



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

BIM PROTSESSI RAKENDAMINE BETOONELEMENTIDE PROJEKTEERIMISEL

*BIM PROCESS IMPLEMENTATION IN PRECAST CONCRETE
DESIGN*

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ants Ratškov

Üliõpilaskood 122501 EAEI

Juhendaja: Roode Liias

Tallinn 2020

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

18. mai 2020

Autor:

.....
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

"....." 20.....

Juhendaja:

.....
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....
/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, **Ants Ratškov**, sünd. 03.03.1993

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
„BIM protsessi rakendamine betoelementide projekteerimisel“,
mille juhendaja on Roode Liias.

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

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

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.



Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: **ANTS RATŠKOV**

Üliõpilaskood **122501**

Õppekava: **EAEI02 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine**

Peaeriala: Ehitusmajandus ja juhtimine

Lõputöö teema:

BIM PROTSESSI RAKENDAMINE BETOONELEMENTIDE PROJEKTEERIMISEL

BIM processes implementation in precast concrete design

Juhendaja: **professor Roode Liias**

roode.liias@ttu.ee

Lõputöö konsultandid:

Tiitel või ametikoht, Ees- ja
Perekonnanimi

Kontakt (e-post või telefon)

Allkiri ja kuupäev

Lõputöö põhieesmärgid:

1. BIM-i põhise tööprotsessi loomine betoonelementide projekteerimiseks
2. Projekteerimist abistava juhenddokumentatsiooni koostamine

Töö keel: eesti keel

Lõputöö etapid ja ajakava:

Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1. Kirjanduse ülevaade	13.03.2020
2. Standardite ja juhendite ülevaade	27.03.2020
3. Juhenddokumentatsiooni koostamine	17.04.2020
4. Tehnoloogia juhendi koostamine	08.05.2020
5. Kokkuvõte	11.05.2020

Lõputööde 95% ülevaatus, mille läbimine on kaitsmise eelduseks

13.05.2020

Esitlusmaterjalid kaitsmisel: Powerpoint esitlus ja jaotusmaterjalid

Kirjeldus	Tähtaeg
1 PowerPoint esitlus lõputöö kaitsmiseks	01.06.2020
2 PowerPoint esitluse väljatrükk kaitsmiskomisjoni liikmetele	01.06.2020

Lõputöö esitamise tähtaeg: 18. mai 2020

Lõputöö ülesanne välja antud: 26.02.2020

Juhendaja: Roode Liias

Ülesande vastu võtnud:

Avalikustamise piirangu tingimused: Kinnine kaitsmine. Kuna lõputöö sisaldab konkreetse firma konfidentsiaalseid andmeid, siis avalikustatakse ainult annotatsioon ja metaandmed.

SISUKORD

SISUKORD	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	9
TABELITE LOETELU	11
JOONISTE LOETELU.....	12
SISSEJUHATUS	13
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	14
1.1 Ehitusinfo modelleerimine	14
1.1.1 Küpsusastmed	15
1.1.2 BIM printsiibid	15
1.1.3 Mudeli andmesisu tase	17
1.1.4 Mudelipõhine koostöö	19
1.2 Kasutusala konstruktsioonide projekteerimisel.....	20
1.3 Vajadus tehases tootmise järgi	20
2. STANDARDID JA JUHENDID	23
2.1 COBIM	23
2.1.1 Mudelprojekteerimise üldjuhendid	24
2.1.2 Konstruktsioonide projekteerimine	26
2.1.3 Kvaliteedi tagamine.....	28
2.2 ISO 19650-1:2018.....	29
2.2.1 Info edastamise tsükkel.....	31
2.2.2 Info edastamise kavandamine	34
2.2.3 Info ühistootmise haldamine	34
2.2.4 Ühtse andmekeskonna (CDE) lahendus ja töövoog	35
2.3 ISO 19650-2:2018.....	37
2.3.1 Esitatud pakkumus	37
2.3.2 Määramine	38
2.3.3 Ettevalmistus.....	38
2.3.4 Info ühistootmine.....	39
2.3.5 Infomudeli edastamine	40
2.4 RKAS-i BIM nõuded	41
2.5 EVS 932:2017 Ehitusprojekt	46
3. JUHENDDOKUMENTATSIOON	47
3.1 BIM juhend.....	47
3.1.1 Informatsiooni halduse protsessikaardid.....	47
3.1.2 Hanke dokumendid	48
3.1.3 Toetavad dokumendid	49
3.1.4 Projektipõhised dokumendid	51
3.2 Juhendi rakendamine.....	52
3.2.1 Muudatuste juhtimine	52
3.2.2 Tulemuste mõõtmine.....	54

4. TEHNOLOOGIA JUHEND	56
4.1 Parim praktika	56
4.1.1 BIM	56
4.1.2 Jooniste koostamine.....	57
4.2 Planeerimine	59
4.2.1 Rollid ja vastutus	59
4.2.2 Projekti BIM koosolekud	60
4.3 Koordineerimine.....	61
4.3.1 Protsess	61
4.3.2 Failide eksport	62
4.3.3 Ühtne andmekeskond (CDE)	62
4.4 Tööprotsess	63
4.5 Modelleerimine	64
4.5.1 Põhielementide geomeetria modelleerimine	65
4.5.2 Ühenduselemendid ja tõsteankrud.....	66
4.5.3 Armatuur	66
4.5.4 2D jooniste genereerimine.....	67
4.5.5 Kvaliteedi tagamine.....	68
4.6 Struktuur ja nimetamine	68
4.6.1 Projekti kausta struktuur.....	68
4.7 Ressursid	69
4.7.1 Elementide tootekataloogid.....	69
4.7.2 Skriptid	70
KOKKUVÕTE	72
SUMMARY	73
Kasutatud kirjandus.....	74
LISAD	76
Lisa 1 Infohalduse määramise maatriks	77
Lisa 2 Infomudeli kaaskirja mall	79
Lisa 3 Konstruktsioonide infomudeli (IFC) kontroll-leht	80
Lisa 4 Konstruktsioonide originaal infomudeli kvaliteedi kontroll-leht	81
Lisa 5 ISO 19650 standardile vastav TIDP näide.....	82
Lisa 6 Informatsiooni halduse protsessikaardid ISO 19650 järgi alltöövõtjale	83

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

2D	kahemõõtmeline
3D	kolmemõõtmeline ehk ruumiline
AIA	Ameerika Arhitektide Instituut (<i>American Institute of Architects</i>)
BCF	BIM koostöö formaat (<i>BIM Collaboration Format</i>)
BEP	BIM-i rakenduskava (<i>BIM Execution Plan</i>) plaan, mis selgitab, kuidas elluviimise meeskond täidab määramise infohalduse aspekte. [1]
BIM	ehitusinformatsiooni modelleerimine (<i>Building Information Modelling</i>)
BS	Briti standard
CAD	raalprojekteerimine (<i>Computer-Aided Design</i>)
CDE	ühtne andmekeskond (<i>Common Data Environment</i>)
COBIM	ühised BIM nõuded (<i>Common BIM Requirements</i>)
EIR	infovahetuse nõuded (<i>Exchange Information Requirements</i>) määramisega seotud infonõuded. [2]
Element	(<i>element, object</i>) on ehitise osa, millel on omadused, tunnused ja parameetrid.
FEM	lõplike elementide meetod (<i>Finite Element Method</i>)
GUID	globaalne unikaalne identifikaator (<i>Globally Unique Identifier</i>)
LOD	andmesisu tase (<i>Level of Development</i>)
MDD	mudeli kaaskiri (<i>Model Description Documentation</i>)
MIDP	info edastamise peakava (<i>Master Information Delivery Plan</i>) kava, mis sisaldab kõiki asjakohaseid ülesandepõhiseid info edastamise kavasid. [1]
Määramine	(<i>Appointment</i>) tööde, kaupade või teenuste kohta info esitamise kokkulepitud korraldus. [2]
Määratud osaline	(<i>Appointed Party</i>) tööde, kaupade või teenustega seotud info pakkuja. [2]
Määrav osaline	(<i>Appointing Party</i>) info vastuvõtja tööde, kaupade või teenuste kohta määratud juhtivalt osaliselt. [2]
OIR	organisatsioonilised infonõuded (<i>Organizational Information Requirements</i>) organisatsiooni eesmärkidega seotud infonõuded [2].
PAS	avalik spetsifikatsioon (<i>Publicly Available Specification</i>)
PDCA	planeeri-teosta-kontrolli-tegutse tsükkel (<i>Plan-Do-Check-Act Cycle</i>)

- PIR projekti infonõuded (*Project Information Requirements*) vara elluviimisega seotud infonõuded [2]
- RKAS Riigi Kinnisvara AS
- TIDP ülesandepõhine info edastamise kava (*Task Information Delivery Plan*) kindla töörühma infokonteinerite ja tarnekuupäevade ajakava. [1]
- Vastutusmaatriks
(*Responsibility Matrix*) diagramm, mis kirjeldab eri funktsioonide osalemist tööülesannete või tulemite täitmisel. [2]

TABELITE LOETELU

Tabel 2.1 Osaliste ja meeskondade tüübid	29
Tabel 2.2 RKAS Tehnilised nõuded mitteiluhoonetele 2020 Lisa 4 - Andmesisu nõuded.....	43
Tabel 2.3 RKAS Tehnilised nõuded mitteiluhoonetele 2020 Lisa 4 - EK_Tala-Post.....	44
Tabel 2.4 RKAS Tehnilised nõuded mitteiluhoonetele 2020 Lisa 4 - Põhiomaduste kogum	44
Tabel 2.5 RKAS Tehnilised nõuded mitteiluhoonetele 2020 Lisa 5 - Lubatud vastuolud.....	45
Tabel 4.1 BIM-i rollide vastutusmaatriks [27]	59
Tabel 4.2 Tunnuste/omaduste kogumi määramise faili struktuuri näide.....	62
Tabel 4.3 Modelleerimis meetodite võrdlus	65
Tabel 4.4 Projekti kausta BIM-i andmete struktuur	69
Tabel A.1.0.1 - Infohalduse vastutusmaatriksi mall	77

JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1 Monteeritava r/b posti andmesisu tasemete näide BIMforumi spetsifikatsioonist [9]..	18
Joonis 1.2 Globaalne tootlikkuse kasv aastatel 1995-2014 [13]	21
Joonis 1.3 Tootlikkus tootmises ja ehituses aastatel 1967-2012 [8].....	21
Joonis 2.1 COBIM osa 5 lisa 1 tõlke ebakõlad	23
Joonis 2.2 Korruse modelleerimise erinevused COBIM-i järgi (AR vasakul ja EK paremal) [15]	25
Joonis 2.3 Trepishti mudeli täpsuse näide eel-, põhi- ja tööprojekti staadiumites (joonis: Finnmap Consulting Oy)	27
Joonis 2.4 Osaliste ja meeskondade vahelised liidesed infohalduse eesmärgil [19]	30
Joonis 2.5 Infonõuete hierarhia [2]	31
Joonis 2.6 Info edastamise üldine spetsifikatsioon ja kavandamine [2]	32
Joonis 2.7 Info kontrollimine infovahetuse ajal [2]	33
Joonis 2.8 Kõikide elluviimise meeskondade esitatava info näide [2]	33
Joonis 2.9 Ühtse andmekeskonna (CDE) kontseptsioon [2]	36
Joonis 2.10 Infohaldusprotsess varade elluviimise etapis [1]	37
Joonis 2.11 Ettevalmistus [1].....	38
Joonis 2.12 Info ühistootmine [1]	39
Joonis 2.13 Infomudeli edastamine [1]	40
Joonis 3.1 BIM juhendi skeem.....	47
Joonis 3.2 Protsessikaartide tähised	48
Joonis 3.3 Muudatuste juhtimise skeem [23]	52
Joonis 3.4 Juhtumianalüüsi projekt 01 BIM mudel vasakul ja 02 paremal [25]	55
Joonis 4.1 Näide traditsioonilisest joonisest vasakul ja mudeli põhjal genereeritud joonisest paremal	58
Joonis 4.2 Koordineerimise skeem.....	61
Joonis 4.3 Tähtnumbrilise info kontrolli tabel.....	62
Joonis 4.4 CDE töövoog	63
Joonis 4.5 Avade projekteerimise skeem.....	65
Joonis 4.6 Näide automaatselt genereeritud betoonelemendi tootejoonisest.....	67
Joonis 4.7 Prodlib Revit-i laiendus.....	70
Joonis 4.8 Impact Revit-i laienduse tootekataloog	70
Joonis 4.9 Dynamo skripti näide	71
Joonis 4.10 Dynamo Player	71
Joonis A.6.0.1 Protsessikaart - Hindamine ja vajadus, hankekonkurss ning pakkumise esitamine .	83
Joonis A.6.0.2 Protsessikaart - Määramine	84
Joonis A.6.0.3 Protsessikaart - Ettevalmistus.....	85
Joonis A.6.0.4 Protsessikaart - Info ühistootmine ja infomudeli edastamine.....	86

SISSEJUHATUS

Nii nagu autode kasutuselevõttuga 100 aastat tagasi oli vaja üle minna uuele liikluskorraldusele, on vaja mudelipõhise projekteerimise kasutuselevõttuga muuta olemasolevat töökorraldust. Ei piisa ainult kasutatava tarkvara vahetamisest või mõne muu üksiku protsessi osa muutmisest vaid on vaja kujundada tervikprotsess, kus on adresseeritud kõiki uuest protsessist tulenevaid probleeme.

BIM-i põhist projekteerimise töökorraldust on Eestis kasutatud mõnda aega, aga selle kasutamine on enamasti piirdunud vähesel määral integreeritud protsessi kasutamisega, mis on loodud n-ö *ad hoc* stiilis. Kui lahendada probleeme tegemise käigus ja mitte ennetavalt, võib probleemi ilmnemisel olla liiga hilja, et see mõistlikult lahendada. Lisaks takistab selline lähenemine projekteerijal oma töö tegemist, kui ta peab lisaks jooksvalt välja mõtlema kuidas seda tööd teha.

Mudelipõhise projekteerimise kasutamise takistustena on välja toodud järgnevaid probleeme:

- BIM-i kasutuselevõtt eeldab selget visiooni ja strateegiat [3];
- selle laiemat kasutuselevõttu takistab vajalike tööprotsesside puudumine;
- tarkvara kasutamine BIM-i rakendamisel on kallis ning seda on keeruline kasutada, mis muudab koolitamise raskeks.

Lõputöö käsitleb BIM-i protsesside rakendamist konstruktori kui projekteerimise alltöövõtja vaatenurgast, üldisemalt tööprojekti staadiumis ja detailsemalt betoelementide projekteerimisel. Lõputöö ei käsitle teostusmudeli koostamist ja projekteerimise aspekte, mida konstruktor ei saa mõjutada või mis ei ole konstruktori töö tegemise jaoks olulised.

Eesmärk on luua tööprotsess, juhenddokumentatsioon ja vajalikud mallid projekteerijale tööprojekti koostamiseks ning betoelementide projekteerimiseks.

Lõputöö on jagatud neljaks osaks. Esimene osa annab ülevaate mudelprojekteerimise alast kirjandusest. Teises osas on tehtud ülevaade Eestis kasutatavatest standarditest ja juhenditest. Kolmandas osas on kirjeldatud ettevõttesiseseks kasutamiseks loodud BIM juhendi koosseisu. Neljandas osas on toodud olulisemad punktid tehnoloogia juhendist, mis kirjeldab spetsiifilisemat töövoogu ja -põhimõtteid.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Ehitusinfo modelleerimine

Kui kunagi tekkis vajadus ehitusprotsessi dokumenteerimise järgi, hakati koostama kahemõõtmelisi jooniseid (plaanid, lõiked, vaated ja detailide joonised), millega anti peamine informatsioon edasi. Kolmemõõtmelise informatsiooni kujutamisel 2D-s tuli teha kompromisse. Hilisem tehnoloogia areng võimaldas käsitsi joonestamise asemel töö efektiivsemalt ära teha arvuti abiga kasutades CAD-i, kuid töö protsess ise jäi samaks.

CAD tehnoloogia ja tööprotsessi areng oli aga piiratud, edasise arengu toimumiseks nähti vajadust radikaalseks muutuseks, mille tulemusel CAD-ile järgnes BIM. Chuck Eastman tutvustas 70ndate keskel objektile orienteeritud modelleerimist, mis aja jooksul omandas palju erinevaid nimetusi. 1992. aastal van Nederveen ja Tolman võtsid esimestena kasutusele termini „ehitusinformatsiooni modelleerimine“ [4], mida Jerry Laiserin populariseeris 2002-2003 [5].

Laiserin kirjutas, et „ehitamine“ (*building*) on piisavalt üldine viitamaks projekteerimisele, ehitusele ja haldusele. „Informatsioon“ vihjab selgelt tarkvarale, mis käsitleb rohkemat kui lihtsalt geomeetriat. „Modelleerimine“ viitab matemaatilisele või digitaalsele objekti või süsteemi kujutusele ning selle all võib mõista ka analüüsi.

Eestis praeguse ajani laialdaselt kasutatav protsess seisneb 2D mitte intelligentsete joonisete koostamises ja vähesel määral kasutatakse ära tehnoloogia võimekust. Tehnoloogia võimekuse optimaalne kasutamine on võimalik läbi ehitusinformatsiooni modelleerimise kuid see vajab oluliselt rohkem teadmisi ja oskusi protsessi suurema keerukuse tõttu.

BIM-i suureks eeliseks on võimalus koostööks kõigi projekteerimise osapoolte vahel. Selline koostöö võimaldab lisaks projekti kiiremale elluviimisele rakendada ka timmitud ehituse põhimõtteid ja integreeritud projekti teostust (IPD).

1.1.1 Küpsusastmed

BIM-i süstemaatiliseks analüüsiks ja mõistmiseks tuvastas Succar BIM-i küpsusastmed jagades need etappideks [6]. Küpsusastmed võimaldavad luua süstemaatilise raamistiku BIM-i rakendamise võrdlemiseks. BIM-i rakendamisel on kolm etappi:

- etapp 1 – objektipõhine modelleerimine,
- etapp 2 – mudelipõhine koostöö,
- etapp 3 – võrgustikupõhine integratsioon.

BIM-i eelne etapp viitab traditsioonilisele ehituspraktikale, mis hõlmab olulisi takistusi ja ebatõhususi. Näiteks enamus projekti informatsiooni hoitakse paberjooniste ja -dokumentidena, mis on tihti struktureerimata ja mida on keeruline kasutada. Need ja paljud teised probleemid selles etapis viivad halva informatsiooni halduseni, mis takistab projekti liikmetel kujundada terviklikku arusaama.

Esimeses etapis toimub üleminek 2D-lt 3D-le, mis seisneb objektipõhises modelleerimises ja dokumenteerimises. BIM on endiselt ühedistsiplinaarne ning lepingulised suhted ja probleemid vastutuses on endised.

Teises etapis liigub modelleerimine koostöö ja koostalituse suunas. Selles etapis on vaja integreeritud suhtlust ja andmete jagamist, et tagada sujuv koostöö.

Kolmandas etapis järgitakse täielikult BIM-i põhimõtteid. Piiritlus projekti elutsükli etappide vahel kaob ja osalised suhtlevad reaajas kasutades virtuaalseid töövahendeid. Selle etapi mudelid on interdistsiplinaarsed ja võimaldavad teha keerulisi analüüse varajastes staadiumites.

1.1.2 BIM printsiibid

Projekteerimise jaoks olulisemad BIM-i printsiibid on:

- **objektile orienteeritud modelleerimine**, mis võimaldab disaini projekteerimise jooksul täpsustada ja edasi arendada;
- **parameetrilisus**, mis automatiseerib madala taseme muutuste tegemise;
- **info genereerimine mudeli põhjal**, mis vähendab vastuolusid ja info loomiseks kuluvat aega;
- **mudelipõhine koostöö**, mis võimaldab projekti erinevatel osapooltel probleemidest selgemini aru saada.

BIM-ist eraldiseisev valdkond on 3D CAD, mis seisneb kolmemõõtmelises vektorgraafikas, kus võivad esineda objektid, aga neil puudub intelligentsus ja need on üksikute omadustega. 3D andmed võivad olla sisendiks BIM töövoos ja vastavat tarkvara saab pidada BIM tööriistaks aga 3D CAD ise ei ole BIM.

Tarkvara ei saa pidada BIM tarkvaraks kui selle mudelis ei ole kasutusel parameetrisust või mudelis tehtud muudatused ei avaldu kõikidel vaadetel. Nende omaduste puudumine põhjustab vastuolude tekkimise. Parameetrisuse puudumine nõuab ka muudatuste sisseviimisel suuremat ajakulu.

Timmitud ehitus

BIM ja timmitud ehitus ei ole omavahel sõltuvad ehk timmitud ehituse põhimõtteid on võimalik kasutada ka ilma BIM-i rakendamata ja vastupidi. Kuid nende täielikku potentsiaali on võimalik saavutada vaid läbi integreeritud kasutamise [7].

Timmitud ehituse põhimõtteid järgides on vaja tööülesannete määramisel tagada nende täitmise võimalikkus, mis vähendab raisatud aega ja muudab töövoogu sujuvamaks [8]. Sacks on välja toonud timmitud ehituse põhimõtted, mis on seotud BIM-iga [7]. Nendest projekteerimise jaoks olulisemad on:

- **varieeruvuse, tsükli aegade ja partiide arvu vähendamine**, mis on seotud optimeerimisega peamiselt läbi töö lihtsustamise;
- **paindlikkuse suurendamine**, mis vähendab ettevalmistusaega;
- **kohase tootmiskontrolli meetodi valimine**, mis timmitud ehituse puhul on vajaduspõhine (*pull flow*) ja mitte või vähesel määral juhtimise keskne (*push flow*);
- **standardiseerimine** vähendab ajalist ja toote variatsiooni ning võimaldab järjepidevat arengut;
- **pideva arengu põhimõtte juurutamine** on sihipärane, institutsionaalne ja süstemaatiline arengu vorm;
- **visuaalse halduse kasutamine** on lihtsustatud läbi standardiseerimise ning tootmismeetodi visualiseerimine lihtsustab selle kasutust ja suurendab protsessi järgimist;
- **tootmissüsteemi loomine vastavalt voole ja väärtusele**, mis tähendab suunitlust lihtsustusele, paralleelsetele operatsioonidele ja usaldusväärse tehnoloogia kasutamisele;
- **kõike haaravate nõuete loomine**, mida on praktikas teadaolevalt raske saavutada;

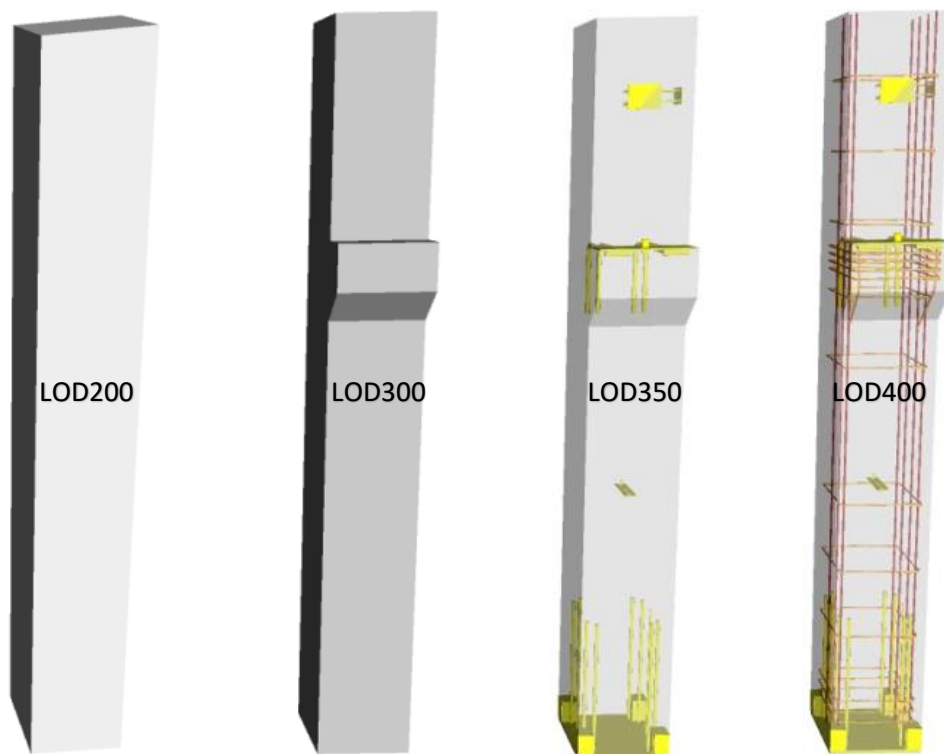
- **keskendumine lahenduse valikule**, mis on oluline vältimaks faktideta otsustamist ja seda põhimõtet aitab järgida stsenaariumipõhise disaini (*set based design*) kasutamine, mis seisneb detailsete lahenduste valiku edasilükkamisel;
- **kontroll ja valideerimine** on vajalik, sest ainuüksi idee edasiandmine ei ole piisav;
- **mine vaata probleemile otsa** (*go and see for yourself*);
- **kõigi variantide kaalumise, konsensuse põhjal otsustamine** suurendab töönaosuste parima lahenduse valimiseks;
- **partnerite võrgustiku loomine**.

