



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**TEHNOSÜSTEEMIDE PAIGALDUSPROBLEEMIDE
VÄLTIMINE KVALITEEDIJUHTIMISE JA
EHITATAVUSE ANALÜÜSI ABIL**

**USING QUALITY MANAGEMENT AND
CONSTRUCTABILITY ANALYSIS TO AVOID BUILDING
SERVICE SYSTEMS INSTALLATION PROBLEMS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Heli Tammemägi

Üliõpilaskood: 177527EAKI

Juhendaja: Ergo Pikas

Tallinn 2022

(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.

“16” mai 2022

Autor: Heli Tammemägi

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“16” mai 2022

Juhendaja: Ergo Pikas

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Heli Tammemägi (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 18.03.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vältimine kvaliteedijuhtimise ja ehitatavuse analüüsi abil“,

mille juhendaja on Ergo Pikas,

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.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Heli Tammemägi, 177527

Õppekava, peeriala: EAKI02/17, Hoonete sisekliima ja veetehnika, Hoone tehnosüsteemid ja energiatõhusus

Juhendaja: Professor, Ergo Pikas, +372 56455953 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vältimine kvaliteedijuhtimise ja ehitatavuse analüüsi abil*

(inglise keeles) *Using quality management and constructability analysis to avoid building service systems installation problems*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. kaardistada, millised on enamlevinud ja korduvad tehnosüsteemide probleemid Eesti ehitusprojektides ja ehitusplatsidel ning, mis on nende peamised põhjused;
2. uurida, millised on Eestis teadmised ehitatavuse analüüsist ning milliseid ehitatavuse praktikaid kasutatakse tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vältimiseks;
3. kvaliteedijuhtimise ja ehitatavuse analüüsi abil pakkuda välja meetodeid, kuidas ehitusobjektidel vähendada tehnosüsteemide paigaldusprobleeme.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaate koostamine.	07.03.2022
2.	Lõputööde ülevaatusle registreerimine.	04.04.2022
3.	Lõputöö ülevaatus 75%.	10.04.2022
4.	Kaitsmistaotluse esitamine.	9.05.2022
5.	Lõputöö esitamine.	16.05.2022
6.	Lõputöö kaitsmine.	30.05.2022

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "16" mai 2022 a

Üliõpilane: Heli Tammemägi ".....".....202....a
/allkiri/

Juhendaja: Ergo Pikas ".....".....202...a
/alkiri/

Konsultant: ".....".....202...a
/alkiri/

Programmijuht: Martin Thalfeldt ".....".....202...a
/alkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	8
Lühendite ja tähiste loetelu	9
SISSEJUHATUS	10
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	13
1.1 Tehnosüsteemide probleemid ehituses	13
1.1.1 Üldised hoonete tehnosüsteemide probleemid	13
1.1.2 Hoonete tehnosüsteemide paigaldusprobleemid	15
1.2 Kvaliteet ja kvaliteedijuhtimine ehituses	17
1.2.1 Terviklik kvaliteedijuhtimine ehk total quality management, TQM	18
1.2.2 Lean kvaliteedijuhtimine.....	21
1.2.3 Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon (ISO).....	24
1.3 Ehitatavuse analüüs	26
1.3.1 Ehitusinformatsiooni mudel (BIM)	29
1.3.2 Optimeerimine, lihtsustamine ja standardiseerimine.....	30
1.3.3 Moodulsüsteemide kasutamine	31
1.4 Lühikokkuvõte	32
2. METOODIKA	34
2.1 Intervjuude kirjeldus	34
2.2 Juhtumiuuringute kirjeldus.....	37
2.3 Ehitatavuse praktikate leidmise kirjeldus	39
3. TEHNOSÜSTEEMIDE PAIGALDUSPROBLEEMID, PÕHJUSED JA PRAKTIKAD	41
3.1 Kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemid.....	41
3.1.1 Projekteerijate ja projekteerimise projektijuhtide intervjuude tulemused ..	41
3.1.2 Ehitusprojektide infomudelites esinenud vead ja probleemid	43
3.1.3 Ehituse projektijuhtide/kvaliteedijuhtide intervjuude tulemused	47
3.1.4 Ehitusobjektidel esinenud tehnosüsteemide paigaldusprobleemid.....	49
3.2 Kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemide põhjused ..	54
3.2.1 Projekteerijate ja projekteerimise projektijuhtide intervjuude tulemused ..	54
3.2.2 Ehituse projektijuhtide/kvaliteedijuhtide intervjuude tulemused	56
3.3 Tänapäevased kvaliteedi ja ehitatavuse tagamise praktikad	58
3.3.1 Projekteerijate ja projekteerimise projektijuhtide intervjuude tulemused ..	58
3.3.2 Ehituse projektijuhtide/kvaliteedijuhtide intervjuude tulemused	61
3.4 Kirjanduse ülevaate, intervjuude ja juhtumiuuringute tulemuste võrdlus	65
4. KVALITEEDIJUHTIMISE JA EHITATAVUSE ANALÜÜSI ABIL KVJ PAIGALDUSPROBLEEMIDE VÄLTIMINE.....	67
4.1 Kvaliteedijuhtimise põhimõtted ehitatavuse praktikate kasutuselevõtuks	67
4.1.1 Hinnang soovituslike põhimõtete kohta.....	71

4.2 Soovituslikud praktikad projekteerimise etapis	71
4.2.1 Hinnang soovituslike praktikate kohta projekteerimise etapis	73
4.3 Soovituslikud praktikad ehitamise etapis.....	75
4.3.1 Hinnang soovituslike praktikate kohta ehitamise etapis	79
KOKKUVÕTE	82
SUMMARY.....	84
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	86
LISA 1. Intervjuude eelne internetiküsitlus intervjuueeritavate tutvustamiseks	90
LISA 2. Intervjuuküsimused projekteerijatele ja projekteerimise projektijuhtidele.....	91
LISA 3. Intervjuuküsimused ehituse projektijuhtidele ja kvaliteedijuhtidele	92

EESSÕNA

Ehitusobjektidel esineb mitmeid teadaolevaid tehnosüsteemide probleeme, kuid sellegipoolest on neid võrdlemisi vähe uuritud. See oli põhjuseks, miks taheti tehnosüsteemide paigaldusprobleeme analüüsida ja dokumenteerida ning uurida, kas on võimalik ehitusobjektidel nende esinemist vähendada. Kvaliteedijuhtimise ja ehitatavuse analüüsi abil paigaldusprobleemide vähendamise mõtte käis välja lõputöö juhendaja Ergo Pikas.

Töö autor tänab juhendajat Ergo Pikast töö valmimisele kaasa aitamise eest, Tulitec'i ja Telora't juhtumiuuringuteks ehitusprojektide ja -objektide andmete jagamise eest ning kõiki intervjueeritud insenere.

Lühendite ja tähiste loetelu

TQM – *total quality management*, terviklik kvaliteedijuhtimine

KVJ – küte, jahutus, ventilatsioon

BIM – *building information modeling*, ehitusinformatsiooni modelleerimine

Jne – ja nii edasi

Jms – ja muu sellise

VR – virtuaalreaalsus

cm – sentimeeter

nt – näiteks

sh – sealhulgas

nr – number

jrk - järjekorranumber

ATV - alltöövõtja

PTV – peatöövõtja

OJV – omanikujärelvalve

HVAC – heating, ventilation and air-conditioning (küte, ventilatsioon ja õhu konditsioneerimine)

i.e. – that is (see tähendab)

SISSEJUHATUS

Eksimuste ja probleemide esinemine on ehituses tavapärane. Ehitusprotsessid on tehniliselt ja organisatsiooniliselt väga keerulised, mistõttu on eksimused kergelt tulema. Ehitusprotsessides esinevatest probleemidest on arvestatav osa seotud kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemidega ning nende paigaldustöödega. Paigaldusprobleemide all mõeldakse ehitustööde teostamise keerukust ning üleüldisi paigaldusvigu.

Kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusvead on ehitusplatsil erineva raskusastmega ning nende vigade paremaks hindamiseks võib kasutada kolme kategooriat – kriitilised, rasked ja kerged vead. Kriitiliste vigade all mõeldakse kohtasid, mis on vaja süsteemi toimima hakkamise ja ehitusnõuetele vastavuse jaoks kindlasti korda teha. Raskete vigade all mõeldakse vigu, mis võibolla kohe süsteemide toimivust ei mõjuta, kuid nende mõju võib ilmned a pikema aja perioodi jooksul. Näiteks vead, mis mõjutavad süsteemide või seadmete energiasäästlikkust ja eluiga. Kergemate vigade all mõeldakse pigem visuaalseid vigu, mis aga ei mõjuta süsteemide toimivust ega eluiga kui neid ei parandata.

Tehnosüsteemide probleemide esinemine ehitusplatsidel võib mitmetel juhtudel viia selleni, et ehitustööd seisavad jõe ja/või valminud tööd tehakse ümber. Need mõlemad tagajärjed toovad ehituses kaasa olulisi lisakulusid, mis tähendab kaotatud raha. Raskemad juhtumid on need, kus ehituse käigus lahendamata tehnosüsteemide probleemid tulevad välja ehitise üleandmisel või kasutuselevõtul ning selle tagajärjel hoone kasutuselevõtu tähtaeg lükkub edasi. Üldjuhul kui suuremad vead tulevad välja alles hoone valmimise lõpus, kuid süsteemid mingil määral töötavad, siis konstruktiivseid parandusi enam väga ei tehta ja lepitakse olemasolevaga. Sellistel juhtudel on tulemuseks ehitis, mis ei täida oma eesmärki või täidab seda rahuldavalt.

Probleemid tehnosüsteemidega kipuvad tavaliselt erinevatel ehitusobjektidel korduma. Selleks, et korduvaid vigasid ja nende vigade tagajärgi vältida, on vaja need probleemid kaardistada, leida nende probleemide esinemise põhjused ning selle põhjal pakkuda välja erinevaid lahendusi. Paljude uuringute alusel on ehitusplatsil esinevate probleemide üheks allikaks vigadega või puudustega ehitusprojekt. Puudulik projekteerimine ja projekteerimise juhtimine põhjustab erinevate uuringute alusel 50-70% ehitusplatsil esinevatest probleemidest. Üks oluline probleemvaldkond on seotud projektlahenduste ehitatavusega. Ehitatavuse probleemide vältimiseks on välja töötatud ehitatavuse analüüsi meetod. Ehitatavuse analüüs on määratletud kui kvaliteedijuhtimise alamvaldkond ja metoodika, mida rakendatakse ehitise

projektlahenduste väljatöötamisel ehitamise tegevuse optimaalseks saavutamiseks ehituse töömaal.

Ehitatavuse analüüsiga pööratakse põhitähelepanu ehitusprojekti ja -protsesside põhjalikule analüüsimisele enne ehitustöödega alustamist. Analüüsi tulemusel antakse näiteks tehnosüsteemide projektile hinnang süsteemide toimivuse, lihtsuse ja paigaldatavuse kohta. Kui analüüsi käigus tuleb projektis välja vigasid, puuduseid või leitakse, et mingid lahendused pole kõige optimaalsemad, siis tehakse parandusi ja lihtsustusi. Vajadusel korratakse ehitatavuse analüüsi protsessi. Eesmärgiks on vigade ja puuduste parandamine ehitusprojekti ning võimalike ehitustakistuste lahendamine või lahenduste ette plaanimine enne ehitustöid.

Mitmed uuringud on näidanud, et ehitatavuse analüüsiga on võimalik ehituse kuludest kokku hoida 1-14% olenevalt sellest, millises mahus seda analüüsi rakendatakse. Eelpool mainitud võimalikud positiivsed tulemused on põhjuseks, miks käesolevas uurimistöös üritatakse leida kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemidele praktilisi lahendusi kvaliteedijuhtimise ja ehitatavuse analüüsi abil.

Käesoleva uurimistöo eesmärgiks on kaardistada enamlevinud ja korduvad kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemid ja nende põhjused ning pakkuda välja erinevaid praktikaid nende probleemide vähendamiseks. Uurimistöös leitakse vastuseid järgmisele kolmele küsimusele:

1. millised on enamlevinud ja korduvad tehnosüsteemide probleemid Eesti ehitusprojektides ja ehitusplatsidel ning, mis on nende peamised põhjused;
2. millised on Eestis teadmised ehitatavuse analüüsist ning milliseid ehitatavuse praktikaid kasutatakse tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vältimiseks;
3. milliseid meetodeid kasutades on võimalik vähendada ehitusobjektidel esinevaid tehnosüsteemide paigaldusprobleeme?

Uurimisküsimustele vastuste leidmiseks viiakse läbi intervjuusid projekterijate ja ehituse projektijuhtidega ning tehakse juhtumiuuringuid. Juhtumiuuringutes tuuakse näiteid reaalistest projekterimisvigadest ja paigaldusprobleemidest, mis on erinevates ehitusprojektides ja -objektidel esinenud. Tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vähendamiseks välja pakutud põhimõtted ja praktikad põhinevad tervikliku ja *lean* kvaliteedijuhtimise printsiipidel, ehitatavuse analüüsi praktikatel ning intervjueeritud inseneride ettepanekutel.

Uurimistöö on jagatud neljaks etapiks:

- 1) Uurimistöö ettevalmistus: tutvuti probleemvaldkonnaga, tehti kirjanduse ülevaade ja valiti uurimistöö metoodika.
- 2) Olemasoleva olukorra kaardistamine: tehti intervjuusid ja juhtumiuuringuid. Intervjuusid tehti kuues ettevõttes ning intervjueriti projekteerijaid, projekteerimise projektijuhte ja ehituse projektijuhte/kvaliteedijuhte. Juhtumiuuringutes analüüsiti kolme ehitusprojekti ja viie ehitusobjekti tehnosüsteemide osade kohta tehtud märkusi. Intervjuude ja juhtumiuuringute eesmärk oli leida vastuseid esimesele kahele uurimisküsimusele.
- 3) Praktikate väljapakkumine: saadud tulemuste põhjal ning kvaliteedijuhtimise ja ehitatavuse analüüsi põhimõtete abil pakuti välja põhimõtteid ja praktikaid tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vähendamiseks. Pakutud meetodite kohta küsiti arvamust ja hinnangut kogunud inseneridelt. Eesmärgiks oli vastata kolmandale uurimisküsimusele.
- 4) Kokkuvõte: kokkuvõttes tuuakse välja uurimistöös saadud vastused uurimisküsimustele.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Kirjanduse ülevaates käsitletakse kvaliteedijuhtimist, ehitatavuse analüüsi kui kvaliteedijuhtimise alamvaldkonda ning võimalikke ehitatavuse analüüsi praktikaid. Erilist tähelepanu pööratakse tehnosüsteemide paigaldusprobleemidele ning sellele, kuidas ehitatavuse analüüsiga on võimalik neid probleeme vähendada.

1.1 Tehnosüsteemide probleemid ehituses

Kütte-, ventilatsiooni ja jahutussüsteemid on ühed keerukamad osad ehitises. Seega on arusaadav, miks nende süsteemide projekteerimisel ja paigaldamisel tekib palju vigu ja probleeme. Selles alapeatükis tuuakse välja kirjandusest leitud tehnosüsteemide üldised probleemid ning paigaldusprobleemid.

1.1.1 Üldised hoonete tehnosüsteemide probleemid

Tehnosüsteemide ehitusvigade parandamata jätmine võib põhjustada süsteemide töötamise ebaefektiivsust, energia raiskamist, puudulikku sisekliimat ning hoone kasutajate madalat rahulolu. [1] Suur osa kaebustest, mida hoone kasutajad teevad, on seotud tehnosüsteemidega. Selline tagasiside klientidelt näitab, et kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide projekteerimisele ja paigaldamisele on vaja rohkem tähelepanu pöörata. [2]

Erinevates allikates on välja toodud, et vead ja puudused ehitusprojektis on üheks tehnosüsteemide paigaldusprobleemide allikaks. Ehitusprojektides esinevate vigade üheks põhjuseks toodi puudulikud/lõpetamata või valesti tehtud tehnosüsteemide arvutused. [3] Näiteks valesti arvutatud jahutusvõimsused, ventilatsiooni õhuhulgad, isolatsioonide paksused. [4] Samuti vead algparameetrite valimisel, nt valesti valitud ruumi temperatuurid või joonsoojuslähivustega mitte arvestamine küttesüsteemi arvutamisel. [3] [4]

Suhtlus projekteerijate vahel on oluline, et erinevad ehitise osad sobituksid kokku ja ei oleks vastuolusid. Projekteerija ja ehitaja vaheline suhtlus on oluline selleks, et leida sobivad lahendused. Samuti suhtlus projekteerija ja ehitaja vahel on oluline selleks, et projekteerija saaks tagasisidet, kas tema tehtud joonised on piisava detailsusega ning, kas ehitaja saab projekteeritud lahendusest aru. Selline kommunikatsioon eri osapoolte vahel on ehitusprojektide koostamisel tihti puudulik ning see väljendub projekti korrektsuses ja probleemides ehitusplatsidel. [3]

Hoonete tehnosüsteemide osakaal ehitistes ning projekteeritud lahenduste keerukus on aastatega järjest kasvanud. Suurenenud töömaht on raskendanud ajakavadest, eelarve eesmärkidest ning mõnikord ka tööde plaanitud mahust kinnipidamist. Aina keerulisem on tehnosüsteemide ehitusprojektidest aru saada ning neid analüüsida ilma eelneva ettevalmistuseta. Selleks, et selliseid probleeme vähendada on oluline kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide teadmistega ja kogunud ehituse projektijuhi olemasolu, kes oskaks tehnosüsteemide ehitust plaanida ja juhtida efektiivselt. [1]

Ehituse projektijuhi üheks ülesandeks on kontrollida KVJ ehitusprojekti algusest lõpuni enne ehitustöödega alustamist. Ehituse projektijuht peab mõistma ehitusprojekti dokumentatsiooni sisu ning oskama analüüsida ja hinnata, et projektis ei oleks vigu. [5] Sarnaselt ehituse projektijuhiga peab ka omanikujärelvalve insener põhjalikult teadma ehitusprojekti. Tihti peale järelvalve insener seda aga ei tee, sest KVJ projektid on keerulised ja nendesse süvenemine nõuab palju aega. [2] Selleks, et saavutada ehitise hea kvaliteet, on vaja, et kõik KVJ osadega tegelevad insenerid teaksid KVJ projekti põhjalikult.

