide raamatukogu ja rikkalik kompleks toetavaid rakendusi projekteerimisel, süsteemide ehitamisel ja hoonete haldamisel. Seda saab kasutada kõikidel etappidel, välja arvatud tootmise täpsustamisel. Serveri võimalus hõlbustab tõhusat projekti koostööd ja toetab objekti tasemel projekteerimise koordineerimist. Toetab ka Mac platvormi.	Parameetriselise modelleerimise võimel on mõned väikesed piirangud. Kuna ArchiCAD on mällu talletav süsteem ja sellel võib esineda probleeme suurte projektidega, on loodud tõhusaid viise suurte projektide juhtimiseks (DELTA Server).
Vectorworks	Kasutajasõbralik tarkvara. Lai valik tööriistu, mis on eraldi tooted, kuid ühes kompleksis. Eraldi toodete kasutajaliidesed integreeruvad omavahel väga hästi. Võimaldab luua uusi objekte ja muuta eel määratletud objekte. Toetab ka Mac platvormi.	Annotatsioon ja dimensioneerimine pole veel võimalik 3D objektide vaatamisel, mis vajab hoolikamat mudeli ja jooniste kontrollimist. Mällu talletav süsteem, kuid võimalik on jagada suur mudel väiksemateks mudeli osadeks (Workgroups), et mudelid ei muutuks aeglaseks.
Tekla Structures	Mitmekülgselt võimeline modelleerima hooned, mis hõlmavad laia valikut konstruktsioonimaterjale ja detailsust. Võimeline toetama väga suuri mudeleid ja käimasolevaid töid samas projektis ja mitme samaaegse kasutajaga. Toetab kasutaja poolt määratud parameetritega komponentide raamatukogusid, sealhulgas olemasolevate objektide kohandamist.	Kuigi väga võimas tööriist on selle täielikku funktsionaalsust üsna keerukas õppida ja täielikult kasutada. Parameetriseliste komponentide jõudlus on väga suur, siiski nende teostamine nõuab projekteerijate suurt pühendumust ja kõrgetasemelisi oskuseid. Võimeline importima keerukaid kaardus pindadega objekte teistest tarkvaradest, aga neid objekte ei saa redigeerida. Suhteliselt kallid tarkvara.
AutoCAD-Based Applications	AutoCADi kasutajatele lihtne omaks võtta tänu kasutajaliidese sarnasusele. Lihtne kasutada, sest on ehitatud AutoCADi tuntud 2D joonestamise funktsionaalsusele ja liidesele. Lihtne tarkvara, kuhu on võimalik programmeerida uusi rakendusi. Hästi toetatud sobivate uute rakendustega.	Põhiline piirang see, et need pole parameetriselised modelleerijad, millega on võimalik määrata uusi objekte, objekti reegleid ja piiranguid. Nende liideseid teiste tarkvaradega on limiteeritud. Muudatusi peab tegema manuaalselt mitmetelt vaadetelt.

LISA 4. 3.2.2 Ehitamise planeerimine

BIMi toetav tarkvara võimaldab parema planeeringu saavutamiseks algselt „ehitada“ virtuaalne hoone. Nii on võimalik saada parem ülevaade teostatavate tööde järjekorrast ja tööde teostamise asukohast, mis võimaldab töid paremini planeerida. Traditsioonilised ehitamise planeerimise meetodid seotakse hoone mudeliga. Nii on võimalik saada 3D mudel ehitamise planeerimiseks, 4D mudel ajakavade planeerimiseks (joonis 74) ja 5D mudel maksumuse planeerimiseks.



Joonis 74. 4D mudel ehitamise planeerimiseks. Allikas: Cadalyst kodulehekülj

Hea näite virtuaalsest hoone ehitamisest annab video (Lisa 8 video 2), millelt on näha, kuidas hoone peaks mingil kindlal ajahetkel välja nägema, mis tööd on tehtud, mis tööd on käsil ja mis tööd tulekul. Lisaks on võimalik näha eelarves püsimist. Järgnev video (Lisa 8 video 3) annab hea ülevaate Vico Office tarkvara võimalustest ühendada hoone mudel traditsiooniliste graafikutega. Lisaks annab video väikese ülevaate modelleerimise tarkvaradest, mille mudeleid on võimalik importida Vico Office keskkonda.