1.1.3 Mudeli andmesisu tase

Mudeli andmesisu tase (LOD) on skaala, millega määratakse informatsiooni ulatus projekteerimise staadiumites. LOD eesmärk on selgitada minimaalse informatsiooni mahtu projekteerijale ja informatsiooni kasutajale näidata informatsiooni usaldatavust.

LOD rakendatakse elementidele mudelis ja mitte kogu mudelile ning on määratud info vajaduse tasemest tulenevalt. Paratamatult igas projekti staadiumis esineb ka elemente erinevate andmesisu tasemetega. Projekti staadiumipõhise LOD määramine toob kaasa üleliigse informatsiooni genereerimise.

Projekti jooksul informatsiooni täiendatakse ja liigutakse madalamalt tasemelt kõrgemale ning projekteerimisel võib vahele jätta tasemeid (nt. LOD300-lt üleminek LOD500-le).



Joonis 1.1 Monteeritava r/b posti andmesisu tasemete näide BIMforumi spetsifikatsioonist [9]

LOD täpsustamisel saab juhinduda BIM Forumi LOD spetsifikatsioonist [9], kus on toodud detailne elemendipõhine LOD (Joonis 1.1). Spetsifikatsiooni andmesisu tasemed on loodud AIA BIM protokollidokumendi G202-2013 põhjal, mida on täiendatud LOD 350 tasemega moodustades kokku kuus taset.

LOD 100 – mudeli element võib olla mudelis graafiliselt esitatud kasutades sümbolit või geneerilist esindust, aga see ei rahulda LOD 200 nõudeid.

LOD 200 – mudeli element on mudelis graafiliselt esitatud geneerilise süsteemi, elemendi või koostuna koos hinnangulise mahu, suuruse, kuju, asukoha ja orientatsiooniga. Elemendile võib olla lisatud ka mitte-graafilist informatsiooni.

LOD 300 – mudeli element on mudelis graafiliselt esitatud tüüpsüsteemi, -elemendi või -koostuna koos mahu, suuruse, kuju, asukoha ja orientatsiooniga. Elemendile võib olla lisatud ka mitte-graafilist informatsiooni.

LOD 350 – mudeli element on mudelis graafiliselt esitatud tüüpsüsteemi, -elemendi või -koostuna koos mahu, suuruse, kuju, asukoha ja orientatsiooniga ning omab sidusust teiste ehitise osadega. Elemendile võib olla lisatud ka mitte-graafilist informatsiooni.

LOD 400 – mudeli element on mudelis graafiliselt esitatud kindla süsteemi, elemendi või koostuna koos mahu, suuruse, kuju, asukoha, orientatsiooniga ja omab sidusust teiste ehitise osadega ning omab detailide, tootmise, koostamise ja paigaldamise informatsiooni. Elemendile võib olla lisatud ka mitte-graafilist informatsiooni.

LOD 500 – mudeli element vastab oma suuruse, kuju, asukoha, mahu ja orientatsiooniga valmis ehitatule.

1.1.4 Mudelipõhine koostöö

Ühtne andmekeskkond

Ühtne andmekeskkond (CDE) on kokkulepitud infoallikas iga konkreetse projekti või vara kohta, et hallatava protsessi kaudu koguda, hallata ja levitada igat infokonteinerit [2]. Kuigi on olemas ka laiema tehnoloogilise funktsionaalsusega lahendusi on enamasti CDE-ks projektipank, mis asub pilves.

CDE hõlmab nii töövoogu kui ka tehnoloogilist lahendust (täpsem kirjeldus ISO 19650-1 järgi vt. pt. 2.2.4). Konstruktoril on vaja CDE kohta teada, kellel on ligipääsu- ja muutmissõigused ning mis on selle aadress ja struktuur. Lisaks on vaja teada infovahetusprotsessi, mis lepitakse kokku projektipõhiselt.

Integreeritud projekti teostus

Integreeritud projekti teostus (IPD) on oluliselt erinev protsess võrreldes projekteerimis-ehitustöövõtu (*design-build*) ja projekteeri-hangi-ehita (*design-bid-build*) vormidega ning seda hakati katsetama alles 10 aastat tagasi. IPD meetodil on suurem rõhk koostööl. Nii nagu timmitud ehituse kasutamiseks ei ole vajalik BIM-i kasutamine ei ole ka IPD puhul see vajalik kuid täielikku potentsiaalset kasu mõlemast on võimalik saada ainult BIM-i ja IPD koos kasutamisel [10].

Ameerika Arhitektide Instituut (AIA) defineerib IPD kui projekti teostus meetodit, mis integreerib inimesi, süsteeme, äristrukture ja praktikaid koostööprotsessis, kasutades ära kõigi osaliste teadmisi ja oskusi, et saavutada maksimaalne kasu omanikule, vähendades raiskamist ja tõstes efektiivsust kõigis ehituse staadiumites.

1.2 Kasutusala konstruktsioonide projekteerimisel

Koordineerimine

Kui 2D CAD-i kasutamise puhul jäeti suurem osa probleemidest lahendada ehitusplatsil, siis mudelipõhine koordineerimine võimaldab probleemidest kiiremini aru saada ja enne ehitust need lahendada. Parem hoone osade koordineerimine võimaldab vähendada riski, et montaažil ei sobi elemendid kokku, mis omakorda soodustab suuremas mahus eeltootmist.

Dokumenteerimine

Kolmemõõtmeline objektile orienteeritud ja parameetiline modelleerimine võimaldavad genereerida:

- 2D joonised (enamasti pdf ja dwg formaatides),
- mahtude tabelid,
- masinloetavad failid,
- infomudelid.

Tarkvara on üles ehitatud selliselt, et see võimaldab mudelis tehtud muudatuste automaatse edasijõudmise dokumentatsiooni. Tootejooniste parem kvaliteet võimaldab suurema osa hoonest valmistada tehases.

Konstruktsioonide analüüs

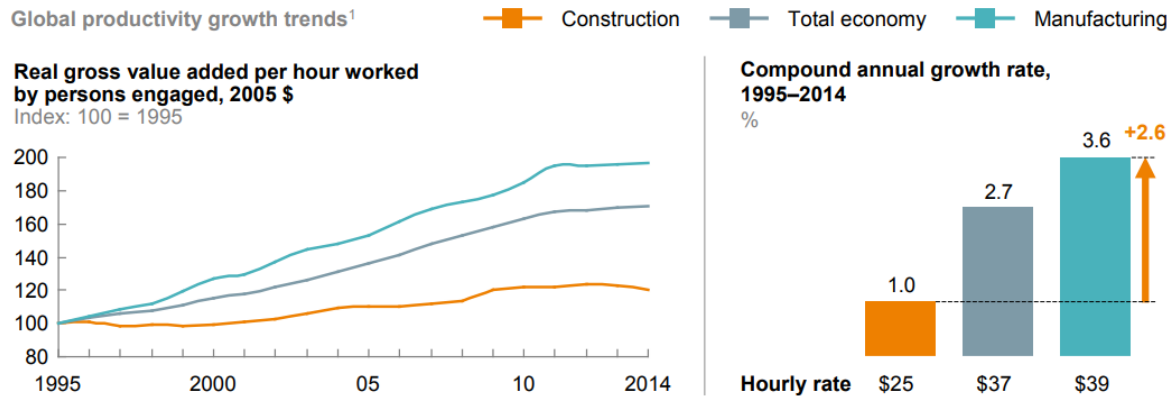
Suur eelis BIM-il CAD-i ees on võimalus kasutada ära tarkvara intelligentsust. BIM tarkvarad võimaldavad määrata materjali omadused, koormused ja muu informatsiooni, mida on vaja tarindite analüüsiks. FEM ja BIM tarkvara võimaldavad läbi laienduste kahesuunalist suhtlust, mis oluliselt lihtsustab projekteerimist.

1.3 Vajadus tehases tootmise järgi

Ehitussektoris on alates 1960ndatest täheldatud globaalset ehitussektori tootlikkuse kasvu pidurdumist [11]. Lisaks on ehitussektori tootlikkus ja tootlikkuse kasv võrreldes kogu majandusega oluliselt madalam [12]. Viimasel kahel kümnendil on globaalne ehitussektori tootlikkuse kasv olnud keskmiselt 1% aastas (Joonis 1.2).

Mckinsey uuritud riikides, viimase kümne aasta jooksul, vähem kui neljandik ehitusettevõtteid saavutasid majanduse keskmise tootlikkuse [13]. Väga madala

tootlikkusega on enamasti väikesed ettevõtted. Eestis oli 2017. aastal 11949 ehitusettevõtet, kellest vaid 1007 olid kümne ja enama töötajaga [14]. Ettevõtete väiksus on toodud välja ühe peamise tegurina, mis avaldab mõju ettevõtete lisandväärtuse ja tootlikkuse kasvule ning takistab sektori pikaajalist arengut [11].

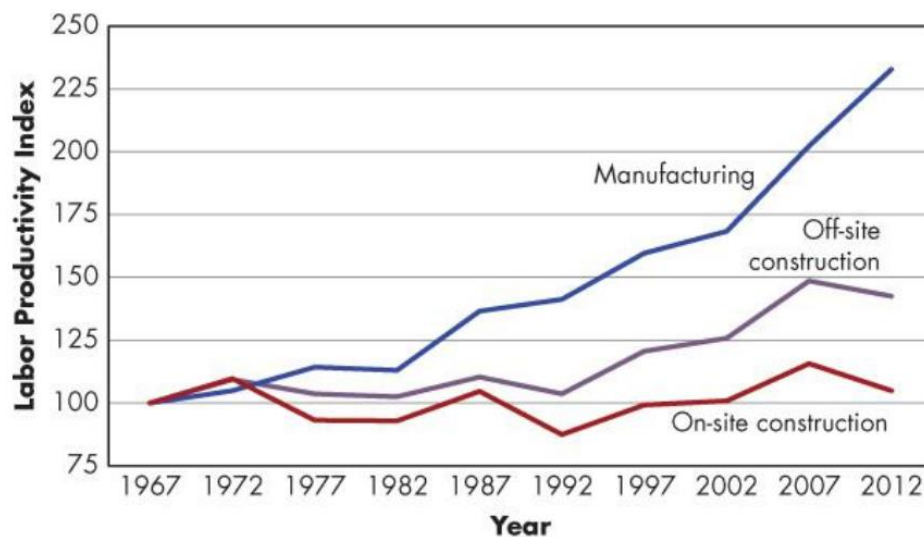


¹ Based on a sample of 41 countries that generate 96% of global GDP.

SOURCE: OECD; WIOD; GGCD-10, World Bank; BEA; BLS; national statistical agencies of Turkey, Malaysia, and Singapore; Rosstat; McKinsey Global Institute analysis

Joonis 1.2 Globaalne tootlikkuse kasv aastatel 1995-2014 [13]

Veidi paremat tootlikust on näidanud ehitusplatsiväline tootmine (Joonis 1.3). Tootlikkuse võrdlemisel tuleb aga arvestada tehnoloogiliste arengutega ehitistes, mille tõttu on hooned parema kvaliteediga. Seega tootlikkuse kasvu tulemused võivad olla paremad kui need paistavad.



Joonis 1.3 Tootlikkus tootmises ja ehituses aastatel 1967-2012 [8].

Tehases tootmine parandab ohutust, kvaliteeti ja tootlikkust. BIM-i kasutamisel projekteerimises vähenevad kulud inseneeriale [8], mis tuleneb:

- suurel määral automaatselt genereeritud joonistest ja materjalide loenditest;
- paremast kvaliteedi kontrollist ja projekteerimise koordineerimisest, mis vähendab töö ümbertegemist;
- suuremast projekteerimise automatiseerimisest ja analüüsist.

2. STANDARDID JA JUHENDID

2.1 COBIM

2012. aastal avaldati Soomes COBIM nõuded (*Common BIM Requirements*), mille järgselt loodi Soomes kohustus avaliku sektori projektides kasutada BIM-i. Need nõuded on saadaval inglise, soome, eesti ja hispaania keeles ning juhendi sari on kasutusele võetud ka RKAS-i poolt.

Praktiliseks kasutuseks on juhendid enamus osas üldsõnalised, rõhutades vajadusele nõudeid kokku leppida projektipõhiselt. Lisaks ei saa juhendeid sõna-sõnalt järgida kuna need on tõlgitud 2012. aastal ja seetõttu osaliselt aegunud informatsiooniga.

Ebakorrektsed tõlkeid esineb kogu juhendis. Lisas 1 konstruktsioonide mudeli sisu on tõlkimisel kasutatud erinevaid eesti keelseid termineid, kus tuleks kasutada sama terminit (nt. *foundation wall* tõlkena on kasutatud kord alusmüür ja kord vundamendisein Joonis 2.1).

			Taldmikud
Footings		Taldmikud	
Foundation walls		Alusmüürid	Vundamendiseinad
Foundation columns		Vundamendipostid	Vundamendipostid

Joonis 2.1 COBIM osa 5 lisa 1 tõlke ebakõlad

Vastuoludest hoolimata võib juhendites toodud põhimõtteid paremate puudumisel pidada headeks praktikateks, mida järgida. Konstruktsioonide projekteerijal on soovitatud tutvuda järgmiste COBIM juhendi osadega:

1. osa - Mudelprojekteerimise üldjuhendid,
5. osa - Konstruktsioonide projekteerimine,
6. osa - Kvaliteedi tagamine.

2.1.1 Mudelprojekteerimise üldjuhendid

Ehitise omaduste ja konstruktsioonide modelleerimise eesmärk on toetada projekteerimise ja ehituse elukaare protsessi nii, et see oleks kõrge kvaliteediga, tõhus, ohutu ja säästvat arengut toetav [15].

Juhendite sari esitab miinimumnõuded mudelitele ja infole kuid nõuete järgimine on ette nähtud ehitusprojektide puhul, kus nende nõuete kasutamine on kasulik. See sarnaneb ISO 19650 sarja infovajaduse taseme põhimõttele, kus iga infonõue peab tulema konkreetsest vajadusest.

Tehnilised üldnõuded infomudelile

Infomodelleerimise tarkvara ja kasutatava IFC sertifikaadi (enamasti IFC 2x3) lepivad projekti osapooled omavahel kokku projekti alguses. Vajadusel üle minna uuele versioonile, viiakse läbi katsetusetapp. [15]

Hanke käigus avaldatakse kõik mudelid IFC-formaadis ning hanke lõppedes antakse üle ka originaalformaadis infomudelid. Enne infomodeli avaldamist eemaldatakse sealt kogu info, mis ei ole projekti seisukohast asjakohane. [15]

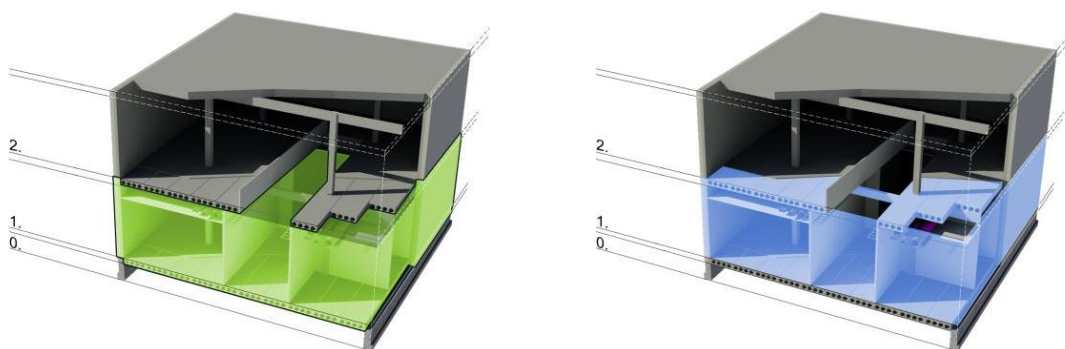
Projekti alguses määratakse koordinaatsüsteemi alguspunkti asukoht, mille tavaliselt määrab arhitekt. Info mudeli Z-koordinaadi baaspunkt võib olla ehitise tegelik suhteline kõrgus või projekti põhiselt kokku lepitud kõrgus (nt. võetakse 1. korruse põranda kõrgus nulliks). Pärast koordinaatsüsteemi määratlemist kontrollitakse valdkondade vahelist ühilduvust. Igasuguste koordinaatide muudatuste jaoks on vaja kõikide osapoolte heakskiitu.

Kõik mudelid luuakse suurima mõistliku täpsusega vastavalt projekti staadiumi nõuetele ja -eesmärkidele, järgides otstarbekuse põhimõtteid [15]. Täpsusnõuded lepatakse kokku projektipõhiselt (nt. Tabel 2.5 RKAS-i Lisa 5 BIM lubatud vastuolud).

Mudeli elemendid modelleeritakse selleks ettenähtud komponentide ja tööriistadega. Kui see ei ole võimalik kasutatakse sobivat abivõtet ja dokumenteeritakse see mudeli kaaskirjas. [15]

COBIM-is on esitatud põhireegel mudeli jaotamise kohta korruste kaupa, kuid konstruktsioonide puhul ei ole see alati praktiline. Jaotuse puhul on parem juhendada sellest, kuidas hoone ehitatakse.

Juhend eristab elementide kuuluvust korrustele arhitektuuri (AR) ja konstruktsioonide (EK) mudelitel (Joonis 2.2). AR mudelis kuulub põrand 1. korrusele ja EK mudelis lagi. Erinev korruste koosseis põhjustab aga segadust ja RKAS-i nõuded seavad korrustele kuuluvuse sõltumata valdkonnast. Kõik mudeli elemendid sõltumata valdkonnast, alates vahelae kandva osa alumisest pinnast kuni järgmise korruse kandva osa alumise pinnani (Joonis 2.2 roheline osa), kuuluvad ühe korruse koosseisu [16].



Joonis 2.2 Korruse modelleerimise erinevused COBIM-i järgi (AR vasakul ja EK paremal) [15]

Infomudeli avaldamisega paralleelselt avaldatakse mudeli kaaskiri (MDD), mis selgitab mudeli avaldamise otstarvet ja täpsusastet. Kaaskirjas peab muuhulgas olema esitatud nõuete suhtes tehtud erandid (nt. kuuluvus, detailsus, nimetamine). [15]

Kvaliteedi tagamise viib läbi BIM-koordinaator, aga vastutus selle tagamise eest on igal valdkonnal. Selleks, et tagada kvaliteet on vaja igal projekteerimise osapoolel teatud etappides enne infomudeli avaldamist läbi viia kvaliteedikontroll.

Mudelite genereerimine ja kasutamine projekti erinevates staadiumites

Projekteerimise alguses selgitatakse omaniku ja kasutajate vajadused ja eesmärgid ning kaalutakse erinevaid alternatiive. Nendes staadiumites on konstruktori funktsiooniks konsulteerida. Eelprojekti staadiumis võib projekt oluliselt muutuda, millest tulenevalt enamasti ei ole mõistlik koostada eraldi konstruktsioonide infomudelit.

Põhiprojekti staadiumis genereeritava informatsiooni põhjal peab olema võimalik teha hinnakalkulatsioone [15], mille tõttu peavad mudelielemendid omama üksikasjalike tüübiandmeid sealhulgas mahtude andmeid.

Ehitusstaadiumis kasutatakse infomudelit peamiselt ehitustegevuse kavandamiseks ja töö koordineerimiseks. Põhitöö toimub endiselt traditsioonilise dokumentatsiooni põhjal, kuid infomudeli põhjal on võimalik kiirendada mahuarvutusi ja saada täpsem tulemus.

Ehitise hoolduse ja halduse vajadustest lähtuvalt võidakse koostada teostusmodelid, mis on ehitusstaadiumis täpsustatud infomudelid ja need vastavad ehitatule.

2.1.2 Konstruktsioonide projekteerimine

COBIM juhendite sarja 5. osa seab miinimumnõuded konstruktsioonide projekteerimisele [17]. Tegemist on üldnõuetega, millele lisaks formuleeritakse ja dokumenteeritakse konkreetse hanke puhul esitatavad nõuded. Põhilised mudelprojekteerimise projektispetsiifilisi nõudeid kirjeldavad dokumendid on:

- **rakenduskava**, mis kirjeldab infovahetuse koostööreegleid;
- **andmesisu nõuded**, mis kirjeldavad modelleerimise detailsust, ulatust ja osamudelite vahelist jaotust.

Üldised määratlused [17]

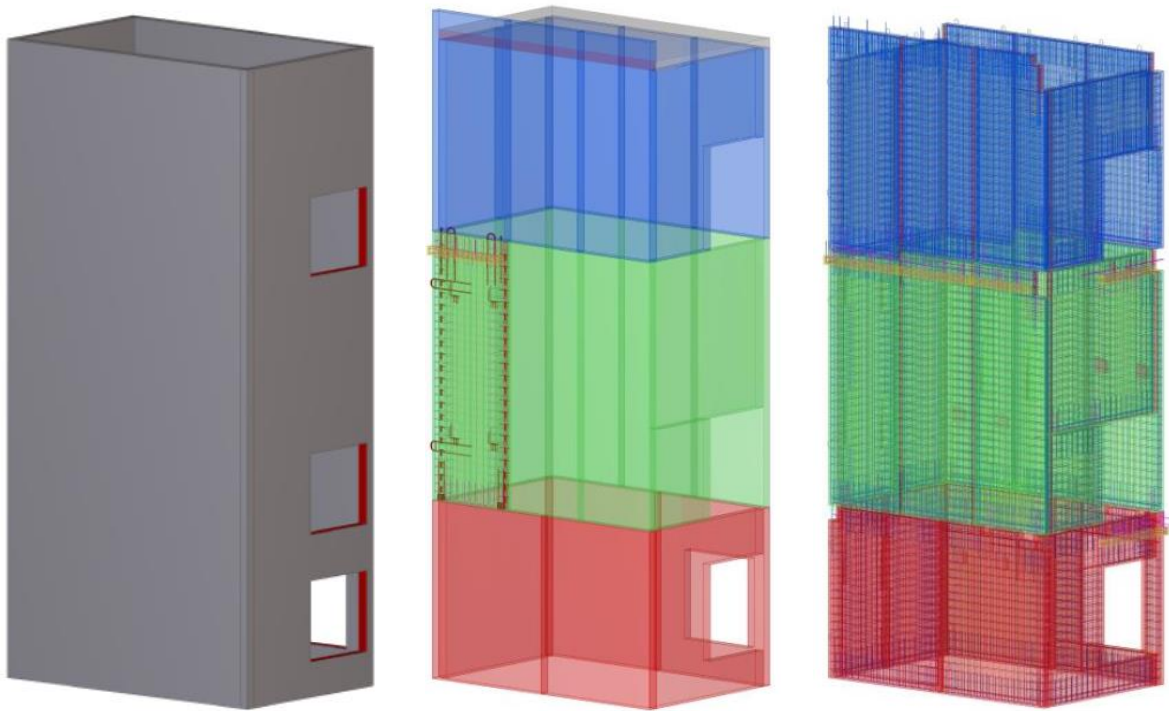
1. Konstruktsioonide mudel muutub projekteerimise käigus detailsemaks.
2. Modelleerida tuleb kõik kandvad tarindid ja mittekanvdad betoontarindid.
3. Modelleerida tuleb ehitustooted, mille suurus ja asukoht mõjutavad teisi projekteerijaid.
4. IFC mudeli hoone osad peavad olema näidatud õigesti ehk modelleerimisel tuleb kasutada vastavaid tööriistu.
5. Piirdetarindite tüübid on üldjuhul väljastatud 2D-joonistena. Tarindite tüüpe ei lisata konstruktsioonide mudelisse.
6. Tarindid modelleeritakse kui tegelikud ehitise osad (nt. kui monteeritav kolme korrust läbiv post paigaldatakse ühe elemendina peab see ka mudelis olema üks, kolmes järgus valatav aga 3 eraldi elementi).
7. Konstruktsioonide mudeli korrusteks jagamine ei toimu COBIM-i järgi, sest on vastuolus RKAS-i nõuetega.
8. Mitut korrust läbistavad tarindid seotakse kõige madalama korrusega, millel need algavad.
9. Võimalusel tuleks säilitada ja täiustada olemasolevaid objekte ning vältida nende kustutamist ja uute loomist, et säiliks GUID-tähis.
10. Mudeli andmetele määratakse valmiduse aste, mille esitusviis on kokku lepitud iga projekti puhul eraldi. Valmiduse aste enamasti esitatakse mudeli kaaskirjas.
11. Enne mudeli avaldamist teeb projekteerija ettevõtte kvaliteedisüsteemijärgse kvaliteedikontrolli (vt. Lisa 3).