Tehnosüsteemide ehitustööde tulemuse kvaliteedi määrab suures osas toodete kvaliteet. Suureks probleemiks on seadmete ja materjalide asendamine odavamate vastu. Tehnosüsteemide eelarve moodustab kogu ehituse eelarvest arvestatava osa ning tehnosüsteemid on üks kohtadest, kus tahetakse tavaliselt kulusid kokku hoida. Odavamad seadmed üldjuhul aga ei oma võrdväärset kvaliteedi taset kallimatega. [5] Sellepärast, kui tahetakse teha toodete asendusi, on oluline, et pädev isik teeks projektijärgsete ja asendustoodete võrdluse. Isolatsioonimaterjalide, torude, seadmete ning erinevate liikuvate osade kvaliteet on oluline süsteemide plaanitud eluea kestvuse tagamiseks. [3]

Ehitusplatsidel on veel probleemiks materjalide õigeaegne tarnimine. Kui seadmeid ei tellita piisavalt varakult või kui tarneajad on pikad ning KVJ ehitustöödeks vajaminevad materjalid ei jõua õigeks ajaks ehitusplatsile, siis võib tehnosüsteemide ehitus seisma jääda. Tööde seisma jäämine tekitab ajalist kulu, mis võib suuremas määras mõjutada ehituse lõpptähtaegasid. [5]

Tehnosüsteemide paigaldamisel on lisaks ehitusprojektile oluline järgida toodete paigaldusjuhiseid ja kehtivaid ehitusnõudeid. Tihti peale jääb tähelepanu pööramata sellele, et sama tüüpi, kuid erinevate tootjate seadmed vajavad erinevaid paigaldustingimusi. Samuti on paigaldustöödel oluline kohe tähelepanu pöörata müra ja vibratsiooni tõkestamisele, sest hiljem probleemide esinemisel on palju keerulisem neid parandada. [2]

Seadmed, ventilatsiooni õhukanalid, soojussõlmed ja tehnoruumid on tehnosüsteemidest ja nendega seotud ruumidest kõige suuremad. Nende osade jaoks on ruumivajadus oluline paigaldustööde ja hiljem hooldustööde jaoks. Palju probleeme ehitusplatsidel on seotud ruumipuudusega, mis ei võimalda tehnosüsteeme paigaldada juhenditele või nõuetele vastavalt. Selle probleemi vähendamiseks on oluline arvestada tehnosüsteemide jaoks vajamineva ruumiga juba projekteerimise etapis, sest hiljem pole võimalik kusagilt ruumi juurde tekitada. [2]

Samamoodi nagu projekteerimise erinevates etappides kontrollitakse projekti, on vaja teha ka ehitustöodes vahekontrolli. Näiteks torude keevitustööd vajavad kontrollimist, sest sagedasti on probleeme sellega, et keevitustööd on tehtud puudulikult. Süsteemide korrektset paigaldust saab kontrollida veel erinevate katsetustega, nt tehes survekatsetusi. Paljudel objektidel on survekatsetustega tuvastatud torudel lekked ning probleemsed kohad vajavad lisa parandustöid. Peale tööde valmimist tasub veel teha süsteemidele visuaalne kontroll, sest tihti tööde käigus saavad kahjustada torude isolatsioon või värvikiht. [3]

1.1.2 Hoonete tehnosüsteemide paigaldusprobleemid

Kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide ehitustööd moodustavad märkimisväärse osa ehitustööde kogujast ja maksumusest. Tehnosüsteemide ehitustööd on keerulised ning paigaldustel esineb enamikel juhtudel mitmeid takistusi ja probleeme, mis võivad ohustada tööde ajagraafikus püsimist ja tõsta rahalisi kulutusi. Probleemide ja kulutuste vältimiseks tuleks ehitusprojektides rohkem tähelepanu pöörata tehnosüsteemide paigaldatavusele. [2]

Ventilatsiooni-, kütte- ja jahutussüsteemide paigaldusvigadel võib olla mitmeid põhjuseid. Põhjusteks võivad olla paigaldajate kogenumatus ja ebakompetentsus; puudulik ehituse juhtimine või piisavalt detailsete jooniste puudumine. Järgmiseks on välja toodud mõned levinud probleemid, mis erinevates kirjandustes kajastusid. [2]

Ventiilidel on väga oluline roll selleks, et süsteemid korrektselt töötaksid. Ventiilide valikule, paigaldamisele ja seadistamisele on vaja tähelepanu pöörata, sest nendega tihti eksitakse. Valikul tuleb jälgida ventiili tüüpi ning tootja kvaliteeti. Paigaldustöödel on oluline järgida paigaldusjuhendeid ning enne seadistamist on oluline kontrollida seadistajate kompetentsust. Probleeme ventiilidega tuleb ette nii kütte- kui ka jahutussüsteemides. [5]

Õige isolatsiooni valimine ning ruumipuudus isoleerimisel on samuti üks tüüpilisemaid probleeme ehitusplatsidel. Õige isolatsiooni all mõeldakse õiget tüüpi isolatsiooni, õigesti arvatud isolatsiooni paksust ning kvaliteetse isolatsiooni toote valimist.

Ruumipuuduse all mõeldakse näiteks seda kui projekteerimisel on jäetud vähe ruumi lae ja isolatsiooni vahel ning isolatsioon saab kahjustada hõõrdudes vastu konstruktsiooni. [4]

Suuremates šahtides on tehnosüsteemide paigaldamine ja kinnitamine keeruline. Samuti on tihtipeale šahtides probleeme ruumipuudusega. Tehnosüsteemide paigaldamine suuremates šahtides nõuab põhjalikku läbimõtlemist ja tööde järjekorra plaanmist. [6] Mõnikord on optimaalsem tehnosüsteemid maja peale ära jaotada selliselt, et tekiks suure šahti asemel mitu väiksemat. [2]

Kütte- ja jahutussüsteemide puhul on tihti probleemiks kondensaadi teke ja lekked süsteemis. Need kaks probleemi tihti viitavad probleemile süsteemis, paigalduses, toru kvaliteedis või õige isolatsiooni puudumises. Nende probleemide vältimine ja parandamine on eelkõige oluline süsteemide eluea jaoks. Kondensaadi probleeme enamjaolt tuvastatakse visuaalsel vaatlusel peale süsteemide kasutuselevõttu. Lekkeid süsteemis saab tuvastada tehes survekatsetusi enne torude isoleerimist. Kui survekatsetused jäetakse tegemata ja torud isoleeritakse, siis hiljem lekete tuvastamine on peaaegu võimatu. [5]

Järgnevalt on esitatud kokkuvõtte kirjandustes välja toodud tehnosüsteemide enamlevinud paigaldusprobleemidest:

- ventiilide vale valik;
- spetsialiseerunud tööjõu puudus;
- vead või puudused ehitusprojekti;
- tööde vale järjekord;
- ruumipuudus seadmete korrektseks paigalduseks;
- seadmete või materjalide vale valik (ei loeta süvenenult tootelehti);
- probleemid süsteemide erinevate osade ühendamistel (nt probleemid seadme ja seadmesse mineva toru ühendamisel);
- probleemid läbiviikude avadega;
- puudulikult tehtud keevitustööd;
- materjalide (eriti torude) puudulik ladustamine, mis kahjustab neid;

- paigaldamistel standardite ja juhendite mitte järgimine;
- toiteallika puudumine seadmete testimiseks;
- torude isoleerimine ilma liimita (poorkumm isolatsioon ei liimita toru külge);
- peale torude isoleerimist puudub kaitse mehaaniliste kahjustuste eest;
- survekatsetuste ebaõnnestumine;
- sobimatud kinnitusmeetodid. [2], [4], [5], [6]

1.2 Kvaliteet ja kvaliteedijuhtimine ehituses

Pidev täiustamine ja parema kvaliteedi poole püüdlemine on käinud terve inimajalooga kaasas. Ajaloost on mitmeid näiteid inimestest, kes on püüelnud individuaalselt või kollektiivselt saavutada parimat kvaliteeti oma töös. [7] Ühelt poolt võib öelda, et see on inimlik huvi katsetada ja näha, kuhu on võimalik edasi areneda. Teiselt poolt on toodete ja teenuste täiustamine üks viisidest, kuidas hoida ja juurde võita rahulolevaid kliente. Loomulikult kehtivad samad põhimõtted ehitusvaldkonnas.

19. sajandi lõpus tekkis Euroopas ja Ameerika Ühendriikides masstootmine, mistõttu tekkis vajadus organiseeritud kvaliteedi tagamise ja kontrollimise järele. [8] Esimesena arenes aastatel 1900 kuni 1940 välja kvaliteedi inspekteerimise ehk kontrollimise meetod. Inspekteerimise meetodi sisuks on tootmistegevuse tulemi vastavuse kontrollimine kvaliteedi nõuete vastu. Ehk fookus on väljunditel. Näiteks kontrolliti, et toodangul ei oleks nähtavaid vigu ja toodete kvaliteet oleks piisav, et klientide poolt ei tuleks kaebusi või toodete tagastusi. Konkurentsi pakkusid need ettevõtted, kes suutsid tagada piisavalt head kvaliteedi, odava hinna ja lühikese tarneaaja. [9]

Inspeksioonide ressursi kulu ja jätmete suur maht suurendas ettevõtetes rahalist ja ajalist kulu. Vigade avastamine ja seejärel tootmise korrigeerimine parendas tööd ja toodete kvaliteeti, kuid oli väga ajamahukas. Tootmise lihtsustamiseks jõuti järelduseni, et mõistlik on valmistada vähem tootesorte suurema mahuga. Rõhku hakati pöörama toodete standardiseerimisele. Seda aega iseloomustab Henry Fordi autotööstus ning Ford'i T-mudel. [9] Alles peale teist maailmasõda toimus järgmine suurem arenguhüpe masstootmises, mille eestvedajaks oli Jaapan. Jõuti arusaamisele, et palju säästlikum on vigade ja nende allikate tuvastamine ja eemaldamine vea tekkimise hetkel kui hilisem vigade otsimine ja korrigeerimine. Selliste ideede arenemise najal kujunesid välja mitmed uued kvaliteedijuhtimise meetodid. [10]

1960ndatel aastatel hakkas Ameerika autode (Ford'i) kõrval konkurentsi pakkuma Jaapani autod (Toyota). Jaapani autod olid väiksemad, parema kvaliteedi ja väiksema kütusekuluga. Üheks Jaapani autotööstuse eestvedajaks oli Toyota, mis saavutas edu tänu läbimõeldud tootmismeetoditele. Peale seda hakati Jaapani efektiivseid tootmismeetodeid laialdaselt uurima, mis viis pideva täiustamise süsteemi arenemiseni. Viimane sai suure tõuke just Jaapani tootmismeetoditest. [9]

Selleks, et rääkida kvaliteedijuhtimisest on vaja kõigepealt defineerida sõna *kvaliteet*. Kuna tooted ja teenused on suunatud kliendile, siis tuleb kvaliteeti defineerida eelkõige kliendi vaatenurgast. Lõpptarbija jaoks on oluline toote eluiga, toimivus, ohutus, hind ja paljud muud punktid. Neid punkte võrdleb tarbija turul pakutavate võrdväärsete toodete vastu. Seega ühelt poolt on kvaliteet kliendi vajaduste rahuldamine nii jõudluses kui ka hinnas. [11] Teiselt poolt on kvaliteeti siiski midagi, mis vastab kindlale nõuete kogumile, nt ISO 9000 standarditele.

Kliendile ja kliendi vajadustele keskendumise mõtteviis tekkis umbes 1980. aastatel. [9] Kasvava konkurentsi oludes ei piisanud enam heast kvaliteedist, soodsamast hinnast ja kiirest tarneajast. Kliendi jaoks muutusid oluliseks valikuvõimalused ja eritellimused. See tähendas, et tootmise protsess muutus keerukamaks, lisandus mahukam dokumenteerimine ning umbes sellel ajal tuli välja esimene versioon standardite seeriast ISO 9000.

Sarnaselt masstootmisele muutusid ehitusprojektid palju keerulisemateks. Näiteks on keerulisemaks muutunud ehitiste tehnosüsteemide osad. Selleks, et saavutada ja tagada kasvava keerukuse juures ehitise hea kvaliteet on vajalik läbimõeldud ehituse- ja projekteerimise juhtimise protsessid ja meetodid. Viimased sajandid on näidanud, et ehituskvaliteeti on võimalik tagada erinevate juhtimise meetodite abil ning kui neid meetodeid kasutada alates ehitusprotsesside algusfaasist ehk projekteerimise etapist. [7]

Peamised ja tuntumad kvaliteedijuhtimise meetodid olid algselt eelkõige suunatud tootmisettevõtetele. Ehitus erineb tootmisest oma keerukuse, objektide ainulaadsuse ning kohapeal tootmise (ehitamise, paigaldamise jne) poolest. Sellest olenemata on võimalik neid meetodeid kohandada ehitusprojektide otstarbeks ning seda on ka tehtud. Järgmistes alapeatükkides on välja toodud mõned kvaliteedijuhtimise meetodid, mida ehituses kasutatakse.

1.2.1 Terviklik kvaliteedijuhtimine ehk total quality management, TQM

Tervikliku kvaliteedijuhtimise mõtteviisi kohaselt on igal ettevõttel ja organisatsioonil alati võimalus areneda ning edukad on ettevõtted, mis pidevalt ja teadlikult otsivad

võimalusi oma toodete või teenuste kvaliteedi parendamiseks. Tervikliku kvaliteedijuhtimise meetodi (, inglise keeles lühendina TQM) võtmesõnaks on *pidev täiustamine*. [12]

TQM meetodi eelkäijaks võib nimetada Walter A. Shewhart'it. Shewhart töötas elektriettevõtte insepeksiooni osakonnas (Western Electric Company) ja arendas 1924. aastal välja nelja etapiga meetodi, mida täna nimetatakse Shewhart'i tsükliks: plaani-teosta-kontrolli-kohanda (plan-do-check-adjust) [9]:

1) „Plaani

1. Sihtmärkide tuvastamine (eesmärgid ja kriteeriumid).
2. Eesmärkide saavutamiseks vajalike meetodite/protseduuride väljaselgitamine.
3. Kontrollelementide ja -meetodite väljaselgitamine.

2) Teosta

4. Plaani kommunikeerimine ja töötajate koolitamine.
5. Koostatud plaani elluviimine (alapunktid 2 ja 3).

3) Kontrolli

6. Plaani progressi kontrollimine (alapunktid 1, 2, ja 3):
 - Sihid ja eesmärgid;
 - Kasutatud strateegiate suhtes.
7. Probleemide tuvastamine.

4) Kohanda/parenda

8. Probleemide lahendamine/eemaldamine.
9. Plaani parendamine/muutmine (2 ja 3).
10. Tehtud arengu standardiseerimine.

5) Korda punkte 1-4." [13]

W. Edwards Deming arendas Shewhart'i tsükli edasi, millest hiljem kujunes välja terviklik kvaliteedijuhtimine (TQM). Aastal 1950 kutsuti W. Edwards Deming Jaapanisse, et aidata nende purunenud majandust. Deming jagas jaapanlastele TQM põhimõtteid ning nemad võtsid need põhimõtted kasutusele. Peale seda hakkas Jaapani majandus järsult kasvama, tootmisettevõtted arenesid, inimesed hakkasid ostma ja tarbima Jaapani tooteid. [9]

Nähes kui hästi toimis Jaapanis TQM teooria, põhimõtted ja mudelid, hakati sellist kvaliteedijuhtimist ka teistes riikides juurutama ning kasutatakse tänapäevani erinevates valdkondades, sealhulgas ehituses. [14] Selleks, et paremini mõista Deming'u kvaliteedijuhtimise meetodit on järgmiseks välja toodud 14 TQM juhtimisviisi punkti:

1. „*Eesmärgi järjekindla hoidmise plaani loomine.*” Ettevõtte eesmärkide saavutamiseks on oluline plaani olemasolu ning sellest plaanist kinni pidamine. Samuti on oluline eesmärkide sagedane meeldetuletamine selleks, et sihist kõrvale ei kaldutaks.
2. „*Uue kvaliteedifilosoofia omaksvõtmine.*” Kui ettevõttes võetakse kasutusele uued kvaliteedijuhtimise meetodid või praktikad, siis on oluline, et kõik juhtivtöötajad ja spetsialistid oleksid avatud uutele teadmistele ning toetaksid seda muutust. Ainult sellisel juhul saavutatakse eesmärgipärane tulemus.
3. „*Lauskontrollimiste vähendamine.*” Raiskamiste vähendamise jaoks tuleb tööprotsessi pidevalt täiustada ja viia sellise kvaliteedini, et lauskontrollide asemel tehakse pigem pistelisi kontrole.
4. „*Maksumuse ja kvaliteedi alusel koostööpartnerite valimine.*” Valides koostööpartnereid ainult hinna alusel võib see tekitada probleeme kvaliteedi tagamisel. Ettevõtte jaoks on kasulik kasutada pikaajalisi koostööpartnereid ja viimastega usalduslike suhete loomine ja hoidmine.
5. „*Probleemide määratlemine ning süsteemi pidev täiustamine.*” Süsteemi parendamine nõuab regulaarselt uute täiustamismeetodite kasutamist.
6. „*Kaasaegsete väljaõppe- ja koolitusmeetodite kasutusele võtmine.*” Töötajaid tuleb õpetada kasutama parimaid meetodeid ja vahendeid parema kvaliteedi saavutamiseks.
7. „*Põhitähelepanu suunamine tootmise hulgalt kvaliteedile.*” Kvaliteedi asemel tootmise hulgale keskendumine võib viia selleni, et tekivad lohakusvead, mis vajavad parandustöid. Tulemuseks on kehvema kvaliteediga, kuid suuremate kuludega tooted.
8. „*Ettevõtte sisese suhtlemistakistuste ja suhtlemispelguse eemaldamine.*” Töötajatel peaks olema suurem kindlus oma tegevustes ning ei tohiks peljata esitada küsimusi ja anda tagasisidet vigadest või teha ettepanekuid parendamiseks.

9. „Osakondade vaheliste suhtluspiiride vähendamine.” Hea sisekommunikatsioon on eduka ettevõtte aluseks. Kvaliteeti ja tootlikkust saab parandada kui osakondade vahel on avatum suhtlus ja koordineerimine, mis põhineb ettevõtte ühistel eesmärkidel ja tegevuste integreerimisel.
10. „Tootlikuse parendamise nõudmine alles pärast selleks vajalike parendusviiside tutvustamist.” Töötajatelt ei saa nõuda tootlikuse kasvu kui neile pole pakutud vahendeid ja võtteid selle saavutamiseks. Ettevõtted vajavad läbimõeldud juhtimissüsteemi.
11. „Kaotada töönormid, mis kirjeldavad pelgalt numbrilisi eesmärke.” Ainult numbrilistele eesmärkidele keskendudes tavaliselt kvaliteet langeb.
12. „Töötajate esiletõstmise lõpetamine.” Süsteemid, mis üritavad üksiktöötaja tootlikkust suurendada, tuleks asendada süsteemidega, mis aitavad üldist töötajate oskuste taset tõsta.
13. „Tugeva haridus- ja kordusõppe programmide rajamine.” Töötajate sagedane koolitamine erinevate tööks vajalike oskuste tõstmiseks.
14. „Juhtkonna kujundamine selliselt, et igapäevaselt juhitudaks eelnevatest 13-st punktist.” Selleks, et terves ettevõttes kvaliteedikultuur muutuks, on vaja igal töötajal sellesse panustada alustades juhtkonnast. [12]

TQM on seega juhtimisviis, mille eesmärk on pidevalt parandada organisatsiooni efektiivsust, usaldusväarsust, toodete ja teenuste kvaliteeti ning kõige selle juures üritada hoida kulusid võimalikult madalal. Nende punktide parendamise protsessi kaasatakse iga töötaja olenemata tööpositsioonist. TQM juhtimisviisi puhul on põhifookuseks klient ning kliendi vajaduste ja soovide rahuldamine. [12]

1.2.2 Lean kvaliteedijuhtimine

Lean kvaliteedijuhtimise meetodile panid aluse Eiji Toyoda ja Taiichi Ohno Toyotas, Jaapanis. Deming tutvustas neile peale teist maailmasõda tervikliku kvaliteedijuhtimise meetodit ning nemad arendasid seda meetodit hiljem edasi enda ettevõttele sobilikuks ning sealt kujunes hiljem välja *lean* kvaliteedijuhtimine. Terminit „lean” hakati ametlikult kasutama aastast 1990 kui ilmus raamat „The Maschine That Changed the World”, mille autoriteks on J. P. Womack, D. Roos ja D. T Jones. [15]

Lean kvaliteedijuhtimise meetodi alused on väga sarnased tervikliku kvaliteedijuhtimisele (TQM), kuid vaatenurk on veidi erinev. *Lean* meetodi puhul on samuti oluline teenuse ja toodete kvaliteedi pidev/jätkuv parandamine, kuid selle

meetodi põhirõhk on eelkõige kulude ja raiskamiste vähendamisel. Kulude ja raiskamiste vähendamise all mõeldakse eelkõige protsesside optimeerimist selliselt, et lõpptulemusena hoitakse kokku ajas ja rahas. [16] Järgmiseks on välja toodud *lean* juhtimise 11 printsiipi selleks, et mõista, mida see meetod endast täpsemalt kujutab.