LISA 5. 3.2.3 Ehitusplatsiväline materjalide valmistamine

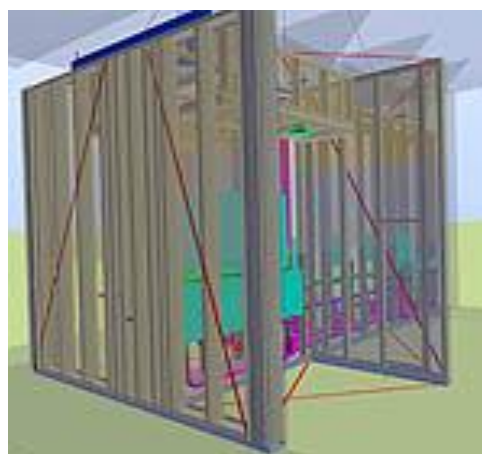
Kasutades BIM mudelit on projekti meeskonnal võimalik hoonet virtuaalselt katsetada. Näiteks on võimalik simuleerida ehitamist ja kontrollida ehitatavust. Kasutades seda informatsiooni koos võimalusega luua tootejooniseid, aitab BIMi toetav tarkvara kaasa ehitusplatsivälisele materjalide ja komponentide tootmisele, millest annab hea ülevaate video (Lisa 8 video 4). BIMi toetav tarkvara loob võimaluse projekti meeskonnal saata hoone elemendi täpsed andmed digitaalselt tootjale, kes saab selle informatsiooni põhjal toota täpselt sellised hooneelemendid nagu projektis nõutud. Näide Working with BIM on võetud Architectureweek koduleheküljelt. Näide põhineb viiel pildil ja näitab seinasüsteemi loomist.

Esimesel pildil on näidatud seinasüsteem mudelis (joonis 75). Teisel pildil on BIM mudel seinast, kus on koordineeritud seinasüsteemid ja -komponendid (joonis 76). Mudel sisaldab seinaelemendi kõiki kinnitusvahendeid, eriosade süsteeme, viimistlust ja ka ajutisi kinnitusvahendeid. Kolmas pilt näitab selle seinasüsteemi valmistamist tehases (joonis 77). Neljandal pildil tõstetakse see seinasüsteem hoonesse (joonis 78) ja viiendal pildil on näidatud, kuidas seinasüsteem lõplikult välja näeb (joonis 79).



Joonis 75. Seinäsüsteem mudelis.

Allikas: Architectureweek kodulehekülg



Joonis 76. Seinäsüsteem BIM mudelis.

Allikas: Architectureweek kodulehekülg



Joonis 77. Seinasüsteemi valmistamine.
Allikas: Architectureweek kodulehekül



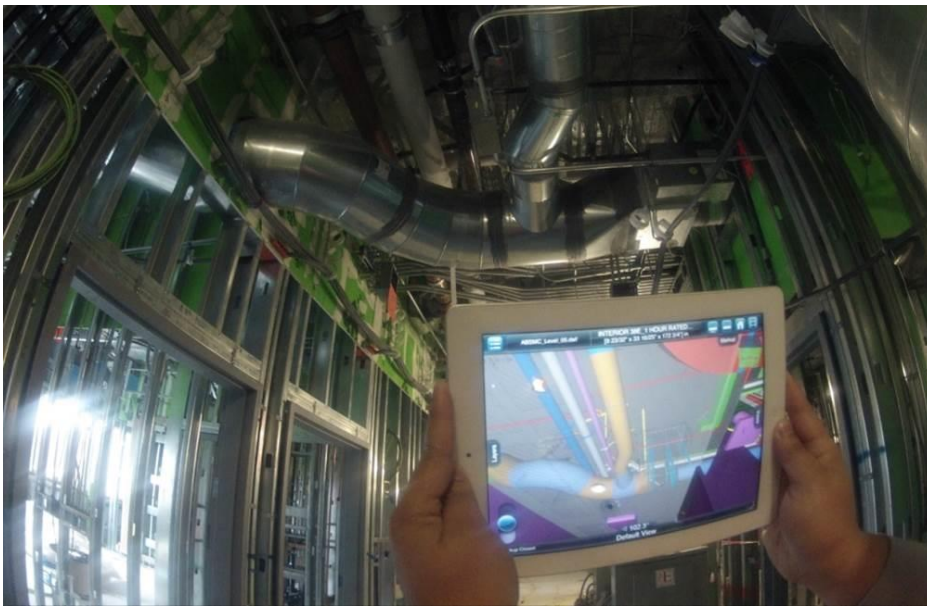
Joonis 78. Seinasüsteemi paigaldus.
Allikas: Architectureweek kodulehekül