Projekteerimisstaadiumid

Konstruksioonide projekteerimine toimub vastava juhendi põhjal, mis esitab eesmärgid ja nõuded projekteerimisele. Nõuete mudel võib olla esitatud tabeli, joonise, teksti või mudeli kujul või nende kombinatsioonina. [17]

Eskiisi staadiumis hindab konstruksioonide projekteerija arhitekti esitatud valikute teostatavust. Kuna mudelit enamasti ei koostata ei ole ka modelleerimismõudeid. [17]

Järgmistes staadiumides on vajalik ka konstruksioonide mudeli koostamine. Projekteerimisel lähtutakse informatsiooni täpsustamise põhimõttest, kus iga järgmise staadiumiga esitatakse kõrgemad nõuded informatsiooni mahule ja täpsusele (Joonis 2.3).



Joonis 2.3 Trepishahti mudeli täpsuse näide eel-, põhi- ja tööprojekti staadiumites (joonis: Finnmap Consulting Oy)

Juhendis on väljatoodud staadiumide kaupa nõuded projekteerimise lähteandmetele, andmete modelleerimisele, mudeli eelised ja mudelist valmistatud väljatrükid. See toodud esitus aga ei võimalda nõudeid selgelt kohandada projektile vastavaks. Lisaks on toodud nõuetes mittesobiv informatsioon. Näiteks tavaliselt Eestis ei ehitata hoonetele varjendeid nii nagu see Soomes tavaks on.

COBIM juhend määrab mudeli sisu ja täpsuse COBIM osa 5 lisaga 1 – Konstruksioonide mudeli sisu. Lisa esitab elementide jaotuse, modelleerimise ulatuse ja täpsuse.

Modelleerimise ulatus ja täpsus tuleb aga suures osas projektipõhiselt kokku leppida lähtuvalt konkreetse projekti eesmärkidest, et vältida üleliigse informatsiooni genereerimist. Andmesisu nõuded mudelile koostab tellija või tema määratud isik ning konstruktsioonide projekteerijaga kooskõlastatakse need nõuded.

Avade projekteerimine

Tehnosüsteemide projekteerija valmistab ette COBIM osa 4 punkti 8.3 järgi IFC-põhise avade mudeli, mis sisaldab ainult projekteeritud avaobjekte. Avade projekteerimist on kirjeldatud ka COBIM osas 5 punktis 5.4.1.

Ava objektid [17]:

- esitatakse korrusepõhiste IFC mudelitena;
- sisaldavad infot, millise tehnosüsteemi avaga on tegemist;
- omavad tunnusandmetes ava suurust ja tunnust;
- on modelleeritud paksemana kui läbistatavad tarindid.

2.1.3 Kvaliteedi tagamine

COBIM juhendite sarja osa 6 kirjeldab projektide kvaliteedi parandamist niisugusel määral, mida võimaldavad mudelipõhised projektid. Üldine infomudeli kvaliteedikontroll parandab ka selle põhjal genereeritud projekteerimisdokumentide kvaliteeti. Kuid kvaliteedikontrollina kirjeldab juhend eelkõige IFC mudeli kontrolli. [18]

IFC mudeleid ja nende sisu saab vaadelda kolmest aspektist [18]:

- tehniline sisu, kas mudel on loodud õigesti;
- infosisu, kas mudel sisaldab vastava projekteerimisvaldkonna ja -staadiumi informatsiooni;
- projekti sisu ja kvaliteedi hindamine infomudeli abil.

Projekteerija teeb regulaarselt oma osamudelile kvaliteedikontrolli. Hea kvaliteedi tagamine on lihtsam kui sellele pidevalt tähelepanu pööratakse.

Lisaks regulaarsele osamudeli kontrollile viiakse läbi kvaliteedikontroll ka enne projektikoosolekuid ja vaheetappide lõpus. Koosoleku eelselt saadavad kõikide valdkondade projekteerijad koordinaatorile IFC mudelid koos kaaskirjadega. Esitatud mudelitest koostatakse koondmudel ja koordinaator esitab esialgsed tähelepanekud. Enne koosolekut konstruktsioonide projekteerija kontrollib kvaliteeti vastavalt infomudeli kontrolli-lehele (vt. Lisa 3) aga eelkõige, kas kandetarindid ja neis olevad avad on vastavuses arhitektuurse mudeliga.

Infomudelite kvaliteedi kontrollide puhul jääb vastutus endiselt infomudeli koostajale ja see ei kandu üle kontrolli tegijale. Ehk vastutab see, kes vea tegi, mitte see, kes viga ei märganud. [18]

2.2 ISO 19650-1:2018

ISO 19650 standard arendati BS 1192 ja PAS 1192-2 põhjal, mis olid oma kasulikkust juba tõestanud. Sellest tulenevalt on standardid eelnevatele oma põhimõtetelt sarnased ja erinevad peamiselt terminoloogia poolest.

ISO 19650 osa 1 kirjeldab mõisteid ja põhimõtteid, mis on olulised ehitusinformatsiooni modelleerimise info haldamisel. Standard on avaldatud eesti keelsena 2019. aasta detsembris kuid jõustunud juba peaaegu aasta varem.

Konstruksioonide projekteerimise jaoks olulisemad osad standardist:

- ptk. 6 Info edastamise tsükkel
- ptk. 10 Infoedastamise kavandamine
- ptk. 11 Info ühistootmise haldamine
- ptk. 12 Ühtse andmekeskonna (CDE) lahendus ja töövoog

Standard defineerib 3 osalise ja 3 projekteerimise tüüpi, mida on kirjeldatud allolevas tabelis (Tabel 2.1).

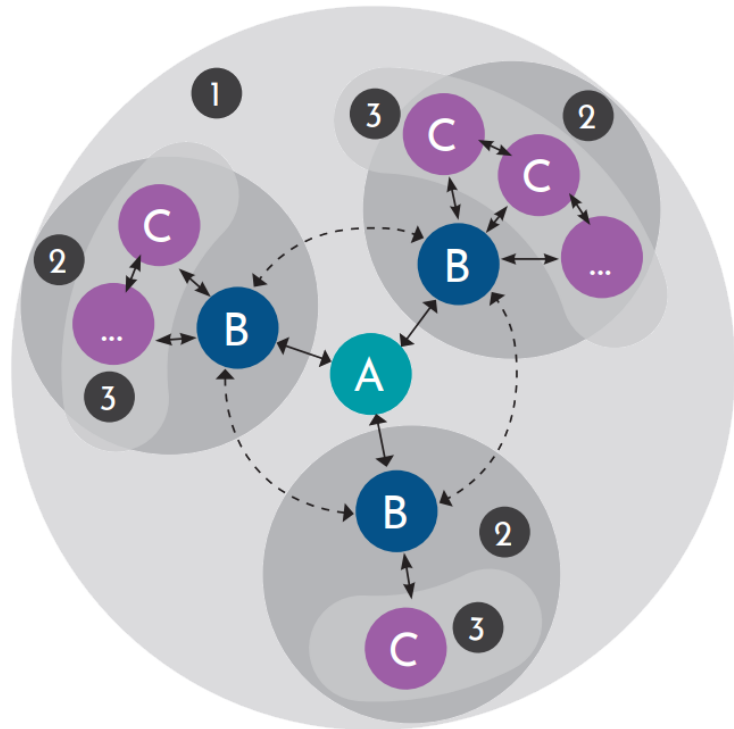
Tabel 2.1 Osaliste ja meeskondade tüübid

Osaliste tüübid		Meeskondade tüübid	
1	Määrav osaline	1	Projekti meeskond
	Info vastuvõtja (klient, võibolla ka omanik)		Määrav osaline ja kõik elluviimise meeskonnad
2	Määratud juhtiv osaline	2	Elluviimise meeskond
	Info vahendaja, koordineerija töörühmade või elluviimise meeskonna ja määrava osalise vahel (töörühma organisatsioon)		Määratud juhtiv osaline ja selle määratud osalised
3	Määratud osaline	3	Töörühm
	Info pakkuja (nt. ehitaja, alltöövõtja, konsultant)		Konkreetses tööülesandes täitmiseks kokku pandud isikute rühm

Seosed osaliste ja meeskondade vahel on esitatud ISO 19650-2 standardis, millest on Briti standardi juhend [19] esitanud lihtsustatud skeemi (Joonis 2.4).

Selgitused

- A määrav osaline
- B määratud juhtiv osaline
- C määratud osaline
- 1 projektimeeskond
- 2 elluviimise meeskond
- 3 töörühm(ad)



Joonis 2.4 Osaliste ja meeskondade vahelised liidesed infohalduse eesmärgil [19]

Infonõuded

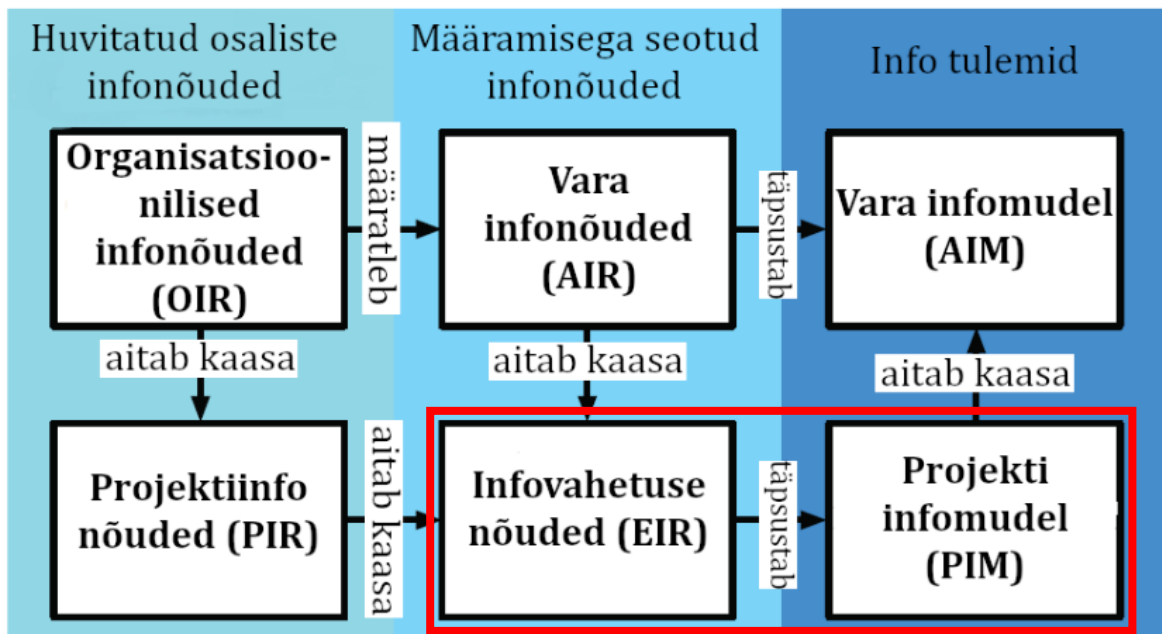
Selgelt defineeritud ja vajadusest lähtuvate informatsiooni nõuete seadmine projekti alguses on oluline võimaldamaks sujuvat koostööd ja informatsiooni haldust.

Määrava osalise informatsiooni vajaduse taset kirjeldatakse järgmiste dokumentidega:

- **organisatsioonilised infonõuded** (OIR) tulenevad organisatsiooni eesmärkidest;
- **vara infonõuded** (AIR) tulenevad vara kasutuse ja halduse eesmärkidest;
- **projektinfo nõuded** (PIR) on seotud vara projekteerimise ja ehitusega;
- **infovahetuse nõuded** (EIR) on seotud määramisega.

Liikudes mööda tarneahelat allapoole võivad määratud osalised lisada neile vajalike nõudeid. [2]

Kui mitte vaadata kogu ehitise elutsüklit vaid keskenduda konstruktsioonide projekteerimisele, tulenevad standardist olulised infovahetuse nõuded (EIR), mis on aluseks projekti infomudelile (PIM) (Joonis 2.5).



Joonis 2.5 Infonõuete hierarhia [2]

EIR määrab projektiinfo esitamise juhtimis-, äri- ja tehnilised aspektid. Juhtimise ja äri- ja tehnilised aspektid peaksid hõlmama infostandardit ning elluviimise meeskonna rakendatavaid tootmismeetodeid ja -protsesse. [2]

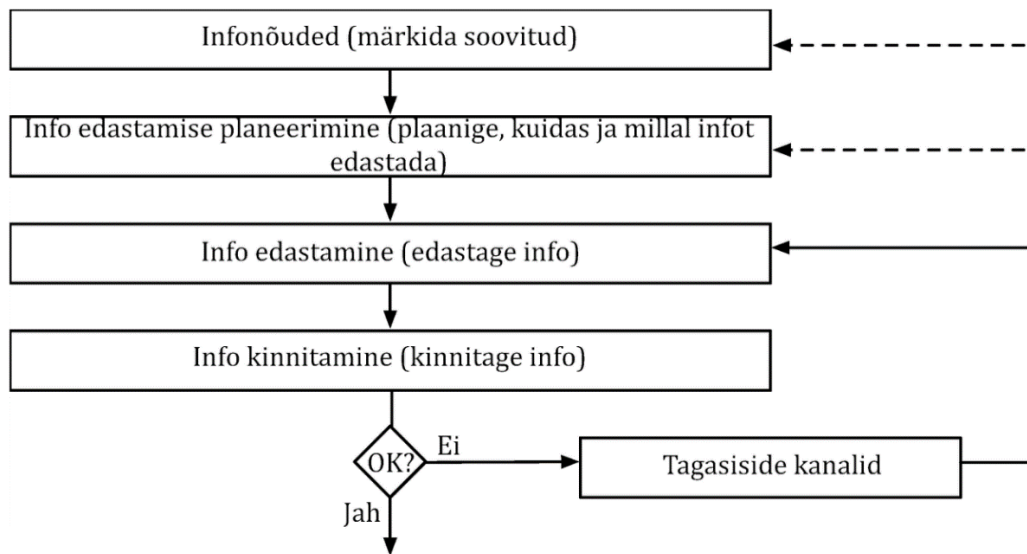
2.2.1 Info edastamise tsükkel

Põhimõtted

Projekti- ja varainfo täpsustamisel ja edastamisel järgitakse nelja üldpõhimõtet [2]:

- vara elutsükli kõigi osade jooksul on vaja infot otsuste tegemiseks;
- infot täpsustatakse järk-järgult määrava osalise määratletud nõuete kogumi kaudu;
- infonõuded edastatakse kõige asjakohasemale osalisele või punkti, kus infot on kõige lihtsam esitada;
- infovahetus hõlmab info jagamist ja koordineerimist CDE kaudu.

Standardis on esitatud üldine vooskeem (Joonis 2.6). Asjakohased infonõuded antakse välja igale hankeprotsessi jaoks määratud juhtivale osalisele (nt. peatöövõtja), kes enne määramist vaatab need läbi. Seejärel haldab ja arendab iga määratud juhtiv osaline infonõuete vastavust, mis on kaasatud nende rakenduskavasse. Konstruksioonide projekterija on enamasti määratud osaline ning tuleks kaasata alates info edastamise planeerimisest. Planeerimise tulemusel luuakse ülesandepõhine info edastamise kava (TIDP) ja vajadusel täpsustatakse andmesisu nõudeid (EIR).



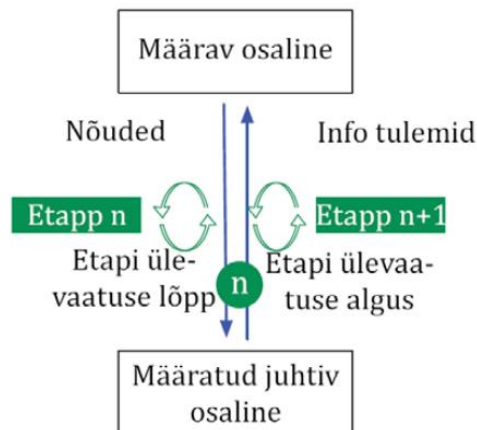
Joonis 2.6 Info edastamise üldine spetsifikatsioon ja kavandamine [2]

Kasutatakse planeeri-teosta-kontrolli-tegutse tsüklit (PDCA) põhimõtet projektiinfo väljatöötamiseks ja esitamiseks (nagu standardis ISO 9001 sätestatud). PDCA tsüklit võib lühidalt kirjeldada järgmiselt [20]:

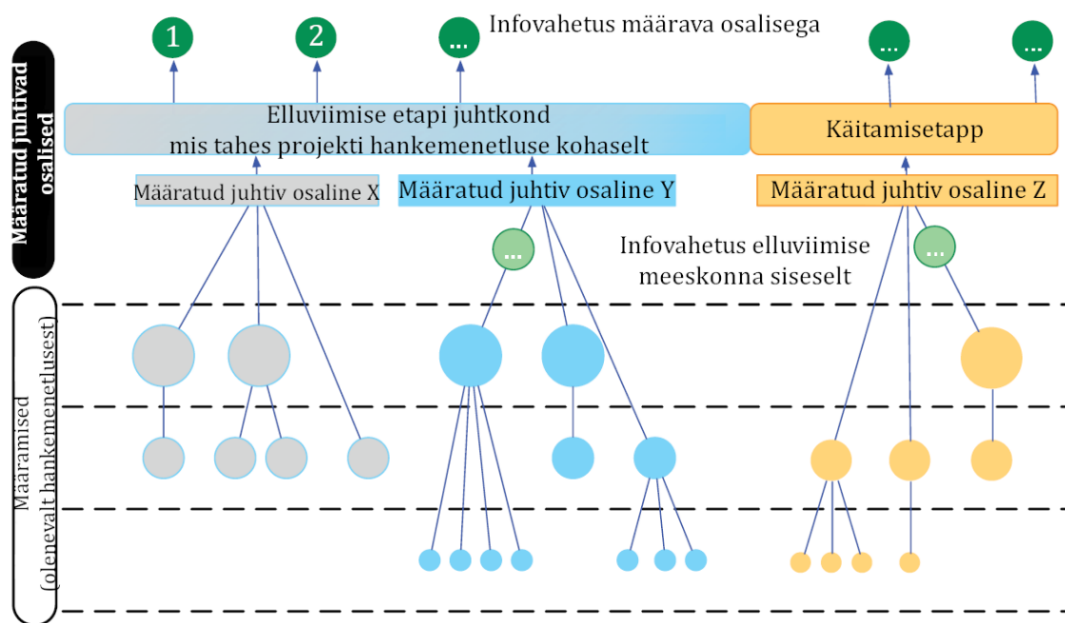
- **planeeri** – süsteemi eesmärkide seadmine ja selle protsesside ning tulemuste saavutamiseks vajalike ressursside määramine ning riskide ja võimaluste käsitlemine;
- **teosta** – planeeritu elluviimine;
- **kontrolli** – protsesside seire ja tulemuste mõõtmine;
- **tegutse** – vajadusel meetmete rakendamine tulemuste parendamiseks.

Info kontrollimine ja kinnitamine

Joonis 2.7 näitab infovahetust projekti ühe elluviimise etapi lõpu ja järgmise etapi alguse vahel. Täisring tähistab infovahetust, mis toimub iteratiivselt ning kahesuunaliselt määrava ja määratud juhtiva osalise vahel. Infoedastuse järel toimub selle vastavuse kontroll ja kinnitamine info saaja poolt. Vastuvõtmise ja heakskiitmise menetlused lepitakse kokku ja dokumenteeritakse enne mis tahes infovahetust. [2]



Joonis 2.7 Info kontrollimine infovahetuse ajal [2]



Selgitused

- infovahetus elluviimise meeskonna siseselt, PIM-is või AIM-is
- määratud juhtivad osalisel ja määratud osalisel (töörühmad ja elluviimise meeskonnad)

Joonis 2.8 Kõikide elluviimise meeskondade esitatava info näide [2]

Määratud juhtiv osaline on vahelüliks määrava ja määratud osaliste vahel (Joonis 2.8). Ta võib delegeerida kõik või osa oma määravalt osaliselt saadud infonõuetest ja võib lisada ka enda infonõudeid. Määratud juhtiv osaline kogub infot oma elluviimise meeskonnalt ning kontrollib ja edastab selle määravale osalisele (Joonis 2.7).

Joonis 2.8 on lihtsustatud näide infovahetusest. Teatud olukordades võib infovahetus toimuda ka määratud osaliste vahel.

2.2.2 Info edastamise kavandamine

Info edastamise kava

Info edastamise kavandamine on iga määratud juhtiva osalise ja määratud osalise vastutus. Selle tulemusena koostatakse info edastuse kava. Igas info edastamise kavas tuleb märkida järgmised andmed [2]:

- info vastavuse viis EIR-is määratletud nõuetele;
- info elluviimine, esialgu projekti etappide ja hiljem tegelike elluviimise kuupäevade suhtes;
- info edastamise viis;
- info koostöölastamise viis teiste asjaomaste määratud osaliste infoga;
- edastatav info;
- info edastamise eest vastutav isik;
- info sihtsaaja.

Lisainfo edastamise kavandamine peaks toimuma juhul, kui tehakse muudatusi infonõuetes või elluviimise meeskonnas. [2]

Vastutusmaatriksid

Osana info edastamise kavandamise protsessist luuakse vastutusmaatriks. Standard esitab kaks vastutusmaatriksi tüüpi:

- **infohalduse määramise maatriks** – võimaldab määrata osalistele informatsiooni haldus funktsioone, mis on toodud ka ISO 19650-2 lisas A (vt. Lisa 1);
- **üksikasjalik vastutusmaatriks** – hõlmab jagatud vastutust infomudeli iga elemendi eest ja iga elemendiga seotud põhitulemusi.

2.2.3 Info ühistootmise haldamine

Põhimõtted

Info ühistootmise haldamine peaks põhinema CDE lahendusel ja töövool, mille täpsem sisu on esitatud alapeatükis 2.2.4.

Infomodelis esinevaid probleeme tuleks vältida info tootmise ajal, mitte pärast selle edastamist. [2]

Kõiki infoga seotud õigusi tuleks reguleerida asjaomaste poolte vahel sõlmitud kokkulepetega. [2]

Infovajaduse tase

Standardis on asendatud varasemalt kasutatud LOD termin infovajaduse tasemega, mida ei kasutata lühendatud kujul. See määratakse iga info tulemi eesmärgi järgi ning see peaks hõlmama info kvaliteedi, koguse ja detailsuse asjakohast kindlaksmääramist.

