



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

ÜHTSE ANDMEEDASTUSKESKKONNA (CDE) KASUTAMISE EELISED TEEDEHITUSPROJEKTI NÄITEL

**"Benefits of Utilizing a Unified Common Data
Environment (CDE) in a Road Construction Project"**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Hendrik Ruut

Üliõpilaskood: 221477EAXM

Juhendaja: Raido Puust, professor

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2024

Autor: Hendrik Ruut

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2024

Juhendaja: Raido Puust

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Hendrik Ruut

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose ÜHTSE ANDMEEDASTUSKESKKONNA (CDE) KASUTAMISE EELISED TEEDEEHITUSPROJEKTI NÄITEL,

mille juhendaja on Raido Puust,

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

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

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

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

_____ (kuupäev)

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

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Hendrik Ruut, 221477EAXM

Õppekava, peeriala: EAXM15/22 – Hooned ja rajatised

Juhendaja(d): Professor, Raido Puust

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Ühtse andmeedastuskeskkonna (CDE) kasutamise eelised teedehitusprojekti näitel

(inglise keeles) Benefits of Utilizing a Unified Common Data Environment (CDE) in Road Construction Project: A Case Study

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Ühtse andmeedastuskeskkonna CDE mõju teedehitusprojektidele.
2. Ühtse andmeedastuskeskkonna CDE efektiivne rakendamine teedehituses.
3. Teedehituses kasutatavate andmeedastusplatvormide analüüs.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Materjalide kogumine ja analüüs	25.02.2024
2.	Kirjaliku põhiosa koostamine, 75% valmis	24.04.2024
3.	Kaitsmistaotluse esitamine	06.05.2024
4.	Lõputöö esitamine	27.05.2024

Töö keel: Eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 27. mai 2024a

Üliõpilane: Hendrik Ruut ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Raido Puust ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: Simo Ilomets..... ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

SISSEJUHATUS	7
1. ÜHTSE ANDMEEDASTUSKESKONNA (CDE) KIRJANDUSLIK ÜLEVAADE	8
1.1 Digitalisatsiooni ja CDE mõju infrastruktuuri ehitamise jätkusuutlikusele	8
1.2 Ehitusinformatsiooni modelleerimise ja CDE rakendamine teedehituse valdkonnas	10
1.3 BIM-i ja CDE lahendus Norra teedehitus projekti näitel	14
1.4 Ühtse andmeedastuskeskkonna CDE väljakutsed ja takistused teedehituses rakendamiseks.....	16
2. TÜÜPILINE TEEDEEHITUS PROJEKTI EHITUSPROTSESS	20
2.1 Ehitusprotsessi dokumenteerimine ja andmeedastus	20
2.2 Tüüpiline projekti üleandmise/vastuvõtu protsess.....	21
2.3 Failiedastuskeskkonna tüüplahendus	24
2.4 Bauhub	25
2.5 Failiedastuskeskkonnad vs Bauhub	26
3. EVS-EN ISO 19650 STANDARDILE VASTAVA CDE KASUTAMINE	29
3.1 EVS-EN ISO 19650 standardi peamised nõuded	30
3.2 CDE mõiste EVS-EN ISO 19650 standardite raames.....	31
3.3 EVS-EN ISO 19650 põhised CDE rakendused	32
3.4 Infrakit	33
3.5 Keskkondade võrdlus.....	34
4. RIIGITEE 20 PÕDRUSE – KUNDA – PADA KM 16,91-28,35.....	41
4.1 Üldine ülevaade tänastest nõuetest	42
4.1.1 Nõuded töövõtjale	42
4.1.2 Nõuded teostusmudelile	44
4.1.3 Nõuded dokumentatsiooni ja jooniste haldamisele	45
4.1.4 Nõuded projektmodelite kontrollimisele:.....	47
4.1.5 Nõuded masinatega ehitamisele	48
4.2 Töövõtja ettepanekud CDE rakendamise tõhustamiseks Riigitee 20 Põdruse – Kunda – Pada km 16,91-28,35 ehitusprotsessis.....	49
5. ETTEPANEKUD CDE JA EVS-EN ISO 19650 PÕHISTE NÕUETE RAKENDAMISEKS TEEDEEHITUSES	50
5.1 Personalijuhtimine.....	50
5.2 Tehnoloogilised lahendused	51
5.3 Andmehaldus.....	52
5.4 Projektijuhtimine.....	53
KOKKUVÕTE	55

EESSÕNA

Sooviksin tänada oma juhendajat, Tallinna Tehnikaülikooli professorit Raido Puusti, kelle asjatundlikkus ja juhendamine olid suureks toeks minu magistritöö kirjutamise protsessis. Samuti sooviksin tänada projektijuhti Laas Õuna, kelle teadmised ja praktilised nõuanded olid abiks magistritöö teemaarendusel ning projektijuht Allar Nairist, kes lõputöö kirjutamise perioodil oli suuresti abiks töökoormuse jaotamisel.

Lõpuks tahaksin tänada oma perekonda, kelle kannatlikkus ja mõistmine on olnud minu jaoks hindamatu väärtusega magistritöö kirjutamise teekonnal.

Märksõnad: ühtne andmeedastuskeskkond, CDE, BIM, magistritöö

SISSEJUHATUS

Eesti ehitussektor on viimastel aastatel liikumas tehnoloogiliselt efektiivsemate lahenduste kasutamise suunas, eriti seoses digitaliseerimise ja ehitusprotsesside automatiseerimisega. Käesolev magistritöö keskendub ühtse andmeedastuskeskkonna (ingl common data environment, CDE) kasutamise eelistele teedehitusprojektides, mis on üheks oluliseks digilahenduseks ehitusprotsesside optimeerimisel. Lõputöö analüüsib, kuidas CDE võimaldab tõhusalt hallata ja koordineerida projekti andmeid erinevate osaliste vahel, parandades sellega projekti efektiivsust ja vähendades võimalikke riske ning vigu.

Teedehituse tehnoloogia pidev areng ja keerukamaks muutuvad projektid nõuavad üha enam integreeritud süsteeme, mis toetaksid mitte ainult andmehaldust, vaid ka nende analüüsimist ja nende põhjal otsuste tegemist reaalajas. Teedehitus, olles infrastruktuuriprojektide keskmes, on suurepärane näide valdkonnast, kus CDE rakendamine võib kaasa tuua märkimisväärsed olemasolevate protsesside muutmisevajadusi.

Ehitusprojektide keerukus nõuab tõhusat andmehaldust ja koostööd, milleks CDE pakub kesksel platvormil. Töö esimeses peatükis tutvustatakse CDE olemust ja selle rolli ehitusinformatsiooni mudelis (BIM).

Teine peatükk vaatleb tüüpilist projekti ehitamise, üleandmise ja vastuvõtu protsessi teedehituses. Siin selgitatakse, kuidas andmeedastus toimub tänases praktikas, ja tuuakse näiteid tüüplahendustest ning nende mõjust projektijuhtimise efektiivsusele.

Kolmas peatükk keskendub EVS-EN ISO 19650 standardile vastava CDE kasutamisele, tuues välja standardis käsitletud infohalduse peamised nõuded ja kuidas neid rakendatakse CDE kontekstis. Antakse ülevaade ka erinevatest CDE rakendustest, nagu Autodesk Construction Cloud ja Infrakit.

Neljas peatükk esitab juhtumiuuringu Riigitee 20 Põdruse – Kunda – Pada projekti näitel, kus analüüsitakse CDE rakendamise eelseid ja töövõtja ettepanekuid CDE tõhustamiseks tööprotsessis.

Viies peatükk pakub ettepanekuid CDE ja EVS-EN ISO 19650 põhiste nõuete rakendamiseks teedehituses, käsitledes nelja peamist komponenti: personalijuhtimist, tehnoloogilisi lahendusi, andmehaldust ja projektijuhtimist.

Lõputöö eesmärgiks on akadeemilise panuse andmine koos lahendustega ehitussektori efektiivsuse tõstmiseks. Uurimus ei vaatle CDE-d kui abstraktset tehnoloogilist uuendust, vaid kui praktilist vahendit, mis aitab kaasa kogu ehitussektori arengule, muutes teedehitusprojektid efektiivsemaks, läbipaistvamaks ja jätkusuutlikumaks.

1. ÜHTSE ANDMEEDASTUSKESKONNA (CDE) KIRJANDUSLIK ÜLEVAADE

Ehitusinformatsiooni modelleerimine (BIM) on kui digitaalne protsess füüsilistest ja funktsionaalsetest omadustest, mis toetavad ehitusprojekte terve nende elutsükli vältel. BIM sisaldab ühist andmete- ja teadmistebaasi võimaldades kõikidel osapooltel teha efektiivseid ja tõhusaid otsuseid. [1]

Ühine andmeedastuskeskkond (CDE) on digitaalne platvorm, mis on välja töötatud selleks, et võimaldada projekti erinevatel etappidel osalevatel sidusrühmadel jagada, hallata ja ühiselt töötada projektiga seotud teabega. CDE on BIM-protsessi keskne komponent, mis toetab teabe vahetamist ja koostööd, tagades, et kõik projektiga seotud andmed on kättesaadavad, kontrollitud ja usaldusväärsed. See platvorm võimaldab sidusrühmadel tõhusalt koordineerida ja hallata ehitusprojektide keerukust ning suurendada läbipaistvust ja vastutust. [2] Antud peatükis tehakse põgus kirjanduslik ülevaade CDE olemusest nii digitaliseerimise, põhiolemuse, kui ka seostest ehitusinfo modelleerimise, võtmes.

1.1 Digitalisatsiooni ja CDE mõju infrastruktuuri ehitamise jätkusuutlikusele

Erinevad eluvaldkonnad on prioritiseerimas jätkusuutlikku mõtteviisi ja viima sellega seotud eesmärged oma tegevuskavadesse. Infrastruktuuri valdkond pole siin erand. Küll aga pole senised digilahendused olnud eesmärkide saavutamiseks piisavalt efektiivsed, mis tekitab küsimuse, kas ja kui palju võib ehituse digitaliseerimine infrastruktuuri jätkusuutlikku ehitamist mõjutada? [3]

BIM modelleerimine on üks paljulubavamaid arenguid inseneritöö ja infrastruktuuri ehitamise juures. BIM tehnoloogia abil luuakse täpsed digitaalsed mudelid, mis sisaldavad infot, mida kasutatakse planeerimiseks, projekteerimiseks, ehitamiseks ja hiljemaks korrashoiuks. [4] Antud digitaalsed lahendused ja tööriistad, ehitustööde modelleerimiseks, on arenenud kiirenevas tempos ning muutnud töö tegemise tõhusamaks, projektid kontrollitavaks ja langetanud kulusid. Digitaalsed lahendused, nagu BIM (Building Information Modeling) ja pilvepõhised platvormid, on olulised tööriistad projektijuhtimises, mis võimaldavad täpsemat protsesside haldamist. [5]

Digitaliseerimise juures tuleks aga vahet teha digiteerimisel ja digitaliseerimisel. Digiteerimine on analoogse informatsiooni digitaalseteks bittideks muundamise materiaalne protsess. Digitaliseerimine on seevastu kui mitmete sotsiaalsete eluvaldkondade ümberstruktureerimine digitaalsete kommunikatsiooni- ja meedia infrastruktuuride ümber. [6] Nendest uutest tehnoloogiatest tulnud andmed on loonud võimaluse infrastruktuuri ehituse digiteerimiseks, kus

ehitusprotsess võib toimuda digitaalse suhtluse abil digitaliseerituna, rakendades neid vorme pilvepõhiste platvormide kaudu ehk ühtse andmeedastuskeskkonnana. [6]

BIM mudelitel on potentsiaal anda olulist teavet ehitatud elementide ja materjalide mahtude kohta, mis võimaldaks määrata projekti tegelike kasvuhoonegaaside ja heitjäätmete hulka. Tööprojekti- ja teostusmudelid andes informatsiooni, kuidas ja mis materjale kasutades on ehitised konstrueeritud, võimaldab arvutada kasutatud materjalide kogust. See võimaldab mitte ainult täpsemat mõju hindamist keskkonnale, vaid ka paremaid otsuseid materjalide kasutamise ja jäätmete vähendamise osas projekti eluea jooksul. [7] Pilvepõhiste teenuste rakendamine infrastruktuuriprojektides võimaldab paremat ressurside ja saaste haldamist, pakkudes turvalisemat ehituskeskkonda ja aidates kaasa jätkusuutlikumale ehitamisele. See lähenemisviis muudab projektid läbipaistvamaks ja võimaldab suuremat teadlikkust ning kohanduvust kõigi projektiga seotud osaliste ja alltöövõtjate seas. [3]

Kõige sagedamini kasutatavad masinad on teedehituses - ekskavaatorid, buldoosid, pinnaserullid ehk tihendajad ja asfaldilaoturid, mille ülesandeks on ehitusobjektidel materjalide töötlemine ja paigaldamine. Materjalide transport karjääridest ja tehastest toimub üldjuhul veoautode ja kalluritega. Ehitusobjektidel on võimalik masinate liikumisi ja asukohti määrata GNSS-RTK (ingl Global Navigation Satellite System - Real-Time Kinematic) või IMU (ingl Inertial Measurement Unit) tehnoloogiaga ning sellega kaasneb võimalus seda informatsiooni rakendada pilvepõhises platvormis projekti juhtimiseks. Antud teavet saab edukalt rakendada projektijuhtimises ehitusprotsesside kvaliteedi ja jõudluse mõõtmiseks. [8] Masinjuhtimiselt kogutud andmetega on potentsiaalselt võimalik hinnata jätkusuutlikkuse mõju läbi heitgaaside ja mürasaaste. [9]

Pilvepõhiseid teenuseid rakendatakse läbi arvutustehnoloogia, mis hõlmab erinevaid infotehnoloogilisi instrumente, nagu riistvara, tarkvara ja võrgud. Inimene aga saab juurdepääsu läbi interneti just temale vajaminevale teenusele. Pilvepõhised teenused arvatakse olevat üheks suurimaks digitaliseerumise eestvedajaks. Pakkudes turvalisemat keskkonda ning paremat kontrolli ressurside ja saaste üle, mis aitab kaasa jätkusuutlikumale ehitamisele. Muutes projektid läbipaistvamaks, võimaldab see ka kõikide osaliste suuremat teadlikkust ja kohanduvust. [10] Digitaliseerimine aitab kaasa, et projekte on võimalik paremini hinnata ja sertifitseerida vastavalt standarditele ja raamistikele, nagu näiteks rahvusvaheline hindamis- ja auhinnasüsteem „CEEQUAL“. See aitab tõestada projektide vastavust jätkusuutlikkuse eesmärkidele, mis on eriti oluline avaliku sektori projektide puhul. Sellest tingituna ettevõtetelt, kes ehitavad või arendavad uusi infrastruktuure, nõutakse samuti jõupingutusi ühise suuna nimel. Oleme olukorras, kus lisaks madalaimale hinnale oodatakse ehitajalt ka hulga teisi ühiskondlikult tähtsaid väärtusi. [11] Kokkuvõtlikult pakub digitaliseerimise kasutamine

teedehituses olulist võimalust pakkuda projektide efektiivsust ja läbipaistvust, toetades samal ajal jätkusuutlikke ehituspraktikaid.

1.2 Ehitusinformatsiooni modelleerimise ja CDE rakendamine teedehituse valdkonnas

Innovatiivsete digitaalsete tehnoloogiate kasutamine, suuremamahuliste teedehitusprojektide kavandamisel ja ehitamisel, on stabiilselt kasvav. BIM tehnoloogia rakendamine leiab rohkem rakendust maanteedevõrgustiku arendamises, hõlmates projektide kavandamist, ehitust ja hilisemat korrashoidu, kasutades digitaalseid protsesse traditsiooniliste lahenduste asemel. Andmete ühildamine ühtsesse andmeedastuskeskkonda, võimaldab neid kergemini hallata ning pakkuda suuri tootlikkuse ja kuluefektiivsuse võite infrastruktuuri ja transpordiga seotud ametkondadele. CDE kasutamine aitab parandada projekti koordineerimist ja vähendada vigade arvu, mis omakorda aitab vähendada kulusid ja projekti kestust. [12] Allpool on esitatud tavapärase ja BIM+CDE meetodil juhitud teedehitusprojekt.

Lähenedes teedehitusprojektile tavapärase meetodiga [13]:

- projekteerimisel ja plaanerimisel kasutatakse 2D jooniseid ja CAD arvutipõhist projekteerimist, mis oma olemuselt keskenduvad peamiselt visuaalsetele aspektidele ilma süvitsi andmete integreerimiseta;
- andmevahetus, jagamine ja kommunikatsioon erinevate projektiosaliste vahel toimub paberdokumentide jagamisel, mis võib tekitada andmekadusid või möödarääkimisi;
- tegemine on aeganõudev ja seega kulukam protsess, kuna nõuab uute jooniste tegemist ja ükshaaval kooskõlastamist erinevate osapoolte vahel;
- projektis esinevad vastuolud ja vead avastatakse sageli alles ehitusfaasis, mis võib tekitada lisakulusid ja ehitusgraafiku pikenemise.

BIM+CDE meetodil juhitud teedehitusprojekt [13]:

- projekteerimisel ja planeerimisel kasutatakse 3D mudelit, mis integreerib ruumilised andmed ja atribuudid, nagu materjalid ja nende mahud, võimaldades paremat projekti analüüsi juba algstaadiumis;
- ühtse andmeedastuskeskkonna kasutamine, kus kõik projektiga seotud andmed on digitaalselt kättesaadavad ja hallatavad. Vähendades või isegi minimeerides andmekadu ning parandades projekti koordineerimist;
- projektimuudatused viiakse läbi BIM mudelis koos uuendustega dokumentides, mis vähendab vigade võimalust;
- võimekus teostada erinevaid analüüse ja simulatsioone ehitusprojekti erinevatest faasidest, et optimeerida ehitusprotsesse ja ehitusgraafikut.