1. „*Väärtust mitte loovate tegevuste (raiskamiste) osakaalu vähendamine.*” Tegevused, mis tarbivad aega, ruumi või muid ressursse, kuid ei loo väärtust. Näiteks ümberprojekteerimine ja ümberehitamine.
2. „*Toodangu väärtuse suurendamine arvestades süstemaatiliselt kliendi vajadustega.*” Selle printsiibi kohaselt tuleks kliendi või tellija vajadusi ja nõudeid analüüsida ning süstemaatiliselt määratleda iga ehitusetapi jaoks.
3. „*Varieeruvuse vähendamine.*” Erinevuste vähendamine tulemustes parandab kliendi usaldusväarsust ning hoiab aega kokku parandustööde pealt. Varieeruvust saab vähendada kontrollimise protseduuridega, mille eesmärgiks on kõige pealt kõrvaldada erinevuste või vigade algpõhjused ning hiljem saada tulemuseks protsesside standardiseerimine. Selle printsiibiga võiks väheneda ebakindlus ja suureneda prognoositavus.
4. „*Tsükliaja lühendamine.*” Tsükliajaga võib nimetada ümber ehitusprotsessideks. Ehitusprotsess koosneb väga laialdaselt töö ettevalmistuse ajast, töö tegemise ajast ning kontrollimise ajast. Kontrollimise poole pealt on oluline, et vigade tuvastamised ja parandustööd oleksid võimalikult kiired. Mida lühem on ühe ehitusprotsessi peale kuluv aeg, seda odavam see protsess on.
5. „*Lihtsustuste tegemine, vähendades astmete, osade ja ühenduste arvu.*” Protsesside või projekteeritud lahenduste lihtsustamine hoiab ehitustööde ajal kokku raha ja aega. Samuti see vähendab arusaamatusi ning sellest tulenevaid ehitusvigu. Lihtsustamist saab teha: vähendades elementide erisuste arvu, vähendades materjalide või informatsiooni liikumise sammude arvu, standardiseerides protsesse ning kasutades standardseid tooteid.
6. „*Väljundi paindlikuse suurendamine.*” Paindlikuse all mõeldakse süsteemi tänu millele on võimalik kiiresti muutustega kohaneda olenemata, kas need muutused olid etteaimatavad või ootamatud. Ehitusprotsesside puhul tähendaks see näiteks seda, et ehitustakistuse puhul on võimalikud lahenduse variandid olemas.
7. „*Protsesside läbipaistvuse suurendamine.*” Läbipaistvuse ja piisava kommunikatsiooni puudumine suurendab kalduvust eksimustele, vähendab

vigade nähtavust ning motivatsiooni arenguks. Läbipaistvuse suurendamise eesmärk on muuta tööprotsess jälgitavaks kontrolli ja täiustamise hõlbustamiseks ning muuta protsess algusest lõpuni nähtavaks ja arusaadavaks kõigile töötajatele.

8. „*Tähelepanu juhtimine kogu protsessile.*” Heade tulemuste saavutamise jaoks on oluline ettenägelikkus. Üks ette mõtlemise praktikaid on kasutades pikaajalisi koostööpartnereid nt alltöövõtjate näol eesmärgiga, et varasemate koostööde kogemuste põhjal tööd sujuksid hästi ka tulevastel projektidel.
9. „*Protsesside pideva täiustamise harjumuse kinnistamine.*” Soov pidevalt areneda ja paremaid tulemusi saavutada peaks olema iga töötaja eesmärk, kuid motivatsioon selleks peab tulema ettevõtte siseselt. Protsesside täiustamine on järk-järguline ja järjepidev tegevus.
10. „*Vootõhususe ja väärtustõhususe tasakaalustamine.*” Vootõhususe eesmärk on eelkõige elimineerida väärtust mitte loovad tegevused. Väärtustõhususe eesmärk on luua kliendile väärtus rahuldades tema vajadusi ja nõudmisi.
11. „*Võrdlusuuringu tegemine.*” Erinevate võrdluste ja analüüside tegemine on vajalik ettevõtte arengu jaoks. Võrdlusi saab teha ettevõtte siseselt, näiteks võrreldes ja analüüsid, mis on ettevõtte nõrkused ja tugevused. Võrdlusi tasub teha ka ettevõtte väliselt, näiteks võrdlemine konkureerivate ettevõtetega selleks, et leida parimaid praktilisi meetodeid. [17]

Lean ei ole ehituses laialt kasutusel olev juhtimise meetod. Üheks põhjuseks võib olla see, et vähesed mõistavad selle meetodi kontseptuaalseid ja teoreetilisi aluseid. Selleks, et aru saada, kuidas ehituses *lean* juhtimisviis võiks toimida on võetud eeskujuna masstootmisest ning sellest, kuidas seal on suudetud vigade protsenti ehk kulusid minimeerida. [18] Ehitus on üks selliseid valdkondi, kus on jätkuvalt väga palju kulusid ja raiskamist. See on ka põhjus, miks tasuks ehitusjuhtimisse sisse tuua *lean*-mõtlemine. L. Alarcon raamatus „Lean Construction” on välja toodud üldisteks kuludeks ehituses:

- *„Kvaliteedikulud (mittevastavused projektile);*
- *Kulud, mis lisanduvad peale ehitustööd (garantiitööd; kulud ehitise kasutamisel);*
- *Ehitatavuse puudulikkus;*
- *Kesiste materjalide kasutamine;*

- *Materjalide liigne kulu ehitusplatsil;*
- *Tööaeg, mis kulub ehitusplatsil väärtust mitte lisavate tegevuste peale;*
- *Turvalisuse puudulikkus."* [18]

Üks lihtne, kuid efektiivne meetod, mida saab kasutada erinevate kulude ja ehitusprotsessis esinevate probleemide vältimiseks, on visuaalne juhtimine. Visuaalne juhtimine on üks *lean* meetod, millega on võimalik parandada ehitusprotsessides kommunikatsiooni, läbipaistvust ning osapoolte enesejuhtimist. Visuaalse juhtimise peamine eesmärk on tõhustada ulatusliku teabevoogu liikumist ning kõrvaldada kõikvõimalikud takistused, mis takistavad teabe liikumist ja infovahetust. Selleks, et oluline informatsioon oleks kõigile alati kättesaadav ja arusaadav, võiks lisaks kirjavahetustele ja teksti kujul informatsioonile kasutada informatsiooni visualiseerimist ning neid üleval hoida töökoha keskpunktis, kus kõigil on sellele ligipääs. [19]

Visualiseerimise all mõeldakse tabeleid, graafikuid jms, kus on näiteks erinevad tööloigud vastava värviga ära tähistatud selliselt, et neile pilgu peale visates on võimalik vajalik informatsioon kiiresti kätte saada. Selliste visualiseeringute olemasolu on oluline selleks, et informatsioon oleks kiirelt, efektiivselt ja kõigile arusaadavalt kättesaadav sealhulgas töötajatele, kellel on raskusi keelebarjääriga. Sellised visuaalsed kaardid peaksid vastama küsimustele: „Kes, mida, millal, kus, miks ja kuidas“. Visuaalne juhtimine koosneb omakorda erinevatest tehnikatest. Nendeks on näiteks *5S*, *Big room*, *Poka-Yoke* ja *Colour coding* meetod, mis on näidanud häid tulemusi ehitusobjektidel, kuid need ei kuulu antud uurimistöö mahut. [20]

1.2.3 Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon (ISO)

Ehitustööstuses on kvaliteedijuhtimise süsteemi rakendamisel väga oluline osa Rahvusvahelise Standardiorganisatsiooni seerial ISO 9000 ning selle standardil ISO 9001. ISO 9001 standardi sertifikaat on üks tuntumaid, mida paljud taotlevad. Nende hulgas on ka enamus suuri ja keskmisi ehitusettevõtteid. Paljudes ettevõtetes saab kvaliteedijuhtimine aluse ISO 9001 standardi kasutusele võtuga. [21] See standard koondab endasse nõuded ja soovitused, mis on vajalikud tervikliku toodete ja teenuste kvaliteedisüsteemi loomiseks. Esimene ISO 9001 standard avaldati aastal 1987 ning peale seda on standardit uuendatud ja täiendatud umbes iga 7 aasta tagant. [22]

Kõige uuem ISO 9001 standard avaldati aastal 2015. Uuendatud standardis on rõhutatud protsessipõhise lähenemisviisi olulisust kvaliteedijuhtimissüsteemi väljatöötamisel, rakendamisel ja tõhususe parandamisel selleks, et rahuldada klientide

vajadusi ja nõudmisi. Protsesside süstemaatilise juhtimise ja ettevõtte pideva arengu jaoks soovitab ISO 9001 standard kasutada planeeri-teosta-kontrolli-tegutse (PDCA) tsükli meetodit. [23] See tähendab, et total quality management ja *lean* põhimõtted on jõudnud ka rahvusvahelisse standardisse. Protsessipõhine lähenemisviis võimaldab:

- a) „mõistmist ja järjepidevust nõuete täitmisel;
- b) protsesside kaalutlemist lisaväärtuse seisukohalt;
- c) protsessi mõjusa tulemuslikkuse saavutamist;
- d) andmete ja teabe hindamisel põhinevat protsesside parendamist." [23]

Teine oluline uuendus, mida standard rõhutab on riskipõhine mõtlemine, mille eesmärgiks on ettevõtetes ennetada ja minimeerida negatiivseid mõjusid läbi riskianalüüsi. [24] Riskianalüüs aitab tuvastada võimalikud tegurid, mis võivad põhjustada protsesside ja kvaliteedijuhtimissüsteemi planeeritud tulemustest kõrvalekaldumist. Kui võimalikud negatiivsed tegurid on ennetavalt määratud, siis on palju kergem nende tegurite vältimiseks või nendega toimetulemiseks leida vajalikke meetmeid. [23]

Üleüldiselt põhineb standard ISO 9001:2015 jätkuvalt ISO 9000 seerias välja toodud kvaliteedijuhtimise seitsmel printsiibil, milleks on :

1. „Kliendikesksus;
2. Eestvedamine;
3. Inimeste kaasamine;
4. Protsessikeskne lähenemine;
5. Parendamine;
6. Tõenduspõhiste otsuste tegemine;
7. Suhete juhtimine." [24]

ISO 9001 standardi sertifikaadi taotlemine on ettevõtetele võimaluseks näidata oma klientidele, et ettevõttes on kvaliteedijuhtimine olulisel kohal. Sertifikaadi olemasolu ilmingimata ei tähenda, et ettevõttes väga kindlalt järgitakse ISO 9001 välja toodud nõudeid ja soovitusi, kuid see usalduse küsimus jääb ettevõtete õlule. Selleks, et ettevõtted saaksid oma kvaliteedijuhtimise süsteemi toimivust analüüsida ja hinnata,

on abiks standard ISO 9004. ISO 9004 standardis on välja toodud juhised, kuidas ettevõttes edendada püsiva edu saavutamise võimekust ning, kuidas teha ettevõttes enesehindamist. [25]

1.3 Ehitatavuse analüüs

Ehitatavuse analüüs on kvaliteedijuhtimise valdkond, mis võrreldes üldise kvaliteedijuhtimise meetoditega ei ole nii laialdaselt kasutusel. Ehitatavuse analüüs on tehnika, mille käigus vaadatakse üle ja hinnatakse kogu ehitusprojekti ja -protsessi enne kui alustatakse ehitustöödega. On avastatud, et sellise analüüsiga on vähendatud ja/või hoitud ära projekteerimisvigu ja ehitusvigu. Samuti sellega on vähendatud viivitusi ja lisakulusid nii projekteerimises kui ka ehitusplatsil, sest probleemid ja võimalikud ehitustakistused tuvastatakse võimalikult varakult. [26]

Aastatel 1960-1970 Inglismaal avaldasid mitmed teadlased artikleid selle kohta, kuidas ehitustööstus on ebaõnnestunud ning, kuidas ei suudeta täita ehitusprojektide eesmärgi. [27] Need artiklid olid oluliseks pöördepunktiks ehitusprobleemide teadvustamisel ning tõid esile vajaduse muutusteks ja parendusteks. Võib öelda, et umbes sellest ajast hakati rohkem dokumenteerima ja analüüsima probleeme ehituses ning üritama nendele probleemidele lahendusi leida. Lõhe ehitajate ja projekteerijate vahel ning seega osapoolte erinevad arusaamad ehituse protsessidest oli üks olulisi avastusi, mis sellel ajal tehti. [28]

Umbes 50 aasta jooksul kui on üritatud leida lahendusi ehitustööstuse parendamiseks, on tegelikult vanematest kirjandustest läbi käinud ehitatavuse analüüsile sarnane mõtteviis. Kuid selliselt nagu me täna ehitatavust mõistame, on tulnud alles viimaste aastakümnete jooksul. Ehitustööstuse instituudi (CII) ehitatavuse komisjon oli üks esimesi, kes aastal 1986 seletas lahti ehitatavuse mõiste ning see kõlab järgmiselt: „Ehitatavust defineeritakse ehitusalaste teadmiste ja kogemuste optimaalse integreerimisega planeerimises, projekteerimises, hankes ja välitöös selleks, et saavutada projekti üldeesmärgid.“ [29]

1980. aastate lõpus hakati Austraalias ja Ameerika Ühendriikides esimest korda ehitusprojektide ehitatavust parandama sellega, et projekteerimise etappidesse kaasati peatöövõtjad. Eesmärgiks oli parandada kogu ehitusprotsessi vältel ehitise projektlahenduse ja ehitamise protsessi kvaliteeti ning selle läbi hõlbustada ehitustöid ja saavutada projekti parem tulemuslikkus. 20. sajandi lõpus hakkas ehitatavuse hindamise meetodikat praktiseerima ka Singapur. Erinevad kirjandused toovad välja, et tänaseks on ehitatavuse analüüs nendes riikides (Austraalias, USA-s ja Singapuris)

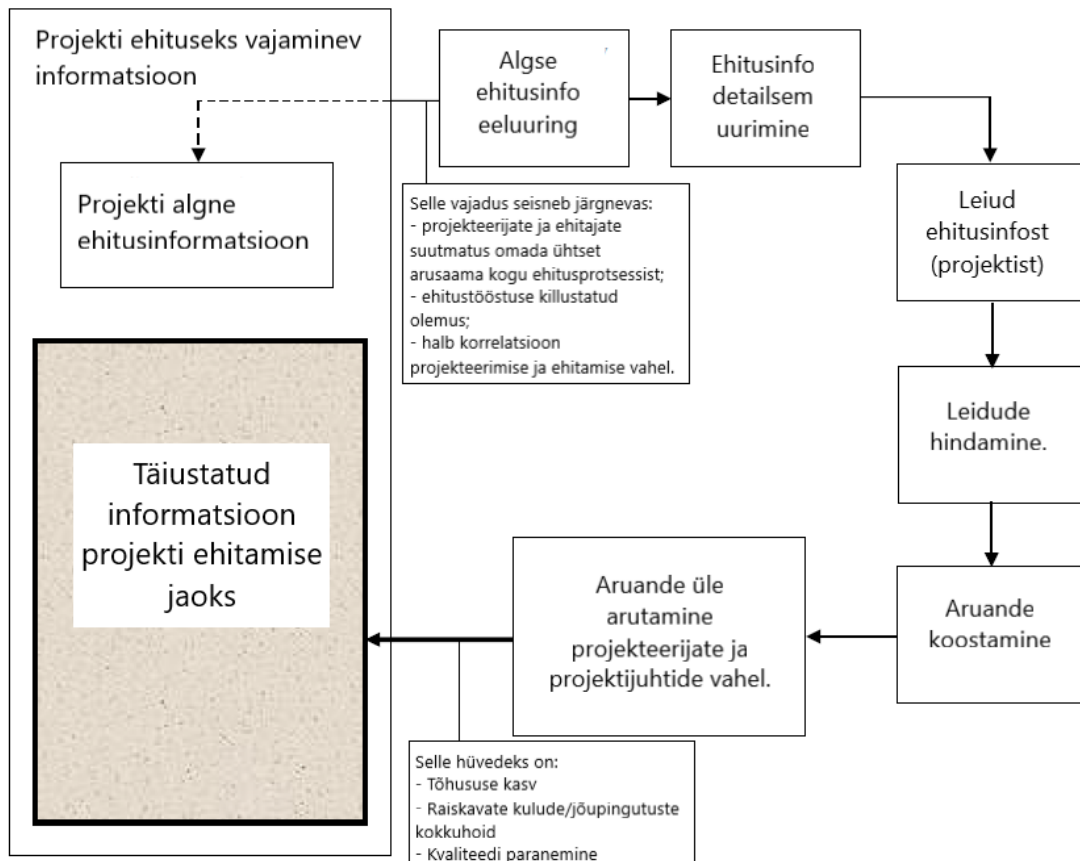
täielikult välja töötatud ja on siia maani rakenduses. Uuringud on välja toonud, et ehitusprojektide parem ehitatavus on nendes riikides toonud tulemuseks projektide lõpuleviimiseks vajalike kulude ja aja märkimisväärse kokkuhoiu. [28]

Singapuris on ehitusprojektide ehitatavust kõvasti parandatud lisaks veel sellega, et aastal 2001 võttis Singapuri valitsus vastu seaduse, mille järgi peab 5000 m² ja suurema brutopindalaga ehitise ehitusprojekt saama ehitatavuse hindamissüsteemis miinimum punktid selleks, et saada projekti jaoks heakskiidu ja seega ka ehitusloa. Selle hindamissüsteemi ametlik nimetus on „ehitatavuse hindamissüsteem“, inglise keeles Buildable Design Appraisal System (BDAS). Projekteeritud lahenduste ehitatavust hinnatakse eelkõige kolmest põhimõttest lähtudes – standardiseeritus, lihtsus ja moodullahenduste kasutamise võimalikkus. Lisaks sellele, et projekteerijad peavad tegema ehitatavamaid projekte, peavad ka ehitajad andma oma panuse võttes kasutusele tööjõusäästlikumad ehitusmeetodid ja tehnoloogiad. Ehitusprojektid, mis saavad kõrgemaid punkte on üldjuhul paremini ehitatavad ning vajavad vähem töölisi töövõtja poolt, sest ehitamisel esinevate probleemide osakaal on oluliselt väiksem. [30]

Selleks, et ehitusprojekti ehitatavust hinnata ilma eelpool mainitud hindamissüsteemita, on vaja kahte sorti sisendit. Esiteks on vaja kogu informatsiooni, mis on seotud kavandatava ehitisega (lähteinformatsioon; tellija lühikirjeldus soovitud hoonest; arhitektuursed, KVJ ja teiste osapoolte projektlahendused; spetsifikatsioonid; tellija eelarve jne). Teiseks on ehitatava projekti koostamise jaoks oluliseks sisendiks kehtivad ehitusmäärused, eeskirjad, keskkonna- ja ehitusnõuded, erinevad juhendmaterjalid, paigaldusnõuded, standardid jms. Kui piisavad sisendid projekteerimistööde alustamiseks on olemas, siis järgmine punkt on ehitatavuse hindamine. Ehitusprojekti ehitatavuse hindamise jaoks tasub praktiseerida järgmisi tegevusi:

- hoolikalt üle vaadata ja kontrollida projekteerimisdokumente mõeldes sellele, et lahendused oleksid võimalikult lihtsalt teostatavad (eriti just sõlmed, šahtid jne);
- küsida küsimusi jooniste ja spetsifikatsioonide kohta selleks, et kõik oleks üheselt mõistetav;
- küsida küsimusi ja uurida uute või küsitavate materjalide/komponentide/detailide kohta ning vajadusel mõelda alternatiivsete lahenduste peale;
- kasutada eelmistes projektides omandatud teadmisi ning neid praktiseerida projekteerimisel;
- testida projekteeritud lahenduse võimet täita ehitise soovitud funktsiooni ja vastupidavust, näiteks erinevate simulatsioonide või arvutuste abil. [31]

Ehitatavuse hindamise põhiülesanne on ehitusprojekti kriitiline uurimine. Uurimise protsess võiks koosneda järgnevast viiest sammust: 1) vigade/probleemide tuvastamine, 2) vigade/probleemide hindamine, 3) aruande koostamine vigade/probleemide kohta, 4) aruande üle arutamine koos projekteerijate ja projektijuhtidega ning 5) seejärel kulude - raisatud jõupingutuste ja ehitustakistuste vähendamine projekteerimise etapis. [31] Hindamise protsess on visualiseeritud joonisel 1.2.1.