Infovajaduse taset kirjeldatakse EIR-i (või OIR-i, PIR-i, AIR-i) raames. Selles tuleks infovajaduse tasemed kindlaks määrata iga asjakohase nõude täitmiseks vajaliku **minimaalse infohulga alusel**, sealhulgas info, mida nõuavad teised määratud osalised, ja mitte rohkem. [2]

Info kvaliteet

CDE-s info haldamiseks tuleks kokku leppida järgmises [2]:

- andmevormid;
- elluviimise vormid;
- infomudeli struktuur;
- info struktureerimise ja liigitamise vahendid;
- metaandmete atribuudi nimed, näiteks ehituselementide ja info tulemite atribuudid.

Objektide klassifikatsioon peab olema kooskõlas standardi ISO 12006-2 põhimõtetega. Objektiga seotud info peab olema kooskõlas standardiga ISO 12006-3. [2]

2.2.4 Ühtse andmekeskonna (CDE) lahendus ja töövoog

ISO 19650-1 järgi CDE on kokkulepitud infoallikas iga konkreetse projekti või vara kohta, et hallatava protsessi kaudu koguda, hallata ja levitada igat infokonteinerit.

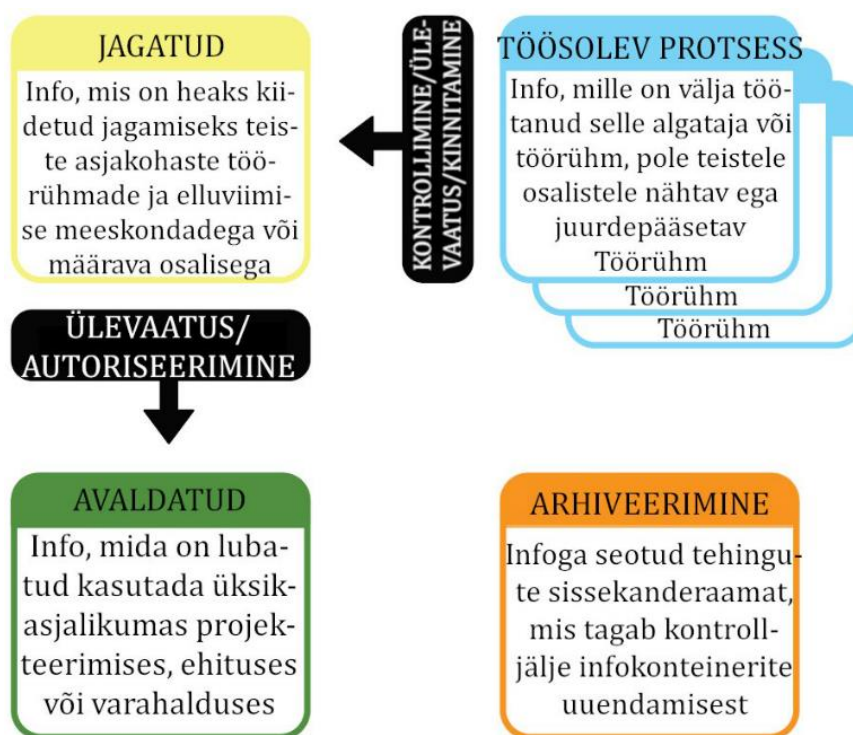
CDE lahenduse ja töövoog eelised [2]:

- vastutus info eest jääb selle koostatud organisatsioonile ja muutmine on lubatud üksnes sellel organisatsioonil;
- väheneb koordineeritud info esitamise aeg ja kulud;
- info tootmise täielik kontrolljalg on saadaval iga projekti etapi ajal ja järel.

Iga CDE-s oleva infokonteineri läbivaatamine peaks toimuma ühes järgmistest kolmest olekust:

- **töösolev protsess** – kasutatakse info saamiseks töörühma poolt väljatöötamise ajal, infokonteinerid on nähtavad vaid vastavatele töörühmadele;
- **jagatud** – infokonteinerid on üle vaadatud asjaomaste määratud osaliste poolt ja need on nähtavad kuid mitte redigeeritavad;
- **avaldatud** – info on autoriseeritud kasutamiseks, näiteks projekti ehitamiseks.

Praegused infokonteinerid võivad nende uuendamisest olenevalt olla kõigis kolmes versioonis. Samuti peaks olema arhiveeritud olek. Standardis on esitatud olekud kontseptuaalsel skeemil (Joonis 2.9). Tegelik töövoog on aga oluliselt keerulisem sisaldades mitmeid infokonteineri arenduse iteratsioone, mitmeid ülevaatusi, kinnitusi ja autoriseeringuid. Üleminek ühest olekust teise peaks toimuma läbi heakskiidu andmise ja kinnitamise [2].



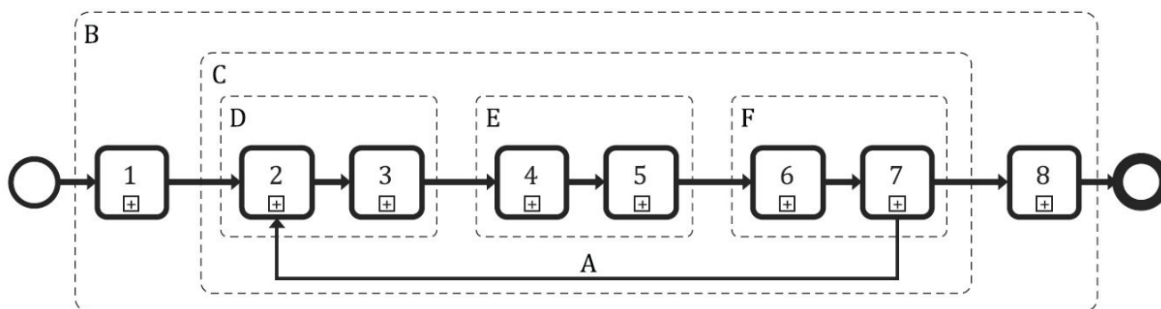
Joonis 2.9 Ühtse andmekeskonna (CDE) kontseptsioon [2]

Projekti infokonteinerid, sealhulgas arhiveeritud olekus konteinerid, tuleks võimalike vaidluste korral ja kogemuste jagamise huvides säilitada kirjutuskaitstuna. Infokonteinerite säilitamise ajakava määratakse EIR-is.

2.3 ISO 19650-2:2018

ISO 19650-2 standardi eesmärk on võimaldada määraval osalisel kehtestada oma nõuded infole varade elluviimise etapis ning pakkuda õiget äri- ja koostöökeskkonda, kus (mitu) määratud osalist saavad infot tulemuslikult ja tõhusalt esitada. [1]

Standard esitab 8 staadiumit (Joonis 2.10), millest määratud osaline võib olla kaasatud staadiumitesse 3-7 ja nendest olulisemad on info ühistootmine ja infomudeli edastamine. Järgnevalt on täpsemalt käsitletud konstruktsioonide projekteerija kui määratud osalise jaoks vajalikke standardi peatükke.



Toimingud

1	hindamine ja vajadus	A	infomudel, mida edendab iga kohtumise elluviimise meeskond või meeskonnad
2	hankekonkurss	B	projekti käigus läbiviidavad tegevused
3	esitatud pakkumus	C	määramise käigus läbiviidavad tegevused
4	määramine	D	hankemenetluse etapis läbiviidavad tegevused (iga määramise kohta)
5	ettevalmistamine	E	info planeerimise etapis läbiviidavad tegevused (iga määramise kohta)
6	info ühistootmine	F	info tootmise etapis läbiviidavad tegevused (iga määramise kohta)
7	infomudeli edastamine		
8	projekti lõpetamine (elluviimise etapi lõpp)		

Joonis 2.10 Infohaldusprotsess varade elluviimise etapis [1]

Juhul kui infohaldusprotsess toimub ühes organisatsioonis, võib määramist täiendada sisetöökorraldusega. [1]

2.3.1 Esitatud pakkumus

Pärast hankekonkurssi määrav osaline nimetab infohaldus funktsiooni täitva(d) isiku(d) ehk määratud juhtiva osalise, kes koostab BIM-i (määramiseelse) rakenduskava.

Enne määramist potentsiaalne tulevane määratud osaline hindab oma suutlikkust ja võimekust. Seejuures on olulised suutlikkus ja võimekus infot hallata ja toota arvestades asjakohaseid kogemusi ja võimalikku koolitust ning infotehnoloogia kättesaadavust.

Tulevane määratud juhtiv osaline peab kindlaks määrama tööühma suutlikkuse ja võimekuse ning koostama elluviimise meeskonna kavandatava projekti ettevalmistuskava. [1]

2.3.2 Määramine

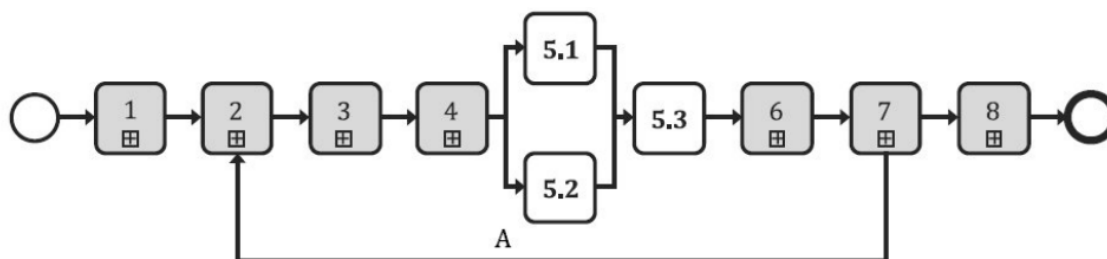
Määratud juhtiv osaline kinnitab elluviimise meeskonna BIM-i rakenduskava iga määratud osalisega ning koostab elluviimise meeskonna üksikasjaliku vastutusmaatriksi (vt. Lisa 5, kus vastutusmaatriks moodustab osa TIDP-st) ja iga määratud osalise kohta infovahetus nõuded. [1]

Iga tööühm peab kogu oma määramise vältel koostama ja säilitama ülesandepõhise info edastamise kava (TIDP). TIDP loetleb ja identifitseerib iga infokonteineri kohta [1]:

- nime ja ametinimetuse;
- eelkäijad või sõltuvad osalised;
- infovajaduse taseme;
- tootmise (hinnangulise) kestuse;
- info autori, kes vastutab selle tootmise eest;
- edastamise tähtajad.

Määratud juhtiv osaline koostab elluviimise meeskonna info edastamise peakava (MIDP) koondades TIDP-d igalt tööühmalt. [1]

2.3.3 Ettevalmistus



Selgitused

5.1 ressursside ettevalmistamine

5.2 infotehnoloogia ettevalmistamine

5.3 projektiinfo tootmismeetodite ja -protsesside testimine

A infomudel, mida edendab järgnev elluviimise meeskond või meeskonnad iga määramise kohta

Joonis 2.11 Ettevalmistus [1]

Standardi järgi tegeleb ressursside ja infotehnoloogia ettevalmistamise ning projektiinfo tootmismeetodite ja -protsesside testimisega määratud juhtiv osaline (Joonis 2.11

punktid 5.1, 5.2 ja 5.3). Aga need toimingud on lisaks projekti tasandile vajalik läbi viia ka töörühma tasandil. Sellest tulenevalt tekib vajadus ettevalmistus tegevuste eristamiseks projekti ja töörühma tasandil.

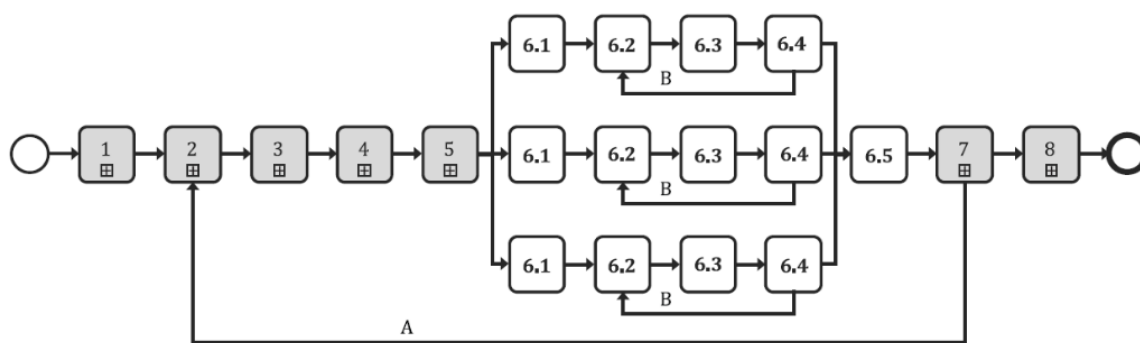
Ressursside ettevalmistamisel on määratud juhtival osalisel vaja saada informatsioon töörühmadelt ressursside saadavuse kohta. See tähendab et iga töörühm hindab oma ressursside saadavust ja määratud juhtiv osaline selle abil kinnitab ressursside piisavust.

Kuigi standardi järgi on koolituse tagamise kohustus määratud juhtival osalisel, siis mõistlikkusest lähtuvalt on tal võimalik tagada vaid koolitus projekti spetsiifikast või eri IT-lahendustest tulenevalt. Põhikoolituse kohustus jääb endiselt määratud osalistele.

Määratud juhtiv osaline valmistab ette infotehnoloogia, mis seisneb projekti CDE konfigureerimises ja testimises ning osaliste vahelise infovahetuse testimises. Tema kohustuseks määrab standard ka elluviimise meeskonna (jaotatud) CDE-de testimise ja konfigureerimise, kuid peaaegu alati võib eeldada, et see kohustus on vajalik delegeerida vastavatele määratud osalistele.

Projektiinfo tootmismeetodite ja -protsesside testimisega tegeleb määratud juhtiv osaline vastavalt elluviimise meeskonna projekti ettevalmistuskavale. [1]

2.3.4 Info ühistootmine



Selgitused

- 6.1 võrdlusinfo ja jagatud ressursside kättesaadavuse kontrollimine
- 6.2 info genereerimine
- 6.3 kvaliteedi tagamise kontroll
- 6.4 info ülevaatus ja ühiskasutuse kinnitamine
- 6.5 infomudeli ülevaatus
- A infomudel, mida edendab järgnev elluviimise meeskond või meeskonnad iga määramise kohta
- B infokonteineri uus ülevaatus

Joonis 2.12 Info ühistootmine [1]

Enne info genereerimist iga töörühm kontrollib, kas neil on ligipääs võrdlusinfole ja jagatud ressurssidele (Joonis 2.12 punkt 6.1). Info genereerimine toimub vastavalt iga töörühma TIDP-le. [1]

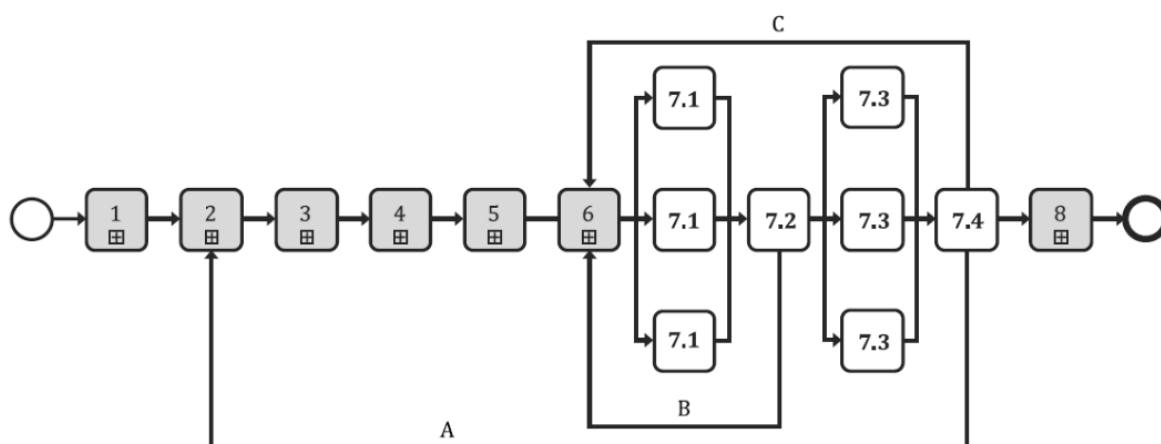
Genereeritud info ei tohi [1]:

- ületada nõutavat infovajaduse taset;
- ulatuda infokonteineri hierarhilise struktuuri eraldatud osast kaugemale;
- dubleerida teiste töörühmade loodud infot;
- sisaldada üleliigseid detaile.

Info genereerimise järgselt toimub kvaliteedi kontroll ning info ülevaatus ja ühiskasutuse kinnitamine (Joonis 2.12 punkt 6.3 ja 6.4). Mitteeduka kontrolli või ülevaatus korral lükatakse infokonteiner tagasi.

Info ühistootmise viimase sammuna tehakse infomudeli ülevaatus, mille eesmärk on iga infomudeli elemendi info kooskõlastamise hõlbustamine. Seda võib korrata seni, kuni infomudel on valmis esitamiseks määratud juhtivale osalisele kinnitamiseks.

2.3.5 Infomudeli edastamine



Selgitused

- | | |
|-----|---|
| 7.1 | infomudeli edastamine määratud juhtivale osalisele kinnitamiseks |
| 7.2 | infomudeli ülevaatus ja kinnitamine |
| 7.3 | infomudeli esitamine määrava osalise heakskiituks |
| 7.4 | infomudeli ülevaatus ja heakskiitmine |
| A | infomudel, mida edendab järgnev elluviimise meeskond või meeskonnad iga määramise kohta |
| B | määratud juhtiva osalise tagasilükatud infomudel |
| C | määrava osalise tagasilükatud infomudel |

Joonis 2.13 Infomudeli edastamine [1]

Iga töörühm esitab oma info CDE kaudu määratud juhtivale osalisele kinnitamiseks (Joonis 2.13 punkt 7.1 ja 7.2). Eduka ülevaatuse korral esitavad töörühmad samas andmekeskonnas oma info heakskiiduks määravale osalisele (punkt 7.3 ja 7.4).

Kui ülevaatus ei õnnestu lükatakse infomudel tagasi ning töörühm saab vastava korralduse infot muuta. Kuna osalise info aktsepteerimine võib põhjustada kooskõlastamise küsimusi, on soovitatav kogu infomudeli kinnitamine või tagasi lükkamine.

2.4 RKAS-i BIM nõuded

BIM-i osa ei määratle selgeid andmesisu vajaduse tasemeid k.a lisa 4 BIM andmesisu nõuded (Tabel 2.2, Tabel 2.3 ja Tabel 2.4). Selle asemel on nõuetes viidatud standardile EVS 932 Ehitusprojekt, mis ei määra mudelprojekteerimise jaoks piisavalt detailset infosisu. LOD või selle sarnase infotaseme mitte kasutamine loob lihtsa võimaluse nõuete valesti mõistmiseks. Seetõttu tuleb andmesisu tasemed määrata projekti põhiselt.

RKAS-i BIM-i nõuded viitavad alusdokumentatsioonina ka COBIM juhenditele. Kõik projekteerimistöodes osalevad töövõtjad ning modelleerimise eest vastutavad isikud peavad olema tutvunud ja läbi töötanud minimaalselt COBIM 2012 osa 1 „Mudelprojekteerimise üldjuhendid“, osa 6 „Kvaliteedi tagamine“ ning lisaks erialaspetsiifilise osa, mis konstruktori jaoks on osa 5 „Konstruktsioonide projekteerimine“.

Mudelite andmesisu tasemed ning nõutud andmesisu on määratud „Lisa 4, BIM andmesisu nõuded“ dokumendis. Lubatud vastuolude piirmäärad on välja toodud „Lisa 5, BIM lubatud vastuolud“ dokumendis. Mõlemad lisad on koostatud selliselt, et neid on võimalik projekti vajadustest lähtuvalt täiendada. Näiteks on omadused (Tabel 2.3) nummerdatud sammuga, mis võimaldab nende vahele lisada uusi atribuute.

Suur osa RKAS-i BIM nõudeid on COBIM juhendi nõudeid duplitseerivad. Nt. mudeli elemendid modelleeritakse korruste kaupa ja elementide modelleerimisel tuleb kasutada selleks ette nähtud tööriistu.

RKAS-i nõuded esitavad mudeli elementide korrustele kuuluvuse COBIM-ist erinevalt. Sõltumata valdkonnast kuuluvad ühe korruse koosseisu kõik mudeli elemendid alates kandva osa alumisest pinnast kuni järgmise korruse kandva osa alumise pinnani.

Lisa nõudena on toodud ka andmesisu ja parameetrite väärtuste eestikeelsus. Eraldi on veel välja toodud vajadus anda elementidele eestikeelne nimetus ja tüüp.

Konstruksioonide mudelielementidel määratakse eksportimisel nende elementide peamine iseloomulik värv (nt. puitkonstruktsioon on IFC-mudelis helekollane ning betoon hall).

RKAS käsitleb BIM mudelit hierarhiliselt olulisemana kui BIM mudeli alusel genereeritud 2D joonised.

Tabel 2.2 RKAS Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele 2020 Lisa 4 - Andmesisu nõuded

Nr	IFC 2X3 referents (A - Z)	ES	EP	PP	TP	TE	Omaduste kogum	Selgitused
2	Ehituskonstruksioonid							
2.1	IfcBeamType (tala)		X	X	X	X	EK_Tala-Post	Talad, monteeritavad õõnespaneelid
2.2	IfcColumnType (post)		X	X	X	X	EK_Tala-Post	Postid
2.3	IfcCoveringType.INSULATION (isolatsioon)			X	X	X	-	Maa-alune soojusisolatsioon, sandwich paneelide soojustus
2.4	IfcDiscreteAccessoryType (tarvik)				X	X	-	Tarvikud (tugevdused, kronsteinid, neopreen, riputid, posti jalad jne)
2.5	IfcFastenerType (kinnitusvahend)				X	X	-	Kinnituselemendid
2.6	IfcFooting (vundamendi taldmik)		X	X	X	X	EK_Vundament	Vundamendi taldmikud
2.7	IfcMemberType (kandev element)			X	X	X	-	Jõudude ülekandmiseks mõeldud konstruktsiooni elemendid (toestused, vardad, tõmbid, vööd, pennid, pärliid jne)
2.8	IfcOpeningElement (avaelement)		X	X	X	X	-	Avad ja süvendid seintes, talades, paneelides jne
2.9	IfcPile (vai)		X	X	X	X	EK_Vundament	Vaiad
2.10	IfcPlateType (plaat)			X	X	X	-	Väikesemõõtmelised õhukesed plaatelemendid
2.11	IfcRamp (ramp)		X	X	X	X	-	Kaldteed, rambid
2.12	IfcReinforcingBar (armatuurvarras)				X	X	EK_Armatuur	Üksikud armatuurvardad betoonelmentide tugevdamiseks
2.13	IfcReinforcingMesh (armatuurvõrk)				X	X	EK_Armatuur	Armatuurvõrgud, mis koosnevad armatuurvarrastest
2.14	IfcSlabType (vahelagi)		X	X	X	X	EK_Vahelagi	Vahelaed, aluspõrandad, plaatelemendid
2.15	IfcStair (trepp)		X	X	X	X	EK_Trepp	Trepid
2.16	IfcWallType (sein)		X	X	X	X	EK_Sein	Kandvad seinad, seinapaneelid

Tabel 2.3 RKAS Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele 2020 Lisa 4 - EK_Tala-Post

EK	User defined property set: EK_Tala-Post							
	Omadus / Atribuut	Näide	ES	EP	PP	TP	TE	Selgitus
	001_Nimetus	Betoontala						Korrektne üldnimetus tala või posti kohta
	002_Tüüp	400 x 250						Tala või posti tüüp projektis (nt ristlõike tähis)
	105_Tugevusklass	C35/45						Tala või posti tugevusklass vastavalt materjalile ja standardile
	110_Keskkonnaklass	XC2 + XF3						Tala või posti keskkonnaklass vastavalt materjalile ja standardile
	115_Monteeritav	TRUE						Kas element on platsi peal monteeritav?
	120_Materjal	Raudbetoon						Tala või posti materjal (ilma tugevus ja keskkonna näitajateta)
	125_Positsioon	MPO/452						Monteeritava tala või posti positsiooni tähis projektis
	130_Pikkus	12.00						Tala või posti pikkus
	135_Ruumala	4.45						Tala või posti netto ruumala
	140_Mass	2.54						Monteeritava tala või posti netto mass
	145_Pindala	27.8						Õõnespaneelide puhul horisontaalpinna pindala
	190_Ülemine_kõrgusmärk	16,10						Tala või posti ülemine kõrgusmärk suhtelisest null-kõrgusest
	195_Alumine_kõrgusmärk	16.35						Tala või posti alumine kõrgusmärk suhtelisest null-kõrgusest

punasega read antakse vaid monteeritavate elementide puhul

Tabel 2.4 RKAS Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele 2020 Lisa 4 - Põhiomaduste kogum

I	-							
	Omadus / Atribuut	Näide	ES	EP	PP	TP	TE	Selgitus
	Name	Tulekustuti						Korrektne üldnimetus elemendi kohta
	Type	TK-01						Elemendi tüübi tähis projektis

Kõikides projekteerimise etappides peavad olema kõikidel mudeli elementidel määratud eestikeelne nimetus ja tüüp.