Edu saavutamiseks on oluline kõikide osaliste nagu tellija, projekteerijate, ehitajate ja korrashoiu teostajate kaasamine ning pakkuda uute oskuste ja teadmiste omandamist. Protsess hõlmab omavahelist kommunikatsiooni, koolitusi ja pidevat tagasisidet. Olulisteks võtmeteguriteks toonitatakse tehnoloogilise valmisoleku tagamist, tõhusat andmehaldust ning pidevat protsessi hindamist ja täiustamist. [13]

BIM taristu on saavutamas kiiret aktsepteerimist paljudes riikides, tuues esile BIM-i potentsiaali mitte ainult hoonetele, vaid ka infrastruktuuriprojektidele, nagu maanteed ja sillad. See rõhutab vajadust suurema digitaliseerimise järele infrastruktuuri sektoris, et säilitada konkurentsivõimet, kus BIM on muutumas standardiks. Parandamiseks infrastruktuuri arengut, viidi USA poolt läbi uuring, kuidas BIM tehnoloogiat rakendatakse antud valdkonnas enim arenenud riikides nagu Ühendkuningriigid, Holland, Norra, Soome ja Rootsi. Kuidas hallata digitaalseid projekte, mis struktureerivad ja liigutavad andmeid ning infot tõhusamalt projekteerimise, ehituse ja korrashoiu etappides. Samuti andmete ühilduvus erinevate tarkvararakenduste vahel, optimeerides traditsioonilisi meetodeid ning ennetades info kadu ja dubleerimist. [12]

BIM-i rakendamisel on võtmeks andmete haldamine kogu varade elutsükli jooksul, kasutades avatud standardeid. See toetab andmete jagamist ja koostööd projektide erinevate osaliste vahel, vältides andmete kadu ja dubleerimist. BIM-i rakendamine infrastruktuuriprojektides pakub mitmeid eeliseid, sealhulgas otseseid kulusääste, ressursside vastutustundlikumat kasutamist, avaliku vara ja teenuste kvaliteedi parandamist ning suuremat läbipaistvust ja koostööd ehitus- ja teenindussektori partneritega. Siiski on BIM-i edukaks rakendamiseks vajalik ületada mitmeid väljakutseid, sealhulgas vajadus ühtsete andmestandardite ja -protokollide järele, samuti kultuurimuutus ja kohanemine uute digitaalsete tööprotsessidega. [12]

Saavutamaks kõrget valmiduse taset BIM tehnoloogia rakendamisel on oluline rakendada järgmisi komponente [12]:

- kriitiliseks faktoriks on BIM-i vajalikkuse tunnustamine riiklikul ja rahvusvahelises tasemel.
- riiklikul tasemel BIM-i praktika ergutamine, et digitaalse teabe hankimiseks ja edastamiseks eksisteeriks õiged õiguslikud ja institutsionaalsed tingimused. Andmemudelite ühilduvuse juhtimine ja arendamine. Infotehnoloogia pakujate mõjutamine tagamaks vajalike vahendite olemasolu teabevahetuseks ja toetuseks. Oskustööjõu ettevalmistamine ja koolitus. BIM-i põhimõtete, protsesside ja standardite juurutamine teedehituse projektides ja nende ehitusel.
- mitmeaastase strateegilise plaani koostamine ja rakendamine, mis sõnastab BIM-i rakendamise eesmärgid ning seab paika sammud, kuidas liikuda etapiliselt kõrgeima BIM infrastruktuuri taseme poole.

- riiklikul ja rahvusvahelises tasemel koostöö ettevõtete ja organisatsioonidega edendamaks BIM tavade laialdast aktsepteerimist ning vältimaks jõupingutuste dubleerimist.
- BIM-i jätkusuutliku arendamise ja võimekuse saab tagada selle ühendamisel suurema strateegilise vaatega, seoses avaliku andmehaldusega, andmemudelite loomisega ning integreerimisega erinevat teavet modelleerivate süsteemidega nagu näiteks geoinfosüsteem GIS (ingl Geographic Information System).

Ühine riiklik visioon ja regulatsioonid on võtmetähtsusega BIM ning CDE rakendamise tegevuskava edendamisel. Kõrge BIM tasemega riikides tehakse pidevaid jõupingutusi laialdase BIM-i teadlikkuse ja erinevate sektorite koostöö nimel. Hollandi, Soome ja Norra transpordiametid on loonud ettevõttesiseseid BIM-i arenguprogramme inimeste koolitamiseks. Rootsi ja Taani transpordiametid kasutavad võimalusi BIM-i rakendada juba koheselt suurprojektidel. [12]

BIM-i haldamise rollid, nagu BIM koordinaatorid, andmekoordinaatorid ja -haldurid, on määratletud organisatsiooni või projekti tasandil. Vastavad rollid on seotud kindla vastutusala, nagu modelleerimine, andmekvaliteet, andmete integreerimine ja mudelite ülevaatus ning kontroll. Lisaks erinevate tööriistade ja süsteemide arendamisele on olulisel kohal koostöösuhete tellija ja töövõtja vahel, tagades kindla määratletud lepinguga suhte, eesmärgiga maksimeerida teadmiste, ideede ja võimekuse kasutamist, et lahendada üheselt BIM-i rakendamise väljakutsed.

Olulised sammud BIM rakendamiseks [12]:

- analüüsida ja rakendada juba teiste riikide transpordiametite poolt välja töötatud nõudeid ja standardeid;
- vabastada tegevused andmesulust, et lihtsustada äriprotsesse;
- vältida tarnija lõksu, et säilitada juurdepääs andmetele;
- vältida IT-süsteemide andmesulgu;
- hoida andmeid avatud formaadis;
- kasutusele võtta avatud andmestandardid, et hõlbustada teabe vahetamist ja usaldusväarsust;
- prioritseerida BIM arendused vastavas järjekorras: ühised terminid ja määrused, klassifikatsioonisüsteem, objektipõhine andmemudeldamine;
- hinnata Industry Foundation Classes (IFC) ja Geography Markup Language (GML) - põhised standardid peamiseks andmemudeldamise ja -vahetuse standarditeks projektinfo vahetamiseks ehitise elukaare jooksul;
- teostada süvaanalüüs Euroopal põhinevatel praktikatel projektinfo korraldamiseks ja selle üleandmiseks kasutus- ja hooldusfaasiks kasutades BIM-standardeid;

- BIM-i organisatsiooniline struktuur, rollid ja vastutus peaks olema määratletud nii ettevõtte tasandil kui ka projekttasandil. Projekti elluviimist tuleks hallata BIM rakenduskava abil;
- digitaalse teabe, mudelite spetsifikatsioonid, nõuded ja esitamine tuleks välja arendada;
- projektimudelid peaksid võimaldama projekteerimisvigade avastamist, visualiseerimist, mahtude arvutamist, masinjuhtimist, ehitamist, materjalide nõudeid;
- töövõtja peab esitama teostusmudelid kindlaksmääratud vormingus tellijale. Lepingus sätestatud mudelipõhine ehitamine peaks määrama, kuidas mudelid luuakse ja uuendatakse nii projekteerimis- kui ka ehitusfaasis.
- informatsiooni vahetamise platvormina tuleks luua ühtne andmeedastuskeskkond CDE vastavalt ISO19650 määrusele;

Ühtne andmeedastuskeskkond CDE mängib olulist rolli BIM-i rakendamise toetamisel, võimaldades tõhusat digitaalandmete haldust. CDE loob keskkonna, kus kõik projekti andmed on salvestatud keskselt ja struktureeritult, mis tagab, et kõik projekti osapooled, kaasa arvatud projekteerijad, ehitajad ja hooldajad, pääsevad juurde ühtsetele ja ajakohastele andmetele. See vähendab andmete dubleerimist ja kadu, mis on tavapärasel probleemid paljudes ehitusprojektides. CDE kasutamine aitab säilitada andmete järjepidevust kogu projekti eluea jooksul, alates kavandamisest kuni operatsioonide ja hoolduseni. [12]

CDE toetab avatud BIM-protseesse, mis võimaldavad andmete koostalitlusvõimet erinevate tarkvararakenduste vahel. See on oluline eelis, kuna see võimaldab erinevatel tarkvaradel ja süsteemidel suhelda ilma andmete konverteerimise või kohandamise vajaduseta. Selline lähenemine toetab standardiseeritud andmemudeleid, nagu IFC ja teised avatud formaadid, mis on üliolulised BIM-i laialdasemaks kasutuselevõtuks ja efektiivsuse tõstmiseks projekti erinevates faasides. [12]

Projekti lõpufaasis on oluline, et kogu oluline teave on korrektselt dokumenteeritud ja edastatud korrashoidu teostavale ettevõttele. CDE võimaldab seda protsessi lihtsustada, pakkudes süstemaatilist lähenemist andmete kogumisele, salvestamisele ja jagamisele. See tagab, et kõik projekti lõpptulemused, sh joonised, tehnilised kirjeldused ja hooldusjuhendid, on koondatud ühtsesse keskkonda, mis hõlbustab sujuvat üleandmist ja aitab vältida teabe kadu projekti üleandmisel. [12]

Rootsi E4 Stockholmi ümbersõidu projekti näitel tuli kõikidel osapooltel hoiustada kahte tüüpi dokumente ühtses andmeedastuskeskkonnas „Sharefile“ [12]:

1. projektdokumendid, mis on vajalikud projekti juhtimiseks ja haldamiseks. Näiteks: lepingud, kalendergraafikud, ehituspäevikud;

2. tootedokumendid, mis on seotud projekteeritavate ja ehitatavate konstruktsioonidega. Näiteks: joonised, CAD-failid, tehnilised kirjeldused, uuringud, aruanded, kasutus- ja hooldusdokumendid.

Espoo Salo Pasila-Riihimäki Raudtee projektidega seoses kasutab Soome Velho informatsiooni haldussüsteemi, kus hallata plaane, projekte, ehitus- ja teostusjooniseid teede-, raudtee- ja veetranspordisüsteemide jaoks. Tööriist on kättesaadav kogu projekteerimis- ja ehitusfaasi vältel, et projektiteavet koguda ja hoida. See toimib ühise ettevõtte projekti ja ehitusinfo portaalina projekteerimis- ja ehitusfaasis, tagades, et kogu projekti andmed sisestatakse ühe koostööalase andmete redigeerimise ja haldustööriista abil. Selle BIM-tööriista projektiteabe ja disaini teabeportaali kaudu sisestatud andmed salvestatakse süstemaatiliselt erinevatesse projektide ja teeinfort haldavatesse andmebaasidesse. Ehituse lõpus saadetakse valmisandmed pärast integreerimist automaatselt teede-, raudtee- ja veeteefinfot haldavatesse andmebaasidesse, mida seejärel kasutavad tellijad ehitatud rajatise töötamiseks ja korrashoiuks. Seega tagab Velho informatsiooni haldussüsteem, et teave ei ole mitte ainult projekteerimis- ja ehitusfaasis ühises andmekeskonnas, vaid saadetakse ka vastavatesse teehaldussüsteemidesse. Velho integreeritud BIM-tööriist võimaldab vaadata BIM-mudeleid ja nende täielikku teavet, mida säilitab ükskõik milline Velho kasutaja interneti kaudu. [12]

1.3 BIM-i ja CDE lahendus Norra teedehitus projekti näitel

E39 Kristiansand West – Mandal East projekti iseloomustab kõige paremini BIM + CDE kasutamist kõige arenenumas vormis ehk „Fully integrated BIM at Maturity Level 3“. Projekt hõlmab ühtset digitaalset lahendust kogu elutsükli jooksul võimaldades erinevatel osapooltel juurdepääsu ühtsele andmeedastuskeskkonnale. E39 projekt oli eeskujuks, kuidas BIM + CDE parandab koostööd ja infovahetust. Samuti tõstab efektiivsust, et hallata ja jagada olulist informatsiooni ilma andmekao ja valeinfota. [14]

Tehnoloogilistes uuendustes rakendati IFC andmevahetusstandardit ja erinevaid integreeritud digitaalseid tööriistu. Projekt esindab olulist rolli nii Norras kui ka rahvusvaheliselt, kuidas sarnaseid ehituspraktikaid rakendada teistele teedehitusprojektidele. Projekti edukus tõestas, kuidas kõrgelt arenenud BIM tasemega, saab kaasa tuua projekti tõhususe suurenemise läbi ajakava, eelarve ja kontrolli. [14]

E39 Kristiansand West – Mandal East projektis kasutati BIM 3 taset ja ühtset andmeedastuskeskkonda CDE. Projekti eesmärk oli rakendada täielikult integreeritud BIM 3 taset. See tähendas ühise digitaalse lahenduse kasutamist ehitusprojekti kõikides etappides, alates projekteerimisest kuni ehitamiseni, et võimaldada otsustus- ja juhtimisprotsesside jaoks usaldusväärset andmete süsteemi. Projektis käsitleti BIM-i kui vahendit, mis hõlmab mitte ainult tehnoloogia kasutamist, vaid ka distsiplineeritud koostööd, meetodikaid ja suhtumist. Selline

lähenemine eeldas tervikliku digitaalse töökeskkonna loomist, kus erinevad osapooled saaksid reaalsajas jagada ja värskendada projekti kohta käivat teavet. [14]

CDE kasutamise eesmärk oli pakkuda kesksel platvormil, kus kogu projekti andmeid hoitakse ja hallatakse. See võimaldab projekti kõigil osapooltel pääseda juurde ajakohastele ja täpsetele andmetele, mis on vajalikud efektiivseks koostööks ja otsuste tegemiseks. [14]

Projekti väljakutsed olid seotud peamiselt andmekvaliteedi ja teabevoogudega. Andmete kvaliteet, mis laeti üles BIM-mudelisse ning infovahetus peatöövõtja, alltöövõtja, tellija ja teiste osapoolte vahel olid peamised probleemid, millega tuli tegeleda. CDE pidi toetama sujuvat andmevahetust, kuid praktikas oli vaja ületada erinevate süsteemide ja platvormide vahelise koostalitlusvõime piirangud. Projekti eesmärk oli integreerida mitmesuguseid digitaalseid tööriistu CDE-sse. See nõudis ulatuslikke jõupingutusi, et tagada erinevate platvormide ja rakenduste ühtne toimimine, mis oli vajalik täielikult integreeritud BIM keskkonna saavutamiseks. Lisaks ka vajadus kvalifitseerituma personali järele, rohkem koolitusi projektimeeskonnas, alltöövõtjate varasem kaasamine protsessidesse, mudelite kirjelduste täiustamine ja digitaalsete tööriistade integreerimine veebipõhisesse lahendusse. [14]

Andmekvaliteedi olulisus on kriitilisel kohal, et tagada BIM mudeli usaldusväärsus ja täpsus. BIM mudel sisaldab endas geomeetrilisi andmeid, materjalide nõudeid ja omadusi ning kuludega seotud teavet. Puudujäägid kvaliteetse andmeedastusega võib tekitada mudelivigastusi ja tagasilööke ehituse ajagraafikus ja kuludes. Projekti erinevate osapoolte vaheline informatsiooni liikumine on oluline, et juurdepääs oleks tagatud vajalikule teabele. [14]

Lahendusena nähakse investeringuid personalijuhtimisse, kuna vajadus kvalifitseeritud inimressurside järele suureneb. Koolitused ja väljaõppeprogrammid aitavad parandada meeskonna võimekust käsitleda BIM tehnoloogiat kvaliteetselt. [14]

Alltöövõtjate kaasamine ehitusprotsessidesse juba varajases faasis võimaldab informatsiooni õigeaegset ja korrektset omandamist ning kõik osapooled omavad samasugust ja täpset informatsiooni. Lisaks aitab varajane kaasamine koordineerida paremini ehitusgraafikut. [14]

Projekteerimise käigus toimub korrektne mudelite täiustamine vajalike kirjelduste ja informatsiooniga, et tagada kõikide projekti osapoolte ühine arusaam. Samuti alltöövõtjate või valdkondade spetsialistide kaasamine, et ehitushanke perioodil ei tuleks ootamatusi korrektsete materjalide ja tarnega. [14]

Projekti raames keskenduti digitaalsete tööriistade ja platvormide paremale integreerimisele CDE-sse. Selle saavutamiseks töötati välja uued tarkvaralised lahendused ja kohandati olemasolevaid süsteeme, et tagada nende ühtlus ja koostalitlusvõime. Ühe lahendusena

rakendati andmestruktuuride ja -süsteemide standardiseerimist, mis hõlbustas erinevate platvormide vahelist andmevahetust ja vähendas andmekvaliteedi probleeme. [14]

Lahendused näitavad, kui oluline on keskenduda andmekvaliteedile ja informatsiooni liikumisele BIM-tehnoloogiate rakendamisel suuremahulistes ehitusprojektides. E39 Kristiansand West – Mandal East projekt demonstreeris, kuidas nende väljakutsetega tegelemine võimaldab saavutada paremaid tulemusi, vähendada vigade esinemist ja parandada projekti üldist tõhusust. [14]

1.4 Ühtse andmeedastuskeskkonna CDE väljakutsed ja takistused teedehituses rakendamiseks

Ühtne andmeedastuskeskkond (CDE) on ehitusprojektide infohalduse võtmekomponent, mille eesmärk on tagada projekti kõigi osapoolte vahel ühtne ja järjepidev andmevahetus. Kuigi CDE potentsiaal projektijuhtimise efektiivsuse ja läbipaistvuse tõstmiseks on märkimisväärne, seisab sektor silmitsi mitmete väljakutsete ja takistustega selle laialdasel rakendamisel. [15]

Projektide keerukus on üks peamisi väljakutseid, mis on seotud CDE rakendamisega ehitusprojektides. See keerukus tuleneb mitmest tegurist, sealhulgas projektide suurest mahust, osapoolte paljususest, erinevatest kommunikatsioonimeetoditest ja -tööriistadest, mis võivad takistada info kättesaadavust ja haldust. Ehitusprojektid hõlmavad tavaliselt paljusid erinevaid osapooli, nagu tellijad, projekteerijad, ehitajad ja alltöövõtjad, kellel kõigil on oma rollid, vastutus ja huvid. Iga organisatsioon võib kasutada erinevaid kommunikatsioonimeetodeid ja -tööriistu, mis raskendab keskse infohaldussüsteemi nagu CDE, tõhusat kasutamist. [15]

Tehnoloogilised erinevused ja andmehalduse keerukus ehk ehitusprojektides kasutatavate tehnoloogiate ja tarkvarade mitmekesisus võib tekitada ühilduvusprobleeme ja andmevahetuse raskusi. See nõuab lisa jõupingutusi andmete integreerimisel ja haldamisel, et tagada kogu projektiinfo ühtsus ja kättesaadavus. [16] Suured ehitusprojektid genereerivad tohutul hulgal andmeid, sealhulgas jooniseid, spetsifikatsioone, lepinguid ja suhtlust. Andmehalduse keerukus tuleneb vajadusest korraldada, salvestada ja jagada neid andmeid nii, et kõik osapooled saaksid ligipääsu asjakohasele teabele. See nõuab hästi struktureeritud andmehaldusprotsessi ja tõhusat CDE tehnoloogiat. [17]