Joonis 79. Seinasüsteem lõplikult.
Allikas: Architectureweek kodulehekül

LISA 6. 3.2.4 Ehitusplatsi organiseerimine

Samu mudeleid, mida kasutatakse ehitamise planeerimiseks, saab kasutada ka ehitusplatsi tööde kontrollimiseks ning ajakavas ja eelarves püsimise hindamiseks. On võimalik vaadata, kuidas mudel mingil kindlal ajahetkel välja näeb, ja võrrelda seda reaalse olukorraga. Mobiilsed seaded võimaldavad BIM mudelit ehitusplatsile kaasa võtta ja selle abil töid kontrollida ja töölisi juhendada (joonis 80). Lisaks saab mudeli põhjal kontrollida materjalide vastavust projekti nõuetele, sest mudel on nõuetekohaselt konstrueeritud.



Joonis 80. BIM ehitusplatsil mobiilses seadmes. Allikas: Vconstruct kodulehekülg

LISA 7. 3.3.2 Hoone toimimise simulatsioon

Hoone toimimist saab simuleerida tarkvaraga, mis võimaldab hoone mudelile lisada inimesi ja anda neile mingid kindlad ülesanded. Inimesed saab mudelis panna käituma nii, nagu nad käituksid päriselt. Näiteks, mis kell nad sisenevad hoonesse ja mis ruume nad läbivad. See võimaldab hoone haldajal paremini näha ruumide koormusi ja seda infot arvesse võtta, et luua parem hoone seda kasutama hakkavatele inimestele.

Lisaks võimalusele näha, kuidas hoone on sobilik inimestele tavapäraseks kasutamiseks, saab tarkvaraga simuleerida ohuolukordi, kus suur hulk hoones olevast rahvast hakkab korraga mõnest üksikust väljapääsust väljuma. Nii saab ka ohuolukordades paremini toimivaid hooneid luua. Näite MassMotion used in the virtual BIMShowLive 2014 arena olen võtnud Oasys tarkvara kodulehelt. Tegu on virtuaalse mudeliga, mis loodi tulevasele messile, et sellelt kontrollida rahvamasside käitumist ja vaadata planeeringu kitsaskohti (joonis 81). Analüüsist oli kasu messi korraldajatele, kes said teada planeeringu kitsaskohtadest ja tegid selle põhjal muudatusi, et messi külastajatel oleks mugavam ringi käia. Parema ülevaate messi virtuaalsest planeeringust ja rahva käitumisest annab video (Lisa 8 video 5).



Joonis 81. Rahva käitumise analüüs mudelis. Allikas: Oasys kodulehekülg

LISA 8. Videod

Video 1

Lustmets, K. (2014). Puiestee 78 hoone mudel. Kättesaadav: CD lisas.

Video 2

Stein. (2013). Construction animation, 4D phasing, www.visual5d.com. [WWW]

<https://www.youtube.com/watch?v=5uHzLV3gf78> (18.01.2015)

Video 3

FridaysWithVico. (2013). Vico Office – Integrated 5d BIM Construction Management

from Trimble. [WWW] https://www.youtube.com/watch?v=qcepd_AJANo (18.01.2015)

Video 4

JC Cannistraro. (2009). BIM Enabled Pre Fabrication. [WWW]

https://www.youtube.com/watch?v=FQ1H6znR-_0 (18.01.2015)

Video 5

TheOasysSoftware. (2014). BIMShowLive Crowd Simulation. [WWW]

<https://www.youtube.com/watch?v=S7czjLkn6KM> (18.01.2015)