Tabel 2.5 RKAS Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele 2020 Lisa 5 - Lubatud vastuolud

KOORDINEERITUSE TASE PÕHIPROJEKTIS; LUBATUD VASTUOLUD (mm)												
Kood	Element	Masin-loetav tunnus	AR10	AR20	AR99	EK10	EK99	KVJ10	KVJ20	KVJ30	KVJ40	KVJ99
AR10	Uksed, aknad, klaasfassaad, klaasvahesein ja piirded	<i>IfcDoorStyle; IfcWindowStyle; IfcCurtainWallType; IfcRailingType</i>	0									
AR20	Ripplaed	<i>IfcCoveringType.CEILING</i>	0	5								
AR99	Muud AR elemendid	-	0	100	200							
EK10	Monteeritavad elemendid	<i>115_Monteeritav=TRUE</i>	0	25	⬆	5						
EK99	Muud EK elemendid	<i>115_Monteeritav=FALSE</i>	0	25	⬆	5	50					
KVJ10	Tehnosüsteemide peamagistraalid*	-	0	25	X	25	50	5				
KVJ20	Tehnosüsteemide torustik (mitte peamagistraal)	-	0	25	X	25	50	25	50			
KVJ30	Vent agregaadid ja seadmed (AHU), split-süsteemid, jahutustalad, kütteseadmed, paagid, mahutid	<i>IfcUnitaryEquipmentType; IfcCooledBeamType; IfcCoilType; IfcSpaceHeaterType; IfcTankType; IfcBoilerType</i>	0	25	X	25	50	5	50	5		
KVJ40	Survetorustik kuni DN32	<i>IfcPipeSegmentType; 600_Diameeter≤32mm</i>	0	100	X	100	200	100	200	100	X	
KVJ99	Muud KVJ elemendid (va isolatsioon)	-	0	50	X	50	100	50	100	50	100	50

* - pealiin, millel puudub otseühendus tarbijatega

X - vastuolude kontrolli ei teostata

⬆ - teostatakse ühilduvuse kontroll

2.5 EVS 932:2017 Ehitusprojekt

Standard keskendub ehitusprojekti koostamise käigus tehtavale projekteerimistööle, esitatavale infole ja selle detailsusele. Järgnevalt on lühidalt kirjeldatud hoone ehituskonstruksioonide tööprojekti osa, mis on oluline betoonelementide projekteerimisel.

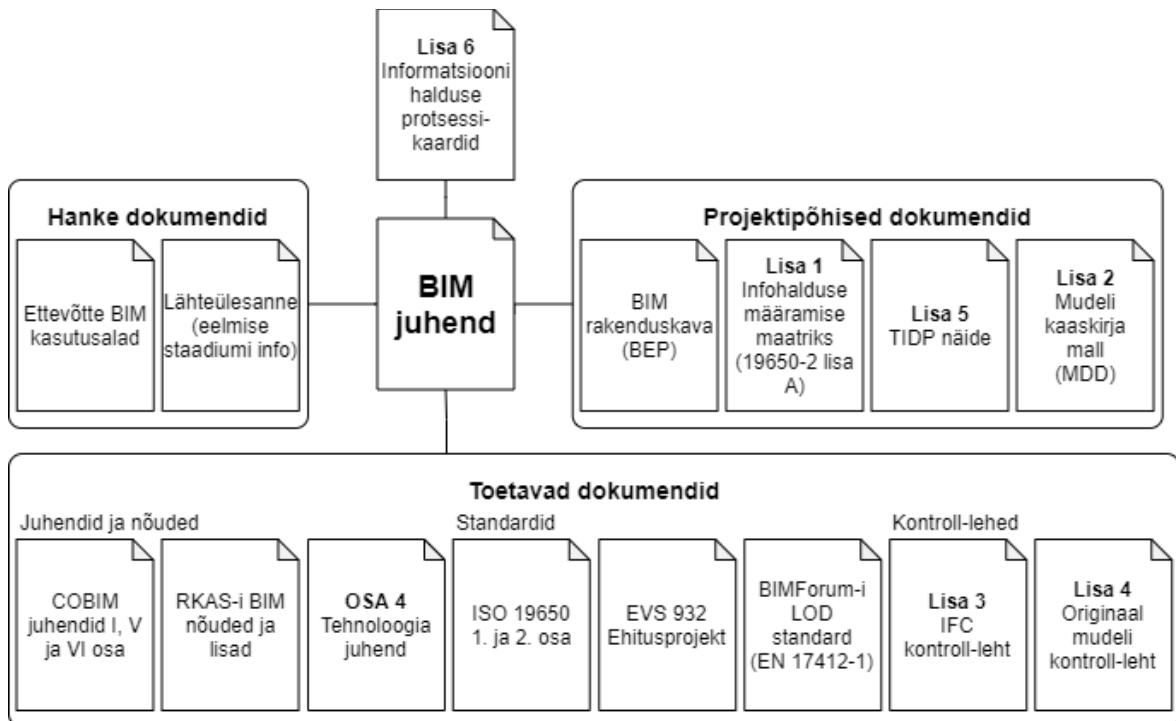
Tööprojekti täpsustatakse ja täiendatakse põhiprojekti lahendusi ja infot detailsuseni, millele lisanduvate ehitustööde organiseerimise kava, tootejooniste ja muude ehitusega seotud dokumentide koostamisel on hoone võimalik valmis ehitada. [21]

Raudbetoon ehitustoodete kasutamisel tuleb EVS 932 järgi esitada:

- vahe- ja katuslagede elemendivuukide armeerimisskeemid ja -detailid, konstruktsioonisidemed;
- kinnitus- ja ankurdustarvikute vajadus ja paiknemine;
- koormused vahelagedele; koormused postidele, taladele või nende sisejõud või põhiarmatuur;
- ehitustoodete omavahelised liited;
- ehitusplatsil tehtavad lisakihid ehitustoodetele, vajaduse korral eeltõusud ja/või piirangud;
- ehitustoodete massid;
- projekteeritud ehitustoodete tooteinfo markide kaupa, mis sisaldab vähemalt toote gabariitmõõtmeid ja massi.

3. JUHENDDOKUMENTATSIOON

3.1 BIM juhend



Joonis 3.1 BIM juhendi skeem

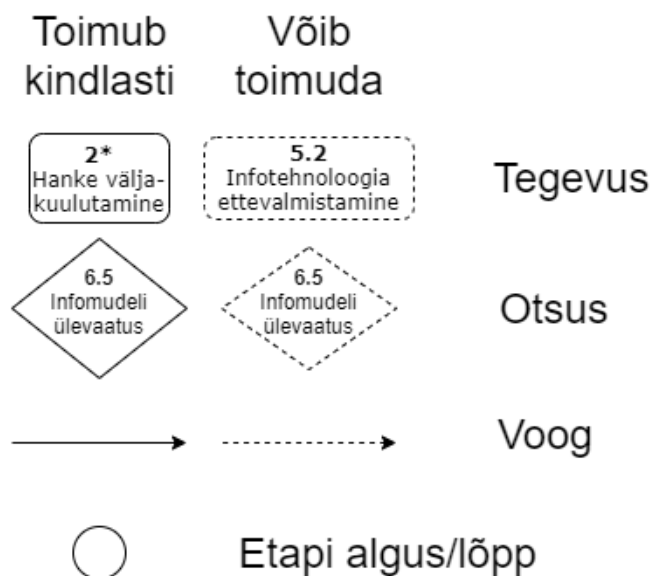
Skeemil kujutatud BIM juhendi (Joonis 3.1) moodustab lõputöö 1.-3. osa. Juhendi eesmärk on anda konstruktsioonide projekteerijale üldised juhised ja selle eesmärk ei ole asendada viidatud standardeid ja juhendeid. BIM juhendiga seotud dokumendid on jaotatud kolme gruppi:

- toetavad dokumendid,
- hanke dokumendid,
- projektipõhised dokumendid.

3.1.1 Informatsiooni halduse protsessikaardid

ISO 19650-2:2018 standardi ja UK BIM Framework-i avaldatud juhendi [19] põhjal on koostatud ülevaatlilikud informatsioonivoo kaardid (vt. Lisa 6), mis kirjeldavad alltöövõtja kui määratud osalise jaoks olulisemaid punkte. Protsess on lihtsustatud ning ei näita iga võimaliku seost osaliste vahel.

Kaartidel kasutatud tähiste selgitus on toodud all oleval joonisel „Protsessikaartide tähised“. Määratud osalise punktide kirjeldused on esitatud peatükis 2.3 ISO 19650-2:2018.



*Numbrid viitavad ISO 19650-2:2018 standardi viienda peatüki punktidele

Joonis 3.2 Protsessikaartide tähised

3.1.2 Hanke dokumendid

BIM-i suutlikkuse kirjeldus

Projektipõhiselt toimub suutlikkuse ja võimekuse hindamine, aga enne seda on elluviimise meeskonna määramisel vaja teada ettevõtete üldist suutlikkust BIM-i nõudeid täita, sh varasemat kogemust ja kasutatavat BIM tehnoloogiat.

Lähteülesanne

Konstruksioonide projekteerimiseks detailsed lähteandmed tööprojekti staadiumis lisaks üldistele lähteandmetele on üldjuhul [21]:

- töö käigus kujunev tööprojekti arhitektuuriosa, mis sisaldab muu hulgas sisearhitektuuri- ja akustikalahendusi, sealhulgas sõlmesid ja detaile, mis täpsustuvad ja/või kinnitavad ehituskonstruksioonide valikut ja teostatavust;
- ehitusprojekti tehnosüsteemide osade ja energiatõhususe osa koostajate kinnitus, et põhiprojektis esitatud ehituskonstruksioonide lahendused on sobivad; kui ei ole sobivad, siis täpsustatud või muudetud avade lähteülesanne.

3.1.3 Toetavad dokumendid

Toetavad dokumendid moodustavad projektide ülesed juhendid, nõuded, standardid, mallid ja kontroll-lehed. Selles komplektis toodud dokumendid on põhilisemad, millest juhinduda, kuid see nimekiri ei ole ammendav.

Juhendid ja nõuded

COBIM-i juhendeid ja RKAS-i BIM-i nõudeid on kirjeldatud vastavalt peatükkides 2.1 ja 2.4. Need nõuded on kasutusel Eestis riigi ehitusprojektides, kuid tihti on ka erasektori ettevõtted need oma projektides kasutusele võtnud muutmata või vähesel määral muudetud kujul.

Lisaks üldistele nõuetele on vajalik tehnoloogia juhend, mis kirjeldab parimaid praktikaid, koordineerimist, modelleerimist ja projekti dokumentatsiooni koostamist tehnoloogilisest vaatenurgast. Tehnoloogia juhend käsitleb ettevõtte siseseid info tootmise tehnoloogilisi aspekte, sealhulgas järgmist:

- parimad praktikad;
- BIM-i rakendamise planeerimine;
 - rollid ja vastutus;
 - BIM rakenduskava (BEP);
 - BEP koosolekud;
- modelleerimine ja info genereerimine;
- projekti infokonteinerite struktuur;
- ressursid.

Tehnoloogia juhendi aluseks saab võtta BIM UK protokollid [22], mis on loodud ISO 19650-2 standardile eelneva PAS 1192-2 põhjal. Lõputöö mahus on esitatud osas 4 olulisemad punktid tehnoloogia juhendist.

Standardid

Peatükis 2 kirjeldatud ISO 19650 standardi osale 1 ja 2 lisaks tuleb andmesisu loomisel juhinduda ehitusprojekti standardist EVS 932:2017. Ehitusprojekti standard seab üldised nõuded projekti staadiumitele kuid edukaks mudelprojekteerimise kasutamiseks on vaja selgeid ja konkreetseid infonõudeid, mille koostamisel on lähtutud infovajadusest.

Enne ISO 19650 standardi ilmumist määrati mudeli infosisu nõuded enamasti andmesisu tasemetega (LOD). BIMForum on avaldanud detailse LOD spetsifikatsiooni, mis võimaldab määrata laiale hulgale mudeli elementidele selged nõuded. LOD seatakse mudeli elementidele, aga tihti esineb ka olukordi kus määratakse üks tase kogu mudelile. Selline nõue ei ole otstarbekas ja seda tuleks vältida kuna kõigil mudeli elementidel enamasti ei saa olla vajalik sama andmesisu tase.

ISO 19650 standardis on toodud infovajaduse tase, mis oma sisult täiendab varem kasutatud LOD mõistet. Standardis on aga ainult viidatud sellele, et infovajaduse tasemete määramiseks on olemas rida näitajaid, millega seda määrata, aga täpseid juhiseid ei ole toodud.

Hetkel kavandi staadiumis olev EN 17412 standard selgitab mõisteid ja põhimõtteid, et määrata sidusalt infovajaduse tasemeid. Kuna seda standardit ei ole avaldatud, ei ole täpsemalt selle sisu lõputöös käsitletud.

Kontroll-lehed

COBIM 5. osa lisa 3 põhjal on koostatud väljastatava IFC mudeli kontroll-leht (vt. Lisa 3). Selles toodud punkte tuleks järgida vastavalt sellele, mille jaoks infomudel väljastatakse. Üldjuhul projekti staadiumi alguses võib rohkem punkte vahele jätta kui nende täitmine ei ole otstarbekas antud hetkel. Kuid mudeli kaaskirjast peab olema selgelt arusaadav, mille jaoks infomodelit tohib kasutada ja milline on info usaldusväärsus.

Kvaliteetse IFC mudeli aluseks on kvaliteetne originaalmudel, millest IFC on genereeritud. Lisaks on originaalmudeli kvaliteet oluline selle põhjal genereeritud dokumentatsiooni jaoks. Originaalmudeli kontrolliks on esitatud kontroll-leht (vt. Lisa 4), millele tuleb juurde lisada veel konkreetsest projektist sõltuvad kontrolli punktid. Näiteks elementide tõstevõime kontrollimine, armeeringu info korrektsus väljavõtte tegemiseks jms.

3.1.4 Projektipõhised dokumendid

BIM rakenduskava

BIM-i rakenduskava on plaan, mis selgitab, kuidas elluviimise meeskond täidab määramise infohalduse aspekte. Selle koostab määratud juhtiv osaline ning see peab sisaldama [1]:

- elluviimise meeskonna info edastamise strateegiaid;
- infohaldusfunktsiooni täitvate isikute nimesid ja kontakte;
- hea tasemega vastutusmaatriksit, mis hõlmab jagatud vastutust infomudeli iga elemendi eest ja iga elemendiga seotud põhitulemusi;
- elluviimise meeskonna kavandatavaid info tootmismeetodeid ja -protsesse;
- projektiinfo standardi täiendusi ja/või muudatusi;
- elluviimise meeskonna kasutatava tarkvara, (riistvara) ja IT-infrastruktuuri ajakava.

Infohalduse määramise maatriks

Kui määrav osaline nimetab tulevase määratud juhtiva osalise või kolmanda isiku täitma kogu infohaldusfunktsiooni või selle osa, võib infohalduse määramise maatriksi (Lisa 1) kasutamine aidata kindlaks määrata vajalike teenuste ulatuse [1].

Ülesandepõhine info edastamise kava (TIDP)

TIDP vajalik sisu ISO 19650-2:2018 järgi on toodud punktis 2.3.2. Infosisu visualiseerimiseks on koostatud näitlik tabel (vt. Lisa 5). Kuigi seda infot on võimalik esitada tabeli kujul, on info keerulisuse tõttu enamasti parem seda esitada Gantti graafikuna nagu see on tavaks ehitustööde planeerimisel.

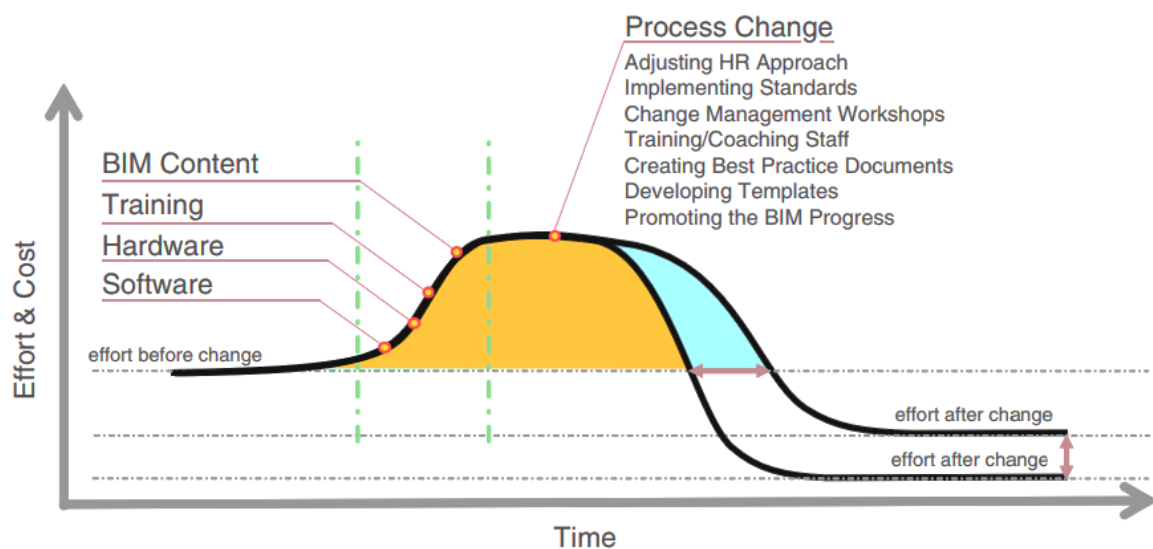
Mudeli kaaskiri

Iga infomudeli väljastamisega lisatakse mudelile mudeli kaaskiri, mis kirjeldab info erisusi nõuetest ja mudeli usaldusväärsust (vt. Lisa 2 Infomudeli kaaskirja mall). Mudeli kaaskirja malli edastab projekti osalistele enamasti infomudelite koordinaator.

3.2 Juhendi rakendamine

3.2.1 Muudatuste juhtimine

2D või 3D CAD keskkonnalt üleminek ehituse modelleerimise süsteemile hõlmab palju rohkemat kui tarkvara omandamine, koolitamine ja riistvara uuendamine [8]. Efektiivne BIM-i kasutamine nõuab muudatusi peaaegu igas ettevõtte äritegevuse aspektis. Läbimõeldud rakendamise kaudu on võimalik saavutada sama investeeringuga parem tulemus ning seda teha kiiremini (Joonis 3.3).



Joonis 3.3 Muudatuste juhtimise skeem [23]

BIM-i kasutamine muudab oluliselt töövoogu ja töö lõpptulemust. Selle edukaks kasutamiseks on vaja visiooni ja tegevuskava [23]. Vaja on määrata:

- visioon;
- muudatuste juhtimise strateegia;
- tööprotsess, standardid ja juhendid;
- koolitamine.

Visioon

BIM-i kasutamine võimaldab vältida vigu projekteerimisel, suurendada produktiivsust ja paremini visualiseerida konstruktsioone. Eesmärk on kasutada nutikaid lahendusi kommunikeerimiseks ja mudelite arendamiseks (alusfailid, elemendikogud, skriptid, pistikprogrammid jne.). Neid lahendusi kirjeldatakse tehnoloogia juhendis.

Praktika on näidanud, et probleemide tekkimisel esineb oht tagasi minemisele vanal viisil tööülesannete lahendamisele. See näitab, et ei piisa tehnilise lahenduse toimivusest kui selle kasutamine on ebamõistlikult keeruline. Lisaks on vajalik koolitamine, et seda vähendada.

Tuleb ka arvestada sellega, et BIM-i protsesside rakendamine on juhtimisega seotud ülesanne, mitte tehniline probleem, mille lahendamiseks piisaks heast IT-kirjaoskusest [23].

Muudatuste juhtimise strateegia

Üldised sammud mida on vaja kaaluda muudatuste elluviimisel on järgmised [8]:

- BIM-i rakendusplaani loomine, mis hõlmab kõiki ettevõtte äritegevusega seotud aspekte ning kuidas muudatused mõjutavad ettevõtet, partnereid ja kliente;
- plaani elluviimise eest vastutavate isikute määramine koos eelarvega, millest juhinduda;
- koolitamiseks vajaliku aja ja ressursside eraldamine;
- BIM süsteemi kasutamine mahus, mis võimaldab näha selle kitsaskohti ning arendada ettevõtte standardeid;
- omandatud kogemuste kasutamine edasisel BIM-i rakendamisel ja koolitamisel;
- BIM-i kasutusalade laiendamine;
- BIM-i suutlikkuse integreerimine täiendavates ettevõtte äritegevuse aspektides;
- perioodiline BIM-i rakendusplaani ülevaatamine ja täiendamine.

Tööprotsess, standardid ja juhendid

Üldist tööprotsessi on kirjeldatud peatükis 2.3 ja selle põhjal on koostatud protsessikaardid (vt. Lisa 6). Detailsemalt on kirjeldatud tööprotsessi tehnoloogia juhendis.

Olulisematest standarditest ja juhenditest on tehtud ülevaade osas 2, kus on käsitletud COBIM juhendite sarja, BIM-i standardi ISO 19650 esimest ja teist osa, RKAS-i BIM-i nõudeid ja ehitusprojekti standardi EVS 932:2017 hoone konstruktsioonide tööprojekti osa.

Koolitamine

BIM koolitus

BIM protsesside kasutusele võtuks ei piisa lihtsalt juhenddokumentidest vaid tuleb pidevalt tegeleda teavitusega. Oluline on läbi regulaarse teavituse luua olukord, kus projekteerijad suudavad iseseisvalt järgida juhendeid ja teha oma tööd efektiivselt.

Tarkvara koolitus

Traditsiooniliselt toimub tarkvara koolitus klassiruumis, kus õpitakse tüüpülesannet järgi tehes. Sellisel koolitamisel on kaks peamist probleemi. Esiteks on selline viis väga aeglane, mis tähendab et koolitus kestab enamasti mitmeid päevi ja selle jooksul jõutakse läbi käia vaid põhifunktsioonid. Lisaks on uurimus inimese mälu kohta leidnud, et keskmine õppija unustab umbes 40% õpitust ühe päeva jooksul [24].

Teiseks ja ilmselt traditsioonilise koolitamise suurimaks probleemiks on fookuse panemine tarkvara funktsioonide õpetamisele. Selline fookus loob olukorra, kus õpilane on sõltuv temale õpetatust ja tal on iseseisvalt keeruline probleemidele lahendusi leida.