Puudujäägid tehnilistest oskustest ja teadmistest nõuetekohaseks CDE kasutamiseks eriti väikeste ja keskmise suurusega ettevõtete seas on takistuseks CDE laialdasele kasutamisele. Väike-ettevõtetel võib olla piiratud juurdepääs ressurssidele ja koolitustele, mis on vajalikud uute tehnoloogiate tõhusaks kasutamiseks. [18] Ehitusprojektide keerukuse ja osapoolte rohkuse tõttu on oluline, et kõik projektiga seotud isikud mõistaksid CDE ja BIM protsesse ning

järgiksid kehtestatud standardeid, nagu ISO 19650. Koolituste puudumine selles valdkonnas võib põhjustada standardite ja protsesside ebaühtlast järgimist, mis omakorda mõjutab projekti efektiivsust ja kvaliteeti. [19]

Ühilduvuse probleemid on üheks väljakutseks, millega ehitussektor peab silmitsi seisma CDE ja BIM kasutusele võtmisega. Erinevate tööriistade ja tarkvarade kasutamisel ei pruugi need sujuvalt omavahel integreeruda, põhjustades andmekadu ja efektiivsuse langust. Ehitusprojektides osaleb mitmeid erinevaid spetsialiste, kes kasutavad erinevaid CAD, BIM ja projektijuhtimise tööriistu. Tarkvarade mitmekesisus toob kaasa keerulised olukorrad, kus andmeid tuleb ühelt platvormilt teisele üle kanda. See protsess võib tihti põhjustada andmete kadu või moonutusi, kui formaadid ei ole omavahel täielikult ühilduvad. [16] [20] Ehitussektoris puudub tihti ühtne standard või protokoll andmevahetuseks erinevate süsteemide vahel. Kuigi avatud standardeid nagu IFC (Industry Foundation Classes), on arendatud selle probleemi leevendamiseks, ei pruugi kõik tarkvarad neid standardeid täielikult toetada või nende rakendamine võib olla ebatäpne. [21]

Käsitsi andmete töötlemine on ehitusprojektides endiselt levinud, hoolimata digitaalsete tööriistade ja CDE kasutuselevõttust. Tööde käsitsi tegemine, nagu dokumentide kinnitamine, versioonide haldamine ja andmete sisestamine, on aeganõudvad ja suurendavad vigade ning dokumentide kadumise riski. Selle probleemi juured peituvad sageli digitaalsete töövoogude ja automatiseerimise vähese kasutuse ning töötajate vastumeelsuses muutustele ja uute tehnoloogiate omaksvõtule. [22]

Ehitatud varadega seotud andmete kättesaadavus on oluline aspekt, millega tuleb arvestada CDE kasutamisel. Ehitusprojektid genereerivad suures koguses andmeid, mida tuleb hallata ja säilitada kogu hoone või rajatise eluea vältel, mis võib ulatuda mitmekümne aasta taha. Andmete pikaajaline säilitamine ja juurdepääsetavus on kriitilise tähtsusega hoolduse, rekonstrueerimise ja utiliseerimise otsuste tegemisel. Probleemid, nagu andmete aegumine, formaatide vananemine ja teabe kaotamine on väljakutsed, millega tuleb tegeleda, et tagada andmete asjakohasus ja kasulikkus pikas perspektiivis. [23]

Turvalisusega seotud väljakutsed on eriti olulised digitaalsete andmekeskondade nagu CDE puhul. Andmete tsentraliseeritud haldamine toob kaasa riske, sealhulgas andmete volitamata juurdepääsu, manipuleerimise ja kadumise. Turvalisusprobleemid nagu häkkimine, pahavara ja andmelekked, võivad ohustada projekti konfidentsiaalsust ja terviklikkust. Projektiosaliste vahelise usalduse puudumine võib samuti takistada teabe jagamist ja koostööd. [24]

CDE-de ebamäärane kasutamine tuleneb sageli kasutajate harjumustest ja teadmatusest. Selle asemel, et kasutada CDE-sid kavandatud eesmärkidel – edendada koostööd ja infovahetust –, kasutavad mõned osapooled neid, vaid failide hoiustamise ja jagamise platvormidena. Selline

lähenemine ei võimalda ära kasutada CDE-de täit potentsiaali, mis hõlmab töövoogude automatiseerimist, projekti teabe ühtlustamist ja paremat otsuste tegemist. Lisaks võib ebaõiglane kasutamine põhjustada andmete dubleerimist, vähendades projekti andmete täpsust ja usaldusväärsust. [25]

Väljakutsete ja takistuste lahendamist seostatakse kultuuriliste muutuste, koolituste ja standardiseerimisega. Teadlikkuse ja oskuste parandamine suurendab võimet keerukaid projekte hallata. Arendades valdkonna standardeid, loome võimalused paremaks integratsiooniks ja andmete ühtsuseks. [18] Uute tehnoloogiate kasutusele võtmine nagu plokiahel, tehisintellekt, lingitud andmed ja struktureeritud päringu (ingl structured query language, SQL) serverid võivad tuua olulist muutust kasutatavate andmete terviklikkusele ja usaldusväärsusele läbi muutumatuse, turvalisuse ja läbipaistvuse. Tehisintellekt ja lingitud andmed võivad aidata parandada andmete ühilduvust ja masinloetavust suurte andmemahtude haldamisel. [19] EVS-EN ISO 19650 seeria standardid pakuvad juhiseid andmehalduse ja BIM-protsesside standardiseerimiseks, aidates sellega vähendada andmehalduse keerukust ja parandada erinevate osapoolte vahelist koostööd. [26] Tugevdamiseks tehnilisi oskusi ja teadmisi, tuleks parandada koostööd ettevõtete ja haridusasutuste vahel. See hõlmab õppekavade kohandamist valdkonna vajadustele, et lõpetajad omaksid vajalikke oskusi CDE ja BIM kasutamiseks. Luua partnerlused ettevõtete ja koolitusasutuste vahel, et arendada spetsialiseeritud koolitusprogramme, mis käsitlevad CDE konkreetseid aspekte. [26] Pideva professionaalse arengu tähtsust praktiseerivate inseneride ja teiste valdkonna professionaalide jaoks, hõlmab spetsiaalsete koolituste ja seminaride korraldamist, mis keskenduvad CDE rakendamisele ja BIM protsessidele, et tagada töötajate oskuste püsimine vastavalt tehnoloogia pidevale arengule. [26] Tehisintellekt (ingl Artificial Intelligence, AI) ja masinõppe tehnoloogiate, näiteks loomuliku keeletöötuse kasutamine võib aidata analüüsida ja töödelda suures koguses ehitusprojektide andmeid, parandades nii andmete kvaliteeti ja kättesaadavust. See võib vähendada manuaalset tööd ja parandada andmete jälgitavust ja usaldusväärsust. [16]

Lõputöö autori arvates on ühtne andmeedastuskeskkond (CDE) ehitusprojektides oluline samm projekti infojuhtimises, eriti BIM-põhise koostöö kontekstis. CDE potentsiaal tuleb esile projektijuhtimise efektiivsuse ja läbipaistvuse tõstmisel, kuidas hõlbustatud andmete jagamine ja koostöö erinevate osaliste vahel, tagab kõigile õigeaegselt korrektse info kättesaadavuse.

CDE kasutuselevõtt toetab otseselt otsuste tegemist projektijuhtimisel, mis on tihedalt seotud ehituskvaliteedi ja kuludega. Positiivsena tõusis lõputöö autori arvates esile ressursside optimeerimine, mis võimaldab täpset materjalide ja mehhanismide planeerimist, vähendades tarbetuid kulusid ning hinnates projekti keskkonnamõjusid, sealhulgas kasvahoonegaase ja

heitjätmeid. Projekti läbipaistvus ja jälgitavus paranevad oluliselt, mis on eriti kasulik projekti osaliste vahelisel suhtlusel.

Siiski seisab sektor silmitsi mitmete väljakutsetega, nagu projektide keerukus, tehnoloogilised erinevused, oskuste ja teadmiste puudumine ning turvalisuse probleemid. Ettevõtted võivad eriti tunda puudujääke tehnilises ja finantsilises võimekuses CDE rakendamiseks. Uute tehnoloogiate, nagu plokiahel ja tehisintellekt, integreerimine võib aidata neid väljakutseid ületada, parandades CDE funktsionaalsust ja turvalisust. Digitaalsed lahendused nõuavad investeringuid nii tehnoloogiasse kui ka inimestesse. Koolitused ja töökeskkonna kohanemine on aeganõudvad protsessid ning võivad alguses aeglustada töötempot. Tulevikus võib CDE kasutamine teedehituses aidata saavutada jätkusuutlikkuse eesmäärke, tuues samal ajal esile uusi väljakutseid, millele tuleb leida lahendused.

Kokkuvõttes toetab CDE kasutamine teedehituses projekti efektiivsust läbi parema andmevahetuse ja koostöö, kuid nõuab pühendumust ja valmisolekut kohaneda ning investeerida nii uutesse tehnoloogiatesse kui ka personali arengusse. Selle rakendamise edu sõltub organisatsioonide valmisolekust investeerida ja kohaneda uute tehnoloogiatega ning pühendumusest personali arendamisse. BIM ja CDE on olulised vahendid, mis võivad oluliselt parandada projekteerimis-, ehitus- ja korrashoiuprotsesse, tuues kaasa suurema efektiivsuse ja vähendades ümbertegemise vajadust projekti hilisemates faasides.

2. TÜÜPILINE TEEDEEHITUS PROJEKTI EHITUSPROTSESS

Selles peatükis käsitletakse tüüpilist protsessi, mida järgitakse teedeehitusprojektide ehitamisel, üleandmisel ja vastuvõtmisel. Analüüsitakse erinevaid etappe kuni projekti tegeliku elluviimiseni ja selle lõpliku üleandmiseni tellijale. Eesmärgiks on pakkuda sügavamalt arusaama sellest, kuidas teedeehitusprojekte traditsiooniliselt hallatakse, tuues välja levinud tavad ja võimalikud kitsaskohad protsessides. Samuti vaadeldakse, kuidas erinevad tüüplahendused, nagu failijagamisteenused, mõjutavad ehitusprojektide efektiivsust ja lõpptulemust.

2.1 Ehitusprotsessi dokumenteerimine ja andmeedastus

Tee-ehitus protsessi nõudeid ja kvaliteeti reguleeritakse avalikult kasutatava tee puhul „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ määrusega. Tee ehitustööde kvaliteet peab teetööde ja nende vaheetappide vastuvõtmisel vastama vähemalt määrusega sätestatud nõuetele. Nõuded on tee ehitusprojekti koostajale ja teetööde tegijale kohustuslikud. [27]

Ehitusprotsesside juhtimiseks ja nõuete tagamise üheks osaks on informatsiooni ja andmete sujuv edastamine, kus projektimeeskond kasutab tüüplahendusena tavaliselt lihtsamaid andmeedastus teenuseid, et nii meeskonnasiseselt kui ka inseneri ja tellijaga, jagada olulist informatsiooni. Teedeehituse erinevad konstruktsioonilised kihid ja elemendid nõuavad nii dokumenteerimist kui ka vastavaid jooniseid ning mudeleid, mis on vajalikud nii töövõtjale, insenerile kui tellijale.

Teedeehitus protsessiks vajalikud dokumendid [27]:

- täitematerjalide toimivus- või vastavusdeklaratsioonid;
- materjalide katse ja mõõtmisprotokollid;
- tehnovõrkude vööndis ehitusload;
- kvaliteedi tagamise plaan.

Ehitusprotsessi dokumenteerimise olulisus tuleb ehitusprojektide fundamentaalsest haldamisest, tagades projektide läbipaistvuse, jälgitavuse ja kvaliteedi. Dokumenteerimine võimaldab tõendada ehitamise ja ehitise vastavust kehtivatele nõuetele, ehitusprojektile ja asjatundlikkuse põhimõtete järgimist. See on oluline nii ehitusprotsessi ajal kui ka ehitise eluea jooksul, et tagada selle ohutus ja vastupidavus. [28]

Süsteemaatiline dokumenteerimine tagab võimaluse tuvastada ehitise ja selle osade omadusi, kasutatud materjale ja ehitustoodete päritolu. Tuvastada ja ennetada potentsiaalseid probleeme, mis võivad mõjutada ehitise kvaliteeti, ohutust või keskkonnasäästlikkust. See

võimaldab õigeaegselt tegeleda puudustega enne, kui need muutuvad suuremateks probleemideks. [28]

Ehitusdokumendid on olulised tõendid juriidilistes vaidlustes, näiteks defektide, hilinemiste või ehitusnormide rikkumiste korral. Dokumentatsioon aitab tõendada tööde teostamise asjaolusid ja vastavust lepingutingimustele. [28]

Dokumenteerimise ja andmeedastuse olulisuse toob tugevalt välja ehitusprotsessi sujuvus läbi projektijuhtimise ja ehitustegevuse planeerimise. Efektiivne andmeedastus võimaldab töövõtjal jagada projekti osapooltega ajakohast teavet - projekti muudatusi, ajakavasid, eelarvet -, tagades kõigi osapoolte teadlikkuse ja koostöö. Samuti võimaldab paremini planeerida ja juhtida ressursse, sealhulgas tööjõudu, materjale ja seadmeid, parandades seeläbi töö efektiivsust.

Olulised väärtused tellija ja töövõtja jaoks on pidev kvaliteedikontroll, kus korrektne ja õigeaegne andmeedastus aitab tagada, et ehitustööd vastavad kvaliteedinõuetele ja tehnilistele spetsifikatsioonidele. Asjakohane dokumentatsioon aitab kiiresti lahendada erimeelsusi või arusaamatusi projekti osas, vähendades konfliktide eskaleerumist. Läbipaistev dokumenteerimine ja andmeedastus loovad aluse usaldusväärsetele suhetele töövõtja ja tellija vahel, võimaldades kliendil jälgida projekti edenemist ja teha teadlikke otsuseid.

Lisaks on dokumenteerimine hädavajalik ohutusnõuete järgimiseks, võimaldades töövõtjal tõendada ohutusmeetmete rakendamist ja töötajate koolitust, vähendades õnnetuste ja vigastuste riski.

Kokkuvõttes, dokumenteerimine ja andmeedastus on nii töövõtjatele kui ka tellijale olulised tööriistad riskide maandamiseks, projektijuhtimise parandamiseks ning kvaliteedi ja ohutuse tagamiseks.

2.2 Tüüpiline projekti üleandmise/vastuvõtu protsess

Teede ehituse üleandmise ja vastuvõtu protsess on reguleeritud "Riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskirjaga", mis on kohustuslik dokument kõigile riigiteede ehitusprojektidele. See protsess hõlmab mitmeid etappe ja nõudeid, alates ehitamise kvaliteedi hindamisest kuni lõpliku vastuvõtuni, mille käigus tuleb järgida lepingulisi ja õiguslikke nõudeid. [29]

Tööde vastuvõtmisel koostatakse kõikide kaetud ja teostatud tööde vastuvõtuaktid. Kui tegemist on kaetud töödega või tööetappidega, siis enne järgneva etapiga alustamist peab töövõtja esitama insenerile tööd vastuvõtmiseks. [29]

Tööde vastuvõtuakt sisaldab järgnevaid dokumente [29]:

- mõõtmisprotokollid;
- katseprotokollid;
- teostusjoonis.

Vastavalt konstruktsioonikihtide nõuetele on töövõtja kohustatud koostama mõõteprotokolli, kus „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ määrus sätestab, millised mõõtmisprotseduurid ning millise vahemaa tagant on vajalikud läbi viia. [27]

Tavapärased mõõtmisprotseduurid [27]:

- telje kõrgus vastavalt projektile;
- laius ja paiknemine vastavalt tee-teljele;
- põikkalded;
- tasasus;
- kihipaksus;
- kandevõime;
- tihedus.

Mõõtmis- ja katseprotokollide dokumenteerimine ja edastamine insenerile on kohustuslik protsess. Konstruktsioonikihtide valmimisel käib töövõtja tüüpilise teedehitus projekti puhul käsitsi mõõtmis kihtide vastavust projektile.

Tabel 2.2.1 Konstruktsioonikihtide kontrolltoimingud. [29]

Kontrolltoiming	Kontrollmeetod
Ehitatud kihi laius	Mõõdulindiga mõõtmine
Ehitatud kihi põikkalle	Kaldelatiga mõõtmine
Ehitatud kihi paksus	Puistematerjalide korral kaevamine ja asfaltkatendi korral puurimine
Ehitatud kihi kandevõime ja tihedus	Inspektor või Loadman tööriist

Teostusjooniste valmistamiseks teostab geodeet ehitatud konstruktsioonikihi mõõdistuse, mille järel toimub arvutis, vastavalt mõõdetud punktidele, joonise või mudeli valmistamine. Teostusjoonist võrreldakse eelnevate konstruktsioonikihtide ja projektsete andmetega.

Üleandmise protsessi käigus vaatab töövõtja koos inseneriga üle paigaldatud või ehitatud kihi ning kontrollitakse pisteliselt selle vastavust projektsetele nõuetele. Üleandmise hetkeks on töövõtja teostanud valmis ehitatud osa raames vajalikud mõõdistused, mis kinnitavad nii töövõtjale kui ka insenerile kvaliteedile vastavust.

Teostatud töö vastuvõtmiseks koostab töövõtja ehitustööde vastuvõtuakti, mis läheb insenerile ja tellijale allkirjastamiseks. Vastuvõtuakt baseerub eelnevalt teostatud katsetustel ja mõõdistustel, millele lisatakse kaasa ka geodeetilisel mõõdistatud teostusjoonis.

Üleandmise ja vastuvõtu protsess on iga ehitusliku konstruktsiooni osa ning seega moodustab märkimisväärselt suure ajalise mahu tervest projekti valmimisest. Ehitusprojektide maksumus on otseselt seotud ehitusgraafiku ja -mahtudega. Uute konstruktsioonikihtide ja elementide ehitamise kiirus kui ka mehhanismide ja inimeste rakendamine ning planeerimine, sõltub tugevalt sellest, et ehitus oleks sujuv ja hästi planeeritud. Õigeaegne mõõdistamine ja katsetamine kinnitab, et ehitus on vastavalt nõuetele ning tagab võimaluse teostada üleandmise protsessi sujuvalt ja kiirelt. Kuna tüüpilised üleandmise ja vastuvõtu toimingud seoses dokumentatsiooni ja andmeedastusega on ajas vananenud ning sisaldavad aeganõudvaid protsesse, tähendab see töövõtja jaoks oluliselt rohkem ressursside mitte otstarbekat kasutamist ning finantsilist kui ka ajalist kulu.

Konstruktsioonikihtide valmimise järgselt on tööde üleandmise vajalikuks eelduseks mõõteprotokoll olemasolu, mis esindab olulist pudelikaela traditsioonilises üleandmise ja vastuvõtu protsessis. Mõõteprotokoll koostamine nõuab töövõtjalt paigaldatud või ehitatud konstruktsioonikihi manuaalset mõõdistamist, kasutades mõõdulinti ja kaldelatti, et tagada kihi nõuetekohane pöikikalle ja laius. See protsess kulutab märkimisväärse osa ajast rajatud kihi kohta. Lisaks peab töövõtja läbi viima teostusmõõdistused, mis tähendab, et kaks inimest peavad eraldi mõõtma paigaldatud kihti ajaliselt.