Joonis 1. Ehitatavuse hindamise raamistik [31]

Ehitusprojekti üldeesmärged on võimalik saavutada kulude, ajakava, kvaliteedi, ohutuse, riskijuhtimise ja keskkonnamõju osas sellisel juhul kui ehitatavusele mõeldakse juba ehitusprojekti teostamise käigus. [32] Tehnosüsteemide poole pealt võiks see tähendada seda, et juba algusfaasis kaasatakse aruteludesse tehnosüsteemide spetsialistid ning enne projekteerimise hakkamist ja enne ehitustööd tehakse põhjalik eeltöö. Selline põhjalikkus viitab aga ajakulule ja seega ka rahalisele kulule algusetappides ning see on üks põhilisematest teguritest, miks otsustatakse ehitatavuse meetodit mitte kasutada. Olenemata, et selle meetodi kasutusele võtuga on võimalik saavutada ehitusnõuetele ja hooldatavusele vastav ehitus.

Tehnosüsteemide ehitatavuse saavutamise jaoks ning selleks, et maksimaalselt märgataks võimalikke probleeme on mitmeid abistavaid meetmeid ja abivahendeid. Järgmistes alapeatükkides tuuakse välja kirjanduses kõige rohkem mainitud praktilised meetodid tehnosüsteemide ehitatavuse parendamiseks. Näideteks on välja toodud infomudeli (BIM) kasutamine; optimeerimine, lihtsustamine ja standardiseerimine ning moodulsüsteemide kasutamine.

1.3.1 Ehitusinformatsiooni mudel (BIM)

Üks suuremaid arenguid ehitusprojektide parema ehitatavuse saavutamiseks on tulnud 3D mudelite kasutusele võtuga. Mitmetes projekteerimisettevõtetes on juba täielikult mindud 2D joonistelt üle modelleerimisele. Suuremate ehitusprojektide puhul pole tänapäeval enam mõeldav ehitise digitaalse mudeli mitte kasutamine. Kui 3D mudelitele lisada juurde veel konkreetse ehitise ehituseks vajaminev andmete kogum, siis tulemuseks saadakse infomudel.

Ehitatavuse analüüsi üks kasutatavatest meetoditest on ehitusinformatsiooni modelleerimine, inglise keeles Building Information Modeling (BIM). BIM on protsess, mille tulemusel saadakse ehitise infomudel, mis käsitleb virtuaalselt ehitise tervet elukaart alates esimesest eskiisist kuni ehitise eluea lõpuni. Infomudel koosneb kõigest vajalikust informatsioonist konkreetse objekti kohta ning seda mudelit luuakse kasutades BIM tehnoloogiaid. [33] Infomudeli kasutamise üks eesmärkidest on ehitise ehitamine kaks korda. Esimene kord digitaalselt ning teine kord ehitusplatsil.

Ehitatavuse analüüsi poole pealt on BIM tehnoloogiaid kasutades võimalik teha laiaulatuslikke kontrole, sealhulgas erinevaid arvutusi ja simulatsioone, ehitatavuse parandamiseks juba projekteerimise käigus. Näiteks on võimalik BIM tarkvarasid kasutades teha ristumiskontrole (*clash*-kontrole). See tähendab, et kontrollitakse, et torud omavahel või torud ja muud kommunikatsioonid omavahel ei ristuks. Teine suur eelis BIM tarkvarade puhul on detailsete jooniste koostamise võimalikkus. 3D-s on võimalik enne ehitamist näha terviklikku lahendust ning arvestada reaalsete toodete ja seadmete ruumivajadusega. [34]

Kui infomudel on valmis ja alustatakse ehitustöödega, siis on võimalik hoone mudelit kasutada ehitustööde plaanimiseks. Praegu veel 3D mudelit ja selles mudelis olevat olulist teavet ehitustööde tegemiseks valdavalt ei kasutata. See sõltub küll ehitusmeeskonnast ja nende oskustest mudelit kasutada, kuid päris paljudel juhtudel piirdub ehitusmudeli kasutamine projekteerimise etapiga ning sellega, et valmis mudel antakse tellijale üle. Hoone mudel on aga visuaalne informatsioon. Mudelis saab projekteeritud lahendustest palju paremini aru kui 2D jooniste pealt ning mudeli

kasutamine võimaldab paremini plaanida näiteks ehitustööde järjekorda. BIM-i kui visuaalset informatsiooni on soovitatav kasutada koos *lean* meetodi ja visuaalse juhtimisega. [35]

Üks vahend, mida on hakatud vaikselt kasutama infomudelite kõrval, on virtuaalreaalsus ja virtuaalreaalsuse (VR) prillid. Virtuaalreaalsuse kasutamine on samuti üks võimalik viis, kuidas näiteks KVJ süsteemide paigaldatavust ja ehitatavust kontrollida ja hinnata. VR prille on võimalik kasutada juba projekteerimise etapis selleks, et projekteeritud lahendust paremini ette kujutada. Samuti on võimalik VR prille kasutada ehitusplatsidel selleks, et ette kujutada, kuhu tehnosüsteemid paigaldatakse ja kuhu on seega vaja näiteks läbiviigu avad teha. Seega saab virtuaalreaalsust kasutada tööde plaanimiseks ja juhtimiseks ehitusplatsidel. [36]

1.3.2 Optimeerimine, lihtsustamine ja standardiseerimine

Ehitatavuse analüüsi praktiseerimine eeldab mõneti, et ehitusettevõttes on juba olemas ja toimiv kvaliteedijuhtimine (nt *lean* või TQM meetod). Ehitatavuse analüüs on olemasoleva kvaliteedijuhtimise edasiarendus. See tähendab, et lähtutakse jätkuvalt kvaliteedijuhtimise meetodi põhiprintsiipidest, kuid neile lisanduvad ehitatavuse põhimõtted. Olulisemad ehitatavuse põhimõtted on optimeerimine, lihtsustamine ja standardiseerimine. [31]

Optimeerimise põhimõte seisneb kõige parema ja soodsama lahenduse leidmisel. Optimaalseima lahenduse leidmine tähendab suuremas pildis seda, et vähendatakse aja, tööjõu, materjalide, tööriistade jms kulusid ja raiskamisi selleks, et rahuldada turunõudlust. Parima lahenduse leidmiseks on vaja analüüsida alternatiive. [31] Üks variant, kuidas optimaalsem lahendus saavutada, on leida lahendusi, kuidas kasutada rohkem ühte tüüpi seadmeid ja tooteid. Näiteks torude puhul kasutada võimalusel ühte materjali tüüpi või projekteerida niimoodi, et torude erinevaid diameetreid oleks vähem. [37]

Lihtsustamise põhimõte tähendab ühelt poolt seda, et ehitusprojekt sh ehitusmudel peab olema detailsusteni selge, arusaadav ja üheselt mõistetav. Teiselt poolt on lihtsustamine vastand projekteeritud lahenduste keerukusele. See tähendab, et parema ehitatavuse tagamiseks peaks olema ehitusprojekt piisavalt detailne ning võimalikult lihtsate lahendustega. KVJ süsteemide lihtsust on võimalik analüüsida küsimustega, kas projekteeritud lahendus on paigaldatav ning, kas on võimalik kuidagi lihtsamalt neid süsteeme lahendada pakkudes välja alternatiivseid lahendusi. Alternatiivseid lahendusi tuleks võrrelda maksumuse, aja ja tööjõudude kasutamise poole pealt. Kõige lihtsam ja seega ka parem lahendus tagab ehitusplatsidel sujuva töö. [31]

Standardimise põhimõte tähendab eelkõige lihtsate ja korduvate lahenduste kasutamist. Samuti tähendab see standardsete elementide kasutamist - standard suurustega elemendid, standardsed üleminekud ja ühendused torude vahel. Standardiseerimine on mõneti seotud lihtsustamise põhimõttega. Mida vähem on erilahendusi ja seega ka erinõudeid paigaldusele, seda lihtsam ja kiirem on ehitusplatsil töid teostada. Veel tähendab standardiseerimise põhimõte standardiseeritud ehitusprotsesse. Viimaks tähendab standardiseerimine standardite nõuetekohast rakendamist, mille korral on ehitusprojektide defektid minimeeritud. [38]

Tehnosüsteemide puhul saab küll jälgida projekteerimise käigus seda, et süsteemid oleks lahendatud standardsete elementidega, kuid selliselt nagu on võimalik konstruktsioonide osasid standardiseerida, ei ole KVJ süsteemide puhul seda üldjuhul sellises mahus võimalik teha. Peamiseks põhjuseks on väga erinevad hoonete arhitektuursed lahendused, erinevad kasutuse eesmärgid ning eritellimused või erisoovid klientidelt. [39]

1.3.3 Moodulsüsteemide kasutamine

Moodulsüsteemide kasutamine on üks paigaldustööde ettevalmistamise praktikaid. Tehnosüsteemide modulariseerimine tähendab, et tehnosüsteemid pannakse kindlas mahus kokku moodulitena ning neid mooduleid toodetakse, kontrollitakse, testitakse ja tähistatakse normide kohaste sildistustega väljaspool ehitusplatsi. Moodulite kasutuselevõtu eesmärk on vähendada ehitusplatsil tehnosüsteemide paigaldusele ja paigalduste kontrollile kuluvat aega, vähendada ehitustöödeks vajaminevat tööjõudude arvu, parandada tööde ohutust ning ehituskvaliteeti. [40]

Tehnosüsteemide moodulite kasutuselevõtt ei tähenda, et KVJ süsteemid peavad olema terviklikult lahendatud moodulitena. Mooduleid on võimalik kasutada erinevates mahtudes. Näiteks on võimalik kasutada mooduleid ruumide kaupa – moodulvannitoad, moodulsoojussõlmed või - tehnoruumid. Teiseks on võimalik kasutada mooduleid osade kaupa nagu näiteks moodulšahtid, magistraalitorude moodulid koridorides või moodulkinnitid. Lisaks veel on võimalik kasutada väiksemaid ja lihtsamaid moodullahendusi nagu näiteks platsiväliselt kokkupandavad elemendid või süsteemi osad. [41]

Moodullahenduste kasutamine võimaldab teha konstruktsioonide ehitustöid ning tehnosüsteemide töid paralleelselt, kuna tehnosüsteemid ehitatakse platsiväliselt. Suuremas mahus tehnosüsteemide valmismoodulite kasutamine tähendab, et tehnosüsteemide ehitusprojekt peab olema detailsusteni valmis enam vähem selleks ajaks kui alustatakse esimeste ehitustöödega platsil. Seda sellepärast, et jääks piisavalt

aega moodulite ehituseks ning transpordiks ehitusplatsile. Selleks, et projektis selliselt suuremas mahus mooduleid kasutada on vaja hakata selle peale mõtlema juba plaanimise etapis, sest moodulite projekteerimine vajab mõneti teistsugust lähenemist. [39]

Moodulite kasutamine ehitustöodes eeldab mingil määral süsteemide lihtsustamist ja standardiseerimist projekteerimises selliselt, et teatud lahendusi oleks võimalik mitmel erineval objektil kasutada ning sellevõrra optimeerida ja lihtsustada moodulite masstootmist. Modulariseerimine on kõige optimaalsem ja odavam kui mooduleid on võimalik teha masstootmisena. Ühe objekti jaoks liiga paljude erilahendustega moodulite kasutamine võib kokkuvõttes ehitusmaksumust hoopis suurendada. [41] Seega võib öelda, et modulariseerimine on kasumlik siis kui projekteerimises kasutatakse lihtsustamise ja standardiseerimise põhimõtteid.

Lisaks lihtsustamisele ja standardiseerimisele on modulariseerimise jaoks väga oluline BIM-i kasutamine. BIM on väga hea meetod projekteerimise koordineerimise, ehituse plaanimise ning tootmise plaanimise jaoks moodulehituses. Selleks, et mooduleid õigesti ehitada ja hiljem ehitusplatsil need õigesti paigaldada on vaja korrektseid infomoduleid. Korrektse infomudeli puudumisel võib tekkida hiljem probleeme moodulite ära mahtumisega ning teiste moodulite ühendamisega ehitusplatsil. Samuti on infomudelite olemasolu eelduseks masintootmisele, mis samuti lihtsustaks ja kiirendaks moodulite kokkupanemist. Mitmetes kirjandustes soovitatakse lisaks BIM-ile kasutada ka 3D laserskaneerimist moodulite kokku panemisel või rekonstrueeritavate hoonete puhul korrektsete ruumimõõtmete saamiseks. Laserskaneerimine on abiks parema täpsuse saavutamiseks. [40]

1.4 Lühikokkuvõte

Kirjanduse ülevaates tutvuti probleemvaldkonnaga, milleks on tehnosüsteemide paigaldusprobleemid. Selgus, et tehnosüsteemide paigaldusprobleemide kohta on tehtud pigem vähe ja mitte nii põhjalikke uuringuid. Sellegi poolest leidis mitu artiklit, kus oli põgusalt antud problemaatikat uuritud. Loetud kirjanduste põhjal selgus, et enamike paigaldusprobleemide põhjusteks on:

- vead ja puudused ehitusprojektis;
- kommunikatsiooni probleemid osapoolte vahel;
- ehitusprojektidesse mitte süvenemine ehituse projektijuhtide ja omanikujäreelvalve inseneride poolt;

- puudulik ehituse juhtimine;
- odavamate/kehvemate seadmete ja materjalide kasutamine;
- liiga hilja toodete tellimine ning pikad tarneajad;
- paigaldusjuhendite ja ehitusnõuete mitte järgimine;
- ruumipuudused paigaldustöödel;
- puudulikud ehitustööde vahekontrollimised ning ülevaastustel või katsetustel selgunud vead.

Need põhjused osaliselt viitavad puudulikule kvaliteedijuhtimisele. Erinevate kvaliteedijuhtimise meetodite peamiseks eesmärgiks on töötajate jätkusuutlik areng ning lõpptulemuste parendamine kvaliteedi ja kulutuste osas. Selliseid meetodeid on mõeldud kasutama terves ettevõttes. See tähendab, et soov saavutada paremaid tulemusi ning vähendada tehnosüsteemide paigaldusprobleemide esinemist sõltub palju suuremast inimeste ringist. Tööde kvaliteedi parendamise ettepanek peaks tulema seega ettevõtte või osakonna juhtide poolt.

Ehitatavuse analüüs on kvaliteedijuhtimise alamvaldkond ning seda kasutatakse pigem täiendusena juba olemasolevale kvaliteedijuhtimise süsteemile. Ehitatavuse analüüsi meetodiga on võimalik parendada ehitusprojektide kvaliteeti ning vähendada ehitustöödel esinevaid probleeme. Peamised ehitatavuse analüüsi praktikad on ehitajast konsultandi kaasamine projekteerimisetappidesse; ehitusprojektide põhjalik ja süsteemne kontrollimine enne ehitustöödega alustamist; projekteeritud lahenduste optimeerimine, lihtsustamine ja standardiseerimine; projekti ehitatavuse ja paigaldatavuse hindamine enne ehitustöödega alustamist ning 3D mudelite või BIM-i kasutamine ehitustööde plaanimise jaoks. Kuna mitmed uuringud on näidanud, et ehitatavuse analüüsiga on saavutatud ehituses häid tulemusi, siis antud uurimistöös üritatakse leida ehitatavuse analüüsi põhimõtete abil praktilisi lahendusi tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vältimiseks.

2. METOODIKA

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks on tuvastada enamlevinud kütte, ventilatsiooni ja jahutuse paigaldusprobleemid ning pakkuda välja praktikaid nende probleemide vähendamiseks. Uurimistöö eesmärgi saavutamiseks vastatakse kolmele uurimisküsimusele, milleks kasutatakse segameetodit. Segameetod on kvantitatiivsete ja kvalitatiivsete andmete kogumise meetod. Tehnosüsteemide probleemide kaardistamiseks kasutati kvantitatiivseid andmeid, mida koguti kasutades intervjuude meetodit ning kvalitatiivseid andmeid, mida koguti juhtumiuuringute meetodiga. Intervjuude meetodit kasutati veel Eestis kasutatavate ehitatavuse praktikate kaardistamiseks ning uurimistöös välja pakutud põhimõtete ja praktikate tagasiside saamise jaoks.

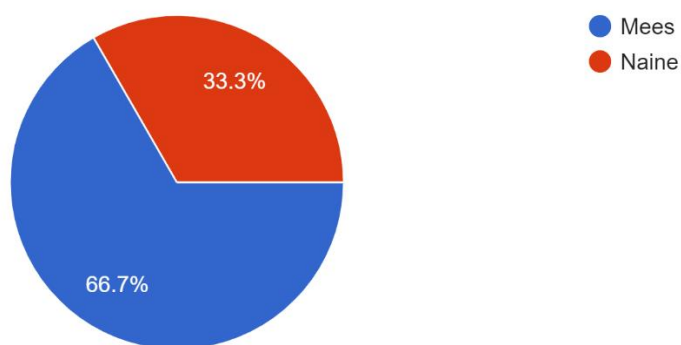
Uurimistöö metoodika osa on jagatud kolmeks etapiks:

- 1) Intervjuude ja juhtumiuuringute analüüs: intervjuude eesmärk oli teada saada, millised on enamlevinud ja korduvad kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemid ning nende probleemide põhjused; kas ja milliseid meetodeid või praktikaid kasutatakse nende probleemide parendamiseks ning mis muutusi võib oodata tulevikus. Juhtumiuuringute eesmärk oli intervjuudest saadud sisendi võrdlemine tegelikkusega tuues välja reaalseid näiteid ehitusprojektides esinevatest ehitatavuse probleemidest ja ehitusobjektidel esinevatest paigaldusprobleemidest.
- 2) Uurimistöö tulemuste võrdlus: võrreldakse kirjanduse ülevaates, intervjuude ja juhtumiuuringute tulemustes välja toodud KVJ paigaldusprobleeme.
- 3) Soovituslike praktikate välja pakkumine: saadud tulemuste põhjal pakutakse kvaliteedijuhtimise ja ehitatavuse analüüsi abil välja põhimõtteid ja praktikaid KVJ paigaldusprobleemide vähendamiseks.