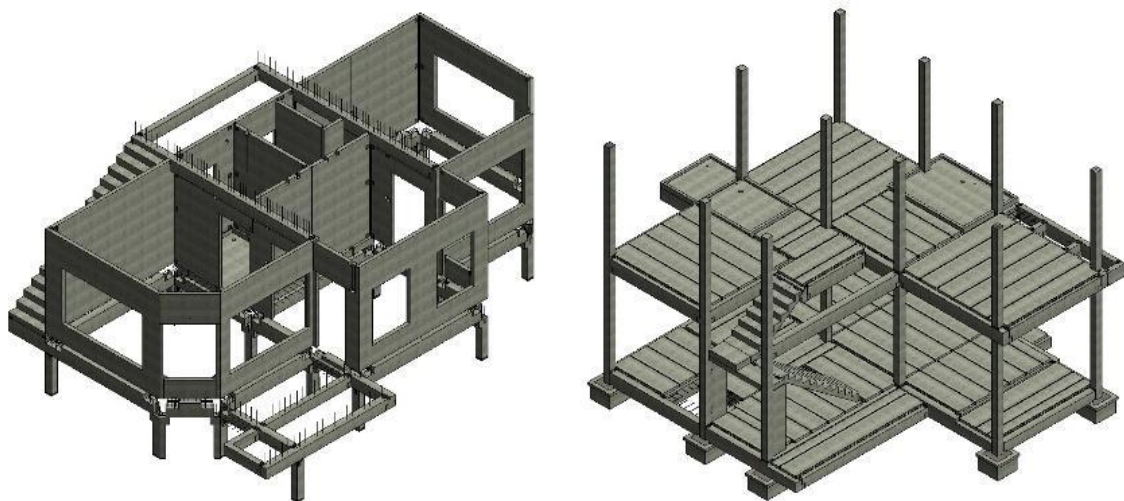
Selleks et neid probleeme vältida tuleks luua õppimiskava, mis lähtub õppijale vajaminevatest oskustest, mida saab kohe rakendada. Tarkvara koolitamise puhul tuleks käsitleda põhimõtteid ja vältida funktsioonide kasutamise detailidesse laskumist. Koolituse eesmärk peaks olema aidata õppijal luua oskus iseseisvalt hakkama saada.

3.2.2 Tulemuste mõõtmine

BIM-i protsesside rakendamiseks on vaja juhtkonna toetust [23]. Muudatused tulevad BIM valdkonnaga teadlikumalt inimeselt, kes omab suuremat tehnoloogilist kompetentsi ja on fokuseeritud projekti kogu elutsüklile. Juhtkond see vastu keskendub lisa kulule, mida BIM protsesside rakendamine kaasa toob. Vastutöötamise vältimiseks on vaja tõestada, kuidas investering BIM-i ennast ära tasub.

Kaks näitajat, mille põhjal hinnata uue töövoos tasuvust on produktiivsus ja kvaliteet. Nendest viimase tulemuse hindamise üks võimalik viis on saades tagasisidet ehitusplatsilt montaaži käigus esile tulnud projekteerimise vigadest. Mudelipõhisel projekteerimisel saab vältida neid probleeme, mis piisava kvaliteedi kontrolliga on võimalik täielikult välistada.

Produktiivsuse hindamisel saab mõõta töö tegemiseks kulunud tunde kuid selle tulemust erinevalt kvaliteedist ei ole kiiresti näha. Hinnanguline aeg, mis võiks kuluda betoonelemendi 2D joonise genereerimisele mudeli põhjal varieerub oluliselt ja on 5 minutit kuni 2 tundi [25] ning sõltub joonise keerukusest. 2015 tehtud juhtumianalüüsis [26] oli kahe projekti puhul keskmine ajakulu betoonelemendi koha 1 ja 0,5 tundi (Joonis 3.4), mille hulka on arvestatud modelleerimine ja jooniste genereerimine.



Joonis 3.4 Juhtumianalüüsi projekt 01 BIM mudel vasakul ja 02 paremal [25]

Võrreldes BIM voo puhul modelleerimisele ja 2D jooniste genereerimisele kuluvat aega 2D CAD projekteerimis protsessis kuluvale ajale ei pruugi tekkida algul otsest ajalist võitu mitmel põhjusel. Kuid parema kvaliteedi tõttu väheneb vajadus töö ümbertegemisele ja seeläbi kaudselt ka projekteerimisele kuluv aeg.

4. TEHNOLOOGIA JUHEND

Tehnoloogia juhend on koostatud AEC (UK) BIM tehnoloogia protokollide põhjal. Juhendi koostamisel on kasutatud lisaks järgmisi dokumente:

- EVS-EN ISO 19650-1:2018 Hoonete ja rajatistega seotud info, sealhulgas ehitusinformatsiooni (BIM) korraldamine ja digitaliseerimine: Infohaldus ehitusinformatsiooni modelleerimise abil - Osa 1: Mõisted ja põhimõtted;
- ISO 19650-2:2018 Hoonete ja rajatistega seotud info, sealhulgas ehitusinformatsiooni (BIM) korraldamine ja digitaliseerimine: Infohaldus ehitusinformatsiooni modelleerimise abil - Osa 2: Varade elluviimise etapp;
- COBIM juhendite sari:
 - 1. osa - Mudelprojekteerimise üldjuhendid,
 - 5. osa - Konstruksioonide projekteerimine,
 - 6. osa - Kvaliteedi tagamine;
- EVS 928:2016 Ehitusinformatsiooni modelleerimise (BIM) terminid.

Tehnoloogia juhendi edukas kasutamine saavutatakse läbi töö ümbertegemise vähendamise, muudatuste mõju minimiseerimise, standardiseerimise, automatiseerimise, andmete ja sisu taaskasutamise ning kvaliteedi kontrolli.

4.1 Parim praktika

Tehnilise tipptaseme ja projekti eesmärkide saavutamise jaoks on oluline, et BIM töövoog ning järgnev informatsiooni ja jooniste loomine on hoolikalt planeeritud. See peab hõlmama nii informatsiooni tootmist kui ka juhtimist. Järgnevalt on toodud peamised põhimõtted, mis aitavad kaasa efektiivse ja kvaliteetse töö tegemisele.

4.1.1 BIM

- Määra projekti andmesisu vajaduse tase. Sõltumata nõuete olemasolust on vaja teada **mis** informatsiooni (graafiline ja mitte graafiline) on vaja ja **millal**.
- BIM rakenduskavaga määratakse **kes** vastutab projekti peamiste ülesannete, väljundite ja mudeli koostamise eest ning **kuidas** saavutatakse projekti eesmärgid.

- Projekti ülevaatus peaks toimuma regulaarselt, et tagada mudeli terviklikkus, projekti sujuv töövoog, eesmärkide saavutamine ja rakenduskava järgimine.
- Modelleerida tuleb minimaalne vajalik informatsioon. Seda on võimalik teha kui on määratud mudeli elementidele selged andmesisu vajaduse tasemed.

Tööjagamine tsentraalse mudeli kaudu

Töörühmas sama mudeli üheaegset kasutamist võimaldab tsentraalse faili funktsionaalsus. Tsentraalse mudeli põhiselt töötades saavad meeskonna liikmed samaaegselt töötada ühtse informatsiooni põhjal ning selle edukaks toimimiseks on vaja järgida järgmisi punkte.

- Tsentraalses mudelis ei tehta tööd!
- Iga meeskonna liige töötab eraldi tsentraalse faili põhjal loodud koopias, mis asub kohalikul kõvakettal.
- Kohalik fail on ajutine ja see luuakse uuesti iga päev – soovituslik on seda teha iga kord kui tarkvara avatakse (nt. peale lõunat või koosolekut). See väldib ebavajalike andmete säilitamist.
- Kohaliku faili sünkroniseeritakse tsentraalse failiga soovituslikult iga tunni tagant. Seda tuleb teha ka siis, kui mudelis ei ole muudatusi tehtud, sest see väldib elementide kinni hoidmist.

4.1.2 Jooniste koostamine

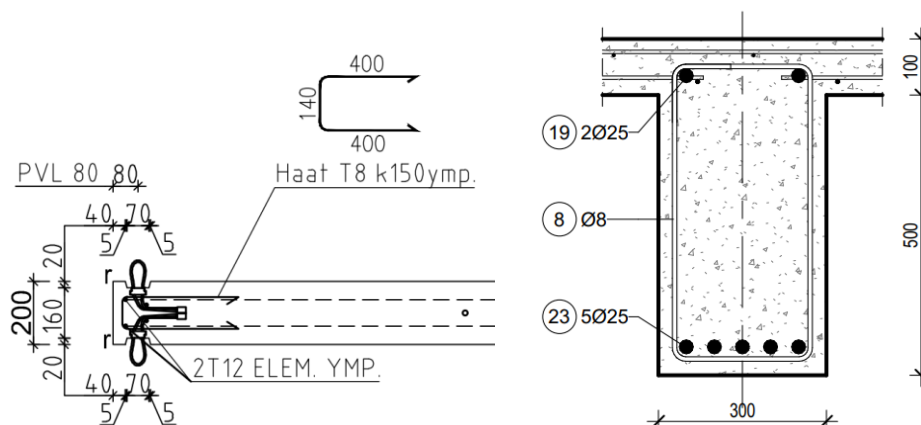
BIM protsessis jooniste koostamisel kehtivad traditsioonilised põhimõtted.

- Joonis sisaldab ainult informatsiooni, mis on vajalik joonise eesmärgipäraseks kasutamiseks.
- Efektiivsuse maksimeerimiseks peavad joonised sisaldama minimaalselt detaile ilma kvaliteeti ja terviklikkust mõjutamata.
- Tuleb vältida jooniste korduvust (nt. sama lahendust kirjeldavad sõlmed).
- Jooniste arv peab olema minimaalne ning need peavad olema organiseeritud loogiliselt.

Vormistus

Traditsiooniline ja mudeli põhine armeerimise joonis erinevad armatuuri kujutuse ja tähistuse poolest. CAD-i joonisel kujutatakse tavaliselt armatuuri joonena, millel on

vastavalt armatuuri kujule otstes tähised (O, X, /). Mudeli põhjal genereeritud joonisel on armatuur kujutatud nii nagu see tegelikult välja näeks, mis muudab 2D joonisest arusaamise raskemaks. Lihtsama ja tüüpse armeeringu puhul ei ole see probleem aga olulisemalt mõjutab see keerulisema armeeringuga joonise loetavust.



Joonis 4.1 Näide traditsioonilisest joonisest vasakul ja mudeli põhjal genereeritud joonisest paremal

Lisaks kujutusele tähistatakse CAD-i joonisel armatuuri erinevalt (Joonis 4.1). CAD-i joonisele lisatakse painutatud armatuuri kujutis koos painutatud külgede pikkustega. See tuleb vajadusest kasutada ühte joonist mahuarvutuse ja armeerimise jaoks. Kuna mudelipõhisel joonisel genereeritakse mahtude tabel mudeli põhjal, on joonisel vajalik näidata vaid armeerija jaoks vajalik informatsioon.

Varasemalt oli vajadus lisada montaaži joonistele piisavalt informatsiooni, et teha valmis betoonelemendid. Selline informatsioon ei ole aga vajalik montaaži töödeks. BIM-i põhine tööprotsess võimaldab saada selle informatsiooni mudelist ning seeläbi lihtsustuvad montaaži joonised ja alles jääb ainult üheks tegevuseks vajalik informatsioon.

BIM-i kasutamisega muutub elementide sobivuse ja geomeetria õigsuse kontrollimine mudelipõhiseks. Joonistel tuleb endiselt kontrollida, et mõõtketid ja muu informatsioon on esitatud korrektselt.

4.2 Planeerimine

4.2.1 Rollid ja vastutus

BIM-i protsessis võib eristada 3 peamist rolli – valdkonnajuht, koordinaator ja tehnik/modelleerija (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 BIM-i rollide vastutusmaatriks [27]

Tabel 11.11.1. Põhise vastutusteade												
	Strateegia						Juhtimine				Tootmine	
Roll	Ettevõtte eesmärgid	Uurimustöö	Protsess + töökorraldus	Standardid	Rakendamine	Koolitamine	Rakenduskava	Mudeli kontroll	Mudeli koordineerimine	Sisu loomine	Modelleerimine	Dokumentatsiooni koostamine
Valdkonnajuht	•	•	•	•	•	•	•					
Koordinaator						•	•	•	•	•	•	
Modelleerija										•	•	•

BIM-i valdkonna juht on isik, kelle ülesanne on mõista, kuidas BIM mõjutab projekti tööprotsesse ja projektijuhtimist kogu ettevõttes. Selle mõistmisega aitab BIM-i valdkonnajuht ettevõttel arendada ja rakendada uusi ettevõtte BIM-i töövooprotseduure. Valdkonnajuht kujundab ja viib ellu BIM-i strateegiat. [27]

BIM-i koordinaator on isik, kellel on vahendaja roll BIM-i valdkonna juhi ja modelleerimise meeskonna vahel. Ta rakendab BIM-i valdkonnajuhi modelleerimise standardeid ja protokolle ning tegeleb meeskonnaliikmete koordineerimisega projekti eesmärkide saavutamiseks. [27] Konstruktsioonide osa koordinaator enamasti ei tegele projektiülese koordineerimisega, vaid tema vastutusalasse kuulub järgnev:

- mudelite vahendamine / üles laadimine CDE-sse;
- mudeli sisu valideerimine sh detailsuse astme;
- mudelite kombineerimine / linkimine;
- osalemine projekteerimise ja mudelite koordineerimiskoosolekutel;
- probleemide kommunikeerimine ettevõtte siseselt;
- failide nimetamise määramine ja kontrollimine.

BIM-i tehniku/modelleerija ülesanne on modelleerida mudeleid ning valmistada ette projektdokumentatsiooni, vastavalt BIM-i koordinaatori ja tellija kinnitatud projekti informatsiooninõuetele. Töös tuleb lähtuda õigusaktidest, standarditest ja kehtestatud informatsiooninõuetest. BIM-i tehnikute/modelleerijate tööd koordineerivad BIM-i koordinaatorid. [27]

4.2.2 Projekti BIM koosolekud

BIM-i avakoosolek (*BIM kick-off*)

Projekti staadiumi alguses viiakse läbi BIM-i avakoosolek, mille eesmärk on määratleda, kuidas saavutatakse projekti informatsiooni nõuded ning koosolekul vaadatakse üle ka BIM rakenduskava. Sellel koosolekul osalevad kõikide projektiosapoolte esindajad.

Infomudeli ülevaatuskoosolek

BIM-i põhise projekti jaoks on vajalik efektiivne ja regulaarne kommunikatsioon. Selle saavutamiseks korraldatakse regulaarselt mudeli ülevaatuskoosolekuid, kus muuhulgas kontrollitakse BIM-i nõuete ja rakenduskava järgimist. Mudeli ülevaatuskoosolekute sagedus määratakse rakenduskavas kuid selle sagedus võib varieeruda sõltuvalt projekti arengust.

Projekteerimiskoosolek

Projekteerimiskoosolekud toimuvad üldjuhul traditsiooniliselt erinevusega, et vajadusel viiakse koosolekud läbi mudelipõhiselt.

4.3 Koordineerimine

4.3.1 Protsess

Mudelipõhine koordineerimise protsess toimub vastavalt joonisele 4.2.

1. BIM rakenduskava (BEP) koostamine/ülevaatus.
2. Modelleerimine ja dokumentatsiooni loomine toimub ettevõtte BIM tehnoloogia juhendi järgi, milles on kirjeldatud:
 - a. tööprotsess,
 - b. modelleerimise põhimõtted (parim praktika),
 - c. kvaliteedi kontrolli meetodid.
3. Infomudeli koordinaator teeb ristumiste kontrolli ja kontrollib visuaalselt vastuolusid, mille tulemusena koostab raporti.
4. Koordineerimise osapooled vaatavad neid puudutavad vastuolud üle.
5. Kriitilised vastuolud vaadatakse üle koordineerimiskoosolekul.



Joonis 4.2 Koordineerimise skeem

4.3.2 Failide eksport

IFC

IFC ekspordiks on loodud eraldi vaade, millega määratakse eksporditavad mudeli elemendid. IFC ekspordiks kasutades selleks loodud malli, kus täpsustatakse vastavalt infovajaduse tasemele omaduste kogumi (*property set-i*) faili (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Tunnuste/omaduste kogumi määramise faili struktuuri näide

PropertySet:	EK_Tala-Post	T	IfcBeam
	001_Nimetus	Text	Description
	002_Tüüp	Text	Type Name
	105_Tugevusklass	Text	Strength Class
	110_Keskkonnaklass	Text	Environmental Class
	115_Monteeritav	Boolean	Pre-fabricated
	120_Materjal	Text	General Material
	125_Positsioon	Text	Position
	130_Pikkus	Length	Length
	135_Ruumala	Volume	Volume
	140_Mass	Mass	Mass
	145_Pindala	Area	Area
	190_Ülemine_kõrgusmärk	Length	Elevation Top
	195_Alumine_kõrgusmärk	Length	Elevation Bottom

Mittegeomeetrilise info kontrolliks kasutatakse tarkvara alusfailis olevaid tabelleid, kus on mudeli elementidel olevad informatsiooni lüngad kergelt tuvastatavad (Joonis 4.3).

<RKAS_EK_Seinad>													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
001_Nimetus	002_Tüüp	105_Tugevusklass	110_Keskkonnaklass	115_Monteeritav	120_Materjal	125_Positsioon	135_Ruumala	140_Mass	150_Paksus	155_Bruto_pindala	160_Neto_pindala	190_Ülemine_kõrgusm	195_Alumine_kõrgusm
	Betoonsel			✓			5.83 m³		300		19.44 m²	-170	-4640
	Betoonsel			✓			84.26 m³		300		280.97 m²	-580	-4640
BET/240	Betoonsel			✓			15.41 m³		240		64.27 m²	-570	-4640
	Betoonsel			✓			10.26 m³		200		40.25 m²	-570	-4640

Joonis 4.3 Tähtnumbrilise info kontrolli tabel

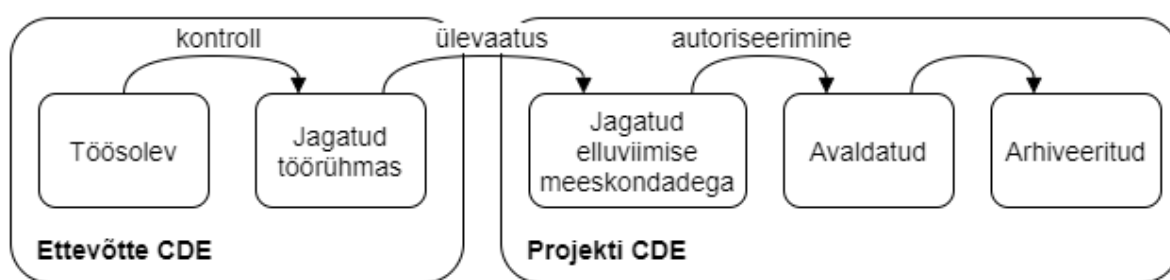
Soovitav on IFC mudelid enne nende edastamist optimeerida (kasutades näiteks Solibri IFC Optimizer tarkvara). [16]

4.3.3 Ühtne andmekeskond (CDE)

Igale projektile luuakse ühtne projekti andmekeskond ehk projektipank. Selle asukoht, struktuur ja ligipääsu taotlemine määratakse rakenduskavas.

Lisaks projekti andmekeskonnale on vajalik töörühma või ettevõtte andmekeskond (Joonis 4.4), kus hoitakse töösolevaid faile. Projekti kausta üldine struktuur on toodud punktis 4.6.1.

Töösolevad andmed kajastavad projekteerimise hetke seisuga. Kontrolli ja ülevaatus järel toimub infomudeli jagamine elluviimise meeskondadega ning peale mudeli heakskiitmist avaldatakse need näiteks hanke korraldamiseks või ehitamiseks sõltuvalt projekti staadiumist.



Joonis 4.4 CDE töövoog

4.4 Tööprotsess

Betoelementide projekteerimise põhilised töövoog staadiumid on järgnevad:

- a. üldine tugevusarvutus
- b. elementide geomeetria modelleerimine
- c. detailne tugevusarvutus;
- d. ühendus elementide ja tõsteankrute lisamine;
- e. armatuuri lisamine;
- f. 2D jooniste genereerimine (koostud, tabelid, legendid);
- g. inseneri kontroll;
- h. inseneri kontrolli paranduste lisamine.

1. ja 2. staadium tehakse läbi kogu hoone mahus ning alates 3ndast staadiumist rakendatakse tüki põhise voogu, mis on parem klasteri põhise voost [25]. Tugevusarvutuste tegemine kahes etapis tuleneb vajadusest selgitada geomeetria keerukust, mis võimaldab teha täpsemaid arvutusi ja vähendada ümbertegemist. Arvestada tuleb ka projekteerimise protsessi tsüklilise iteratiivsusega, mis tähendab et ühte toodud staadiumi ei saa teha n-ö lõpuni valmis, vaid seda tuleb hiljem mingil määral ka täpsustada.

Kirjeldatud töövoos on aga endiselt vaja manuaalselt sisestada tugevusarvutustest saadud tulemused BIM tarkvara mudelisse. Traditsiooniliselt luuakse esimesena analüütilinemudel, mis on lihtsustatud ning selle põhjal ei saa genereerida põhimudelit tehtud lihtsustuse tõttu. See loob olukorra, kus FEM ja BIM tarkvarade mudelite omavaheline sünkroniseerimine ei ole võimalik. Selle võimekuse loomiseks tuleb esmalt luua BIM mudel, mille põhjal genereeritakse FEM arvutuste jaoks vajalik analüütiline mudel. Sünkroniseerimise võimekuse loomisel on töövoog järgnev:

- a. konstruktsiooni elementide modelleerimine/genereerimine;
- b. üldine tugevusarvutus;
- c. elementide geomeetria täpsustamine;
- d. detailne tugevusarvutus;
- e. ühenduste ja armatuuri genereerimine;
- f. 2D jooniste genereerimine;
- g. inseneri kontroll;
- h. inseneri kontrolli paranduste lisamine.

Modelleerimise alguses on lähteinformatsioonina vaja teada ja kooskõlastada järgnev:

- teljed, korrused;
- vormi pinnad (*top in form (TIF) faces*);
- 2D tüüp detailid (kooskõlastamine);
- montaaži järjekord ja kraana asukoht;
- kalded ja äravool (parklad);
- vertikaalsete elementide jaotus;
- mõõtmete piirangud (transport, kraana(de) tõstevõime);
- eriosade läbiviigud.

4.5 Modelleerimine

Peamised konstruktsioonide mudeli kasutusala on koordineerimine, maksumuse kalkuleerimine ja ehitamine. Modelleerimisel tuleb lähtuda konkreetse staadiumi eesmärkidest. Ehituse jaoks kasutatava mudeli elemendid tuleb jagada osadeks nii nagu need elemendid ehitatakse. Näiteks monoliitne betoonsein tuleb jagada osadeks valu järkude järgi.

Modelleerimisel kasutatakse Reviti sisseehitatud funktsionaalsusi, Strusoft-i loodud Impacti laiendust ja ettevõtte siseselt loodud visuaalse programmeerimise skripte. Nendel lahendustel on kõigil omad eelised ja puudused (Tabel 4.3).

Tabel 4.3 Modelleerimis meetodite võrdlus

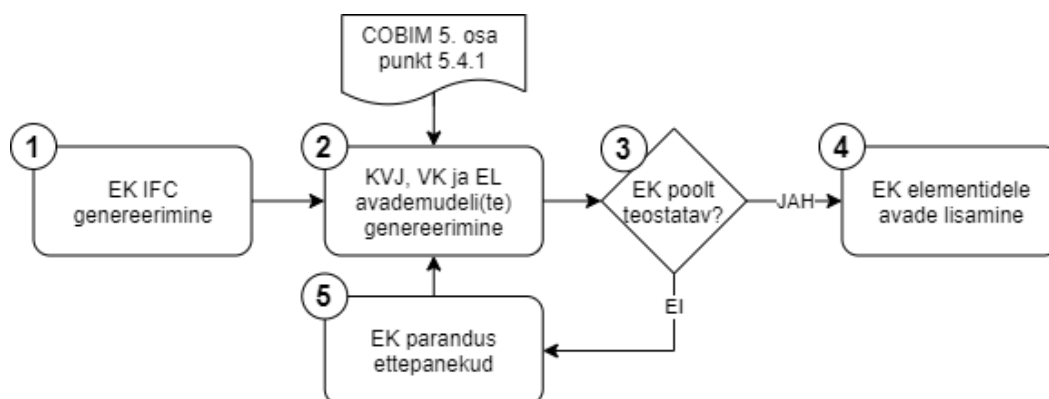
Reviti sisseehitatud funktsionaalsus	+ paindlik ja lihtne kasutada - kasutamine on ajamahukas - raske tagada mudeli terviklikkust
Impacti laiendus	+ betoonelementide projekteerimiseks spetsiifiline funktsionaalsus + efektiivne - funktsioonide piiratus, kasutuse paindlikkus - tasuline - toimiva lahenduse seadistamine on ajamahukas
Dynamo skriptid	+ paindlik, efektiivne + sisseehtatud tarkvarasse + olemas olevate skriptide kasutamine on lihte + skriptide koostamise õppimine on lihtsam kui programmeerimise õppimine - skriptide loomine nõuab aega ja oskust - skriptide kasutamisel esinevad töökindluse probleemid

4.5.1 Põhielementide geomeetria modelleerimine

Üldiselt kasutatakse modelleerimisel selleks ettenähtud tööriistu kui juhendis ei ole alternatiivseid lahendusi toodud.