Mõõdistamisele järgneb andmete sisestamine, kus mõõteprotokollil puhul tuleb täita tabel korrektsele dokumendipõhjale. Teostusmõõdistuse korral valmistatakse teostusjoonis arvutiprogrammis, põhinedes objektile mõõdetud punktidele. Seega kaasneb konstruktsioonikihtide mõõtmisega topelt töö, mis on töövõtjale oluline ajakulu.

Töövõtjate ees seisab alati väljakutse hoida tööde kulgemine sujuv ja masinad järjepidevalt töös. Mitme konstruktsioonikihi ehituse puhul tähendab see vajadust teostada edukalt võimalikult palju töid samade mehhanismidega. Üleandmisprotsessi aeganõudvus, kui valminud kiht antakse tellija insenerile ülevaatamiseks, enne kui järgmise kihi paigaldust saab alustada, loob olukorra, kus masinatele tuleb leida vahepeal uus tööülesanne või need tuleb ajutiselt seisata.

Andmete kogumine ja nende traditsiooniline sisestamine ja edastamine, et kontrollida tööde kvaliteeti, korrektsust ja materjalikoguseid, on ajapikku jäämas jalgu ehitustehnoloogia arengule. Töövõtjate võimekus paigaldada materjale üha efektiivsemalt on saavutanud ajalise edu ehituse erinevates etappides, mis kahjuks aeglustub kontrollprotseduuride läbiviimise tõttu.

Järgnevides lõputöö osades käsitleb töö autor erinevaid tehnoloogilisi lahendusi ja keskkondi, mis võiksid aidata teedehituse üleandmise ja vastuvõtu protsessi efektiivsemaks muuta. Analüüsitakse, kuidas uuenduslikud digitaalsed tööriistad ja platvormid, sealhulgas ühtne andmeedastuskeskkond võivad aidata kaasa projektijuhtimisele ning optimeerida töövooge. Eesmärk on leida lahendused, mis toetavad nii kvaliteedi tagamist kui ka projekti osaliste vahelist suhtlust.

2.3 Failiedastuskeskkonna tüüplahendus

Ehitusprojektidel on töövõtja vastavalt „Ehitamise dokumenteerimisele, ehitusdokumentide säilitamisele ja üleandmisele esitatavad nõuded ning hooldusjuhendile, selle hoidmisele ja üleandmisele esitatavad nõuded“ määrusele kohustatud ehitusprotsessi dokumenteerima kui [28]:

- ehitamiseks on nõutud ehitusluba;
- ehitamiseks tuleb ehitusseadustiku lisa 1 nimetatud juhtudel koos ehitusteatisega esitada ehitusprojekt;
- ehitise kasutamiseks on nõutud kasutusluba;
- ehitise kasutamiseks tuleb ehitusseadustiku lisa 2 nimetatud juhtudel koos kasutusteatisega esitada ehitusprojekt.

Nõuded digitaalsele ehitusdokumendile [28]:

- digitaalne ehitusdokument on loetav vabavaralise tarkvara abil;
- ei sisalda muutuvaid osi;
- on digitaalallkirjastatud e-identimise ja e-tehingute usaldusteenuste seaduses sätestatud korras.

Ehitusdokumendid antakse ehitisregistris üle elektrooniliselt hiljemalt koos kasutusloa taotlusega või kasutusteatisega. Üleandmine tuleb teostada üldlevinud tarkvaraga loetaval kujul. Ehitusdokumendid peavad olema ehitise omanikule ja riikliku järelevalve teostajale kättesaadavad. [28] Ehitustööde rahaline akteerimine käib digiallkirjastatult emaili teel.

Eesti teedehitus sektoris leiavad laialdast kasutust antud failide hoiustamise ja edastamise keskkonnad:

- Google Drive;
- Microsoft OneDrive;
- Dropbox.

Failiedastuskeskkondade tüüplahendused nagu Google Drive, Dropbox ja Microsoft OneDrive pakuvad võimalusi failide salvestamiseks, jagamiseks ja haldamiseks pilvepõhistes keskkondades. Need platvormid on üldiselt tuntud oma kasutusmugavuse ja juurdepääsetavuse poolest, mistõttu on nad tavapäraseks vahendiks pidevalt arenevas infotehnoloogilises keskkonnas. Ehitusprotsessis olulised dokumendid, nagu näiteks tööplaanid ja graafikud kui ka koosolekuprotokollid, on kõik üles laetud antud keskkonda ja tehtud kõigile kättesaadavaks.

Teedehitus üleüldiselt on tugevalt kogemuste ja raudkindlate harjumustega põimitud eriala, kus teadmatust ja ebakindlust tekitavate muutuste läbiviimine on alguses keeruline protsess. Ettevõtted, kus siiani kasutatavad lahendused toimivad ja kajastuvad ka igapäevases edus, ei leia vajadust ega motivatsiooni antud muudatuste läbiviimiseks. Ehitusettevõtted on tavaliselt ülesehitatud projektmeeskondade baasil, kus ettevõttes sees on oma meeskonnad, kes ehitavad ja lahendavad erinevaid projekte. Igal meeskonnal on välja kujunenud oma lahendused ja süsteemid, kuidas meeskonna sees tööülesanded ja kogu projekti lahendus andmete edastamisel on üles ehitatud. Standardsed lahendused on edukalt igapäevaste tööülesannetega seotud ja pakuvad kindlustunnet. Küll aga on projektmeeskonnad hakanud kasutusele võtma ka Bauhubi keskkonda, mis kujutab endas olulist sammu edasi ühtse andmeedastuskeskkonna suunas.

2.4 Bauhub

Bauhub on Eesti päritolu keskkond, mis on loodud ehitusprojektide info haldamiseks ja jagamiseks ning on viimaste aastatega saanud oluliseks infovahetuse lüliks Transpordiameti ja peatöövõtja vahel. Bauhub pakub erinevaid tööriistu ja lahendusi, mis võimaldavad ehitusprojektide osapooltel teha tõhusalt koostööd, jagada andmeid ning hallata dokumente. Bauhubiga on tagatud, et kõik ehitusplatsiga seonduvad joonised, dokumendid ja ülesanded on ühes keskkonnas koos. Info on jagatud projektiga seotud osalistega, tagades parema ja sujuvama koostöö. Bauhub on suunatud peatöövõttu pakkuvatele ettevõttele, kes sarnaselt ehitusplatsil toimuvaga, saavad ka Bauhubis täpselt kontrollida, mis osalised projekti lisatakse ning mis võimalused vastavatele kasutajatele määratakse. Bauhub on saavutamas paremat läbipaistvust ning võimalust kogu planeerimise ning projekteerimise protsess ühte kohta kokku koondada. [30]

bauhub Pro Riigitee 20 Põdruse-Kunda-Pada km 16,91-28,35 Kunda-Pada teeõigu rekonstrueerimine BIM

Otsi projektist

Hendrik Ruut
hendrik@atemo.ee

Riigitee 20 Põdruse-Kunda-Pada km 16,91-28,35 Kunda-...

Esileht
Töölauad
Kasutajad

Joonised
Dokumendid
3D
Allkirjastamine
Jaotuskaustad
Kinnitamised
Aktid ja lepingud
Kontrollid

Projekti logi
Baudrive Pro

Tugi

Ülevaade

Joonised	Dokumendid	Allkirjastamine	Töölauad
0	0	0	0
Uut joonist	Uut dokumenti	Dokumenti allkirjastamiseks	Lõpetamata ülesannet

Viimase 24 tunni jooksul üles laaditud uued dokumendid

Viimase 24 tunni jooksul ei ole ühtegi uut faili üles laaditud

Teadetetahtvel

Jäta teade projektimeeskonnale

Hetkel sõnumid puuduvad

Joonis 2.4.1 Bauhubi keskkond

2.5 Failiedastuskeskkonnad vs Bauhub

Ehitusprojektide edukas juhtimine nõuab tõhusaid vahendeid informatsiooni haldamiseks ja jagamiseks. Viimastel aastatel on digitaalsed lahendused muutunud ehitussektoris üha olulisemaks, võimaldades projekti osalistel efektiivsemalt koostööd teha ja olulist informatsiooni vahetada. Siiski on oluline mõista, et kõik platvormid ei paku ühesuguseid funktsioone ega toeta ehitusprotsessi kõiki aspekte ühtviisi hästi. Sellest tulenevalt on tarvilik teha teadlik valik sobiva digitaalse keskkonna osas, mis toetaks projektijuhtimise vajadusi optimaalselt.

Allpool esitatud tabel annab ülevaate kahest erinevast lähenemisviisist: Bauhub, mis on spetsiaalselt loodud ehitusprojektide haldamiseks, ja tüüpilised failiedastuskeskkonnad nagu Google Drive, Dropbox ning Microsoft OneDrive, mis on mõeldud laiemale kasutajaskonnale. Võrdlus keskendub peamiselt failihalduse, koostöövõimaluste ja ehitusprojektide jaoks oluliste funktsioonide toetamisele, tuues välja mõlema lähenemisviisi funktsionaaluse ning ka piirangud.

Tabel 2.5.1 Failiedastuskeskkonnad vs Bauhub funktsionaalsus [31]

Funktsionaalsus	Failiedastuskeskkonnad	Bauhub
Pilvepõhine salvestus ja juurdepääs	Jah	Jah
Failide jagamise võimalused	Jah	Ehitusele suunatud
Dokumentide versioonihaldus	Jah	Jah
Ehitusdokumendid	Ei	Jah (sh ehituspäevikud, aktid, mõõteprotokollid)
Failivormingud (DOCX, XLSX)	Sõltuvalt keskkonnast	PDF vaatur
Dünaamiline redigeerimine	Sõltuvalt keskkonnast	Ei
Lepingu haldus ja dokumentide allkirjastamine	Ei	Jah
Juurdepääsu kontroll	Piiratud	Jah, vastavalt ehitusprojekti osalistele
Spetsiaalsed ehitusfunktsioonid	Ei	Jah, IFC mudelite vaatur
IFC mudelite redigeerimine	Ei	Ei
Reaalajas koostöö ja kommunikatsioon	Ei	Jah, projektijuhtimise ja meeskonnatöö jaoks
Andmete struktureerimine ja arhiveerimine	Piiratud	Jah, vastavalt projekti nõuetele ja etappidele

Erinevused tulenevad peamiselt Bauhubi spetsialiseeritusest ehitusprojektide haldamiseks. Bauhub pakub integreeritud lahendusi, mis on kohandatud ehitusvaldkonna vajadustele, nagu näiteks [31]:

- dokumentide ja ehituspäevikute spetsiifiline haldamine ja allkirjastamine;
- ehitusprojekti osalistele kohandatud juurdepääsu kontroll;
- ehitusprojektide jaoks oluliste IFC mudelite vaatamine;
- reaalajas koostöövõimalused projekti juhtimiseks ja meeskonnatöök.

Ehitusprojektide haldamisel on oluline arvestada valitud digitaalse platvormi piirangutega. Võrdluses Bauhubi ja tüüpiliste failiedastuskeskkondade vahel, ilmnesid järgmised peamised piirangud:

- Bauhubi keskkond toetab ainult PDF faile, piirates failide otsest redigeerimist keskkonnas. See nõuab failide konverteerimist tagasi algvormingusse enne muudatuste tegemist, mis võib töövoogu aeglustada ja vigade riski suurendada.
- Kuigi Bauhub võimaldab IFC mudelite vaatamist, puuduvad nende mudelitele interaktiivsete märkmete lisamise võimalus.
- Tüüpilised keskkonnad nagu Google Drive, Dropbox ja OneDrive ei toeta mudelite vaatamist.

Järgnevas peatükis siseneb töö autor EVS-EN ISO 19650 standarditele vastava CDE (Common Data Environment) rakendamise teemasse. Kuidas CDE saab mängida võtmerolli ehitusprojektide andmehalduse efektiivsuses, toetades kõikide projektietappide jooksul infoliikumist ja koostööd. Analüüsitakse, kuidas CDE integreerimine projektijuhtimise protsessidesse mitte ainult ei vasta standarditele, vaid loob ka aluse paremaks ressursside kasutamiseks, riskide maandamiseks ja üldise projektijuhtimise kvaliteedi tõstmiseks.

3. EVS-EN ISO 19650 STANDARDILE VASTAVA CDE KASUTAMINE

EVS-EN ISO 19650 on rahvusvaheline standard, mis käsitleb hoonete ja tsiviilehitustöödega seotud informatsiooni organiseerimist ja digitaliseerimist, kasutades ehitusinformatsiooni modelleerimist (BIM). Standardi peamine eesmärk on juhendada ja standardiseerida ehitusprojektide infohaldust, et tagada info vahetamise sujuvus ja täpsus kogu projekti elutsükli vältel alates projekteerimisest kuni korrashoiu ja renoveerimiseni. [32]

EVS-EN ISO 19650 standardi põhieesmärgid:

- protsesside standardiseerimine: EVS-ISO 19650 seeria kehtestab juhised ja protsessid, mis toetavad andmete järjepidevat ja tõhusat vahetamist projekti erinevate osapoolte vahel. See standardiseerimine aitab vältida andmete kadu ja tagada kõigi sidusrühmade vahel ühtse informatsiooni mõistmise; [33] [34]
- andmekvaliteedi tagamine: Tagada, et projektis kasutatav info oleks täpne, ajakohane ja usaldusväärne; [33]
- riskide vähendamine: Standardid aitavad tuvastada ja hallata riske, mis võivad ilmned ehitusprojektide erinevates etappides, parandades seeläbi projekti üldist kvaliteeti ja vähendades vigade esinemissagedust; [33]
- jätkusuutlikkus ja tõhusus: EVS-EN ISO 19650 seeria toetab jätkusuutlikke ehitustavasid, võimaldades tõhusamat ressursside kasutamist ja kulude kokkuhoidu projekti elutsükli jooksul. [33]

EVS-EN ISO 19650 standard mängib kriitilist rolli ehitusprojektide informatsiooni haldamise protsesside parandamisel läbi projekti elutsükli. Projekteerimise etapis määratlevad standardid, kuidas andmeid koguda, hallata ja jagada, tagades, et kõik osapooled on kursis vajaliku ja ajakohase teabega, mis toetab optimaalsete otsuste tegemist. Ehitusetapis tagavad standardid, et ehitusprotsess on kooskõlas projekteerimisetapis tehtud otsustega, vähendades seeläbi vigu ja ebatäpsusi. Korrashoiu etapis võimaldab standard hoonete ja rajatiste hoolduseks vajaliku teabe süstemaatilist kogumist ja säilitamist, mis hõlbustab hooldustöid ja pikendab eluiga. [33] [35]

Kokkuvõtvalt edendab EVS-EN ISO 19650 seeria läbipaistvust ja koostööd läbi kõigi ehitusprojekti etappide, tagades projektis osalejate koordineeritud ja efektiivse töö. Standardite rakendamine soodustab projekti jätkusuutlikkust, vastates samal ajal kõrgetele kvaliteedinõuetele. [33]

3.1 EVS-EN ISO 19650 standardi peamised nõuded

EVS-EN ISO 19650 rõhutab muuhulgas ühtse andmekeskonna (CDE) kasutamise olulisust, mis on keskne digitaalne koht, kus kogu projekti informatsiooni hoitakse, hallatakse ja jagatakse. CDE kasutamine aitab tagada, et kõik projektis osalejad pääsevad juurde ajakohasele ja kontrollitud informatsioonile. [33]

Ehitusinformatsiooni nõuded määratlevad, millist informatsiooni on projekti eri etappides vaja. EVS-EN ISO 19650 kohaselt peavad projektijuhid välja töötama ja dokumenteerima infovahetus nõudeid, mis sisaldavad [33]:

- mis eesmärgil ja millises ulatuses informatsiooni kasutatakse;
- nõudeid, mis tagavad informatsiooni kvaliteedi ja sobivuse eesmärgi täitmiseks;
- täpsustusi, millal informatsiooni on vaja esitada või uuendada.

EVS-EN ISO 19650-1 ehk ehitustöödega seotud informatsiooni organiseerimine [33]:

- kehtestab informatsioonihalduse põhimõtted strateegilisel tasemel kogu ehitise elutsükli jooksul;
- hõlmab informatsioonihalduse protsessi, mis sisaldab tegevusi, mis toetavad ja juhivad strateegilist ja operatiivset informatsiooni kogu vara elutsükli jooksul.

EVS-EN ISO 19650-2 ehk ehitusinformatsiooni modelleerimine (BIM) [34]:

- võimaldab määraval osal kehtestada oma nõuded teabele varade elluviimise etapis ning pakkuda sobivat äri- ja koostöökeskkonda, kus määratud osalised saavad teavet esitada;
- käsitleb teabe tootmise protsesse, sealhulgas nõudeid informatsiooni kvaliteedile ja kontrollile, et tagada nende vastavus projekti eesmärkidele.

EVS-EN ISO 19650-3 ehk ehitusinformatsiooni modelleerimine kasutamise etapis [35]:

- annab juhised informatsioonihaldusele kasutamise etapis, et toetada vara korrashoidu;
- rõhutab informatsiooni rolli vara haldamisel ja kuidas see aitab kaasa tõhusale varahaldusele ja parematele korrashoiu otsustele.

ISO 19650-4 ehk infovahetus [36]:

- täpsustab, kuidas informatsiooni vahetamine peab toimuma projektimeeskondade, varahaldurite ja teostamismeeskondade vahel;
- kirjeldab infokonteinerite kasutamist ja selgitab, kuidas andmed tuleb struktureerida, et see oleks hallatav ühtses andmeedastuskeskkonnas (CDE).

ISO 19650-5 ehk turvaline infohaldus [37]:

- kehtestab nõuded turvalisele lähenemisele infohalduses, hõlmates turvariskide hindamist ja nende juhtimist;
- sisaldab juhiseid turvariskide määramiseks, organisatsiooni tundlikkuse tuvastamiseks ja kolmandate osapoolte tundlikkuse kaalumiseks, et arendada välja sobivad turvameetmed kogu projekti või tegevuse elutsükli vältel.