2.1 Intervjuude kirjeldus

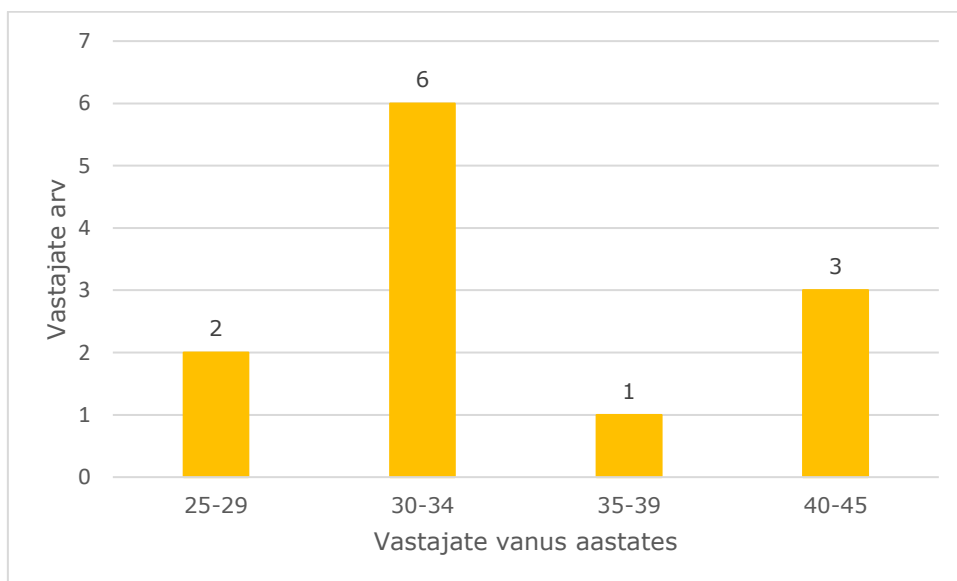
Intervjuusid viidi läbi projekteerijate ja projekteerimise projektijuhtidega ning ehituse projektijuhtide/kvaliteedijuhtidega. Enne intervjuusid saadeti intervjuueeritavatele lühike internetiküsitlus, kus insenerid said anonüümselt vastata oma tausta ja töökogemuse kohta. Internetiküsitluse jaoks kasutati *Google Forms* keskkonda. Küsitluse küsimused on toodud Lisas 1.

Intervjuudes osales kokku 12 inimest, nendest oli 8 meest ja 4 naist. Joonisel nr 2 on välja toodud intervjuueeritud inseneride naiste ja meeste osakaal protsentides.



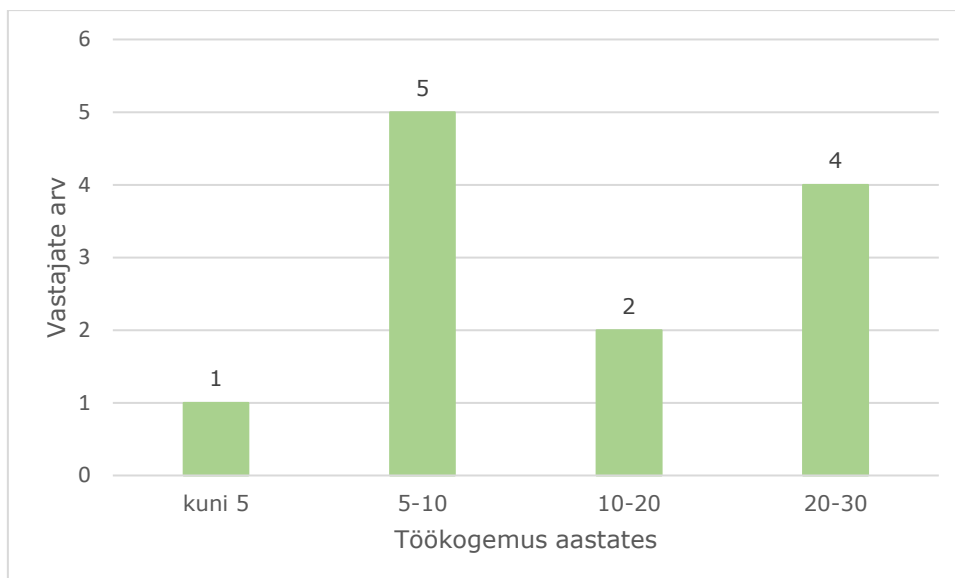
Joonis 2. Intervjuueeritavate meeste ja naiste osakaal

Intervjuueeritud inseneride keskmine vanus oli 32 aastat. Joonisel nr 3 on näha, et kõige rohkem osales intervjuudes 30-34 aastased insenerid.



Joonis 3. Intervjuueeritavate vanused

Intervjuudes osalenud insenerid olid enamuse pika ehitusalase kogemusega. Ainult üks intervjuueeritavatest oli väiksema töökogemusega, milleks oli 4 aastat. Joonisel nr 4 on näha, et kõige rohkem osales intervjuudes insenere, kellel oli tööalast kogemust 5-10 aastat või 20-30 aastat.



Joonis 4. Intervjueeritavate töökogemus aastates

Intervjuud koosnesid kolmest osast. Esimeses osas uuriti tehnosüsteemide paigaldusprobleeme ja nende põhjuseid. Teises osas uuriti, millised on teadmised ehitatavuse analüüsist ning, milliseid praktikaid intervjueeritavad kasutavad tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vältimiseks. Kolmandas osas küsiti intervjueeritavatelt arvamust, mis suunas praegune ehituskultuur suundub kvaliteedi ja ehitatavuse osas ning, mida võiks tulevikus oodata tehnosüsteemide poole pealt.

Projekteerijate ja projekteerimise projektijuhtidega tehti fookusgrupi intervjuusid. Fookusgrupi intervjuu on vestluse vormis läbi viidud rühmaintervjuu, kus järgitakse struktureeritud küsitluskava ning millel on kindel ja küllalt kitsas teemafookus. Kokku tehti projekteerijatega intervjuusid kolmes ettevõttes ning intervjuudes osales 2 projekteerimise projektijuhti ja 7 projekteerijat. Intervjuuküsimused on toodud Lisas 2.

Ehituse projektijuhtide/kvaliteedijuhtidega tehti individuaalseid poolstruktureeritud ekspertintervjuusid. Intervjuusid tehti kolmes erinevas peatöövõtu ettevõttes ning kokku intervjueeriti 3 inseneri. Inseneridel olid erinevad ametinimetused, kuid lihtsustatult saab öelda, et intervjueeriti kahte ehituse projektijuhti ja ühte kvaliteedijuhti. Ehituse projektijuhtidele suunatud intervjuuküsimused on toodud Lisas 3.

Intervjueeritavate loal vestlused salvestati telefoniga. Intervjuude analüüsiks kuulati salvestatud vestlusi uuesti ning kirjutati ülese uurimistöö temaga seonduvad olulised vastused, märkused ja kogemused. Iga intervjuu kohta tehti selliselt vestluste kokkuvõtted. Kui kõigi intervjuude tulemused olid välja kirjutatud, siis neid võrreldi

omavahel. Projekteerijate ja ehituse projektijuhtide intervjuude tulemusi võrreldi alguses eraldi. Sarnased vastused koondati ning tulemused kirjutati uurimistöösse.

2.2 Juhtumiuuringute kirjeldus

Juhtumiuuringutes analüüsiti projekteerimistöode ja ehitustööde ajal tehtud märkusi ning toodi välja korduvad ja seega peamised probleemid tehnosüsteemidega. Juhtumiuuringute subjektideks oli 3 ehitusprojekti ning 5 ehitusobjekti.

Ehitusprojektidest uuriti 3 projekti BIM mudelite kohta tehtud märkusi. Tehtud märkuste kohta informatsiooni koguti BIMcollab-ist. Märkused mudeli kohta olid tehtud BIM koordinaatori poolt, mis tähendab, et märkused olid mudeli korrektsuse, ristumiste ja mõnel määral ehitatavuse kohta, kuid mitte KVJ tehniliste lahenduste korrektsuse kohta. Tabelis nr 1 on välja toodud uuritud ehitusprojektide kirjeldused.

Tabel 1. Ehitusprojektide kirjeldused

Projekti nr	Ehitise kasutamise otstarve	Ehituse kirjeldus	Korruseid	Netopindala m ²
1*	Büroohoone	Rekonstrueerimine	3	800
2	Büroohoone	Rekonstrueerimine	Kelder +5	1700
3	Büroohoone	Rekonstrueerimine	Kelder + 4	6000

* Projekt 1 kohta tehtud märkused olid ekspertiisi tulemusel.

BIMcollabis välja toodud vigade ja probleemide analüüsiks käidi iga projekti jaoks kõik märkused läbi ning filtreeriti välja märkused, mis olid kütte, ventilatsiooni ja jahutuse osade kohta. KVJ osade kohta tehtud märkused jagati 5 kategooriasse – puudulik või vale infosisu, puudused või vead mudelis, ristumised, ehitatavuse küsimused ja kommentaarid.

Märkuste kategooriad on lahti seletatud järgnevalt:

Puudulik või vale infosisu – märkused, mis puudutasid BIM infosisu. Nt seadmetel valed, puudulikud või erineva stiiliga nimetused.

Puudused või vead mudelid – nt süsteemide või seadmete valed kõrgused ja asukohad, ühendamata torude otsad, isolatsioonide puudumine,

uuendamata/kohandamata KVJ mudel nt peale muudatust konstruktsioonide mudelis jms.

Ristumised – ristumised erinevate mudeli osadega (KVJ, elektri, vee ja kanalisatsiooni, konstruktsioonide osadega). BIMcollabis tehti märkusi ainult kriitiliste ristumiste kohta, mis vajavad mudelis lahendamist, sest need kohad vajavad suuremal või vähemal määral ümberprojekteerimist.

Ehitatavuse küsimused – kohad, mida pole võimalik tegelikkuses teostada või kohad, mida on keeruline teostada ja vajavad seega juba projekteerimise etapis lahenduse välja mõtlemist.

Kommentaariid – kommentaariid, mis ei käsitle vigasid, probleeme või puudusid. Nt vaated mudelist või pildid ehitusobjektilt.

Ehitusobjektidest uuriti 5 ehitist. Neljal esimesel ehitisel olid ehitustööde ajal tehtud märkused ja probleemid dokumenteeritud. Viiendal objektil olid märkused tehtud peale ehitustööde valmimist kolmandate isikute poolt. Võrreldes objekte ja ettevõtteid omavahel, siis kaks esimest objekti olid väiksemad ning neid ehtasid väiksemad peatöövõtu ettevõtted. Järgmised kaks objekti olid suuremad objektid, mida ehtasid keskmise suurusega peatöövõtu ettevõtted. Viimane objekt oli väga mahukas ning seda ehtas suur peatöövõtu ettevõte. Tabelis nr 2 on välja toodud uuritud objektide kirjeldused.

Tabel 2. Ehitusobjektide kirjeldused

Objekti nr	Objekti kirjeldus	Ehituse kirjeldus	Korruseid	Netopindala m2
1	Ridaelamud ja büroohoone	Uusehitis	2	2300
2	Ridaelamu	Uusehitis	2	1300
3	Büroohoone	Rekonstrueerimine	Kelder + 6	2700
4	Kool	Rekonstrueerimine + juurdeehitus	4	73000

5	Kaubandus- ja büroohoone.	Uusehitis	3k maa all (parkla) +5	80000
---	---------------------------	-----------	------------------------	-------

Peatüki 3.1.4 tabelites välja toodud paigaldusprobleemid on võetud vastavate ehitusobjektide omanikujäreelvalve märkuste tabelitest. Esimesel neljal objektil olid OJV märkused tehtud ehitustööde ajal ning viienda objekti kohta tehtud märkused tehti kolmandate isikute poolt peale ehitustööde lõppemist. Märkused on jagatud kolme tabelisse vastavalt raskusastmetele kerged, rasked ja kriitilised vead. Need kolm kategooriat valiti hinnanguliselt selleks, et probleemide tõsidust paremini ära jaotada.

Tabelid 4, 5 ja 6 on täidetud järgmiste tähistega:

- x probleem oli objektil;
- xx probleem oli objektil väga tõsine;
- o puudub sellekohane informatsioon;
- süsteem või lahendus objektil puudus ja sp probleeme ei esinenud.

2.3 Ehitatavuse praktikate leidmise kirjeldus

Käesoleva uurimistöö üheks eesmärgiks on leida võimalikke meetodeid tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vähendamiseks ja vältimiseks. Üks viis, kuidas on võimalik ehitusprobleeme vähendada on praktiseerides ehitusprotsessides kvaliteedijuhtimise süsteeme. Selles uurimistöös tahetakse kvaliteedijuhtimise ja ehitatavuse analüüsi abil välja pakkuda põhimõtteid ja praktikaid, mis võiksid aidata lahendada ehitustöödel esinevaid tehnosüsteemide paigaldusprobleeme.

Uurimistöös tuuakse välja 16 põhimõtet, mis on kombineeritud TQM ja *lean* põhiprintsiipidest. TQM ja *lean* printsiipe kohandati ja täiendati selliseks, et need võiksid aidata vähendada tehnosüsteemide ehitustöödel esinevaid probleeme. TQM meetodist kasutati 1. ja 3.-8. printsiipi. *Lean* meetodist kasutati 1., 2., 4.-9. ja 11. printsiipi.

Soovituslike praktikate välja pakkumisel lähtuti kvaliteedijuhtimise põhimõtetest, ehitatavuse analüüsist ning intervjueritud inseneride ettepanekutest ja kogemustest. Kuna tehnosüsteemide paigaldusprobleeme mõjutavad nii projekteerimise etapis tehtud otsused kui ka ehitamise etapis tehtud otsused, siis soovituslikud praktikad pakutakse välja mõlema etapi jaoks. Projekteerimise etapi jaoks toodi välja 13 praktikat ning ehitamise etapi jaoks toodi välja 20 praktikat.

Uurimistöös välja toodud põhimõtete ja praktikate kohta küsiti kogunud inseneridelt arvamust ja hinnangut. Selle jaoks viidi läbi koosolek, kus neid meetodeid esitleti. 16 põhimõtte ja 33 praktika kohta avaldas oma arvamust viis inseneri. Kõige pealt tutvustati inseneridele 16 põhimõtet ning iga insener sai avaldada nende kohta oma arvamuse ja omapoolsed ettepanekud. Järgmisena esitleti soovituslikud praktikad, mille kasumlikkust hindas iga insener 3-palli skaalal (hinne a). 3-palli skaala punktid on lahti seletatud järgmiselt:

0 – ei nõustu, et see praktika võiks aidata vähendada tehnosüsteemide probleemide esinemist;

1 – praktika võib mingil määral vähendada tehnosüsteemide probleemide esinemist;

2 – praktika võib oluliselt parandada tehnosüsteemide ehitustööde sujuvust ja vähendada probleemide esinemist.

Iga praktika kohta antud punktid summeeriti. Praktikad, mis kogusid rohkem punkte peaksid paremini aitama ehitusplatsidel tehnosüsteemide probleeme vältida. Saadud tulemustest tehti kokkuvõttev järjestus paremuse järjekorras. Lisaks praktikate kasumlikkuse hindamisele paluti inseneridel hinnata ka nende kasutamiselevõtmise lihtsust 5-palli skaalal (hinne b). Punktid on lahti seletatud järgnevalt:

0 – pole võimalik sellist praktikat kasutusele võtta;

1 – praktika kasutuselevõtt nõuab väga palju muutusi ja ressursikulu, mis tähendab, et seda pole mõistlik võtta kasutusele;

2 – praktika kasutuselevõtt võib olla alguses keeruline ja ajamahukas, kuid hiljem tasub see ära;

3 – praktika kasutuselevõtt vajab ettevõttes väikseid muutusi, kuid ei ole väga keeruline kasutusele võtta;

4 – praktikat on võimalik ilma suurte muutusteta ja lihtsalt kasutusele võtta.

Iga praktika kohta antud punktid summeeriti ning tehti kokkuvõtte.

3. TEHNOSÜSTEEMIDE PAIGALDUSPROBLEEMID, PÕHJUSED JA PRAKTIKAD

Antud peatükis tehakse ülevaade intervjuude tulemustest ja juhtumiuuringutest. Peatükk jaguneb kolmeks alapeatükiks. Alapeatükkides tuuakse välja enamlevinud ja korduvad paigaldusprobleemid; paigaldusprobleemide põhjused; praktikad, mida kasutatakse nende probleemide vähendamiseks ning ehitatavuse ja kvaliteedi ootused tulevikuks.

3.1 Kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemid

Paigaldusprobleemide all mõeldakse paigaldusvigu ning kõiki asjaolusid, mis takistavad või raskendavad paigaldustöid. Antud peatükis vastatakse uurimistöö esimesele küsimusele ning tuuakse välja enamlevinud ja korduvad paigaldusprobleemid, mis intervjuudest ja juhtumiuuringutest esile tulid.

Peatükk on jagatud neljaks alapeatükiks. Esimesed kaks alapeatükki käsitlevad paigaldusprobleeme, mis on seotud ehitusprojektides esinevate puudustega ja vigadega. Viimased kaks alapeatükki käsitlevad paigaldusprobleeme, mis esinevad ehitusplatsidel.

3.1.1 Projekteerijate ja projekteerimise projektijuhtide intervjuude tulemused

Üks peamisi probleeme paigaldustel on seotud kandurite ja kinnitusklambritega. Tihti peale tekib ehitustööde käigus küsimusi, kuidas tehnosüsteeme kinnitada või kuhu kinniteid paigaldada. Eriti suureks probleemiks on kohad, kus kinnituste paigaldamist takistavad muud kommunikatsioonid. See tähendab, et projekteerimise käigus pole arvestatud torude ja õhukanalite paigaldatavusega. Selle probleemiga olid kõik intervjuueeritavad kursis, kuid selle osas tekkisid erinevatest ettevõtetest projekteerijate vahel eriarvamused. Ühest ettevõttest projekteerijad tõid välja, et nemad projekteerimise käigus mõtlevad süsteemide paigaldatavusele ja sellele, et oleks võimalikult mugav kinniteid kasutada. Teisest ettevõttest oldi arvamusel, et kuna kandurite projekteerimine ei kuulu projekteerimise põhimahtu, siis nemad alati paigaldatavusele nii palju tähelepanu ei pööra.