Eriosade avade modelleerimine

COBIM 5. osa põhjal on koostatud avade projekteerimise skeem (Joonis 4.5), mille järgi konstruktsioonide projekteerija genereeritud IFC mudeli põhjal (1) koostavad eriosade projekteerijad läbiviikude IFC mudelid (2). Läbiviikude ja eriosade mudelite järgi saab konstruktor hinnata avade teostatavust (3) ning vajadusel teha parandus ettepanekuid (5). Kui avad on konstruktsioonidesse teostatavad lisatakse need mudeli elementidele, mida on võimalik automatiseerida kasutades skripte (vt. punkt 4.7.2 Skriptid)



Joonis 4.5 Avade projekteerimise skeem

4.5.2 Ühenduselemendid ja tõsteankrud

Betoonelementide ühenduselemendid on koordineerimise seisukohalt vähe olulised ning kuna nende modelleerimise järgne haldus muudatuste tegemisel on aja mahukas ja vigade tegemise oht on suur tuleks need modelleerida nii hilja kui võimalik.

Põhiprobleem ühenduste ja tõsteankrute modelleerimisel on sidususe tagamine kogu mudelis. Parameetriliste perekondade kasutamine, mille sees on olemas vajalikud elemendid, võimaldab tagada ühenduste tüüpide järjepidevuse. Kuid selliste perekondade loomine ja haldamine ei ole praktiline väikese ja keskmise suurusega ettevõtetes.

Alternatiivina keerulistele parameetrilistele perekondadele saab kasutada 3ndate osapoolte loodud laiendusi (pistikprogramme), ettevõtte siseselt arendatud laiendusi ja skripte, mis on loodud ja arendatavad kasutades visuaalset programmeerimist.

4.5.3 Armatuur

Kuna armatuuri manuaalselt lisamine ei ole efektiivne tuleb selle lisamisel maksimaalselt kasutada skripte ja armatuuri modelleerimise lihtsustamiseks ettenähtud laiendusi.

Tööprojekti staadiumis lisatakse armatuuri elementidele järgmised parameetrid:

- jaotus (*Partition*);
- armatuuri number – automaatselt genereeritud ainulaadne number igal unikaalsel armatuuri elemendil;
- tabeli tähis (*Schedule Mark*);
- valu (*Pour*);
- väljastamine (*Delivery*);
- kommentaarid (*Bar Comments*) – kasutatakse joonisel sildi täpsustamiseks, nt alumisepinna armatuur AP.

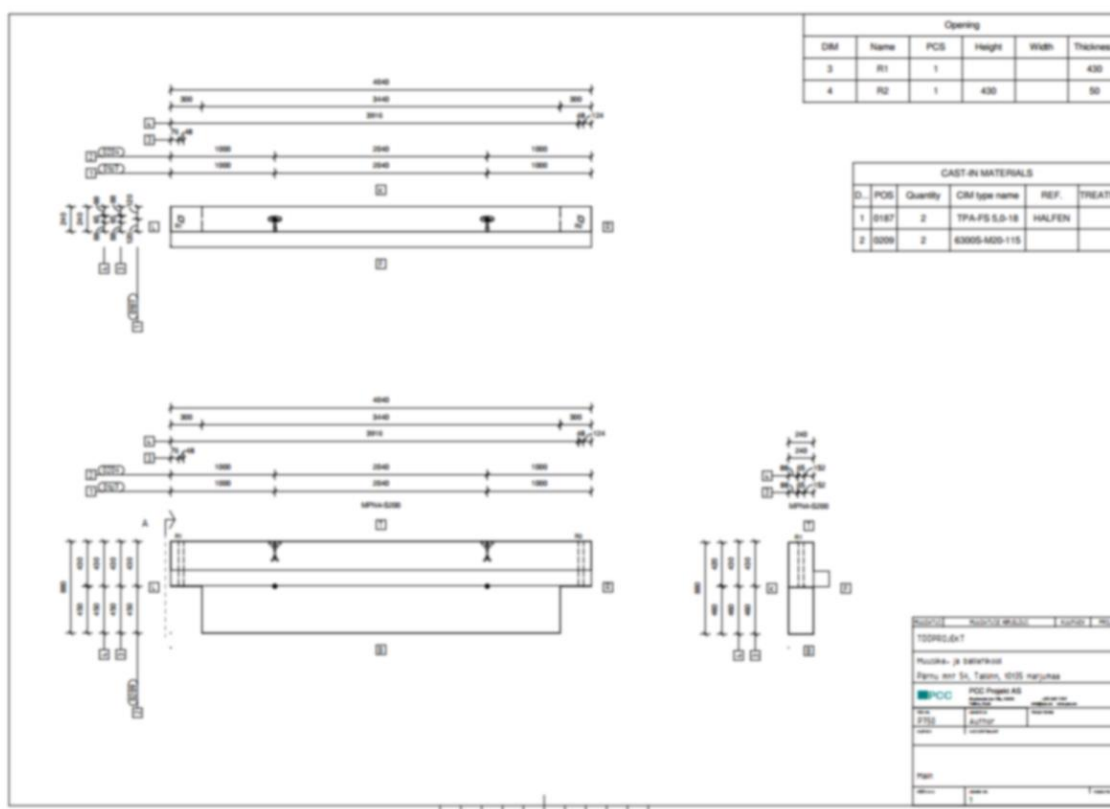
Joonistel ja tabelites kasutatav armatuuri tähis (*Bar Mark*) moodustub armatuuri diameetri, jaotuse ja armatuuri numbri liitmisel (*Size + Partition + Rebar Number*). Enamus toodud parameetreid kasutatakse tabelite filtreerimiseks.

4.5.4 2D jooniste genereerimine

Joonised koostatakse BIM keskkonnas ning need tuleb genereerida 3D mudeli põhjal. Erandina võib koostada konstruktsioonide tüüpide joonised kasutades CAD tarkvara.

Enne tööprojekti staadiumi 2D detailide kasutamine, mis ei ole mudeli põhised, tagab tüüp lahenduste puhul suurema efektiivsuse ning neid on järgnevatel projektides võimalik taaskasutada. Selliste sõlmede jooniste koostamiseks kasutades 2D parameetrilisi komponente, millele on võimalik lisada komponendi parameetritega seotud silte.

Tootejooniste genereerimiseks seadistatakse enne jooniste koostamist mallid, mis võimaldavad luua mõõtmestatud ja vajalike tabelitega joonised, mis vajavad minimaalset järeltöötlust (Joonis 4.6).



Joonis 4.6 Näide automaatselt genereeritud betoonelemendi tootejoonisest

Betoonelementide joonised genereeritakse koostude põhjal, millele lisatakse järgmised parameetrid:

- tüki kontrollnumber – ainulaadne number igal koostul;
- koostu number – ainulaadne number igal unikaalsel koostul;

- põhielement – koostu põhielemendi nimi koostu kuuluvatel elementidel;
- elemendi kategooria – koht kus kasutatakse elementi (nt. ehitusplats, betoonelemendi tehas);
- lahenduse tüüp – projekteeritud lahenduse number;
- koostu mass;
- erinevad vaate parameetrid – vajalikud vaadete filtreerimiseks.

4.5.5 Kvaliteedi tagamine

Kvaliteedi tagamiseks tuleb järgida järgmisi põhimõtteid.

- Modelleeri õigesti ja täpselt esimese korraga. Kvaliteeti on lihtsam tagada seda jooksvalt jälgides, mitte kõige lõpus tehtava kvaliteedikontrolliga.
- Mudelile tuleb teha regulaarselt visuaalne kontroll.
- Kindlat tüüpi vigu on lihtsam märgata kui teha lõiked kõigil telgedel ja neid perioodiliselt üle vaadata.
- Tähtnumbrilist infot saab kontrollida kasutades mudelipõhjal genereeritud tabeleid (Joonis 4.3)

Projekti jooksul tehakse projekteerija, projektirühma ja tellija kvaliteedikontrolle, mis toimuvad vastavalt regulaarselt, projektikoosolekuteks ja vaheetappidel. Projekteerija teeb mudelile regulaarselt kvaliteedikontrolli sh jälgides „Konstruktsioonide originaal infomudeli kvaliteedi kontroll-lehte“ (vt. Lisa 4).

Enne koordineerimis koosolekuid ja infomudeli jagamist tuleb teha jagatavale mudelile (IFC-le) kvaliteedikontroll kasutades „Konstruktsioonide infomudeli (IFC) kontroll-lehte“ (vt. Lisa 3)

4.6 Struktuur ja nimetamine

Selles peatükis määratakse andmete struktuur ja nimetamine, mis on seotud BIM tööprotsessiga.

4.6.1 Projekti kausta struktuur

Tabelis 4.4 on toodud ISO 19650 standardi ühtse andmekeskonna kasutamist lihtsustav struktuur.

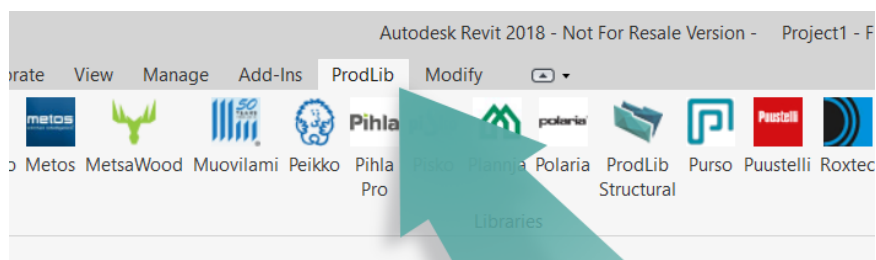
Tabel 4.4 Projekti kausta BIM-i andmete struktuur

 P0000_Projekti_nimi	<i>Projekti kaust</i>
 Arvutus	
 BIM	
 01_Töösolev	
 BIM mudelid	<i>Originaal formaadis mudelid</i>
 Eksport	<i>Eksporditud andmed nt. IFC, dwg failid</i>
 Ressursid	<i>Projekti põhised perekonnad, skriptid</i>
 Tööfailid	<i>Töötetamiseks loodud ajutised failid</i>
 02_Jagatud	<i>Kontrollitud jagatud failid</i>
 Tabelid	
 DWG	
 PDF	
 BIM	<i>IFC failid ja mudeli kaaskirjad</i>
 03_Avaldatud	<i>Avaldatud failid</i>
 YYYYMMDD-Kirjeldus	<i>Näide avaldatud kaustast</i>
 YYYYMMDD-Kirjeldus	<i>Näide avaldatud kaustast</i>
 04_Arhiiv	<i>Arhiveeritud failid</i>
 YYYYMMDD-Kirjeldus	<i>Arhiivi kaust</i>
 YYYYMMDD-Kirjeldus	<i>Arhiivi kaust</i>
 05_Sisend	<i>Lähteandmete kaust</i>
 Allikas	<i>Andmete väljastaja</i>
 YYYYMMDD-Kirjeldus	<i>Sisse tulnud andmete kaust</i>
 Allikas	<i>Andmete väljastaja</i>
 06_Ressursid	<i>Projekti BIM ressursid</i>
 Perekonnad	<i>Projekti põhised BIM komponendid</i>
 Standardid	<i>Projekti standardid</i>
 Projektijuhtimine	
 ...	

4.7 Ressursid

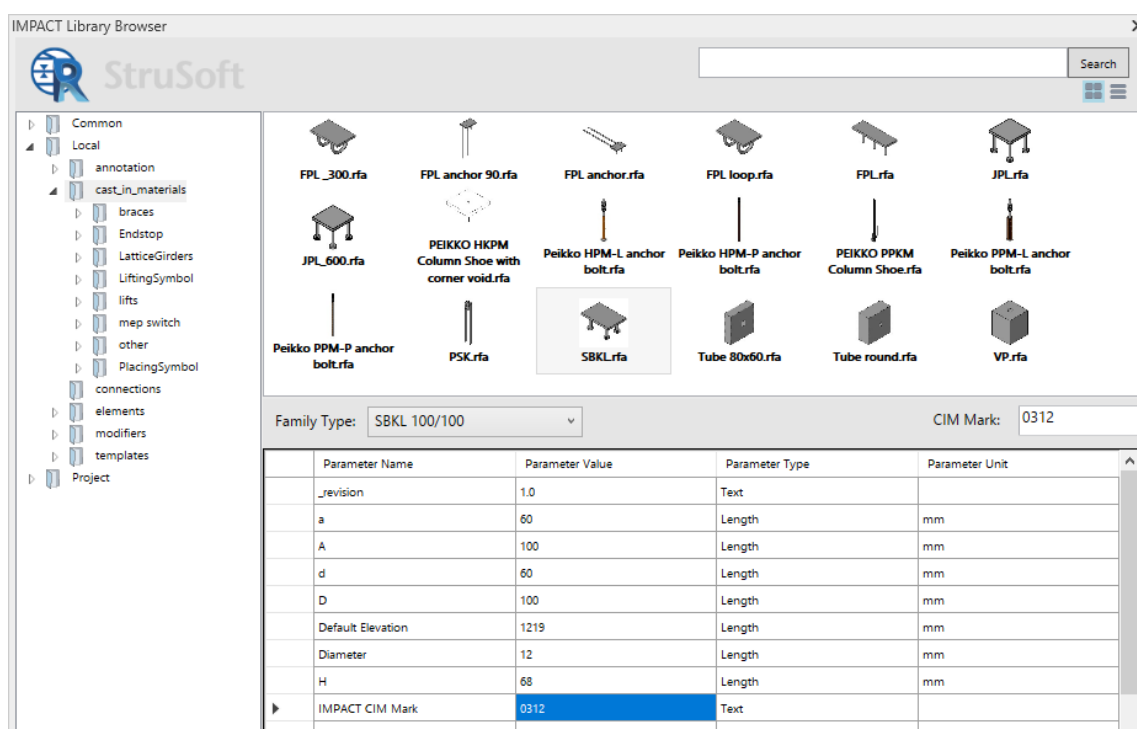
4.7.1 Elementide tootekataloogid

Parameetriliste elementide ja 2D detailide tootekataloogid asuvad ettevõtte serveris. Lisaks sellele on erinevate tootjate tootekataloogid BIM komponentidega saadaval läbi Revit-i laienduste nagu Prodlib (Joonis 4.7), mis võimaldavad Revit-isse sisse tuua tootja spetsiifilisi elemente.



Joonis 4.7 Prodlib Revit-i laiendus

BIM komponentide halduse lihtsustamiseks kasutatakse Impacti laienduse funktsionaalsust, mis võimaldab enne komponendi mudelisse lisamist näha selle eelvaadet, perekonna tüüpe ja parameetreid (Joonis 4.8).



Joonis 4.8 Impact Revit-i laienduse tootekataloog

4.7.2 Skriptid

Töö efektiivsuse tõstmiseks kasutatakse Dynamo skriptid, mis automatiseerivad ja lihtsustavad rutiinseid tööülesandeid. Dynamo on Reviti laiendus, mis kasutab visuaalset programmeerimist (Joonis 4.9) muutes programmeerimise lihtsamaks võrreldes koodi kirjutamisega. Skriptid on koostatud nii, et neid on võimalik kasutada Dynamo Player-iga (Joonis 4.10). Selle kaudu saab skriptide intuitiivselt kasutada ja ei ole vaja aru saada kuidas skript töötab.

KOKKUVÕTE

Ehitussektori areng võrreldes kogu majandusega on olnud marginaalne. Areng on stagneerunud ning endiselt on laialdaselt kasutusel ebaefektiivsed töömeetodid. Ehitussektor oma traditsioonilisuse tõttu on aeglane innovatsiooniga kaasa minemisel ja tekkinud on suur ära kasutamata potentsiaal. See aga on olukord, kus läbi piisavate teadmiste ja läbimõeldud tööprotsessi on võimalik saavutada olulist efektiivsuse ja kvaliteedi paranemist, mis oli käesoleva töö koostamise otstarve.

Diplomitöö eesmärk oli anda projekteerijale ülevaade BIM-i rakendamisest üldiselt konstruktsioonide ja täpsemalt betoonelementide projekteerimisel. Selle täitmise tulemusena on koostatud igapäevast projekteerimistegevust abistav informatiivne juhendmaterjal, milles on toodud asjakohaste standardite ja juhendite järgne tööprotsess, nende olulisemad põhimõtted ja rakendamise probleeme.

Esimeses peatükis on esitatud BIM-i ülevaade, kasutusala konstruktsioonide projekteerimisel ja vajadus tehases tootmise järgi.

Teises peatükis on kirjeldatud COBIM sarja juhendeid, RKAS-i BIM-i nõudeid ja konstruktsioonide projekteerimist ISO 19650 1. ja 2. osa järgi ning nende põhjal on koostatud 3ndas peatükis protsessikaardid kirjeldamiseks standardite järgset üldist alltöövõtja töövoogu. Projekteerimise jaoks on esitatud võimalik dokumentide struktuur koos sellesse kuuluvate dokumentide ülevaadetega ning lisaks on kirjeldatud juhendi rakendamist.

Eraldi on kirjeldatud neljandas peatükis BIM-i juhendisse kuuluvat tehnoloogia juhendit, sh parimaid praktikaid, planeerimist, koordineerimist, betoonelementide projekteerimise tööprotsessi, modelleerimist ja modelleerimiseks vajalikke ressursse.

Diplomitöös kirjeldatud protsessi ja juhendmaterjali võib pidada selle esimeseks versiooniks ning see kuulub edasi arendamisele, mida saab teha selle kasutamisel tekkiva tagasiside põhjal. Detailsemalt oleks vaja veel kirjeldada projekteerimisel tehtavaid töid.

SUMMARY

Construction sector labor-productivity growth is marginal compared to the total economy. Development has stagnated, and inefficient work methods are still widely used. Due to its resistance to change, construction sector is slow to keep up with innovation and there is great unused potential. However, this is a situation where, by sufficient knowledge and a well-thought-out work process, it is possible to achieve a significant improvement in efficiency and quality, which was the purpose of this work.

The aim of the master's thesis was to give designer an overview of BIM implementation in the design of structures in general and precast concrete elements in particular. As a result of this implementation, informative guidance material has been prepared to support day-to-day design activities, outlining the work process following the relevant standards and guidelines, the key principles and implementation issues.

The first chapter provides an overview of BIM, the applications in the design of structures and the need for factory production.

The second chapter describes the COBIM series guidelines, RKAS BIM requirements, and structural design according to ISO 19650 parts 1 and 2, which are used in Chapter 3 to develop process maps to describe the overall subcontractor workflow. For design, a possible structure of documents is presented along with overviews of the documents included in it. In addition, the implementation of the guide is described.

Chapter 4 gives an outline of the technology guide, including best practices, planning, coordination, precast concrete element design process, modeling and resources required for it.

The process and guidance material described in the thesis may be considered as the first version and is subject to further development, which can be done based on the feedback generated during its use. In addition, the work performed during the design process needs to be described in more detail.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Hoonete ja Rajatistega seotud info, sealhulgas ehitusinformatsiooni modelleerimise (BIM) korraldamine ja digitaliseerimine. Infohaldus ehitusinformatsiooni modelleerimise abil. Osa 2. Varade elluviimise etapp : Eesti standard EVS-EN ISO 19650-2:2019, Tallinn: Standardiamet.
- [2] Hoonete ja Rajatistega seotud info, sealhulgas ehitusinformatsiooni modelleerimise (BIM) korraldamine ja digitaliseerimine. Infohaldus ehitusinformatsiooni modelleerimise abil. Osa 1. Mõisted ja põhimõtted : Eesti standard EVS-EN ISO 19650-1:2018, Tallinn: Standardiamet.
- [3] E. Poirier, S. Staub-French ja D. Forgues, „Embedded contexts of innovation: BIM adoption and implementation for a speciality contracting SME,“ *Construction Innovation*, kd. 15, nr 1, pp. 42-65, 2015.
- [4] G. A. van Nederveen ja F. Tolman, „Modelling Multiple Views on Buildings,“ *Automation in Construction*, kd. 1, nr 3, pp. 215-224, 1992.
- [5] J. Laiserin, „Comparing Pommies and Naranjas,“ The Laiserin Letter, 16 detsember 2002. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php>. [Kasutatud 7 märts 2020].
- [6] B. Succar, „Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders,“ *Automation in Construction*, kd. 18, nr 3, pp. 357-375, 2009.
- [7] R. Sacks, L. Koskela, B. A. Dave ja R. Owen, „Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction,“ *Construction Engineering and Management*, kd. 136, nr 9, pp. 968-980, 2010.
- [8] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee ja P. Teicholz, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling For Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers (3. väljaanne), New Jersey: John Wiley & Sons, 2018.
- [9] BIMForum, LOD Specification Part I and Commentary, aprill 2019.
- [10] AIA, *Integrated Project Delivery: A Guide*, California, 2007.
- [11] Ehitussektori tootlikkuse, lisandväärtuse ja majandusmõju analüüs, Tartu: RAKE, 2018.
- [12] P. Teicholz, „U.S Construction Labor Productivity Trends, 1970-1998,“ *Journal of Construction Engineering and Management*, kd. 127, nr 5, p. 427, 2001.
- [13] McKinsey, „Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity,“ McKinsey Global Institute, 2017.

- [14] Statistikaamet, „ER061: Aktiivsed ettevõtted töötajate arvu, tegevusala (EMTAK 2008) ja maakonna järgi,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://andmebaas.stat.ee/Index.aspx?DataSetCode=ER061>. [Kasutatud 21 märts 2020].
- [15] *Mudelprojekteerimise üldjuhend 2012: Osa 1: Mudelprojekteerimise üldjuhendid*, Tallinn: Standardiamet.
- [16] Riigi Kinnisvara AS, *Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele: Osa 14: BIM*, Tallinn, 2020.
- [17] *Mudelprojekteerimise üldjuhend 2012: Osa 5: Konstruksioonide projekteerimine*, Tallinn: Standardiamet.
- [18] *Mudelprojekteerimise üldjuhend 2012: Osa 6: Kvaliteedi tagamine*, Tallinn: Standardiamet.
- [19] *Information management according to BS EN ISO 19650 - Guidance Part 2: Processes for Project Delivery*, UK BIM Framework, jaanuar 2020.
- [20] *Kvaliteedijuhtimissüsteemid: EVS-EN ISO 9001:2015*, Tallinn: Standardiamet.
- [21] *Ehitusprojekt : Eesti standard EVS 932:2017*, Tallinn: Standardiamet.
- [22] AEC (UK);, „AEC (UK) CAD & BIM Standards Site,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://aecuk.wordpress.com/documents/>. [Kasutatud 8 aprill 2020].
- [23] D. Holzer, *The BIM Managers Handbook: Guidance for Professionals in Architecture, Engineering, and Construction*, Chichester: Wiley, 2016.
- [24] G. R. Loftus, „Evaluating Forgetting Curves,” *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, kd. 11, nr 2, pp. 397-406, 1985.
- [25] I. Kaner, R. Sacks, W. Kassian ja T. Quitt, „Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms,” *ITcon*, kd. 13, pp. 303-323, 2008.
- [26] W. Wisuthseriwong ja V. Likhitrungsilp, „A BIM-Based System for Precast Concrete Supply Chain Management: Case Study Projects,” %1 *The 20th National Convention on Civil Engineering*, Chonburi, Thailand, 2015.
- [27] *Ehitusinformatsiooni modelleerimise (BIM) terminid : EVS 928:2016*, Tallinn: Standardiamet.