EVS-EN ISO 19650 julgustab koostööd ja kooskõlastust kõigi projekti osapoolte vahel, et tagada informatsiooni järjepidev vahetamine ja konfliktide lahendamine. Samuti julgustab korraldama regulaarseid koosolekuid projekti edenemise jälgimiseks ja osapoolte vahelise suhtluse soodustamiseks. Lisaks kasutada digitaalseid tööriistu ja platvorme, mis toetavad meeskondadevahelist koostööd ja informatsiooni jagamist reaalajas. EVS-EN ISO 19650 standardite järgimine aitab mitte ainult tagada ehitusprojektide sujuvama ja tõhusama juhtimise, vaid ka vähendada vigade ja viivituste riski, parandades seeläbi projekti üldist kvaliteeti ja tulemuslikkust. [33]

3.2 CDE mõiste EVS-EN ISO 19650 standardite raames

Ühtne andmeedastuskeskkond CDE on oluline tööriist, mis aitab täita neid nõudeid, võimaldades süstemaatilist andmehaldust, tagades, et kõik projektiga seotud andmed on kogutud, hallatud ja säilitatud ühes kohas. Kõigil projektis osalejatel on juurdepääs vajalikule teabele. Tagatud on, et kasutatakse kõige ajakohasemat teavet, vähendades vigade ja arusaamatuste ohtu. CDE toetab andmete järjepidevust, säilitades kogu projektidokumentatsiooni ühes keskses süsteemis struktureerides andmete salvestamise ja ligipääsu viisil, mis toetab kogu projekti dokumentatsiooni ajaloolist järjepidevust, vähendades vigu teabe edastamisel. Lisaks on võimekus süstemaatilisele kvaliteedikontrollile, mis tagab, et kogu projekti andmestik vastab kehtestatud standarditele ja eesmärkidele. Andmete kontrollimise ja kinnitamise protsessid on selgelt määratletud. [33] [34]

CDE kasutamine toetab nõudeid [33] [34]:

- tagab, et kogu projekti informatsioon on kontrollitud ja heakskiidetud enne, kui seda kasutatakse või jagatakse;
- määrab, kes võib millist informatsiooni vaadata või muuta, kaitstes tundlikku informatsiooni ja vähendades vigade riski;
- jälgib dokumentide versioone, et kõik osapooled kasutaksid uusimaid ja heakskiidetud dokumente.

CDE pakub tugevaid turvameetmeid andmete kaitsmiseks, sealhulgas juurdepääsu kontrolli, mis tagab, et ainult volitatud isikud pääsevad ligi tundlikule teabele. Samuti on kirjeldatud protseduurid andmete turvaliseks säilitamiseks ja kustutamiseks vastavalt projekti etappidele ja nõuetele. [37] CDE on EVS-EN ISO 19650 standardite alusel hädavajalik, et tagada andmete järjepidevus, kvaliteet ja turvalisus. See mitte ainult ei aita täita regulatiivseid ja organisatsioonilisi nõudeid, vaid toetab ka tõhusat koostööd ja otsuste tegemist kogu projekti vältel. Tänu CDE-le saavad projektis osalevad osapooled tegutseda kooskõlastatult ja tõhusalt, tagades projektide edukuse ja kvaliteedi. [33]

3.3 EVS-EN ISO 19650 põhised CDE rakendused

Autodesk Construction Cloud on loodud haldama ehitussektoris ehitusprojektide tervet portfelli, toetades sellega erinevaid tööprotsesse ja ehitusetappe alates projekteerimisest ning ehitamisest kuni korrashoiuni. Erinevad võimalused, mis pakuvad andmete ühenduvust erinevate toodete vahel. Autodesk on keskendunud viimased aastad toodete vaheliste integratsioonide ja ühenduvuste edendamisele ning ühtse platvormi loomisele. See platvorm võimaldab kasutajatel hõlpsasti üle minna dokumentatsiooni ülevaatamisest projektijuhtimisele ning kasutada garantiiperioodi andmeid, mis on pikaajaliselt kasulikud korrashoiu meeskondadele. Autodesk Construction Cloud rõhutab andmete ühenduvust, mis võimaldab kasutajatel projekti eri etappides andmeid tõhusalt hallata ja kasutada. Andmete ühenduvus on oluline, et tagada projektijuhtide ja meeskondade juurdepääs ajakohasele ja usaldusväärsele teabele. [38]

Autodesk Construction Cloud on üles ehitatud mitmest omavahel integreeritud tarkvarast, mis aitab lahendada kogu ehitusprojekti alates projekteerimisest kuni ehitamise ja korrashoiuni. Peamised tööriistad, mida antud platvormiga kasutatakse [39]:

- Autodesk Build, mis sisaldab projektijuhtimise, kvaliteedikontrolli ja turvalisuse funktsioone. Lahendused dokumentide haldamiseks, ülesannete jälgimiseks ja andmete analüüsiks;
- Autodesk Takeoff on tööriist, mis on mõeldud ehituseelarvete koostamiseks ja materjalide koguste arvutamiseks, toetades nii 2D kui ka 3D mudelitega töötamist;
- Autodesk BIM Collaborate võimaldab meeskondadel koostööd teha BIM projektide kallal, parandades projekteerimise koostööd ja mudelite kooskõlastamist;
- Autodesk Docs on dokumentide haldamise platvorm, mis võimaldab hoida projekti dokumentatsiooni ühes kohas, tagades juurdepääsu ajakohasele teabele kõigile projekti osalistele;
- Assemble on tööriist, mis võimaldab kasutajatel vaadata ja hallata ehitusprojektide mudeleid ja andmeid;

- BuildingConnected sisaldab tööriistu ehitushangete haldamiseks, võimaldades kasutajatel hallata pakkumisi, kvalifitseerida alltöövõtjaid ja teha koostööd pakkumiste ettevalmistamisel;

Autodesk Construction Cloud integreerib tööriistad ühtseks platvormiks, mis võimaldab ehitusprojektides paremat andmevahetust, koostööd ja töövoogude haldamist. See pakub terviklikku lahendust, mis aitab ehitusfirmadel saavutada suuremat tõhusust ja vähendada riske kogu projekti elutsükli vältel. [39]

3.4 Infrakit

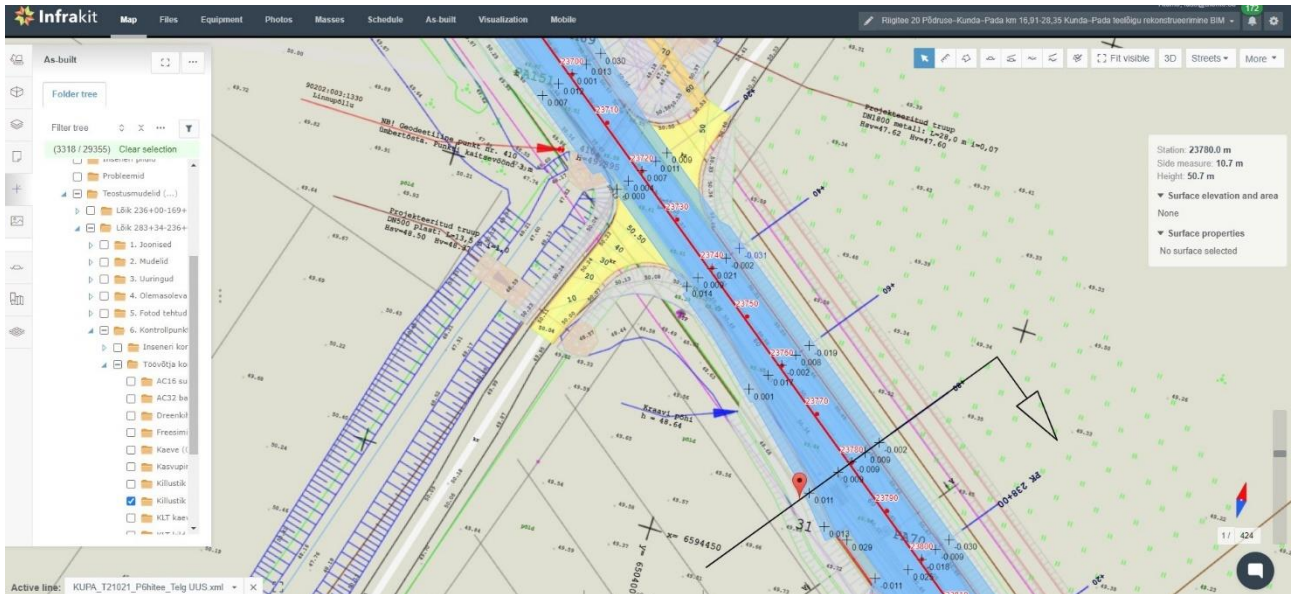
Infrakit on väljatöötatud pilvepõhine platvorm infrastruktuuriprojektide jaoks, mis on tugevalt liikumas EVS-EN ISO 19650 vastavuse suunas. Võimaldades projektsete andmete haldust ja koostööd meeskondade vahel. Ühtne keskkond seob omavahel erinevad osapooled ning võimaldab reaajas projektijuhtimist. Lõputöö neljandas peatükis kajastatud Riigitee 20 Põdruse – Kunda – Pada km 19,61-28,35 projekti raames otsustas projektimeeskond kasutusele võtta Infrakit platvormi, mis oleks ühtseks andmeedastuskeskkonnaks osaliste vahel. [40]

Infrakit võimaldab projektis osalejatel jagada ja vaadata projekti andmeid reaajas. Kõik meeskonnaliikmed, alates projekteerijatest kuni ehitajateni, omavad juurdepääsu kõige ajakohasemale teabele, mis on kriitilise tähtsusega õigeaegsete ja tõhusate otsuste tegemisel. Reaajas andmete jälgimise võimalus tähendab Infrakitis, et projektijuht ja teised osapooled näevad kohe, kui mõõtmised on tehtud ja saavad koheselt reageerida. Lisaks masinjuhtimise integreerimine, mis võimaldab masinate töö jälgimist ja nende kaughaldamist. See kiirendab otsuste tegemise protsessi ja võimaldab kiiresti teha korrekture ehitusprotsessides. [40]

Infrakit integreerib joonised mugavalt oma keskkonda, tagades nende kiire ja hõlpsa kättesaadavuse. See võimaldab projektimeeskondadel pääseda ligi vajalikele dokumentidele ja joonistele igal ajal ja igas kohas, suurendades efektiivsust ja vähendades ajakulu info otsimisele. Platvorm toetab geodeetiliste mõõtmiste otsest üleslaadimist süsteemi, mis võimaldab inseneril ja töövõtjal jälgida ehitustegevuse vastavust projekti nõuetele. See hõlmab võimalust kontrollida kihtide kõrgusi, laiuseid ja kaldeid ehk ehitusetappide üleandmist mudeli stiilis, kasutades kontrollpunkte. Lisaks toetab Infrakit BIM tööprotsesse, võimaldades kasutajatel hallata 3D-mudeleid. See sisaldab mudelite vaatamist ja võrdlemist olemasoleva olukorraga, mis aitab paremini visualiseerida projekti eri aspekte, kontrollida ehitusmahte ja tuvastada võimalikke probleeme varajases staadiumis. [40]

Infrakit toetab erinevaid failiformaate, et tagada ehitusprojektide andmete ja dokumentide sujuv integreerimine ning haldus. Näiteks on toetatud CAD-failid, mis on enimkasutatavad jooniste

rakendamise korral. Lisaks standardi kohane IFC formaat BIM mudelite rakendamiseks. Samuti ka projektijuhtimise ülddokumendid nagu PDF ja erinevad tekstifailid. [40]



Joonis 3.4.1 Infrakit keskkond

3.5 Keskkondade võrdlus

Lõputöö autor leiab, et digitaalse tehnoloogia kiire areng on viimastel aastakümnetel põhjalikult muutnud paljusid tööstusharusid, sealhulgas ehitust. Tänapäeva ehitusprojektid on keerukamad kui kunagi varem, hõlmates suure hulga erinevaid osapooli ja nõudes üha suuremat andmehulka. Seetõttu on efektiivse projektijuhtimise jaoks hädavajalik kasutada digitaalseid tööriistu, mis võimaldavad sujuvat andmevahetust ja koostööd projektis osalejate vahel. Ehitusprojektide edukas juhtimine nõuab tõhusat andmeedastuskeskkonda (CDE), mis toetab dokumentide ja teabe haldamist ning tagab, et kõik projekti osapooled – alates projekterijatest kuni ehitajate ja tellijateni – omavad juurdepääsu ajakohasele ja täpsele teabele. Selline keskkond mitte ainult ei suurenda projekti efektiivsust ja vähenda vigade tõenäosust, vaid aitab ka säilitada läbipaistvust ja parandada suhtlust. Selles alapeatükis vaatleb lõputöö autor nelja erinevat failiedastuskeskkonda: Bauhub, Autodesk Construction Cloud, Infrakit ja nende vastavust EVS-EN ISO 19650 standarditele ning analüüsib nende funktsionaalsust.

Tabel 3.5.1 Keskkondade funktsionaalsuse võrdlus. [31] [39]

Funktsionaalsed nõuded	Standardised failivahetusprogrammid	Bauhub	Autodesk Construction Cloud	Infrakit
Koostööplatvorm (veebiteenus või sisevõrgus olev lahendus)	Veebiteenus	Veebiteenus	Veebiteenus	Veebiteenus
Veebiliides	Jah	Jah	Jah	Jah
Kohandatav avaleht koos reaalajas esitatavate täitmisega seotud näitajatega	Ei	Jah	Jah	Jah
Redigeeritav kataloogide puu/struktuur ühes õiguste kontrolliga	Jah, piiratud	Jah	Jah	Jah
Töövoolu loomise võimalus läbi projekti mallide	Ei	Jah	Jah	Jah
Otsingumootor, mis võimaldab teostada sisuotsingut ka dokumentide/failide seest	Ei	Ei	Jah	Ei
Töövoolul põhinev dokumentide kontroll / tegevused	Ei	Jah	Jah	Jah
Infovoo automatiseeritud protsesside tugi, haldus	Ei	Jah	Jah	Jah
Võimalus seadistada dokumentide nimetamise reeglistikku lähtuvalt standardiseeriast ISO 19650	Ei	Jah	Jah	Jah
Redigeeritav metaandmestik	Ei	Jah	Jah	Jah
Töövoolu algoritm, mis võimaldab automatiseerida ülevaatamise ning kinnitamise protsesse	Ei	Jah	Jah	Jah
Automaatne teavitussüsteem	Jah, piiratud	Jah	Jah	Jah

Funktsionaalsed nõuded	Standardised failivahetusprogrammid	Bauhub	Autodesk Construction Cloud	Infrakit
Integreeritud veebilehitsejal baseeruv informatsiooni kuvamine	Jah, piiratud	Jah	Jah	Jah
Vaatamise võimekus:				
Tekstidokumendid (nt Word) ning tabelitel baseeruvad dokumendid (nt Excel)	Jah	Jah, pdf vaaturina	Jah	Jah, pdf vaaturina
PDF dokumendid	Jah	Jah	Jah	Jah
CAD/CAM failid	Ei	Jah, pdf vaaturina	Jah	Jah
BIM 3D failid (sh IFC, LandXML)	Ei	Jah, ainult IFC	Jah	Jah
Digifotod (pildid)	Jah	Jah	Jah	Jah
Integreeritud lahendus töötamiseks teksti - ja tabelarvutusdokumentidega	Jah	Jah	Jah	Ei
Integreeritud lahendus töötamiseks CAD failidega (nt automatiseeritud kirjanurk)	Ei	Jah, pdf vaaturina	Jah	Jah
Automaatne PDF genereerimise võimalus	Jah, piiratud	Jah	Jah	Jah
Integreeritud markeerimise töövahendid (märkused, allajoonimine jne)	Jah, piiratud	Jah	Jah	Jah
Mitme faili korraga üleslaadimine	Jah	Jah	Jah	Jah
Kontrollimise ajatempel ning versioonihaldus	Jah, piiratud	Jah	Jah	Jah

Funktsionaalsed nõuded	Standardised failivahetusprogrammid	Bauhub	Autodesk Construction Cloud	Infrakit
E-posti integreerimine	Jah, piiratud	Ei	Jah	Ei
E-kirjade vastamise logi ühes otsinguvõimalusega arhiveeritud projekti e-kirjadest	Ei	Ei	Jah	Ei
Võimalus läbi e-kirja laadida üles faile projekti e-posti aadressi kaudu	Ei	Ei	Jah	Ei
Failide sünkroniseerimine CDE ja lokaalse failisüsteemi vahel	Ei	Jah	Jah	Jah
Failide sünkroniseerimine võrguühenduseta töötamiseks ja sünkroniseerimise hilisema jätkumisega	Ei	Jah	Jah	Jah
Failide sünkroniseerimine failide omandamiseks kindlale kasutajale ning tagastamiseks uue versioonina	Ei	Jah	Jah	Jah
Kasutajapõhine raportite koostamise funktsionaalsus	Ei	Jah, kasutajapõhine raport	Jah, raportite analüütika funktsionaalsus	Jah
Tööplatsil kasutamise võimalus ning andmete kaasamine mobiilseadme vahendusel	Jah, piiratud	Jah, dokumentide vaatamine ja täitmine	Jah, laialdane mobiilseadme tugi	Jah, spetsiaalne rakendus ehitusplatsile
Võimalus luua mobiilseadmega täidetavaid kvaliteedimalle	Ei	Jah	Jah	Jah
Võimalus luua ning hallata tegevuse ning informatsiooni edastuse plaani otse CDE keskkonnas	Ei	Jah	Jah, põhjalikud planeerimise tööriistad	Jah
Võimalus ligi pääseda ning redigeerida mudeliga seotud COBie informatsiooni otse CDE keskkonnast	Ei	Ei	Jah, täielik COBie andmete haldus	Jah
Varade märgistamine	Ei	Ei	Jah, varahalduse funktsioonid	Ei

Standardised failivahetusprogrammid, nagu Dropbox, Google Drive ja Microsoft OneDrive, pakuvad lihtsaid võimalusi failide salvestamiseks ja jagamiseks. Need platvormid on kasutusel tänu oma kasutusmugavusele. Ehkki need ei paku spetsiifilisi ehitusprojektide haldamise tööriistu, on nad siiski dokumendi- ja failihalduse alglahendused paljudele ettevõtetele. Standardised failivahetusprogrammid ei toeta ehitusprojektide spetsiifilisi nõudeid nagu struktureeritud andmevahetus, BIM-integratsioon või keerukate autoriseerimisprotsesside haldamine, mida EVS-EN ISO 19650 soovitab. [35]

Standardised failivahetusprogrammid võivad olla kasulikud üldiste dokumentide jagamise ja lihtsamate ülesannete puhul, kuid ehitusprojektide, eriti suuremahuliste või keerukate projektide haldamisel, kus on vajalik struktureeritud andmehaldus ja koostöö, on spetsialiseeritud CDE lahendused palju tõhusamad. Bauhub, Autodesk Construction Cloud ja Infrakit pakuvad laialdasi funktsioone, mis on väljatoodud ka EVS-EN ISO 19650 standardites ning toetavad tõhusat projektijuhtimist ja andmevahetust, mis on olulise tähtsusega projekti edukaks lõpuleviimiseks.