Kinnitite välja modelleerimine suurendaks oluliselt projekteerimise mahtu ning seega suurendaks projekteerimisele kuluvat eelarvet. Ühest ettevõttest toodi näide, kuidas tellija soovis hinnapakumist kandurite ja kinnitite välja mudeldamise jaoks, kuid selle

eelarve tuli väga suur ning seepärast sellest mõttest loobuti. See aga ei tähenda, et projekteerija ei võiks projekteerimise käigus teha ise oma peas pidevat paigaldatavuse analüüsi. Selline analüüs on vajalik, sest 3D mudelid on petlikud. Mudelis tundub kõik ilus ja teostatav, tegelikkuses on see pilt aga palju keerulisem. Veel üks näide, mis intervjuudes välja toodi: IFC-s oli piisavalt ruumi kanalisatsioonitorude ja lae vahel selleks, et projekteerida sinna ventilatsiooni õhukanalid. Tegelikkuses oli lae all palju kanalisatsioonitorude kinniteid ning reaalsuses sellist ruumi lae ja toru vahel ei olnud.

Ruumipuudus on üks kitsaskohtadest, mis tekitab paigaldustel probleeme. Peamised ruumi küsimused tekivad suurtemates šahtides ning kohtades, kus on vaja kasutada ripplagesid. Uusehitiste puhul enamjaolt üritatakse seda probleemi vältida mõeldes ruumivajadusele juba arhitektuursete plaanide koostamisel. Rekonstrueeritavate hoonete puhul ei ole tehnosüsteemide jaoks ruumi juurde tekitamine alati võimalik. Tihti peale näevad vanadele hoonetele projekteeritud uued lahendused sellised välja, kus torud on üksteise kõrvale mudeldatud cm täpsusega. Sellistes keerulisemates kohtades on ehitusplatsil tööde järjekord eriti oluline. Projekteerijad tõid välja, et nende kogemuste põhjal tehakse ehitusplatsidel vigu just sellega, et ei mõelda läbi tööde järjekord ning hiljem süüdistatakse projekti keerukust kui ilmnevad raskused ehitustöodes.

Enamus ehitusobjektide jaoks on olemas 3D mudelid. Nende mudelite kasutamine ehitusplatsidel võiks olla abiks tööde järjekorra koostamisel. Projekteerijate kogemusel ei ole ehitajad (eriti alltöövõtjad) valdavalt huvitatud 3D mudelitest. Mudelid antakse edasi tellijale ning sellega mudelite kasutamine piirdub. 2D joonised ei ole aga alati üheselt arusaadavad ning see tähendab, et ehitaja võtab aegajalt projekteerijaga ühendust selleks, et teha täpsustusi. Suuremad peatöövõtjad või objektidel, kus on pädevad noored insenerid kasutatakse ehitusplatsidel ka 3D mudeleid 2D jooniste kõrval. On tulnud tagasisidet, et see on projektidest arusaamist parandanud ning seega töid lihtsustanud.

Järgnevalt on välja toodud veel mõned mõtted, mis projekteerijad välja käisid:

- Ehitajatel ei ole kogemusi ja kvalifikatsioone. Inimesed ei jää töökohtadele pidama ja sellepärast ei suurene kogemused. Näide: ehitaja oli küsinud projekteerija käest kuidas monteerida.
- Infot on palju ja sellepärast tekib rohkem vigu.

- Mitmed kogunud inimesed väidavad, et probleemiks on see, et kõige rohkem vaadatakse ristumisi, aga põhimõtted ei ole paigas – kas süsteem toimib ja on optimaalne, loogiline jne. Probleemid on tihti palju sügavamad.
- Mudel ise võib olla ristumiste vaba, aga see ei tähenda, et lahendused on teostatavad reaalsuses.
- Süsteemid on üldjuhul ikka ehitatavad, aga kas just kõige optimaalsemalt lahendatud.
- Vahel on ka selliseid olukordi, kus väliselt kõik töötab ja toimib, aga hiljem tuleb välja, et nt küte ja jahutus töötasid samal ajal ja seepärast energiakulud suurenesid.

3.1.2 Ehitusprojektide infomudelites esinenud vead ja probleemid

Selles peatükis tuuakse välja kolme ehitusprojekti tehnosüsteemide kohta tehtud märkuste kokkuvõtted. Tehnosüsteemide mudelite kohta tehtud märkused jagati 5 kategooriasse – puudulik või vale infosisu; puudused või vead mudelis; ristumised; tavalised kommentaarid ning ehitatavuse probleemid. Need kategooriad on lahti seletatud metoodika peatükis 2.2. Tabelis nr 3 on välja toodud iga uuritud ehitusprojekti kohta mitu märkust esines igas kategoorias ning nende osakaal kõikidest tehnosüsteemide märkustest.

Tabel 3. Kokkuvõtte ehitusprojektides tehtud KVJ märkustest kategooriate kaupa

Märkus:	Projekt 1	Projekt 2	Projekt 3
Puudulik, vale infosisu	13 / 48%	35 / 24%	26 / 11%
Puudused või vead mudelis	7 / 26%	45 / 31%	47 / 19%
Ristumine	3 / 11%	17 / 12%	121 / 49%
Kommentaar	3 / 11%	15 / 11%	44 / 18%
Ehitatavuse probleem	1 / 4%	32 / 22%	8 / 3%
Kokku:	27 / 100%	144 / 100%	246 / 100%

Projektis nr 1 oli märkusi kokku 75, millest KVJ märkusi oli 27 ehk 36% kõikidest märkustest. Projektis nr 2 oli märkusi kokku 365, millest KVJ märkusi oli 144 ehk 39% kõikidest märkustest. Projektis nr 3 oli märkusi kokku 610, millest KVJ märkusi oli 246 ehk 40% kõikidest märkustest. Tehnosüsteemide kohta tehti seega märkusi keskmiselt

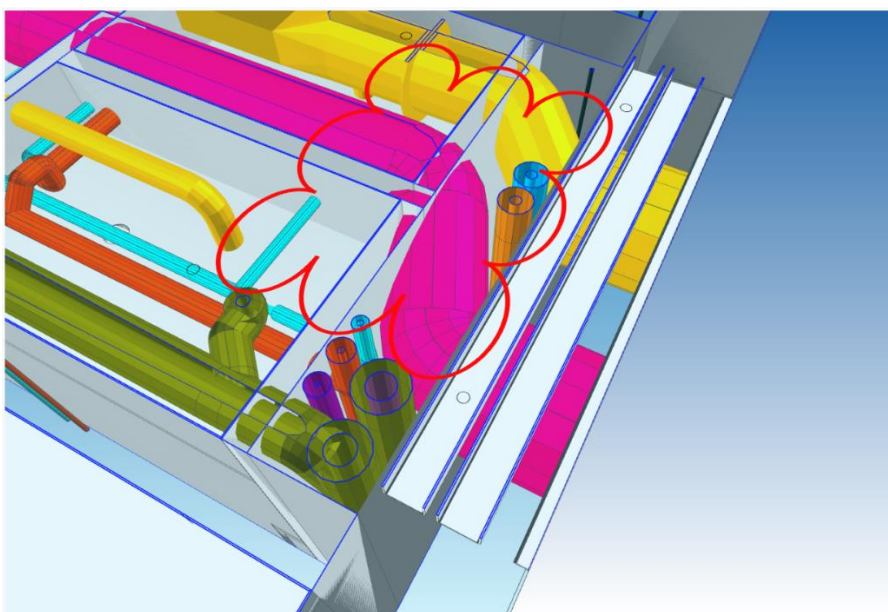
38%. Kokkuvõttes võib öelda, et kütte, ventilatsiooni ja jahutuse osade kohta tehtud märkused moodustasid märkimisväärse osa kõikidest märkustest.

Ehitatavuse probleemidest tuuakse järgnevalt 6 näidet ehitusprojektist nr 2 ja 3. Pildil nr 1 on näha ventilatsiooni õhukanalite ristumist konstruktiivse sillusega. Probleem seisnes selles, et mudelis polnud ruumi õhukanaleid mujale liigutada. Selliseid probleeme, kus KVJ osad lõikasid ukse sillust, oli projektis nr 2 ja 3 päris mitu.



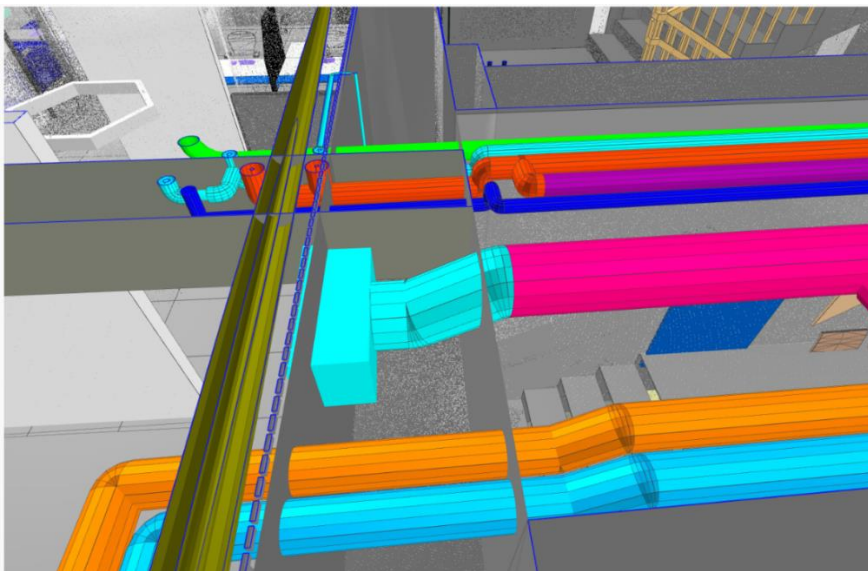
Pilt 1. Ukse silluse ja õhukanali ristumine (Projekt 2)

Pildil nr 2 on näha seina ja toru ristumist, mida pole võimalik välja ehitada. Selleks, et ehitusplatsil ei peaks aega kulutama lahenduse välja mõtlemiseks, siis peaks sellised kohad mudelis ära lahendama.



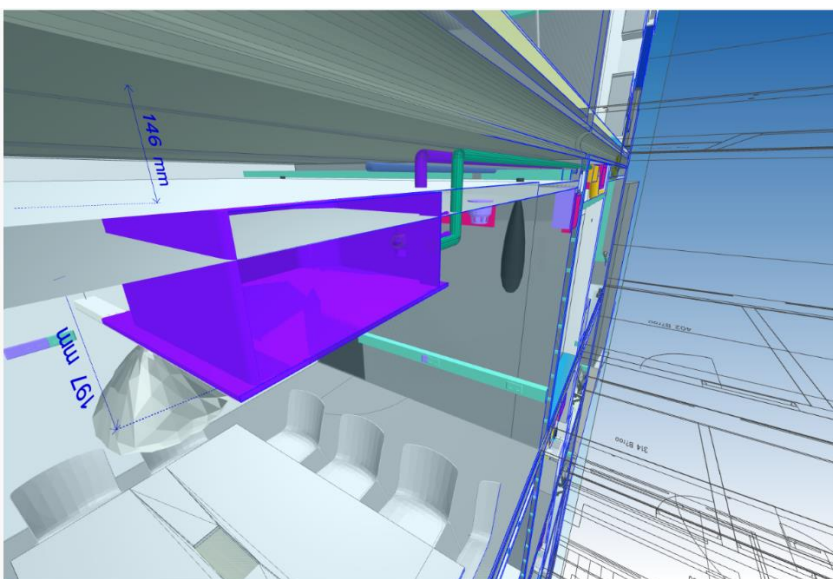
Pilt 2. Seina ja õhukanali ristumine (Projekt 2)

Pildil nr 3 on näha ebamugavat läbiviiku seinast. Selliselt suure ava tegemine seinas või diagonaalselt ava puurimine ei ole optimaalne ega lihtne. Antud koht lahendati selliselt, et põlve kohta liigutati edasi selliselt, et sirge toru läks seinast läbi ning selle jaoks muudeti ka õhujaoturi tüüp.



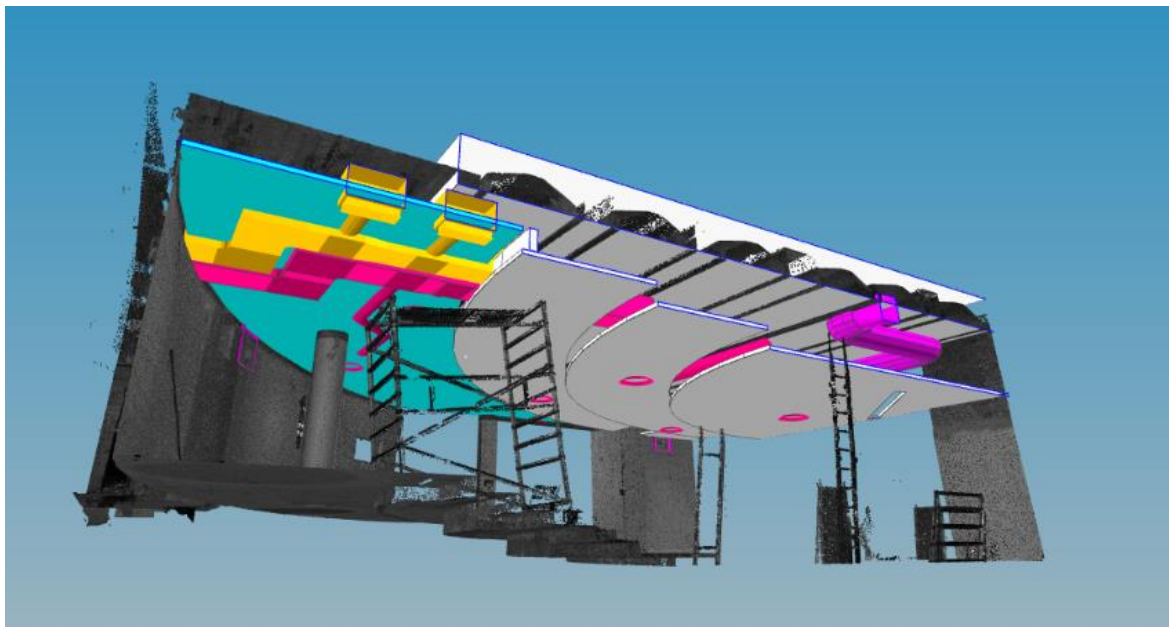
Pilt 3. Õhukanali keeruline läbiviik seinast (Projekt 2)

Väga tüüpiline probleem projekteerimises on seadmete ja torude ära mahutamine ripplagede taha. Projektis nr 2 ja nr 3 käis läbi väga palju arutelusid, kuidas selliseid kohtasid lahendada – kas on võimalik seadmeid ja torusid üles poole tõsta või mujale viia ning, kas on võimalik ripplagesid alla poole tuua. Need on olulised küsimused, mis tuleks enne ehitustöödega alustamist läbi käia. Pildil nr 4 on toodud näide sellest, kuidas fancoil algsest ei mahtunud ripplae taha ära.



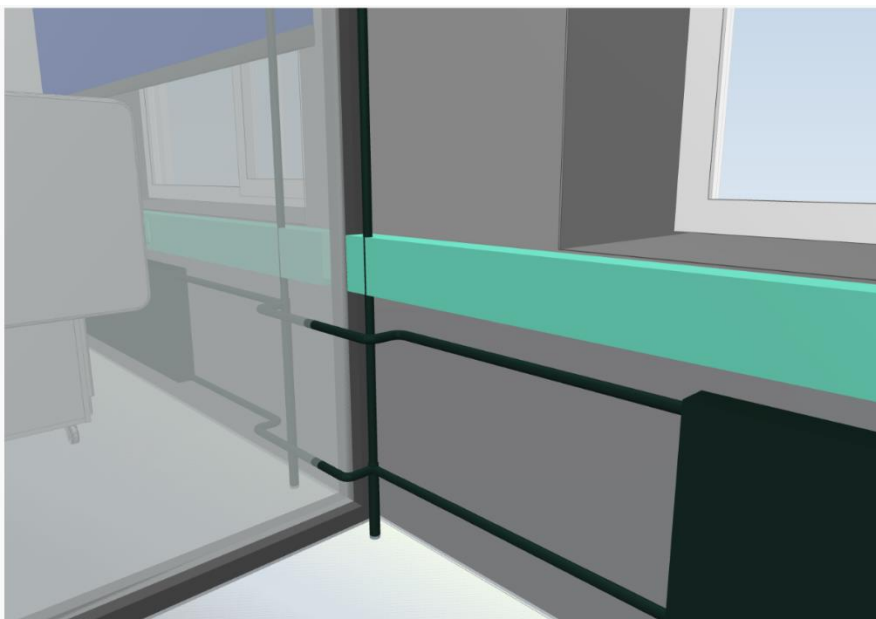
Pilt 4. Fancoili ja ripplae ristumine (Projekt 2)

Pildil nr 5 on toodud veel üks näide ripplagede ja õhukanalite ära mahutamise probleemist. Antud ruumis kasutati astmelist ripplagede lahendust ning kuna viimasel kõige kõrgemal astmel ei mahtunud õhukanalid lae taha ära, siis pidi kõik neli ripplae osa alla poole tooma.

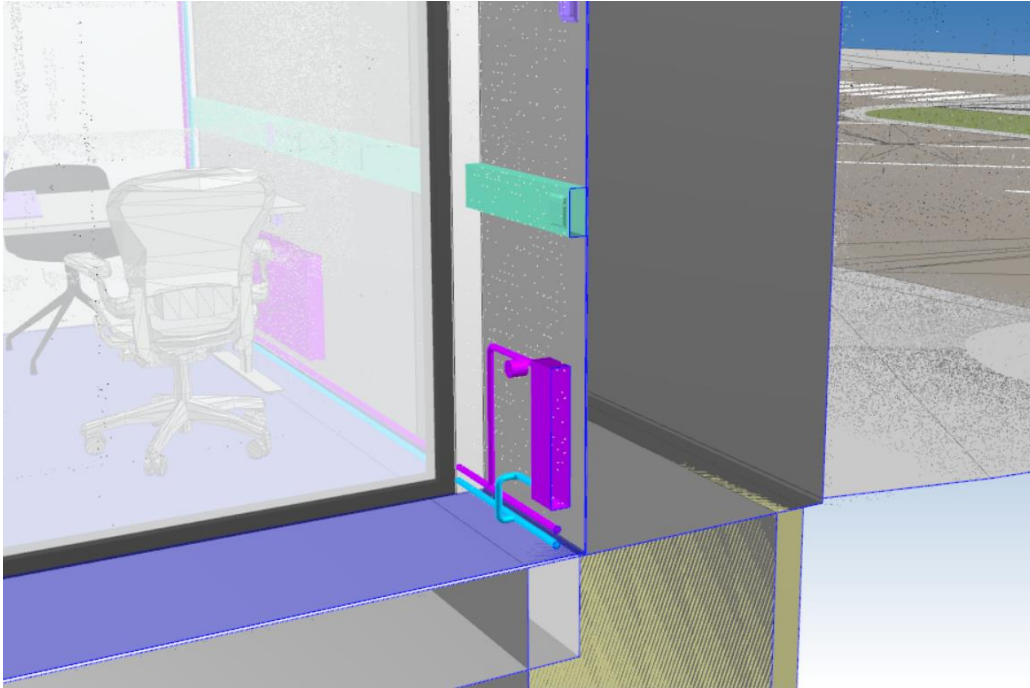


Pilt 5. Õhukanalite ja ripplae ristumine (Projekt 3)

Pildil nr 6 on näha, kuidas kütetorud lähevad klaasvaheseinast läbi. Antud kohas tekkis küsimus, kuidas sellist lahendust ehitusplatsil lahendada. Kuna sellist lahendust ei olnud võimalik päriselt teostada, siis see koht lahendati mudelis ära enne ehitustöid. Pildil nr 7 on näidatud, kuidas see koht hiljem lahendati.