LISAD

Lisa 1	Infohalduse määramise maatriks	77
Lisa 2	Infomudeli kaaskirja mall	79
Lisa 3	Konstruksioonide infomudeli (IFC) kontroll-leht	80
Lisa 4	Konstruksioonide originaal infomudeli kvaliteedi kontroll-leht	81
Lisa 5	ISO 19650 standardile vastav TIDP näide.....	82
Lisa 6	Informatsiooni halduse protsessikaardid ISO 19650 järgi alltöövõtjale	83

Lisa 1 Infohalduse määramise maatriks

Tabel A.1.0.1 - Infohalduse vastutusmaatriksi mall

R	Vastutav võetud tegevuse eest	Määrav osaline	Kolmas osaline	Määratud juhtiv osaline	Määratud osaline
A	Vastutav tegevuse lõpetamise eest				
C	Konsulteeritud tegevuse ajal				
I	Teavitatud pärast tegevuse lõpetamist				
ID	Tööülesanne				
1.1	Infohaldusfunktsiooni täitvate isikute määramine				
1.2	Projekti infonõuete loomine				
1.3	Projektiinfo edastamise tähtaegade loomine				
1.4	Projektiinfo standardi loomine				
1.5	Projektiinfo tootmismeetodite ja -protsesside loomine				
1.6	Projekti võrdlusinfo ja jagatud ressursside loomine				
1.7	Projekti ühtse andmekeskonna loomine				
1.8	Projekti infoprotokolli loomine				
2.1	Määrava osalise infovahetuse nõuete loomine				
2.2	Võrdlusinfo ja jagatud ressursside kokkupanek				
2.3	Esitatud pakkumustele nõuete ja hindamiskriteeriumide kehtestamine				
2.4	Hankekursi info koostamine				
3.1	Infohaldusfunktsiooni täitvate isikute nimetamine				
3.2	Elluviimismeeskonna (määramiseelse) BIM-i rakenduskava loomine				
3.3	Iga elluviimise meeskonna suutlikkuse ja võimekuse hindamine				
3.4	Elluviimise meeskonna suutlikkuse ja võimekuse kindlaksmääramine				
3.5	Elluviimise meeskonna projekti ettevalmistuskava koostamine				
3.6	Elluviimise meeskonna riskiregistri koostamine				
3.7	Elluviimise meeskonna esitatava pakkumuse koostamine				
4.1	Elluviimise meeskonna BIM-i rakenduskava kinnitamine				
4.2	Elluviimise meeskonna üksikasjaliku vastutusmaatriksi koostamine				
4.3	Määratud juhtiva osalise infovahetuse nõuete koostamine				
4.4	Ülesandepõhis(t)e info edastamise kava(de) koostamine				
4.5	Info esitamise peakava koostamine				

R	Vastutav võetud tegevuse eest	Määrav osaline	Kolmas osaline	Määratud juhtiv osaline	Määratud osaline
A	Vastutav tegevuse lõpetamise eest				
C	Konsulteeritud tegevuse ajal				
I	Teavitatud pärast tegevuse lõpetamist				
ID	Tööülesanne				
4.6	Määratud juhtiva osalise määramise dokumentide lõpetamine				
4.7	Määratud osalise määramise dokumentide lõpetamine				
5.1	Ressursside ettevalmistamine				
5.2	Infotehnoloogia ettevalmistamine				
5.3	Projektiinfo tootmismeetodite ja -protsesside testimine				
6.1	Võrdlusinfo ja jagatud ressursside kättesaadavuse kontrollimine				
6.2	Info genereerimine				
6.3	Kvaliteedi tagamise kontrolli läbiviimine				
6.4	Info ülevaatus ja ühiskasutuse kinnitamine				
6.5	Infomudeli ülevaatus				
7.1	Infomudeli edastamine määratud juhtivale osalisele kinnitamiseks				
7.2	Infomudeli ülevaatus ja kinnitamine				
7.3	Infomudeli esitamine määravale osalisele heakskiitmiseks				
7.4	Infomudeli ülevaatus ja heakskiitmine				
8.1	Projekti infomudeli arhiveerimine				
8.2	Tulevaste projektide jaoks kogemuste jäädvustamine				

Halli tooniga esile toodud punktid on olulised konstruktsioonide projekteerija jaoks.

Lisa 2 Infomudeli kaaskirja mall

ÜLDINFO

MUDELI_FAILI_NIMETUS.ifc

PROJEKTI NIMETUS		
STAADIUM		
MUDELI AUTOR	Ettevõte	
	Mudeli autor	
	Kontaktandmed	
	Avaldamise kuupäev	
	Kasutatud tarkvara ja versioon	
INFOMUDELI KOORDINAATOR	Ettevõte	
	Infomudeli koordinaator	
	Kontaktandmed	
	Kinnitamise kuupäev	
	Koord. tarkvara ja versioon	

MUDEL

NULLPUNKT, KOORDINAADID	
IFC KLASSIFIKATSIOONI ERISUSED	
GEOMEETRIA EBATÄPSUSED	
INFOSISU EBATÄPSUSED	
MUDELIS ESINEVAD VASTUOLUD	
MUDELI VALMIDUS, KVALITEET JA USALDATAVUS	
ERISUSED ELEMENTIDE KUULUVUSES VÕI JAOTUSES MUDELITE VAHEL	
MÄRKUSED	

Lisa 3 Konstruktsioonide infomudeli (IFC) kontroll-leht

Koht:	
Aeg:	
Kontrollija:	
Objekt:	
Versioon:	
Versiooni kuupäev:	

Korras	+
Esineb puudusi	-
Ei ole oluline	0

		+/-/0	Kommentaariid
1.	Infomudeli kaaskiri		
2.	Mudelid on kokkulepitud formaadis (IFC jt failiformaadid)		
3.	Koordinaatsüsteem vastab kokkuleppele		
4.	Mudel hõlmab (üldreeglina) üht ehitist		
5.	Korrused on kindlaks määratud		
6.	Mudeli elemendid on määratletud korruste kaupa		
7.	Kokkulepitud/nõutavad mudeli elemendid on modelleeritud		
8.	Mudeli elemendid on modelleeritud õigete tööriistadega		
9.	Mudeli elemendid on nimetatud kokkulepitud viisil		
10.	Tarindid on toestatud		
11.	Mudeli elemendid sisaldavad kokkulepitud infot		
12.	Mudelis ei ole liigseid elemente		
13.	Mudelis ei ole üksteist katvaid või dubleerivaid elemente		
14.	Mudelis ei ole mudeli elementide märkimisväärsset lõikumist		
15.	Konstruktsioonide ja arhitektuurse mudeli avakohad ühtivad		
16.	Konstruktsioonide ja arhitektuurne mudel on omavahel vastavuses		
17.	Tehnosüsteemide projekteerijate tehtud avad on kandetarinditele üle kantud		

Lisa 4 Konstruktsioonide originaal infomudeli kvaliteedi kontroll-leht

Koht:	
Aeg:	
Kontrollija:	
Objekt:	
Versioon:	
Versiooni kuupäev:	

Korras	+
Esineb puudusi	-
Ei ole oluline	0

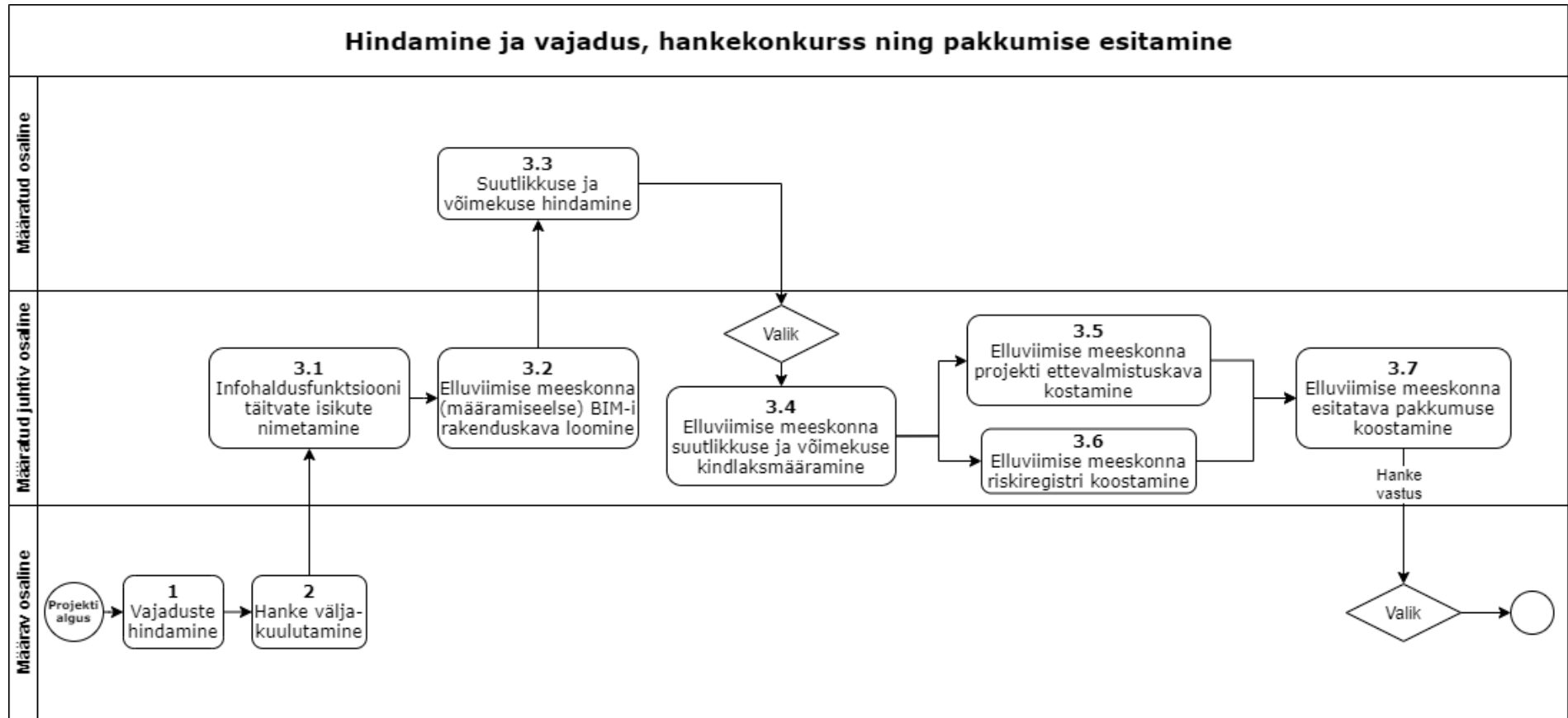
		+/-/0	Kommentaariid
1.	Tarkvara veateated on üle vaadatud ja vajalikud probleemid lahendatud		
2.	Mudelis on ainult kokkulepitud korrused ja korrustele kuuluvus on õige		
3.	Mudeli elemendid kuuluvad õigetele worksetidele		
4.	Mudeli elementide vahelised ristumised on kontrollitud		
5.	Hooneosad on modelleeritud õigete tööriistadega		
6.	Tarindid on nimetatud kokkulepitud viisil		
7.	Tarindid on toestatud		
8.	Konstruktsioonilises ja arhitektuurses mudelis on omavahel vastavuses: vertikaalsed tarindid horisontaalsed tarindid avad		
9.	Tehnosüsteemide avad on vastavuses eriosade läbiviikude mudelitega		

Lisa 5 ISO 19650 standardile vastav TIDP näide

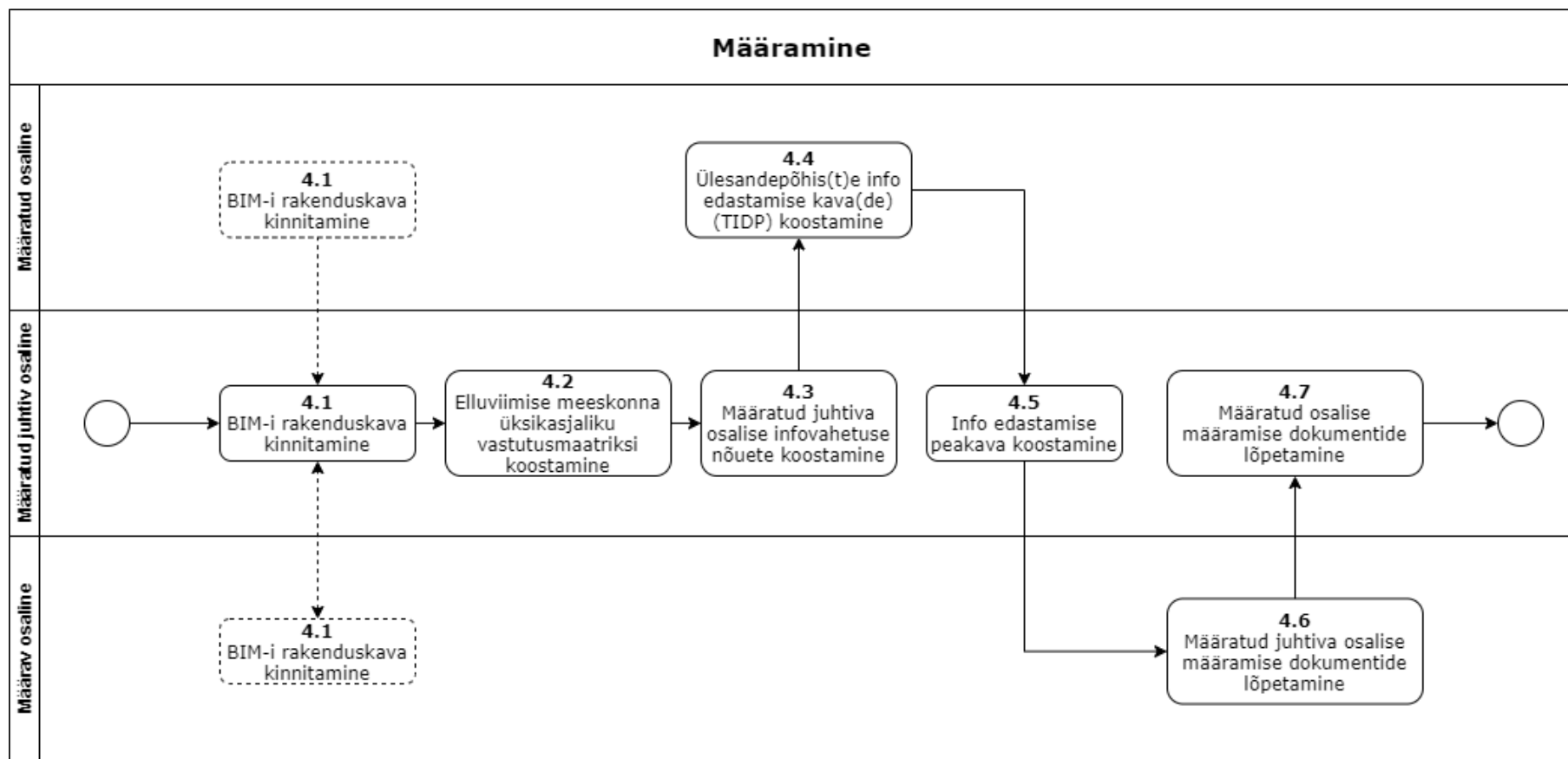
Infonõude jrk nr.	Hierarhiline struktuur		Infokonteiner	Üksikasjalik vastutusmaatriks				Ülesandepõhine info edastamise kava (TIDP)		
				Projekteerimise etapp						
IR jrk nr.	Klass	Kirjeldus	Nimetus	Vastutav võetud tegevuse eest	Vastutav tegevuse lõpetamise eest	Konsulteeritud tegevuse ajal	Teavitatud pärast tegevuse lõpetamist	Kestus	Eelnevad sõltuvad	CDE-s avaldamise kuupäev
				Funktsioon	Funktsioon	Funktsioon	Funktsioon	Päev		YYYY.MM.DD
...										...
3.1	-	-	Rammvaiad	EK				5	-	2020.04.14
...										...

	Info esitamise peakava (MIDP)		Infovajaduse tase			Infomudeli edastamine		
Projekteerimise etapp								
IR jrk nr.	Algus	Lõpp	Geomeetriline informatsioon	Tähtnumbriline informatsioon	Märkused	Määrava juhtiva osalise kinnitus	Määrava osalise heakskiit	Info edastamise tähtaeg
	YYYY.MM.DD	YYYY.MM.DD	EN17412-1 (hetkel kavandi staadiumis)			YYYYMMDD	YYYYMMDD	YYYYMMDD
...	...	...				...	...	...
3.1	2020.04.28	2020.05.05	LOD200	-	-	2020.05.07	2020.05.08	2020.05.11
...	...	...				...	...	...

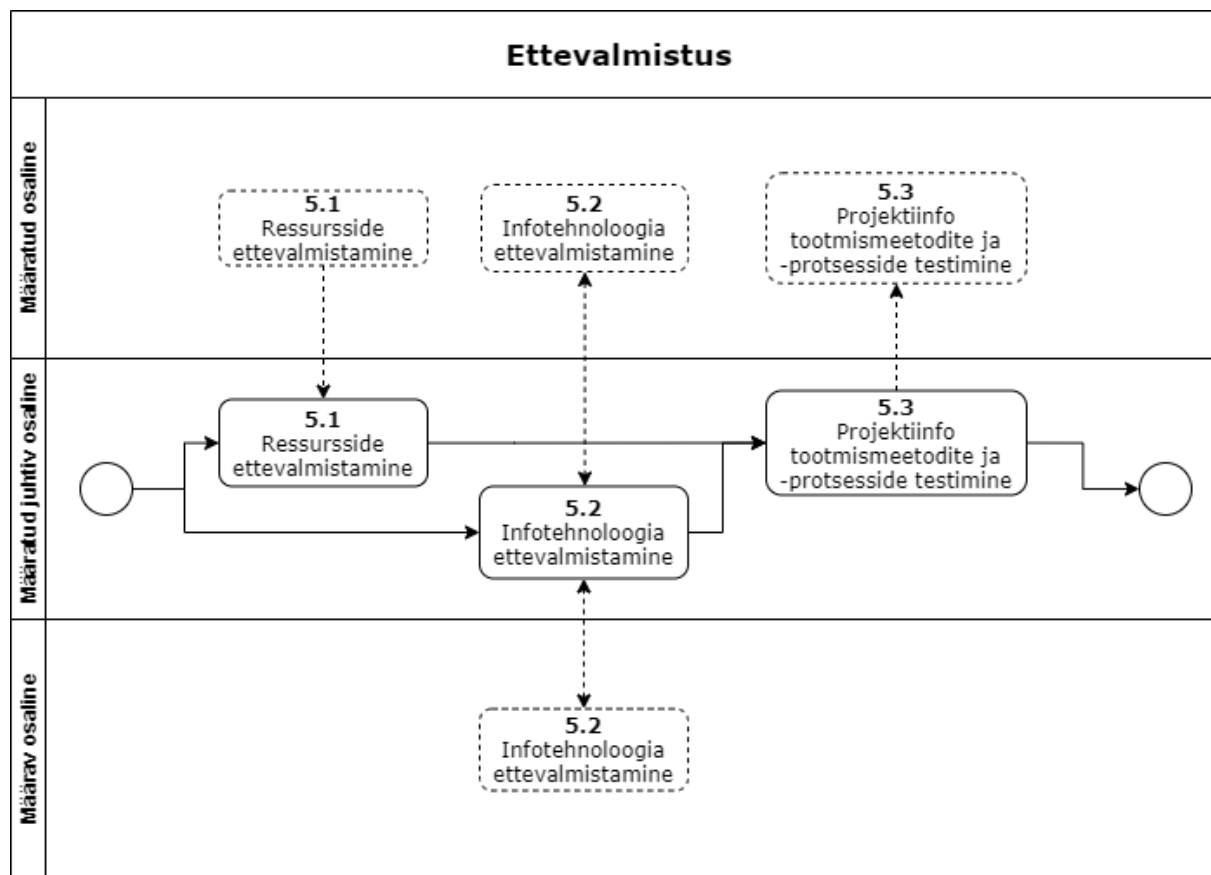
Lisa 6 Informatsiooni halduse protsessikaardid ISO 19650 järgi alltöövõtjale



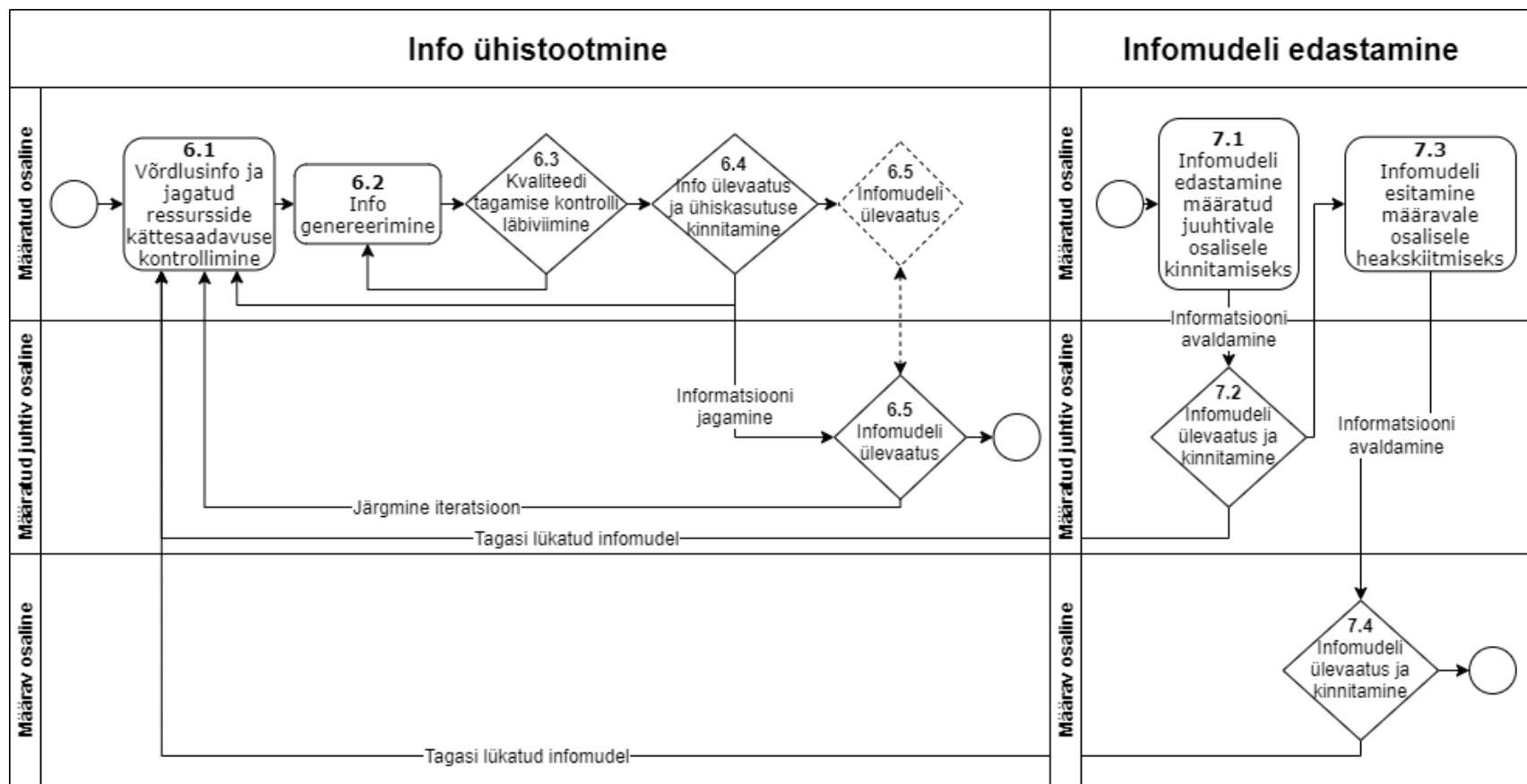
Joonis A.6.0.1 Protsessikaart - Hindamine ja vajadus, hankekonkurss ning pakkumise esitamine



Joonis A.6.0.2 Protsessikaart - Määramine



Joonis A.6.0.3 Protsessikaart - Ettevalmistus



Joonis A.6.0.4 Protsessikaart - Info ühistootmine ja infomudeli edastamine