Bauhub on spetsialiseerunud eelkõige ehitusdokumentide haldamisele, pakkudes tööriistu dokumentide versioonihalduseks ja töövoogude juhtimiseks. Selle platvormi paindlikkus ja kasutajasõbralikkus muudavad selle atraktiivseks valikuks projektide jaoks, kus on vajalik dokumentide korrastamine ja nende jagamine ühtses keskkonnas.

EVS-EN ISO 19650 standardid rõhutavad andmete usaldusväärsuse ja koostöö tähtsust ehitusprojektide kogu elutsükli jooksul, soodustades ühtset andmekeskonda kogu projektiinfo haldamiseks. Bauhub, mis on võimekas dokumentide ja andmete haldamisel, ei pruugi pakkuda sama laia funktsionaalsust BIM-integratsiooni ja keerukate projekti halduse tööriistade osas, nagu Autodesk Construction Cloud või Infrakit, mis on suunatud suurtele ja tehniliselt keerukatele projektidele. [33] [35]

Võrdluses standardsete failiedastuskeskkondadega, nagu Dropbox või Google Drive, on Bauhub paremini varustatud, toetamaks ehitusprojektide spetsiifilisi vajadusi. Erinevalt üldistest failiedastuskeskkondadest, mis keskenduvad peamiselt failide salvestamisele ja jagamisele ilma süvitsi minevate projektihalduse funktsioonideta, pakub Bauhub tööriistu, mis aitavad jälgida projekti dokumentide versioone, hallata ülesandeid ja parandada meeskonnatööd.

Lõputöö autori arvates on Bauhub tõhus tööriist dokumentide haldamiseks ja projektijuhtimiseks ehitusprojektides, pakkudes lihtsaid tööriistu projektide efektiivseks haldamiseks. Kuid võrreldes Autodesk Construction Cloudi või Infrakitiga, mis pakuvad laiaulatuslikke lahendusi ja sügavat integreerimist BIM-protsessidega, on Bauhubi rakendusala piiratumad. Sellegipoolest, ettevõtetele või projektidele, mis ei vaja keerukat integratsiooni, võib Bauhub osutada väga sobivaks lahenduseks.

Autodesk Construction Cloud integreerib mitmeid ehituse haldamise tööriistu, sealhulgas BIM Collaborate ja Autodesk Docs. See platvorm on eriti sobiv tehniliselt keerukatele projektidele, kus on vajalik detailne mudelipõhine koostöö ja reaalajas andmevahetus.

EVS-EN ISO 19650 standardid rõhutavad struktureeritud andmevahetuse olulisust ja nõuavad, et projektiinfo oleks hallatav läbi ühtse andmeedastuskeskkonna (CDE). Autodesk Construction Cloud vastab nendele nõuetele, pakkudes keerukaid tööriistu andmete jagamiseks, dokumentide haldamiseks ja BIM-integratsiooniks, mis on kooskõlas EVS-EN ISO 19650 standarditega. See platvorm toetab infokogumist, haldust ja jagamist projektimeeskondade vahel, kontrollitud protsessi kaudu, et tagada andmete usaldusväärsus ja kättesaadavus kogu projekti elutsükli jooksul. [35] [34]

Võrreldes Bauhubi ja standardsete failivahetusprogrammidega, nagu Dropbox või Google Drive, mis keskenduvad peamiselt failide salvestamisele ja jagamisele, pakub Autodesk Construction Cloud sügavamalt integratsiooni ja tööriistu, mis on vajalikud suurte ehitusprojektide juhtimiseks. Erinevalt Bauhubist, mis keskendub dokumentide haldusele, ja üldistest failivahetusplatvormidest, mis pakuvad piiratud projektijuhtimise tööriistu, on Autodesk Construction Cloud varustatud tööriistadega, mis toetavad keerulist andmehaldust ja koostööd vastavalt ehitussektori standarditele ja EVS-EN ISO 19650 nõuetele.

Lõputöö autori arvates pakub Autodesk Construction Cloud tõhusat lahendust keerukate ja suurte ehitusprojektide jaoks, kus on vajalik laialdane BIM-integratsioon ja keerukas andmehaldus. Võrreldes Bauhubiga ja standardsete failivahetusprogrammidega, on Autodesk Construction Cloud suurepärane valik ehitusettevõtetele, kes tegelevad suurte projektidega ja vajavad süvitsi minevat projektijuhtimist ning BIM-integratsiooni.

Infrakit on spetsialiseerunud infrastruktuuriprojektidele, pakkudes erilahendusi geodeetiliste andmete haldamiseks ja integreerimiseks. See platvorm on optimaalne valik projektidele, mis nõuavad täpset mõõdistamist ja reaalajas jälgimist, nagu teedeehitus ja muud suuremahulised infrastruktuuriprojektid. [40]

EVS-EN ISO 19650 standardid mainivad andmete ja informatsiooni struktureeritud halduse olulisust ehitusprojektide elutsükli, alates projekteerimisest kuni kasutusele. Infrakit võimaldab pakkuda neid tööriistu, mis haldavad geodeetilisi andmeid reaalajas, mis on väljatoodud EVS-EN ISO 19650 standardis. [34]

Infrakiti tugevus on spetsialiseerumine geodeetiliste andmete töötlemisele. Infrakit pakub lahendusi, mis on suunatud spetsiaalselt infrastruktuuriprojektide nõuetele, nagu teedeehitus, sildade ehitus ja muud suuremahulised infrastruktuuriprojektid, kus on vajalik täpne ja reaalajas toimuv andmete jälgimine ja analüüs. [40]

Lõputöö autori arvates pakub Infrakit lahendust tööriistade näol, mis on vajalikud geodeetiliste andmete reaalajas jälgimiseks ja analüüsiks. Lisaks ühendab Infrakit projektijuhtimise reaalajas - inimesed, andmed ja masinjuhtimissüsteemid - ning aitab teostada andmete kogumist objektil enne ehitustööde algust kuni objekti üleandmiseni ja korrashoiuni. Võrreldes Bauhubi ja Autodesk Construction Cloudiga, mis keskenduvad rohkem üldistele projektijuhtimise ja BIM-integratsiooni vajadustele.

4. RIIGITEE 20 PÕDRUSE – KUNDA – PADA KM 16,91-28,35

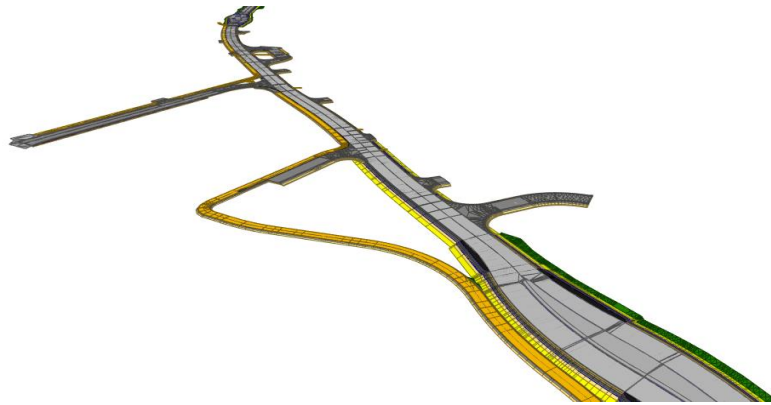
Aastal 2023 alustas Atemo projekti „Riigitee 20 Põdruse–Kunda–Pada km 16,91-28,35 teelõigu rekonstrueerimine BIM“ ehitamist. Pilootprojekti raames rakendati ehitusprotsesside juhtimiseks, jälgimiseks ja kontrollimiseks ehitusinformatsiooni modelleerimisprotsesse. Põhiliseks eesmärgiks oli kasutada ehitise infomudelit, millega on võimalus järgmistes teelukaare etappides rakendada digitaalsete infomodelite kasutamise ja haldamise kasutusele võtmist. [41]

Projekti dokumentatsioon sisaldab töövõtja jaoks BIM-i tehnilist kirjeldust, millega on sätestatud, et ehitustööde teostamisel on lubatud kasutada kolmemõõtmelisi ruumimudeleid. Teostatu tõendamine tehakse teostusmudelite abil. Töö täiendav eesmärk on ehitustööde jooksva vastuvõtmise ja dokumenteerimise kiirendamine, kasutades digitaalseid tööriistu. Töövõtjal on õigus teha ettepanekuid vastuvõtu tõhustamiseks, mis aitavad töö eesmärki veelgi paremini täita, vältides dubleerivaid tegevusi. [41]

Teostusmudelite puhul tuleb kasutada järgnevaid formaate [41]:

- IFC;
- LandXML;
- DWG/DGN.

Ehitusaegse dokumentatsiooni ja mudelite haldus toimub töövõtja valitud keskkonnas (keskkondades), mis peab täitma tellija teostusdokumentatsiooni halduse nõudeid. Mudelite halduseks kasutatav keskkond peab võimaldama mudelite ning nende andmete avamist ning kõrguslikku ja asendiplaanilist võrdlemist (näiteks projektumeli ja teostusumeli vahel) keskkonna siseselt. Kõikidele keskkondadele tuleb tagada tellija ja omanikujärelevalve meeskondade ligipääs (Ligipääs peab olema tagatud vähemalt 12 kuud pärast vastuvõtuakti allkirjastamist). [41]



Joonis 2.1 Riigitee 20 Põdruse–Kunda–Pada km 16,91-28,35 teelõigu rekonstrueerimise põhiprojekti IFC mudel [42]

4.1 Üldine ülevaade tänastest nõuetest

Allpool kirjeldatakse üldiseid nõudeid töövõtja, teostusmudeli, dokumentatsiooni/jooniste haldamise, projektmudeli kontrolli ning masinatega ehitamise vaatevinklist [41]. Igat eelnimetatud komponenti analüüsitakse CDE rakenduslikust vaatest ning üldisemas plaanis ka EVS-EN ISO 19650 standardite võtmes.

4.1.1 Nõuded töövõtjale

1. Töövõtja üks meeskonnaliige peab täitma BIM koordinaatori rolli, kes vastutab projekt-, ehitus- ja teostusmudelite üldise mudeli- ja failipõhise koostöökorralduse eest, et oleks tagatud kvaliteet ja asjakohasus.
2. Masinjuhtimise kasutamisel on Töövõtja kohustatud tegema ise ehitusmudelid ja masinate jaoks vajalikud mudelid.
3. Võimekus võrrelda teostusandmeid (sh mudelit) projekteeritud mudeliga ning tagama võrdlemise võimaluse Tellijale ja omanikujärelevalvele mudelite haldamise keskkonnas.
4. Töövõtja peab esitama tehtud tööde kohta mõõdistatud andmed töö valmimisest järgmise tööpäeva jooksul (sobib geodeedi .txt laiendiga fail, geodeedi poolt kohustus edastada koodide nimekiri, et tellijal ja inseneril oleks võimalik aru saada mida mõõdeti).
5. Teostatud tööde lõpliku mahu hindamine tehakse teostusmudeli alusel. Teostusmudeli üleandmisel tellijale kanduvad kõik (autori)õigused tellijale.
6. Töövõtja peab koostama enda poolt analüüsiva kokkuvõtte objekti käigust (min 1200 sõna) koos BIM lahenduse plusside, miinuste, ajalise mõju, finantsilise mõju ja ettepanekutega BIM projektide kohta edaspidiseks. Kokkuvõtte tuleb esitada enne vastuvõtukomisjoni. Lisaks tehakse objekti lõpus kokkuvõttev arutelu koosoleku vormis, kus räägitakse lahti protsessi käigus kogetu ning tehakse järeltõus protsessi edasiseks parendamiseks.

7. Töövõtja peab tagama Insenerile ja tellijale ligipääsu enda objekti mõõdistusvõrgu juurde, et Tellijal või omanikujärelevalve tegijal oleks võimalik kasutada oma Roverit/GNSS vastuvõtjat.
8. Töövõtja kohustub nädala jooksul pärast võrgu paigaldamist esitama mõõdistusvõrgu aruande.
9. Töövõtja peab projekti vigadest teavitama lisaks tellijale ja omanikujärelevalvele jooksvalt ka projekteerijat. Töövõtja peab kõik projekti muudatused kooskõlastama ka projekteerijaga.
10. Töövõtja peab esitama ka enda tehtud pildid ja/või videod – sh kaetud tööde üleandmisel tehtavad fotod. Tellija nõudmisel tuleb teha täpsemaid ülesvõtteid: 360 kraadi; erilise sagedusega objektid/kihid.
11. Töövõtja peab mudelite koostamise, kontrollimisega seonduvad tegevused lahti kirjutama BIM rakenduskavas koos protsesside vastutajatega ja selgelt välja kirjutama erinevate inimeste kohustused. BIM rakenduskava on Kvaliteedi tagamise plaani (KTP) üks osa ning esitatakse koos KTP-ga,
12. KTP kooskõlastamise käigus lepitakse kokku tööd, mille osas tuleb koostada mõõteprotokollid ning milliste puhul on võimalik teostada piisav kvaliteedikontroll Töövõtja valitud digitaalses keskkonnades. Koostatavad mõõteprotokollid peab Töövõtja täitma digitaalselt. Nimetatud toimingu jaoks tuleb luua mõõteprotokollide põhjad, kus on lisaks kajastatud juures ka projekti/lepingulised nõuded nimetatud töödele (analoogselt Bauhub keskkonnaga). Mõõteprotokolle tuleb jooksvalt täita (näiteks objektil mobiilis või tahvelarvutis) ja hiljemalt järgmise tööpäeva lõpuks tuleb tehtud protokollid esitada kinnitamiseks.

Töövõtjale esitatud nõuded CDE ja EVS-EN ISO 19650 vaatest:

BIM koordinaatori roll on sätestatud EVS-EN ISO 19650-1:2018 ja EVS-EN ISO 19650-2:2018 standarditega, rõhutades projektijuhtimise olulisust ja rollide selget defineerimist, mis on kooskõlas Transpordiameti BIM koordinaatori rolli nõudega, tagades kvaliteedi ja asjakohasuse kogu projekti ulatuses. [33] [34]

Masinjuhtimise mudelite koostamine on vastavuse EVS-EN ISO 19650-2:2018 standardiga, et kõik projekti osapooled peaksid tegema koostööd, et tagada ehitusmudelite kvaliteet ja täpsus, mis toetab ka nõuet töövõtja enda mudelite koostamiseks. [34]

Teostusandmete võrreldavus tuleb välja EVS-EN ISO 19650-4:2022 standardiga, mis keskendub infovahetusele, sealhulgas viidates Transpordiameti nõudele luua võimalus võrrelda teostusandmeid projekteeritud mudeliga, tagades läbipaistvuse ja kontrolli projekti käigus. [36]

Möödistatud andmete esitamine on EVS-EN ISO 19650-2:2018 ja EVS-EN ISO 19650-5:2020 standardites käsitletud, kui andmete esitamise kiirust ja täpsust, rõhutades vajadust esitada andmed koheselt ja usaldusväärset, mis on kooskõlas nõudega esitada möödistatud andmed järgmise tööpäeva jooksul tehtud tööde kohta. [34] [37]

Analüüsiva kokkuvõtte koostamist EVS-EN ISO 19650 standardi seeria otseselt ei käsitle, kuid see soodustab koostööd ja järjepidevat parendamist projekti käigus, mis on kooskõlas kokkuvõtete ja arutelude nõuetega. [32]

Nõuded, nagu juurdepääsu tagamine möödistusvõrgule, mõõteprotokollide koostamine ja BIM rakenduskava koostamine, ei pruugi otseselt kajastuda ISO 19650 standardites, kuid on seotud üldiste põhimõtetega projektide halduses, infovahetuses ja kvaliteedi kontrollis, mida EVS-EN ISO 19650 standardi seeria toetab. [32]

4.1.2 Nõuded teostusmudelile

1. Teostusmudeli koostamise lähteandmetena kasutatakse geodeetilist möödistamist välja arvatud punktis 6 välja toodud juhtudel.
2. Teostusmudel tuleb koostada ehituse infomudelina avatud formaadis (LandXML ja IFC) ning esitada tuleb ka algformaadis (native format) mudel.
3. Teostusmudel – Aktide koosseisus esitatakse LandXML formaadis teostuse punktid või pinnad, mis on aluseks teostatu vastavuse hindamisel.
4. Teostusmudelid koos atribuutinfoga - IFC formaadis esitatakse enne tehnilise komisjoni toimumist.
5. Teostusmudeli(te) koos atribuutinfoga (IFC formaadis) kohta tuleb koostada kaaskiri(kaaskirjad).
6. Juhul kui muldkeha kihtide möödistus jääb teostuse lubatud erinevuse piiresse või kui katendikihtide möödistustulemused jäävad kontroll- ja vastuvõtutoimingute loetusel BIM eritingimused lubatud tolerantside piiridesse, võib teostusmudeliks lugeda projektmudeli, vastasel juhul tuleb teostusmudel uuesti modelleerida ning lisada mudeli kaaskirja põhjendus erinevus(te) kohta. Projektmudeli kasutamisel teostusmudelina tuleb esitada täiendavalt teostusmöödistuse punktid (LandXML formaadis), mis määratlevad teostatu ulatuse.
7. Eraldi tuua välja kõik tee konstruktsiooni kihid (kõik kihid eraldi mudelitena sh katendikihid, drenkihi alakiht ja muldkeha alakiht). Kihidest koostada ka eraldi LandXML failid (sh kraavid, peenrad, nõlvad, äärekivid, piirded, laiendused, mahasõidud, ristmikud jne).
8. Teostusmudelile tuleb lisada kõik paigaldatud tehnovõrgud. Teostusmudelisse tuleb lisada ka olemasolevad tehnovõrgud. Olemasolevate tehnovõrkude osas võib lähtuda

projektumudelist, kui tehnovõrkude asukohta ehituse käigus ei muudetud. Juhul, kui ehitustööde käigus selgub, et projekti kohane tehnovõrgu asukoht ei vasta tegelikkusele, tuleb sellest teavitada tellijat, kes võib lisatööna tellida tehnovõrgu mudelisse kandmise.