Pilt 6. Läbi mõtlemata kütetorude läbiviik klaasist vaheseinast (Projekt 2)



Pilt 7. Lahendus vältimaks kütetorude läbiviiku klaasist vaheseinast (Projekt 2)

BIMcollab-is tehtud märkustest oli näha, et kõigi kolme ehitusprojekti mudelid käidi põhjalikult läbi ning sealhulgas hinnati ka tehnosüsteemide projekteeritud lahenduste ehitatavust. Ehitusprojektide juhtumiuuringud olid heaks näiteks, kuidas võiks enne ehitustöid projekte analüüsida ja hinnata. Üks BIM koordinaator oskas öelda, et paarilt ehitusplatsilt on tulnud positiivset tagasisidet kui mudelid on korrektselt tehtud. Samuti on tulnud ehitajatelt tagasisidet selle kohta, et mudelite kasutamine on oluliselt parandanud ja lihtsustanud ehitustöid ning edaspidi eelistatakse mudelite kasutamist 2D joonistele.

3.1.3 Ehituse projektijuhtide/kvaliteedijuhtide intervjuude tulemused

Intervjueeritud ehituse projektijuhid ei olnud väga avatud rääkima KVJ paigaldusprobleemidest ja paigaldusvigadest, millega nad on oma objektidel kokku puutunud. Üks intervjueeritavatest tõi välja, et tema silmis ei esine tehnosüsteemide paigaldustel olulisi probleeme. Põhjus, miks intervjuu alguses ei osatud probleeme välja tuua võis seisneda selles, et ehituse projektijuhid ei käi väga tihti ehitusobjektidel ning seega ei ole teadlikud esinevatest probleemidest, või ei tahetud probleeme ja vigasid tunnistada. Intervjuu käigus tuli siiski välja mitmeid KVJ paigaldusprobleeme. Järgnevalt on välja toodud probleemid, mis intervjuudes kordusid:

- Puudulik või vigane projekt. Samuti kui projekteeritud lahendus ei toimi realsuses. Näiteks tüüpiliseks probleemiks on ventilatsiooni plafoonide

asukohad. Tihti peale on projektis sissepuhke ja väljatõmbe plafoonid pandud ühte toa nurka.

- Lähteülesanne alati ei kajastu ehitusprojektis ning seega see ei jõua ehitusplatsile. Näiteks kui lähteülesandes on toodud välja rangemad nõuded müratasemetele, aga ehitusprojektis on välja toodud standardipõhised müranõuded.
- Infosulg. Eriti kui projektis tuleb muudatus, siis info ei jõua alati peatöövõtjalt alltöövõtjani.
- Materjalide kooskõlastused hilinevad või võtavad väga palju aega. Tehnosüsteemide ehitus on mõnel objektil jäänud kooskõlastuste taha seisma.
- Kasutatakse kooskõlastamata seadmeid.
- Tarne probleemid. Tarne probleemide pärast on samuti jäänud tehnosüsteemide ehitus seisma.
- Ehitatakse projektist erinev lahendus valmis ning tahetakse tagantjärele muudetud lahendust kooskõlastada. Kui lahendus on põhimõttelt vale, siis tehtud töö tehakse ümber.
- Ei võeta tõsiselt vibratsiooni edasikandumise vältimist. Näiteks erinevalt kokkuleppes jäetakse vibratsiooni takistavad kummid panemata.
- Isoleerimisvead. Puudulik isoleerimine või isolatsiooni valesti paigaldamine.
- Valede kinnitite ja kinnitusvahendite kasutamine. Samuti ka ruumiprobleemid kinnitite panemisel.
- Pole järgitud toodete paigaldamise ja ladustamise juhendeid.
- Läbiviikude küsimused.
- Probleemid kaetud tööde aktidega. Aktid esitatakse liiga hilja, mis enamikel juhtudel tähendab kordus katsetusi/kontrolle. Katsetusi/kontrolle tehakse valesti või ei taheta teha üldse. Omanikujäreelvalve või objektijuht peab nõudma, et ATV teeks näiteks torude kaldekontrolle ja survekatsetusi.

- Konfliktid omanikujäreelvalve ja platsimeeskonna vahel. Ei saada teineteisest aru, sest reeglid ei ole paika pandud. Tekib rohkem situatsioone, kus on vaja tehtud tööd ümber ehitada või teha parandustöid.
- Kui ehitis ehitatakse etappide kaupa, siis komplekskatsetusi ei tehta tervele hoonele ning tavaliselt tulevad hiljem paigaldusvead välja.

3.1.4 Ehitusobjektidel esinenud tehnosüsteemide paigaldusprobleemid

Selles peatükis on tehtud kokkuvõtte uuritud ehitusobjektide tehnosüsteemide probleemidest. Järgnevates tabelites välja toodud paigaldusprobleemid on võetud vastavate ehitusobjektide omanikujäreelvalve märkuste tabelitest. Märkused on jagatud kolme tabelisse vastavalt raskusastmetele kerged, rasked ja kriitilised vead. Objektide kirjeldused ja tabelis olevate tähistete seletused on toodud metoodika peatükis 2.2.

Tabelis nr 4 on välja toodud uuritud ehitusobjektidel kordunud kerged paigaldusvead. Kergete vigade all mõeldakse visuaalseid vigu, mis ei mõjuta süsteemide toimivust ega eluiga kui neid ei parandata.

Tabel 4. Ehitusobjektidel esinenud kerged paigaldusvead

Kerged vead						
	KVJ probleemid ehitusplatsidel:	Objekt 1	Objekt 2	Objekt 3	Objekt 4	Objekt 5
1	Õhutorude hermetiseerimiseks teibi kasutamine.	x	x	x	x	
2	Puudulik tehnosüsteemide markeerimine (spetsiaalsed markeerimise kleebised)	x	x	x		xx
3	Seadmesiltide mittekasutamine (tehnoruumides, soojussõlmedes)	x	x	x	x	xx
4	Kinnitusklambrid (kinnitusklambri	x		o	x	

	kummitihend) ja torud rikutud (seina)värviga					
5	Looklevad ühesuunalised torud.	x	x	x	x	

Kokkuvõttes võib öelda, et välja toodud viis paigaldusviga esines enamus uuritud ehitusobjektidel. Kõige vähem esines probleemi sellega, et seinte või lagede värvimisel kinnitusklambrid ja torud said värviga kokku. Kõige rohkem esines probleeme sildistustega. Viie objekti tehno ruumides ja soojussõlmedes olid puudulikult sildistatud või üldse sildistamata seadmed. Seadmete sildistused ei mõjuta süsteemide tööd, kuid lihtsustavad kunagi hiljem nt soojussõlmest aru saada ning otsitavaid seadmeid kiiremini üles leida.

Rasketel vigadel all mõeldakse vigu, mis võibolla kohe süsteemide toimivust ei mõjuta, kuid ajapikku võivad hakata seda tegema, näiteks vead, mis mõjutavad süsteemide või seadmete energiasäästlikkust ja eluiga. Lisaks rasketele paigaldusvigadele on tabelis nr 5 välja toodud uuritud ehitusobjektidel kordunud rasked paigaldusprobleemid, mis mõjutasid tehnosüsteemide ehitustöid.

Tabel 5. Ehitusobjektidel esinenud rasked paigaldusprobleemid

Rasked vead						
	KVJ probleemid ehitusplatsidel:	Objekt 1	Objekt 2	Objekt 3	Objekt 4	Objekt 5
1	Probleemid seadmete ja materjalide kooskõlastamisel. Sh kui kooskõlastused on jäetud tegemata või tehakse tagantjärele.	xx	xx	xx	x	0
2	Valede kinnitite ja kinnitusvahendite kasutamine, sh valede kinnitite kasutamine isoleeritud torude puhul.	x	xx	x		x

3	Piisavas koguses kinnitite kasutamine, arvestades nõuetekohast paigaldussammu ning selliselt, et iga toru ja seade oleks kinnitusklambriga kinnitatud.	x	xx	o		
4	Juhenditele mitte vastavalt toodete ladustamine ehitusplatsil	x	o	x	o	o
5	Lahti käivate jätkude paigaldamine selliselt, et kõiki seadmeid, ventiile jms saab eemaldada ilma torusid katkestamata.	x	x	x	x	
6	Ehituse ajal KVJ torude otste lahtiselt jätmine.	x	x	x	x	o
7	Ehituse käigus kahjustada saanud torud või torude isolatsioon ning vajadus need kohad demonteerida ja uuesti teha.	x	o	x	x	o
8	Probleemid KVJ torude ära mahutamisel ripplagede taha	x	x	x	x	
9	Probleemid läbiviikudel (avad vales kohas, avad liiga suured/väiksed, läbimõtle mata läbiviigu lahendus, kaitsehülsside mitte kasutamine)	x	x	x	x	o

Kokkuvõttes võib öelda, et rasketest vigadest oli kõige rohkem probleeme seadmete ja materjalide kooskõlastustega. Viiest objektist kolmel oli see probleem väga tõsine. Viiest

objektist neljal tehti vigu kinnitite ja kinnitusvahendite valikul ja kasutamisel. Näiteks kinnitusklambrite asemel oli mõnel objektil kasutatud perforeeritud linti või kaablisidemeid. Samuti loeti veaks kui kasutati kummitihendita kinnitusklambreid torudel, kus pidi olema kummitihend. Korduvateks paigaldusprobleemideks oli veel tehnosüsteemide ära mahutamise ripplagede taha ning probleemid läbiviikudega.

Kriitiliste vigade all mõeldakse kohtasid, mis on vaja süsteemi toimima hakkamise ja ehitusnõuetele vastavuse jaoks kindlasti ära parandada. Tabelis nr 6 on välja toodud uuritud ehitusobjektidel kordunud kriitilised paigaldusprobleemid.

Tabel 6. Ehitusobjektidel esinenud kriitilised paigaldusprobleemid

Kriitilised vead						
	KVJ probleemid ehitusplatsidel:	Objekt 1	Objekt 2	Objekt 3	Objekt 4	Objekt 5
1	Projektijärgne ehitamine.	x	x	xx	x	xx
2	Vigadega või puudustega ehitusprojekt.	x	x	xx		o
3	Alternatiivsete toodete ja materjalide vähene analüüs ja võrdlus tõendamaks samaväärsust.	x	x	xx	x	o
4	Õhukanalite puhastusluukide nõuetekohane paigaldus, niiet kogu süsteem oleks puhastatav ja elemendid (nt tuletõkkeklapid) teenindatavad.	x	x	x	x	x
5	Jahutuse kondensaaditoru sifooni valesti paigaldamine.	x	-	o	x	
6	Vent. seadmete teenindatavuse probleemid tehnoruumides.	x			xx	
7	Vibratsioonitõkke vahendite mitte kasutamine.	x	x	x	x	o
8	Müraprobleemid ja sellest tulenevalt muudatustööd, mis nõuavad lisakulutusi.	o	o	x	x	o

9	Puudulik või vigane isoleerimine (isolatsioon ei ole korrektset liimitud; isolatsioon ei ole õhutihedalt ümber toru, isolatsioon puudub jms).	x	xx	o	x	xx
10	Õigete isolatsiooni materjalide kasutamine, sh vajadusel isolatsiooni kaitsekattete kasutamine kahjustuste vältimiseks.		x	o	x	o
11	Tehnosüsteemide nõuetekohase torude vahe võimaldamine selliselt, et torud ei oleks üksteise vastas.	xx	xx	x	x	
12	Seadmete paigaldamine vastavalt paigaldusjuhiste.	x	x	x	x	x
13	Värvitud torustike nõuetekohane värvikihi paksus (ülevärvimine peale kontrollimist)	o	x	o	x	o
14	Probleemid kaetud tööde aktidega. Ebaõnnestunud katsetused (nt survekatsetused), kaetud tööde aktid saadetakse palju hiljem allkirjastamiseks, kaetud tööde aktid lükatakse tagasi, kaetud tööde aktid on jäetud tegemata.	xx	xx	xx	xx	o
15	Probleemid seadistamisega (õhuhulkade, vooluhulkade seadistamis)	x	o	xx	xx	o
16	Ebaõnnestunud komplekskatsetused.	-	-	x	x	o

Palju rohkem esines ehitusobjektidel kriitilisi vigu ja probleeme. Kõige suuremaks probleemiks osutus projektijärgne ehitamine. Viiel objektil ei järgitud ehituse aluseks olevat projekti tehnosüsteemide ehitustöödel. Seadmete paigaldamine vastavalt paigaldusjuhiste ja õhukanalite puhastusluukide nõuetekohane paigaldus olid samuti probleemiks kõigil viiel ehitusobjektil.

Neljal objektil oli tõsine probleem kaetud tööde aktidega ning see probleem mõjutas objektidel edasisi ehitustöid. Sarnaselt kaetud tööde aktidele oli palju vaidlusi alternatiivsete toodete valikult, sest ehitaja poolt ei tehtud või ei osatud teha võrdlusi projektijärgsete toodetega. Paigaldusvigadest esines veel palju isoleerimisvigu. Samuti torude paigaldamisel ei järgitud torude vahelise vahe jätmise nõuet isegi kui selleks oli ruumi.

3.2 Kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemide põhjused

Selles peatükis vastatakse uurimistöö II küsimusele ning tuuakse välja paigaldusprobleemide võimalikud põhjused intervjueeritavate kogemuste põhjal.

„Projekteerijad ja projekteerimise projektijuhid“ peatükis tuuakse välja peamised põhjused, miks ehitusprojektidesse on jäänud sisse vead või puudused. „Ehituse projektijuhid ja kvaliteedijuhid“ peatükis tuuakse välja paigaldusprobleemide põhjused ehitusplatsi poole pealt vaadates.

3.2.1 Projekteerijate ja projekteerimise projektijuhtide intervjuude tulemused

Kõik intervjueeritavad projekteerijad tõid välja esimeseks ja peamiseks probleemiks projekteerimise etapis puuduliku lähteinfo. Lähteinfo tellijalt on projekteerimistööde aluseks ning kui lähteinfo ei ole piisavalt täpne, ei jõua õigel ajal projekteerijateni või kui seda pidevalt muudetakse, siis on arusaadav, miks see on projekteerimispuuduste üheks peamiseks allikaks. Näideteks toodi olukordi, kus projekteerimistööd seisavad lähteülesande taga ning kui lõpuks lähteülesanne esitatakse, siis eeldatakse, et algne projekti esitamise tähtaeg jääb samaks. Samuti toodi välja, et lähteülesande hilinemine on peamiseks põhjuseks, miks tekib olukordi, kus projekteeritakse ja ehitatakse paralleelselt.

Järgmiseks probleemiks toodi välja erimeelsused ja vaidlused arhitektidega. Palju aega kulub selle peale, et arhitektid dikteerivad oma nõudeid ning KVJ insenerid peavad seletama, miks mingit lahendust ei ole võimalik teha ja selgitama, et kui üks hetk ehitaja kaasatakse aruteludesse, siis peab ikka selle lahenduse ümber muutma. Samuti on

keeruline mõelda süsteemide lihtsustamise peale kui hoone arhitektuur seda ei soodusta. Isegi kui tänaseks on arhitektide teadlikus hoonete tehnilisest poolest kasvanud, on KVJ projekteerijatel tunne, et pidevalt katsetatakse tehnosüsteemide piire. Intervjuudest jäi mulje, et antud probleem esineb kõige sagedasemini siis kui arhitektid on erinevast ettevõttest. Nendes ettevõtetes, kus on võimekust teha enamus või kogu projekt ettevõtte sees ei ole see probleem nii suur. Samuti sellistes ettevõtetes enamikel juhtudel kaasatakse KVJ insener ka juba planeerimisetappidesse.

Kolmas aeganõudev ja raske etapp projekteerimises on viimane staadium kui on selgunud ehitaja. Intervjueeritavate kogemuste põhjal selgus, et enamustel juhtudel kaasatakse ehitaja alles siis kui põhiprojekt on valmis, mis tähendab projekteerija jaoks olulisi muudatusi oma töös. Üks oluline osa nendest muudatustest on seadmete kooskõlastamised ning see, et mõni asendus eeldab täiendavat ümberprojekteerimist. Kui seadmete kooskõlastused tulevad väga hilja siis tekivad projekteerimises jälle aja probleemid. Teiseks probleemiks, kui kohe alguses ei ole ehitaja ja projekteerija koostööd, tekivad olukorrad, kus tööprojekt ei vasta tegelikule olukorrale, kuna ehitaja on ehitanud ikka nii nagu temal on mugavam. Seega lisandub kulu teostusdokumentatsioonide peale.

Eelnevalt välja toodud kolm peamist probleemi projekteerimises – puudulik lähteinfo, arhitektide teadmatus/kogenematus ning ehitaja kaasamine aruteludesse alles tööprojektis – on väga suure ajakuluga, mis omakorda ohustavad tähtaegadest kinnipidamist. Kõik intervjueeritud projekteerijad tõid välja, et ajapuudus on põhjuseks, miks aegajalt saadetakse projektid lõpliku kontrollita välja ja seega ka põhjuseks, miks projektides on puudusi või vigu. Parematel juhtudel kontrollib ja annab tagasisidet projektile tellija, ekspertiisi tegija, ehituse projektijuht. Halvemal juhul tulevad need vead välja alles ehitusplatsil. Näiteks toodi ehitusobjekt, kus ei tehtud BIM mudeli kontrolli, kõik kommunikatsioonid jooksid ühte koridori kokku ning tekkis küsimus, kuidas seda lahendust ehitusplatsil teostada.

Intervjueeritavate kogemuste põhjal osati öelda, et üha enam soovivad ka eratellijad ehitusprojektide jaoks eksperdi arvamust ehk ekspertiise. Ekspertiise võiks muidu nimetada üheks ehitatavuse analüüsi meetodiks kui sealt saadav tagasiside oleks konstruktiivne. Intervjuudest aga selgus, et ekspertiisid üldjuhul ei ole väga põhjalikud. Kontrollitakse pigem seletuskirjasid ja seal välja toodud standardite kehtivust. Mudeleid või jooniseid pigem ei hinnata. Samuti toodi näide, kuidas ekspert eksis ja juhendas projekteerijaid valesti, mille tagajärjel pidi valmis lahendust hiljem ümber ehitama. Siin ei saa muidugi üldistada kõiki ekspertiise, aga sellised kogemused olid intervjueeritud projekteerijatel.

Kokkuvõttes võib öelda, et intervjueeritavate kogemuste põhjal on projekteerimisvigade või ehitusprojekti puuduste peamisteks põhjusteks:

- puudulik või hilinevad lähteinfo;
- erimeelsused ja vaidlused arhitektidega (keerulised arhitektuursed plaanid);
- ehitaja liiga hilja kaasamine aruteludesse;
- ajapuudus;
- projektide puudulik kontrollimine ja hindamine.