9. Mudelite osamudeliteks jagamine ja osadeks jagamise põhimõtted lepatakse kokku BIM rakenduskaavas.

Teostusmudelite nõuded CDE ja EVS-EN ISO 19650 vaatest:

Geodeetiline mõõdistamine on EVS-EN ISO 19650-2:2018 standardis väljatoodud, kui andmete kogumise ja kontrollimise protseduur projekteerimise ja ehitusfaasis, rõhutades andmete kogumise tähtsust ning nende täpsust, mis on kooskõlas CDE põhimõtetega andmete usaldusväärsuse ja täpsuse tagamisel. [34]

Teostusmudelite esitamine vastavalt EVS-EN ISO 19650-1:2018 ja EVS-EN ISO 19650-2:2018 standarditele peaks toimuma avatud formaatidena, nagu Transpordiameti nõuetes välja toodud IFC ja LandXML, mis tagavad andmete koostalitlusvõime ja ligipääsetavuse CDE-s, soodustades erinevate süsteemide vahelist sujuvat infovahetust. [33] [34]

Teostusmudeli sisu saab seostada EVS-EN ISO 19650-4:2022 standardile, mis keskendub infovahetusele, sealhulgas mudelite ja dokumentide esitamise nõuetele, toetades Transpordiameti nõuet, et teostusmudelid tuleb esitada enne tehnilist komisjoni, tagades kogu olulise info ajakohasuse ja kättesaadavuse. [36]

Teostusmudeli andmete mõõdistus ja tolerantsid on EVS-EN ISO 19650-1:2018 ja EVS-EN ISO 19650-2:2018 standardites käsitletud kui andmete kvaliteedi ja täpsuse juhtimist, kaasa arvatud tolerantside ja mõõdistusandmete kontrolli, mis on oluline projekti nõuete ja mudelite vahelise vastavuse tagamiseks. [33] [34]

4.1.3 Nõuded dokumentatsiooni ja jooniste haldamisele

1. Dokumentatsioon tuleb struktureerida vastavalt teostusmudelite nimekirjale.
2. Ehitusdokumentatsiooni kaustade ülesehitus.
3. Dokumentatsiooni haldus ja mudelite vaatlemine peab toimuma Töövõtja valitud keskkonnades, mis täidavad tellija teostusdokumentatsiooni halduse nõudeid. Lisaks toimub teostusmudelite, mõõdistustulemuste ja nende võrdlemine projektumudelitega tellija poolt infosüsteemis TEET.
4. Töövõtja valitud dokumentatsioonihalduse keskkond peab võimaldama jooniste haldamist, ehitustööde päeviku kaetud tööde akti süsteemis täitmist ja digitaalselt allkirjastamist. Samuti peab võimaldama lisada mõõteprotokolle, proovivõtu akte ja teostusjooniseid ning muid PDF faile ja viimastele märkmeid. Süsteem peab võimaldama kogu ehitusega seonduva kommunikatsiooni haldamist ühes kohas, nt ülevaade protsessi kulgemisest, vaegtööd,

probleemid, küsimused, garantiitööd jne. Süsteem peab saatma teate projekti meeskonna liikmetele, kui süsteemi lisatakse uued dokumendid või projekti meeskonnal tekib ülesanne dokumente kooskõlastada või allkirjastada.

5. Täitedokumentatsioon antakse üle digitaalsena.
6. Kõik päevikud ja kaetud tööde aktid koos lisadega ning kõik mõõteprotokollid kinnitatakse digitaalselt.
7. Lisaks peab Töövõtja võimaldama laadida Inseneri päeva raportid, ajutise liikluskorralduse kontrolli raportid ja labori katse tulemuste koondtabeli.
8. Dokumentatsioonihalduse keskkond peab toimima ilma täiendavate programmide laadimiseta arvutitesse ning ei tohi olla mahupiiranguid tellijale ning inseneri meeskonna liikmetele.

Dokumentatsiooni ja jooniste nõuded CDE ja EVS-EN ISO 19650 vaatest:

Ehitusdokumentatsiooni kaustade ülesehitus ja haldus on EVS-EN ISO 19650-1:2018 ja EVS-EN ISO 19650-2:2018 standardiga rõhutatud, et dokumentide ja mudelite struktureeritud ja süstemaatiline haldamine CDE keskkonnas, kus iga projekti etapp ja dokumentatsioon on selgelt määratletud ja kättesaadav kõigile projektis osalevatele pooltele. [33] [34]

Dokumentatsiooni ja mudelite haldus ning vaatlemine vastavalt EVS-EN ISO 19650-4:2022 standardile keskendub andmevahetuse protsessidele ja dokumentide vaatlemisele, soovitades kasutada platvorme, mis toetavad koostalitlusvõimet ja võimaldavad andmete sujuvat jagamist ning kvaliteetseid võrdlusi teostus- ja projektimudelite vahel. [36]

Dokumentatsioonihalduse keskkond ja funktsionaalsus on sätestatud EVS-EN ISO 19650-1:2018 ja EVS-EN ISO 19650-5:2020 standardites, mis käsitlevad turvalist ligipääsu ja haldust, rõhutades vajadust süsteemi järgi, mis toetab dokumentide digitaalset kommunikatsiooni ja teabevahetust ilma andmemahu piiranguteta, mis on kooskõlas Transpordiameti nõuetega. [33] [37]

Täitedokumentatsiooni digitaalne üleandmine vastavalt EVS-EN ISO 19650-3:2020 standardile toetab projektijärgse faasi dokumentide digitaalset haldamist, rõhutades vajadust digitaalse üleandmise järele, mis tagab teabe säilimise ja kättesaadavuse hoolduse ja halduse faasis. [35]

Dokumentide digitaalne kinnitamine standardite EVS-EN ISO 19650-1:2018 ja EVS-EN ISO 19650-2:2018 kohaselt, soovitatakse digitaalsete tööriistade kasutamist dokumentide kooskõlastamiseks ja kinnitamiseks, et tagada andmete autentsus ja integreeritus kogu projekti elutsükli vältel. [33] [34]

Täiendavate raportite laadimise võimekus vastavalt EVS-EN ISO 19650-3:2020 ja EVS-EN ISO 19650-4:2022 standardile, soovitavad süsteeme, mis toetavad erinevate raportite ja kontrollide

tulemuste lisamist projekti halduse süsteemi, et tagada kogu projekti info ajakohasus ja terviklikkus. [35] [36]

4.1.4 Nõuded projektmudelite kontrollimisele:

1. Töövõtja kohustus on enne konkreetse ehitustöö etapi algust kontrollida kõik projekti mahus saadud projektmudelid.
2. Töövõtja peab korrigeerima vigased mudelid ja koostama puuduolevad mudelid mahus, mis võimaldab tööde digitaalset tööde kontrolli ja vastuvõtmist.
3. Projektmudeli kontrollimine ja dokumenteerimine:
 - a. kontrollimisega tagatakse ehitustööde aluseks oleva projektmudeli kvaliteet ja kasutatavus;
 - b. lähteandmete põhjal koostatud töömudelit kontrollitakse enne mudeli kasutuselevõttu.

Kontrollimise põhitegevused:

1. tutvutakse projektmudeli kaaskirjaga ja vaadatakse üle märgitud kõrvalekalded;
2. kontrollitakse projektmudelite ning objektile kasutatava koordinaat- ja kõrgussüsteemi ühtivust;
3. kontrollitakse 2D asendiplaani ja 3D mudelite kokkulangevust, sh telgede vastavust;
4. kontrollitakse, kas kõik vajalikud tarindi osad on modelleeritud;
5. kontrollitakse mudeli murdejoonte katkematus;
6. dokumenteeritakse projektmudeli olulised vead ja muudatused.

Projektmudelite kontrollimise nõuded CDE ja EVS-EN ISO 19650 vaatest:

Projektmudelite kontroll enne ehitusetappi, kus EVS-EN ISO 19650-2:2018 standard rõhutab vajadust projekti informatsiooni kontrollimiseks enne selle kasutamist. See standard toetab ideed, et projektmudelite usaldusväärsuse kontrollimine on kriitiline samm enne ehitustegevuse alustamist. [34]

Projektmudeli kontrollimise ja dokumenteerimise tähtsus on EVS-EN ISO 19650-4:2022 standardis välja toodud kvaliteedi tagamisel. Samuti käsitletakse mudelite kontrollimist enne kasutuselevõttu, et tagada nende kvaliteet ja kasutatavus. [36]

EVS-EN ISO 19650-2:2018 ja EVS-EN ISO 19650-3:2020 standardid käsitlevad mudelite ja andmete täpsuse kontrollimise protsesse, sh kõrvalekallete, koordinaatsüsteemide ja mudelite elementide ühtivuse kontrolli. Need standardid soovitavad põhjalikku ülevaatus ja

dokumenteerimist, et tagada kõigi projekti osade nõuetekohane toimimine ja vastavus. [34]
[35]

4.1.5 Nõuded masinatega ehitamisele

1. Masinjuhtimist kasutavate töömasinate ja tugijaamade kontrollmõõtmisi tehakse tahhümeetri või GNSS-seadme abil. Kontrolli tulemused dokumenteeritakse. Kui kontrollmõõtmisel saadud tulemus ületab juhendites märgitud masinjuhtimissüsteemi täpsusnõude, tuleb juhtimissüsteem kalibreerida.
2. Tugijaama täpsust tuleb kontrollida iga tööpäeva alguses reeperil, et tagada õigete andmete edastamine.
3. Töömasinate 3D-juhtimissüsteemide kontrollimisel veendutakse, et masina tera positsioneerimistäpsus objekti koordinaatsüsteemis ei ületa lepingus ega juhendites märgitud nõudeid.
4. Lisaks kontrollitakse töö käigus tahhümeetri või GNSS-seadme abil pisteliselt valmis tarindi osa.
5. Kontrollimisel dokumenteeritakse järgmised andmed: töömasin, aeg, koordinaatide x, y ja z kõrvalekalded ning kontrollmõõtmise meetod, täpsusandmed ja kontrollija.
6. Kontrolli viib läbi objekti mõõtmistööde eest vastutav isik või masinjuhtimissüsteemi tugisik koos töömasina juhiga. Tööjuhid peavad jälgima kontrolli tulemusi või olema nendega kursis.

Masinatega ehitamise nõuded CDE ja EVS-EN ISO 19650 vaatest:

Kuigi EVS-EN ISO 19650 standardid otseselt ei käsitle masinjuhtimissüsteemide kontrolli, on selle standardid tihedalt seotud andmete kvaliteedi ja usaldusväärsusega, mis on masinjuhtimise kontekstis üliolulised. EVS-EN ISO 19650-1:2018 ja EVS-EN ISO 19650-2:2018 rõhutavad, kuidas andmeid tuleb hoida CDE-s, tagades nende ajakohasuse, täpsuse ja koostalitlusvõime. Need nõuded masinate kalibreerimisele ja kontrollmõõtmistele tagavad, et andmed, mida masinjuhtimissüsteemid kasutavad, on täpsed ja usaldusväärsed. [33] [34] ISO 19650-2:2018 rõhutab, kuidas projekti infohaldus peaks tagama andmete õigsuse kogu ehitusprotsessi vältel, mis toetab masinjuhtimissüsteemide regulaarseid kontrollmõõtmisi. [34]

Ehkki EVS-EN ISO 19650 standardid ei käsitle otseselt masinatega ehitamise tehnilisi aspekte, pakub see raamistikku, kuidas andmeid tuleks hallata ja säilitada, et need oleksid masinjuhtimissüsteemide jaoks sobilikud. Eesti Transpordiameti nõuded, mis keskenduvad masinate ja tugijaamade täpsuse kontrollile ja dokumenteerimisele, toetavad EVS-EN ISO 19650 standardite põhimõtteid andmekvaliteedi ja projekti usaldusväärsuse osas.

Andmete täpsus, kontrollmõõtmised ja nende dokumenteerimine CDE-s on kriitilised sammud, et tagada ehitusprotsesside edukus ja tõhusus, mis on kooskõlas EVS-EN ISO 19650 standardite üldiste eesmärkidega ehitusprojektide infohalduses.

4.2 Töövõtja ettepanekud CDE rakendamise tõhustamiseks Riigitee 20 Põdruse – Kunda – Pada km 16,91-28,35 ehitusprotsessis

Transpordiameti poolt väljastatud BIM tehnilise kirjelduse kontroll- ja vastuvõtutoimingute loetelus on välja toodud BIM objekti puhul eritingimused, millest töövõtja lähtub, tehes objektile kontrolltoiminguid ja andes üle konstruktsioonikihte või elemente tellijale või temapoolsele insenerile. [41]

Seoses „Riigitee 20 Põdruse–Kunda–Pada km 16,91-28,35 Kunda–Pada teelõigu rekonstrueerimine BIM“ ehitustöödega soovis tellijapoolne insener teostada konstruktsioonikihtide vastuvõtutoiminguid vastavalt määrusele „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“. Põhjendades seda, et pilootprojekt ei anna õigusi rakendada konstruktsioonikihtide vastuvõtmiseks BIM eritingimusi.

BIM meetodite rakendamine tähendas töövõtja jaoks konstruktsiooni pidevat ülesmõõdistamist ning mõõdistuspunktide üleslaadimist ühtsesse andmeedastuskeskkonda, kus teostatud tööde mõõdistuspunktid vajasisid tellijapoolse inseneri kinnitust. Standardsete vastuvõtutoimingute rakendamine tähendas, aga töövõtja jaoks oluliselt lisatööd mõõteprotokollide näol, mistõttu tehti ettepanek piirduda ainult mudelitepõhise vastuvõtuprotsessiga ning vajadusel teha pistelisi kontrole looduses. Alates väljakaeve aluspinnasest kuni ehitatavate konstruktsioonideni teostati pidevalt ristlõike mitmest punktist geodeetilised mõõdistused, mis võimaldavad mudeli baasil ühtses andmeedastuskeskkonnas kontrollida rajatava kihi paksust, laiust, kaldeid ja kas kihi kõrgus vastab projekteeritud kõrgusele.

Lisaks näeb töövõtja võimalust kandevõime mõõtmisele, kus andmed oleksid otse integreeritud Infrakit keskkonnaga. Selle integreerimine võimaldab andmete vahetut ülekandmist ja töötlemist, mis toetab efektiivset andmehaldust ja optimeerib tööprotsesse. Samuti on võimalik integreerida Bauhubi ja Infrakiti keskkonnad, mis võimaldab Infrakitis sisalduvat andmete abil automaatselt koostada Bauhubis mõõteprotokolle. See samm lihtsustab dokumentatsiooni protsesse, vähendab vigade riski ja suurendab projekti üldist läbipaistvust, kuna kogu vajalik teave on kättesaadav reaalsajas ja keskselt hallatavas süsteemis.

5. ETTEPANEKUD CDE JA EVS-EN ISO 19650 PÕHISTE NÕUETE RAKENDAMISEKS TEEDEEHITUSES

Viies peatükk keskendub CDE (Common Data Environment) ja EVS-EN ISO 19650 standardite põhiste nõuete rakendamise ettepanekutele teedeehitusprojektides. Nendel standarditel on oluline roll teedeehitusprojektide edukuses, kuna need suunavad projekti andmehaldust ja aitavad tagada informatsiooni järjepidevust ning turvalisust kogu projekti elutsükli vältel.

CDE ja EVS-EN ISO 19650 standardite rakendamine toetab paremat koostööd projektimeeskondade vahel ja parandab projekti andmehaldust, optimeerides seeläbi projekti tegevusi ja suurendades projekti tulemuslikkust. See peatükk pakub konkreetseid ettepanekuid, kuidas integreerida nimetatud standardid teedeehitusprojektidesse, arvestades projekti spetsiifilisi vajadusi ja väljakutseid.

Lõputöö autor analüüsib, kuidas rakendada tõhusaid andmehaldusstrateegiaid, mis võimaldavad sujuvat koostööd ja teabe liikumist projekti meeskonnaliikmete vahel, pakkudes samas strateegiaid riskide maandamiseks ja turvalisuse tagamiseks. Peatükis käsitletakse ka koolituste ja organisatsioonilise valmisoleku hindamise tähtsust, et tagada kõigi osapoolte ühtne arusaam ja oskused CDE ja EVS-EN ISO 19650 nõuete rakendamiseks.

5.1 Personalijuhtimine

EVS-EN ISO 19650-1 rõhutab organisatsioonide vajadust määratleda rollid ja vastutused selgelt, et toetada tõhusat infohaldust läbi CDE süsteemide. Selleks on vaja hinnata organisatsiooni valmisolekut vastavate protsesside ja süsteemide rakendamiseks, tagades, et kõik töötajad on teadlikud oma ülesannetest ja kuidas need mõjutavad üldist projektijuhtimist ja andmekvaliteeti. [33]

Lõputöö autor leiab, et enne CDE ja EN ISO 19650 standardite rakendamist teedeehitusprojektides, on hädavajalik hinnata personali valmisolekut ehitusettevõtetes ja Transpordiametis. Valmisoleku hindamine aitab määratleda, millised ressursid, süsteemid ja protsessid on juba olemas ning milliseid tuleb veel arendada või parendada. Hindamisprotsess peaks hõlmama järgmisi samme:

- tehnilise võimekuse ülevaatus - kontrollitakse olemasolevat IT-struktuuri, et määrata, kas see suudab toetada CDE ja BIM tööriistu; see hõlmab riistvara, tarkvara ja võrguühenduste võimekust;
- oskuste ja teadmiste analüüs - töötajate praeguste oskuste ja kogemuste kaardistamine seoses BIM ja andmehaldusega; samuti tuleks tuvastada vajalikud koolitusvajadused;

- protsesside ja protseduuride läbivaatus - olemasolevate tööprotsesside ja protseduuride hindamine, et tagada nende ühilduvus EVS-EN ISO 19650 standardite nõuetega.

EVS-ISO 19650 ja CDE rakendamiseks vajalike oskuste arendamiseks on oluline luua koolitusprogramme. Koolitus peaks olema suunatud nii projektimeeskondadele, kes tegelevad projektide üldise juhtimisega kui ka tehnilistele töötajatele, kes rakendavad otseselt BIM protsesse. Koolitusprogrammid peaksid sisaldama järgmisi elemente:

- sissejuhatus BIM ja CDE põhimõttesse - alustuseks tuleb pakkuda üldist ülevaadet BIM-i ja CDE kontseptsioonidest, nende olulisusest ja kasust teedehitusprojektides;
- EVS-EN ISO 19650 standardite õpe - detailne õpe standardite nõuete, eesmärkide ja rakendusjuhiste kohta, mis aitab tagada nende korrektset rakendamist igapäevastes operatsioonides;
- praktiline koolitus - praktiliste sessioonide ja töötubade läbiviimine.

Tehnoloogia ja standardite pideva arengu tõttu peavad organisatsioonid pühenduma ka pidevale õppele ja uuendustele. See tähendab koolitustegevuste korraldamist, osalemist seminaridel ja tööstuskonverentsidel ning uusimate BIM-tarkvarade ja tööriistade uuendamist. Lisaks peaks personal julgustama töötajaid osalema erialastes ettevõtmistes, mis keskenduvad BIM-i ja digitaalehituse arengutele. Organisatsiooniline valmisolek ja koolitus on kriitilise tähtsusega sammud, mis tagavad CDE ja EVS-EN ISO 19650 standardite eduka rakendamise teedehitusprojektides. Nende aspektide süstemaatiline käsitlemine aitab kaasa projektide sujuvamale kulgemisele, suurendab efektiivsust ja parandab lõpptulemusi.

5.2 Tehnoloogilised lahendused

Edukas teedehitusprojekt nõuab kaasaegseid tehnoloogilisi lahendusi, mis toetavad BIM-protsesside ja EVS-EN ISO 19650 standardite rakendamist. Valides sobivaid tehnoloogiaid, tuleb arvestada nende ühilduvust juba kasutusel olevate süsteemidega, võimalust integreerida uusi lahendusi ja kättesaadavust kõikidele projekti osapooltele. Tähtis on valida platvormid, mis võimaldavad andmete sujuvat vahetamist ja tõhusat koostööd, toetades samas EVS-EN ISO 19650 standardi nõuetele vastavat andmehaldust. Üks peamisi väljakutseid CDE efektiivses rakendamises on erinevate tarkvarasüsteemide ja tööriistade integreerimine, et tagada andmete ühilduvus. EVS-EN ISO 19650-4 rõhutab vajadust valida tehnoloogilisi lahendusi, mis toetavad avatud andmevahetusformaate, nagu IFC (Industry Foundation Classes), kasutamist. See soodustab andmete vahetamist erinevate tarkvarade ja süsteemide vahel ilma informatsiooni kadudeta. [36]

Valides tehnoloogilist platvormi, tuleb kaaluda mitmeid tegureid:

- platvorm peab olema piisavalt paindlik, et kohaneda projekti suuruse ja keerukusega, samuti kasvavate nõudmistega;
- oluline on valida lahendused, mis suudavad koos töötada erinevate ehitusprojektis kasutatavate tarkvaradega, tagades andmete vahetuse eri formaatides;
- turvalisus - turvalisuse tagamine on kriitiline, kuna projektides käsitletakse tundlikku ja konfidentsiaalset teavet; platvorm peab pakkuma tugevaid turvameetmeid andmete kaitsmiseks;
- koolitus - kättesaadavad koolitusmaterjalid on vajalikud edukaks rakendamiseks.

Infrakit on näide platvormist, mis on spetsiaalselt loodud teedehitusprojektide jaoks, pakkudes tugevat tuge BIM protsessidele. See platvorm võimaldab reaajas jälgida ehitustegevust, integreerides erinevaid andmetüpe ühte keskkonda. Infrakit toetab EVS-EN ISO 19650 standarditele vastavaid andmehalduse nõudeid, võimaldades andmete hallatavust, kvaliteedikontrolli ja dokumentide versioonihaldust.

Lisaks pakub Infrakit järgmisi eeliseid:

- reaajas andmete sünkroniseerimine - võimaldab projektimeeskondadel pääseda juurde ajakohasele teabele, lihtsustades otsuste tegemist ja vähendades vigade riski;
- pilvepõhine lahendus - tagab juurdepääsu projekti dokumentidele ja -andmetele igal ajal ja igal pool, mis on eriti oluline mahukate projektide puhul;
- liideste mitmekülgsus - toetab erinevate andmeformaate importi ja eksporti, suurendades seeläbi tööriistade ja protsesside ühilduvust.

Tehnoloogiliste lahenduste valimisel ja rakendamisel tuleb pidevalt jälgida ja hinnata nende mõju projekti edenemisele ja tulemustele. See hõlmab regulaarset tagasisidet kasutajatelt, tehnoloogia jõudluse analüüsi ja vajadusel kiireid muudatusi. Tehnoloogiliste uuenduste pidev hindamine aitab tagada, et kasutatavad tööriistad ja platvormid püsivad ajakohased ning vastavad projekti vajadustele ja tööstuse standarditele. Valides õiged tööriistad ja platvormid ning tagades nende tõhusa rakendamise ja haldamise, on võimalik märkimisväärselt tõsta projekti efektiivsust ja kvaliteeti.

5.3 Andmehaldus

Edukas andmehaldus teedehitusprojektides algab andmete nõuetekohase struktureerimisega, mis põhineb rahvusvahelistel standarditel nagu EVS-EN ISO 19650. Struktureerimine tagab, et kõik projekti andmed on korrektselt kategoriseeritud, märgistatud ja salvestatud, võimaldades nii hõlpsamat juurdepääsu ja paremat ühilduvust erinevate süsteemide vahel. EVS-EN ISO 19650 soovib luua ühtse andmemudeli, mis kajastab kõiki projektis kasutatavaid

informatsiooni elemente. See hõlmab teabe struktureerimist viisil, mis toetab projekti elutsükli erinevaid faase alates projekteerimisest kuni korrashoiuni. [33] [34]

EVS-EN ISO 19650-4 rõhutab andmekvaliteedi tähtsust, pakkudes juhiseid, kuidas tagada andmete täpsus, täielikkus ja usaldusväärsus. See hõlmab andmete valideerimise protsesse, mis kontrollivad andmete vastavust ette määratud standarditele ja nõuetele. Samuti on oluline regulaarne andmete audit, mis aitab tuvastada ja parandada võimalikke vigu või puudujääke andmestruktuurides. Tõhus andmekvaliteedi juhtimine aitab vähendada vigu ja parandada projekti tulemusi. [36]

Turvalisus ja privaatsus on andmehalduse kriitilised aspektid, eriti arvestades teedeehitusprojektide olemust ja nendega seotud riskide haldamist. ISO 19650 seeria standardid pakuvad juhiseid, kuidas tagada andmete turvalisus ja privaatsus läbi kogu projekti elutsükli. Juurdepääsu kontroll ehk kehtestada ranged juurdepääsupiirangud, tagamaks, et ainult volitatud isikud saavad infole ligi. Kasutada tuleks tugevat autentimist ja autoriseerimist. [37]

Andmete jagamine ja koostöö on teedeehitusprojektides kesksel kohal, kuna need hõlbustavad eri osapoolte vahelist suhtlust ja koordineerimist. EVS-EN ISO 19650 soovib järgida struktureeritud lähenemist andmevahetusele, kasutades ühist andmeedastuskeskkonda (CDE) ja kindlaid andmevahetusprotokolle ja dokumente.

Olulised sammud töövõtjale ja Transpordiametile:

- protokollid ja dokumendid - rakendada *Building Information Modeling* (BIM) protokolle ja dokumente, mis soodustavad tõhusat andmevahetust ja projektijuhtimist ning on kooskõlas EVS-EN ISO 19650 standarditega, tagades andmete järjepidevuse ja usaldusväärsuse;
- versioonihaldus - kasutada versioonihaldussüsteeme, et jälgida andmete muudatusi ja ajalugu; see võimaldab vältida andmekadusid ja erisusi, tagades, et kõik projektiga seotud osapooled töötavad uuemate andmetega.

5.4 Projektijuhtimine

EVS-EN ISO 19650 standardid rõhutavad projekti infohalduse korraldamise olulisust. Selleks, et CDE efektiivselt toimiks, on vaja selgelt määratleda projektijuhtimise rollid ja vastutus. Ettepanek on luua spetsiifilised rollid nagu CDE koordinaator, kes koordineerib andmete vahetust ja haldust, tagades, et kõik projekti osapooled järgivad kokkulepitud protsesse ja standardeid. [33]

EVS-EN ISO 19650-2 kirjeldab andmevahetuse protsesse, mis tuleb CDE-s rakendada. Standard soovib kasutusele võtta automatiseeritud tööriistad, mis lihtsustavad dokumentide ülevaatamist, heakskiitmist ja arhiveerimist, vähendades inimlikke vigu ja suurendades projekti

tegevuste läbipaistvust. Samuti peaks igal projektil olema kindel protseduur muudatuste dokumenteerimiseks ja kommunikeerimiseks, mis aitab vältida hilisemaid arusaamatusi ja viivitusi. [34]

Integreerida CDE süsteemid reaalajas jälgimise ja aruandluse tööriistadega, mis võimaldavad projektijuhtidel ja meeskonnaliikmetel saada kiiret ülevaadet projektide olekust. See aitab operatiivselt reageerida võimalikele probleemidele ja teha informeeritud otsuseid. EVS-EN ISO 19650-3 toetab sellise lähenemise kasutamist, rõhutades andmete ajakohasuse ja kättesaadavuse tähtsust projekti kõigis faasides. [35]

KOKKUVÕTE

Magistritöö "Ühtse andmeedastuskeskkonna (CDE) kasutamise eelised teedehitusprojekti näitel" keskendub ühtse andmeedastuskeskkonna rakendamisele teedehituses, pakkudes põhjalikku analüüsi selle mõjust projekti andmehaldusele ja projektijuhtimisele. Ühtsed andmeedastuskeskkonnad on digitaalsed platvormid, mis võimaldavad projektimeeskondadel hallata ja jagada projektiga seotud informatsiooni keskselt ja struktureeritult. Uurimus toob välja, kuidas CDE keskkonna kasutuselevõtt teedehitusprojektides võib vähendada vigu, optimeerida ressursside kasutust ning parandada projekti üldist koordineerimist ja teostuse kvaliteeti.

Töö tõi esile, et CDE rakendamine aitab oluliselt kaasa projektide edukale elluviimisele, pakkudes reaalsajas juurdepääsu ajakohasele teabele ja parandades koostööd kõikide osaliste vahel. Platvormide, nagu Autodesk Construction Cloud ja Infrakit, kasutamine võimaldab integreerida erinevaid tööriistu ja andmeallikaid, mis omakorda parandab tööprotsesside läbipaistvust ja optimeerib ressursikasutust.

Töö järeldused viitavad sellele, et edaspidi peaksid ehitusettevõtted ja projektijuhid veelgi enam keskenduma CDE keskkondade integreerimisele oma tööprotsessidesse, et maksimeerida digitaalsete tööriistade pakutavaid eeliseid. Magistritöö toob välja ka mitmed soovitusel ja parimad praktikad, mis aitavad ettevõtetel antud keskkonda edukalt rakendada, sealhulgas strateegilised lähenemised andmehaldusele, personali koolitamine ja tehnoloogiliste lahenduste integreerimine.

CDE rakendamise näol pole tegemist mitte ainult tehnilise väljakutsega, vaid nõuab ka tugevat juhtimist, et suunata organisatsioonilisi muutusi ja arendada vajalikke oskusi. CDE on võimas tööriist teedehitusprojektide juhtimise efektiivsuse tõstmiseks, kuid selle täielikuks kasutamiseks on vaja jätkuvat pühendumust innovatsioonile ja haridusele infrastruktuurisektoris.

Lõpetuseks järeldab magistritöö autor, et CDE keskkondade laialdasem rakendamine võib oluliselt parandada ehitusprojektide efektiivsust ja kvaliteeti, eriti suuremahulistes ja keerukates infrastruktuuriprojektides, kus nõuded täpsusele ja koordineerimisele on eriti kõrged.

SUMMARY

The master's thesis "Benefits of Utilizing a Unified Common Data Environment (CDE) in a Road Construction Project" focuses on the implementation of a unified common data environment in road construction, providing a thorough analysis of its impact on project data management. Unified common data environments are digital platforms that enable project teams to manage and share project-related information centrally and in a structured manner. The study highlights how the adoption of a CDE in road construction projects can reduce errors, optimize resource usage, and improve overall project coordination and execution quality.

The study revealed that implementing a CDE significantly contributes to the successful execution of projects by providing real-time access to up-to-date information and enhancing collaboration among all stakeholders. The use of platforms such as Autodesk Construction Cloud and Infrakit allows for the integration of various tools and data sources, thereby improving process transparency and optimizing resource use.

The study's conclusions suggest that construction companies and project managers should increasingly focus on integrating CDE environments into their workflows to maximize the benefits offered by digital tools. The thesis also outlines several recommendations and best practices to help companies successfully implement such environments, including strategic approaches to data management, personnel training, and the integration of technological solutions.

Implementing a CDE is not only a technical challenge but also requires strong leadership to drive organizational changes and develop necessary skills. A CDE is a powerful tool for enhancing the efficiency of road construction project management, but its full utilization requires continuous commitment to innovation and education within the infrastructure sector.

In conclusion, the thesis author asserts that broader implementation of CDE environments can significantly improve the efficiency and quality of construction projects, especially in large-scale and complex infrastructure projects where precision and coordination are crucial.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] A. Borrmann, „Building Information Modeling: Why? What? How?: Technology Foundations and Industry Practice,” 2018.
- [2] AutoDesk, „ISO 19650, the Common Data Environment, and Autodesk Construction Cloud”.
- [3] J. Syrjälä, „Assessing the impact of digitalization on the infrastructure construction industry’s sustainable development,” School of technology and innovation management, Vaasa, 2022.
- [4] S. Azhar, „Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry,” American Society of Civil Engineers, 2011.
- [5] T. B. Gerald Goger, „Digitalization in infrastructure construction – Developments in construction operations,” 2020.
- [6] J. S. Brennen, „Digitalization,” 2016.
- [7] J. Zhang, „Application of Wireless Communication Technology in Construction Project Information Management,” 2021.
- [8] N. K. Ahmed El-Mowafy, „Integrity monitoring for Positioning of intelligent transport systems using integrated RTK-GNSS, IMU and vehicle odometer,” The Institution of Engineering and Technology, 2018.
- [9] J. Krantz, „Mitigating Carbon Emissions during the Planning and Execution of Transport Infrastructure Projects,” Lule University of Technology, 2019.
- [10] S. A. Bello, „Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges,” University of West of the England (UWE), 2021.
- [11] R. Simona, „SOCIAL AND ENVIRONMENTAL ISSUES IN 2019 ELECTION CAMPAIGN FOR THE EUROPEAN PARLIAMENT,” Eighth Edition of International Conference of Humanities and Social Sciences, 2019.
- [12] J. Mallela, „Building Information Modeling (BIM) Practices in Highway Infrastructure: FHWA Global Benchmarking Program Report,” WSP USA, New York, 2020.
- [13] D. Šimenić, „Building Information Modelling (BIM) for road infrastructure: TEM requirements and recommendations,” United Nations Economic Commission for Europe, Geneva 10, Switzerland, 2021.
- [14] G. Ramaj, „Fully integrated BIM at maturity level 3 in the Road Project "E39 Kristiansand West - Mandal East",” Norwegian University of Science and Technology, 2020.

- [15] F. Guo, „Electronic Document Management Systems for the Transportation Construction Industry,” 2019.
- [16] R. K. Soman, „Codification Challenges for Data Science in Construction,” *Journal of Construction Engineering and Management*, 2020.
- [17] A. K. Mohammed Al Qady, „Document Discourse for Managing Construction Project Documents,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2012.
- [18] Z. A. Adamu, „SOCIAL BIM: CO-CREATION WITH SHARED SITUATIONAL,” *Journal of Information Technology in Construction*, 2015.
- [19] M. Das, „A blockchain-based integrated document management framework for construction applications,” *The Hong Kong University of Science and Technology*, 2022.
- [20] S. Kurwi, „Collaboration through Integrated BIM and GIS for the Design Process in Rail Projects: Formalising the Requirements,” *School of Architecture, Building and Civil Engineering, Loughborough University*, 2021.
- [21] C. Eastman, „BIM Handbook - Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors,” *John Wiley & Sons, Inc.*, 2008.
- [22] S. Esser, „Graph-based version control for asynchronous BIM collaboration,” *School of Engineering and Design, Technical University of Munich, Germany*, 2022.
- [23] J. Patacas, „BIM for facilities management: A framework and a common data environment using open standards,” *Teesside University, UK, Northumbria University Newcastle, UK*, 2020.
- [24] M. S. Kiu, „Blockchain integration into electronic document management (EDM) system in construction common data environment,” 2022.
- [25] A. O. Akponeware, „Clash Detection or Clash Avoidance? An Investigation into Coordination Problems in 3D BIM,” *School of Civil and Building Engineering, Loughborough University*, 2017.
- [26] K. Jaskula, „Common data environments in construction: state-of-the-art and challenges for practical implementation,” *Emerald Publishing Limited*, 2024.
- [27] R. Teataja, „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded,” *Majandus- ja taristuminister*, 2015.
- [28] R. Teataja, „Riigiteataja, Ehitamise dokumenteerimisele, ehitusdokumentide säilitamisele ja üleandmisele esitatavad nõuded ning hooldusjuhendile, selle hoidmisele ja üleandmisele esitatavad nõuded,” *Majandus- ja taristuminister*, 2020.
- [29] *Transpordiamet*, „Riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskiri,” *Transpordiamet*, 2021.
- [30] *Bauhub*, „Bauhubi blogi”.
- [31] *Bauhub*, „Bauhubi tugi”.
- [32] „EVS-EN ISO 19650,” *Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus*.

- [33] „EVS-EN ISO 19650-1:2018,” Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2018.
- [34] „EVS-EN ISO 19650-2:2018,” Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2018.
- [35] „EVS-EN ISO 19650-3:2020,” Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2020.
- [36] „EVS-EN ISO 19650-4:2022,” Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2022.
- [37] „EVS-EN ISO 19650-5:2020,” Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2020.
- [38] B. Lacourciere, „Autodesk, What is Autodesk Construction Cloud,” Autodesk University, 2020.
- [39] Autodesk, „Autodesk Construction Cloud”.
- [40] Infrakit, „Infrakiti blogi”.
- [41] Transpordiamet, „Riigitee 20 Põdruse–Kunda–Pada km 16,91-28,35 Kunda–Pada teelõigu rekonstrueerimine BIM alusdokumendid,” Riigihangete Register, 2023.
- [42] A. Oniščik, „Riigitee 20 Põdruse–Kunda–Pada km 16,91-28,35 Kunda–Pada teelõigu rekonstrueerimine BIM,” Riigihangete Register, 2022.
- [43] J. A. A. Y. Autodesk University, „Autodesk, ISO 19650, the Common Data Environment and Autodesk Construction Cloud,” 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/ISO19650-Common-Data-Environment-and-Autodesk-Construction-Cloud-2020#downloads>. [Kasutatud 01 05 2024].
- [44] L. geosystems, „Leica GS18 I GNSS RTK Rover with Visual Positioning”.
- [45] „RIAI BIM Pack 2: BIM Update with ISO 19650 Series,” Royal Institute of the Architects of Ireland, Dublin, 2022.
- [46] I. Oden, „Tulevik=BIM,” Roadplan, 2023.
- [47] M. Richards, „Building information management - A standard framework and guide to BS 1192,” The British Standards Institution, London, 2010.
- [48] Transpordiamet, „Transpordiamet Riigiteede teehoiukava,” Transpordiamet, 2023.
- [49] S. F. Trust, „Implementation of a Common Data Environment,” AECOM Infrastructure & Environment UK Limited, Edinburgh, 2018.