3.2.2 Ehituse projektijuhtide/kvaliteedijuhtide intervjuude tulemused

Intervjueeritud ehituse projektijuhid/kvaliteedijuhid olid tehnosüsteemide paigaldusprobleemide põhjuste osas kahel arvamusel. Üks arvamus oli, et kui platsil läheb midagi valesti või tekivad paigaldusprobleemid, siis see pigem on projekteerija ja projekti viga. Teine arvamus oli, et tehnosüsteemide paigaldusprobleemid tekivad nii puudulike või vigaste ehitusprojektide pärast kui ka sellepärast, mis vigu platsimeeskond teeb.

Esimeseks paigaldusprobleemide esinemise põhjuseks toodi vead ja puudused ehitusprojektis. Kõik intervjueeritavad tõid välja, et peamised probleemid saavad alguse plaanimisest. Kui juba plaanimise käigus lahendatakse küsimused ja probleemid ning projekt on seega hästi tehtud, siis platsil väga palju kontrollimist ei ole vaja teha. Eriti veel kui ATV-d on pädevad ja teevad oma tööd hästi. Seega on oluline, et projekt oleks ehitatav ning, et ehitataks projekti järgi. Sellisel juhul on ehitusplatsidel vähem probleeme tehnosüsteemide paigaldustel.

Teiseks, üheks suuremaks põhjuseks, miks ehitusplatsidel tekib probleeme ja vigasid tehnosüsteemide töödes on seotud mitte projektijärgse ehitamisega. Tihti peale platsimeeskond sh alltöövõtjad ei süvene ja ei loe läbi ehitusprojekti algusest lõpuni. See probleem esineb kõige sagedasemini just ehitustöömaadel, kus ehitatakse mitu sarnast ehitist. Väga sagedane on mõtteviis, et eelmistel majadel ehitasime niimoodi ja nüüd ehitame ka. Ehituse parema tulemuse ja kvaliteedi saavutamise jaoks ning võttes arvesse kogemusi eelnevatelt objektidelt, tehakse ka tüüpprojektides aegajalt parandusi ja muudatusi. Projekti mitte lugemine aga tähendab, et neid parandusi ei panda tähele ja ehitatakse ikka vanaviisi.

Projekti järgi mitte ehitamise põhjuseks toodi veel ehitajate pädevuse puudumine ning erinevate tarkvarade kasutamise oskuse puudumine. Suuremates peatöövõtu

ettevõtetes kasutatakse tavaliselt objektidel projekti paremini mõistmiseks 3D mudeleid. Intervjueeritavate kogemuste põhjal kasutavad mudeleid pigem objektijuhid ning alltöövõtjad pigem kasutavad 2D jooniseid. 2D jooniste peal aga ei ole alati kõik üheselt mõistetav, eriti kui torud on joonise peal üksteise all. Selle kohta toodi näide, kus ehitaja ehitas 2D joonise järgi, joonisel oli 2 toru teineteise all ning ehitajal täpsustavaid küsimusi ei tekkinud. Tulemuseks oli see, et ATV tegi hoopis teise lahenduse kui oli projekteerija projekteerinud ning see lahendus oli ka veel tehniliselt vale. Kokkuvõttes ehitati seda kohta 3 korda ümber.

Kolmandaks suureks paigaldusprobleemide allikaks toodi intervjuudes välja, et selleks on alternatiivsete toodete ja materjalide vähene analüüs ning võrdlus tõendamaks samaväärsust projektijärgsetega. Alternatiivsete toodete vähene analüüs ja seega kooskõlastuste tagasi lükkamine pikendab eelkõige kooskõlastuste protsessi. Kooskõlastuste protsessi pikenemine ja kokkulepetele mitte jõudmine võib hakata tööde graafikut mõjutama. Halvematel juhtudel ehitatakse ikka edasi kooskõlastamata toodetega ning kui need tooted on valesti valitud või ei vasta nõutud standarditele, siis võib tekkida probleeme süsteemide eesmärgipärase tööle hakkamisega. Näiteks toodi olukord, kus ATV asendas kooskõlastamata mürasummutid ning hiljem müra mõõdistuste ajal ei saavutatud soovitud müratasemeid.

Neljandaks põhjuseks toodi välja teadmiste ja oskuste puudumine. Teisisõnu alltöövõtjate ja platsimeeskonna kvaliteet. Hea ehituse tulemuse jaoks peab vähemalt üks neist – peatöövõtja poolne platsimeeskond või alltöövõtja meeskond – olema tugev ja oskuslik selleks, et kompenseerida teise meeskonna puudusid. Näideteks toodi olukord, kus platsimeeskonda sattus mitu noort inseneri (noor objektijuht ja noor töödejuhataja), kellel ei olnud nii palju kogemusi veel ja seepärast sellel objektil esines keskmisest rohkem probleeme. Samuti toodi näiteid sellest, kuidas alltöövõtja ei saanud oma tööga hakkama ning, kuidas töödejuhataja pidi tegema mikrojuhtimist selleks, et tööd edasi liiguksid.

Viimaseks suuremaks probleemide põhjuseks toodi tööde järjekord. Tööde järjekord on väga oluline paigaldusvigade vältimiseks. Halvasti planeeritud tööde järjekord võib raskendada hiljem paigaldatavate süsteemide paigaldust. Lisaks sellele, et vales järjekorras tööde tegemine raskendab paigaldustöid, ohustab see ka juba paigaldatud torude ja isolatsioonide terveks jäämist. Ikka tuleb ette, et paigaldustööde käigus on vigastatud lähedal olevate torude isolatsiooni, värvikihti või on suudetud kogemata mõlkida õhukanali toru. See tähendab aga parandustöid. Peale torude õiges järjekorras paigaldamise on veel oluline järgnevate tööde õige järjekord. Näiteks kindlasti on vaja enne isoleerimist teha ära survekatsetused. Tööde õige järjekord on oluline ehitustööde

kontrollimise jaoks ja selleks, et vastutavad isikud oleksid nõus kaetud tööde aktidele ka alla kirjutama.

Kokkuvõttes võib öelda, et intervjueritavate kogemuste põhjal on tehnosüsteemide paigaldusprobleemide peamiseks põhjusteks:

- vead ja puudused ehitusprojekti;
- mitte projektijärgne ehitamine;
- ehitaja pädevuse puudumine;
- alternatiivsete toodete ja materjalide vähene analüüs;
- platsimeeskonna ja alltöövõtjate kvaliteet;
- halvasti planeeritud tööde järjekord.

3.3 Tänapäevased kvaliteedi ja ehitatavuse tagamise praktikad

Selles peatükis vastatakse uurimistö 2. küsimusele ning tehakse ülevaade intervjueritud inseneride teadlikkusest ehitatavuse analüüsist. Samuti tuuakse välja meetodid ja praktikad, mida intervjueritud insenerid oma töös kvaliteedi ja ehitatavuse parandamiseks kasutavad. Lisaks tuuakse välja intervjueritud inseneride arvamused selles osas, kuhu praegune ehituskultuur suundub kvaliteedi ja ehitatavuse poole pealt ning, mida võiks tulevikus tehnosüsteemide poole pealt oodata.

„Projekteerijad ja projekteerimise projektijuhid“ peatükis tuuakse välja kvaliteedi ja ehitatavuse tagamise meetodid ja praktikad, millega olid intervjueritud projekteerijad kokku puutunud või, mida kasutatakse intervjueritud projekteerimise ettevõtetes.

„Ehituse projektijuhid ja kvaliteedijuhid“ peatükis tuuakse välja kvaliteedi ja ehitatavuse tagamise meetodid ja praktikad, mida kasutatakse intervjueritud peatöövõtu ettevõtetes.

3.3.1 Projekteerijate ja projekteerimise projektijuhtide intervjuude tulemused

Intervjueritud projekteerijad ja projekteerimise projektijuhid ei olnud kuulnud varem sellisest terminist nagu ehitatavuse analüüs, kuid ehitatavuse ja paigaldatavuse mõtteviisi teadvustamatult suuremas osas siiski kasutatakse.

Kõigis kolmes projekteerimisettevõttes tegeletakse 3D modelleerimisega ning vahel harva sõltuvalt tellija soovidest ja tehtud lepingutest, on tehtud ka infomudeleid. Kahes ettevõttes kasutatakse Revit-i ja MagiCAD-i kombinatsiooni ning ühes ettevõttes kasutatakse AutoCAD ja MagiCAD-i kombinatsiooni. Ettevõttes, kus kasutati AutoCAD-i plaanitakse vaikselt üle minna Revit-i tarkvara peale, kuid praegu veel kasutatakse teisi tarkvarasid ristumiskontrollide ja muude kontrollide tegemiseks. Erinevate projekteerimisosade kokkusobivuse kontrollimiseks kasutavad ettevõtted kõige rohkem IFC faile.

Intervjuude käigus selgus, et üks peamisi viise, kuidas tagatakse ehitusprojektide parem kvaliteet ja ehitatavus on seotud projekteerija pädevusega ning tema oskuste ja teadmiste arendamisega. Projekteerijad, keda intervjuueriti olid suuremas osas pikema töökogemusega, seega ehitusnõuetega, seadmete tehniliste andmete ja paigaldusjuhenditega kursis olemine on nende jaoks loomulik protsessi osa. Lisaks toodi välja, et küsimuste või kahtluste korral konsulteeritakse ka seadmete ja materjalide tootjatega ning vajadusel inimestega väljast poolt ettevõtet (nt TalTech'i teaduritega).

Teine viis, kuidas projekteerijad oma teadmiste pagasit veel täiendavad on läbi tehtud tööde analüüsi ning läbi vigade õppimise. Probleemidest ja vigadest saavad projekteerijad teada, siis kui ehitusplatsidelt tuleb tagasiside, näiteks kui projekteeritud lahendus ei olnud teostatav või, et süsteem ei hakanud tööle. Alati aga ei tule ehitusplatsidelt tagasisidet. Sellistel juhtudel võtavad vahel projekteerijad ise tellijaga või ehitajaga ühendust. Tagasisidet peale hoone valmimist küsivad pigem projekteerimisettevõtted, kus on toimiv kvaliteedisüsteem. Ühe ettevõtte projekteerijad mainisid, et nemad teevad erinevaid koosolekuid või üritusi, kus ettevõtte projekteerijad jagavad omavahel negatiivseid ja positiivseid kogemusi ning analüüsivad negatiivsete kogemuste põhjuseid.

Ehitusprojektide parema kvaliteedi ja ehitatavuse tagamiseks toodi välja kontrollimise ja hindamise meetod. Näiteks mudeli kontrollimine ja kasutada tahetavate seadmete hindamine. Mudeli teostatavuse esimest kontrolli teeb iga projekteerija ise. Projekteerimise projektijuht või BIM koordinaator teeb mudelite kontrollid pigem vaheetappides ning enne mudeli välja saatmist. Intervjuudest tuli välja, et selliselt läbi mitme inimese kontrolli ehitusprojektile tehakse pigem suuremate objektide puhul. Samuti tuli välja, et ainult ühes ettevõttes kolmest tehakse igas projektis ristumiste kontrolli. Ühe ettevõtte projekteerijad tõid välja, et nad teevad ristumiste kontrolli ainult suuremate objektide puhul selleks, et aega kokku hoida.

Projekteerijad kasutavad oma projektides pigem neid seadmeid, mille kohta on kõige rohkem tehnilist infot ning mille kohta on tulnud objektidelt tagasisidet, et need on

töökindlad ja toimivad. Seadmeid, millel on puudulik tehniline info, projekteerijad projektidesse ise ei pane. Kui ehitaja tahab projektis olevaid seadmeid asendada, siis projekteerijad võrdlevad asendustooteid projektijärgsetega ning nõustavad Tellijat otsuse langetamisel.

Ehitatavuse analüüsi üks põhimõtetest on ehituse konsultandi või ehitaja kaasamine tervesse ehitusprotsessi ehk alates plaanimisest kuni hoone üleandmiseni. Kaks projekteerimise ettevõtet kolmest olid sellega mõnes projektis kokku puutunud. Sellise meetodi positiivne tulemus oli see, et tööprojektis ei tehtud enam suuri muudatusi ega ümberprojekteerimisi. Seadmeid ja materjale kooskõlastati jooksvalt ning hiljem ei kulunud selle peale enam aega.

Otsus kaasata konsultant või ehitaja juba ehitusprotsessi alguses peab tulema tellija poolt. See omakorda tähendab, et tellijal peab olema teadlik sellisest võimalusest ja selle meetodi kasumlikkusest. Ühest ettevõttest projekteerimise projektijuhid tõid välja, et üha rohkem hakkab tulema selliseid projekte, kus tellija kasutab selliselt konsultandi abi. Projekteerijate arvamus sellistest projektidest oli positiivne ning oodatakse edaspidigi, et tellija poolt tuleks tahe kaasata ehitaja projekteerimise algusetappidesse.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et intervjueeritud projekteerijad kasutavad järgmisi ehitatavuse meetodeid:

- 3D modelleerimine ja vähesel määral ka infomudelite (BIM) tegemine.
- Koosolekud. Koosolekud Tellijaga. Avakoosolekud projekteerijate vahel.
- Ristumiste kontrollid.
- Erinevate osapoolte mudelite kokkusobivuse kontrollid.
- BIM koordinaatori või juhtivinseneri poolne kontroll.
- Pikaajalised koostöö partnerid. Kui mõned projekteerimise osad tellitakse ettevõtte väliselt (nt elektri projekt).
- Ettevõtte sisese ja välise kommunikatsiooni pidev parendamine kasutades erinevaid suhtlemisvahendeid.
- Tehtud tööde ja kasutatud seadmete tagasiside analüüsimine.
- Ehitusnõuete – määruste, standardite jne kasutamine.
- Asendusseadmete hindamine ja nõu andmine tellijale.

Projekteerijatelt ja projekteerimise projektijuhtidelt küsiti ka arvamust tuleviku osas. Neilt küsiti, kuhu praegune ehituskultuur suundub kvaliteedi ja ehitatavuse poole pealt ning, mida võiks tulevikus tehnosüsteemide poole pealt oodata.

Kvaliteedi ja ehitatavuse tuleviku osas olid projekteerijad kahel arvamusel. Enamus arvasid, et ehituse kvaliteet ja ehitatavus aina paraneb ning, et tulevikus paraneb veelgi. Eraldi toodi välja, et tulevikus on arendajad/tellijad ilmselt teadlikumad ja kogenumad ning see samuti hakkab ehituskvaliteeti heas mõttes mõjutama. Teine arvamus aga oli, et kvaliteet langeb tulevikus ning seda sellepärast, kuna kõik läheb kallimaks. Kui kõik on väga kallis siis hakatakse eelistama odavamaid lahendusi, tooteid ja ehitusteenuse pakkujaid. Veel langeb ka ehitaja kogemus ning probleemid sellega, et ehitaja ei taha ise otsustada.

Tehnosüsteemide osas olid tulevikumõtted küllaltki sarnased. Läbivaks teemaks oli automatiseerimise ja mudelleerimise suuremas mahus kasutuselevõtt. Arvatakse, et tulevikus hakkavad kõik kasutama mudeleid (3D mudeleid või infomudeleid) nii projekteerijad kui ka terve platsimeeskond sh alltöövõtjad. Samuti arvatakse, et tulevikus hakatakse kasutama rohkem VR prille – projekteerimises nt ehitatavuse/ paigaldatavuse hindamiseks ning ehitusplatsidel läbiviikude ja torude asukohtade määramiseks.

Projekteerimise poole pealt arvati veel, et tulevikus võibolla peab mudelitesse sisse tooma ka kandurid ja kinnitid. Teine mõte oli, et hakatakse rohkem mõtlema süsteemide lihtsustamise peale ning minnakse mingil määral tagasi looduslikumate lahenduste juurde mõeldes keskkonnamõjule ja energiasäästlikusele. Kolmas mõte oli, et hakatakse rohkem mõtlema tehaseliselt valmistatud lahenduste peale, nt moodullahenduste peale ning moodulitega hakatakse juba arhitektuurilistes plaanides arvestama selliselt, et need kohad pannakse kõige pealt paika ja kõik muu plaanitakse ümber nende.

3.3.2 Ehituse projektijuhtide/kvaliteedijuhtide intervjuude tulemused

Intervjueeritud ehituse projektijuhid ja kvaliteedijuhid samuti ei olnud kuulnud sellisest terminist nagu ehitatavuse analüüs. Sellegipoolest kasutati mitmeid praktikaid ehitatavuse ja parema ehituse kvaliteedi tagamiseks.

Intervjueeritud insenerid olid suurtematest peatöövõtu ettevõtetest seega nende jaoks on mudelite ja digitaalsete keskkondade kasutamine tavapärane. Enamus ehitusprojektid, millega intervjueeritavad olid kokku puutunud, olid lahendatud 3D mudelitena. Vähem oli kokkupuuteid infomudelitega. Digitaalsetest keskkondadest kõige rohkem kasutatakse nendes ettevõtetes Bauhub'i, Trimble Connect'i ja Bluebeam

Revu. Mõnel määral on üritatud või plaanitud kasutada ka Dalux'i tarkvara. Neid tarkvarasid korrektselt kasutades võiksid aidata kaasa ehitustööde paremale sujuvusele, sest need on vahendiks informatsiooni paremaks edasi liikumiseks. Ehitustööde sujuvus on üks ehitatavuse analüüsi eesmärkidest.

Kõik intervjueeritavad nõustasid, et mudelite kasutuselevõtt projekteerimises on vähendanud paigaldusprobleeme. Mudelite olemasolu võimaldab ehitusprojektist paremini aru saada ning seega selle ehitatavust ka paremini hinnata. Kõigis kolmes peatöövõtu ettevõttes, keda intervjueriti, teevad ehituse projektijuhid ehitusprojekti mudelitele enne ehitusega alustamist põhjaliku analüüsi. Projektide hindamine kui eeltöö ehitustöödeks on pikk ning mudelit pörgatatakse tihti projektijuhi ja projekteerija vahel nii kaua kuni suuremad vead ja probleemid mudelis on lahendatud. Üks intervjueeritav tõi detailsemalt välja, kuidas tema kontrollib mudeleid. Ta vaatab, et mudelis ei oleks ristumisi, mudel oleks arusaadav ning, et oleks ka arusaadav, kuidas tehnosüsteeme oleks võimalik paigaldada/kinnitada. Selles ettevõttes ei anta projekti välja enne kui ei saada aru, kuidas projekteeritud lahendust on võimalik ehitada ning tulemuseks on ehitusplatsidel sujuv töö tehnosüsteemide poole pealt.

Selliselt ehitusprojektide kontrollimist ja hindamist tehakse üldjuhul kõige varem põhiprojekti staadiumis. Omaarenduste puhul, kui projekteerimistööd tehakse ettevõtte siseselt, lahendatakse juba projekteerimise käigus võimalikud ehitustakistused ning hiljem selliselt suuri muudatusi projektides ei tehta. Intervjueeritavate kogemuste põhjal läheb sellepärast omaarenduste objektidel KVJ ehitustööd palju sujuvamalt. Seega võib öelda, et mingi mahuni saavad teha ehitatavuse analüüsi ja kvaliteedi kontrolli projekteerijad ja peatöövõtjad ise, kuid parema tulemuse jaoks on vaja siiski sellist sisendit tellija poolt. Intervjueeritavad tõid välja, et see oleks väga positiivne kui ehitatavuse nõue tuleks tellija poolt ning, et tellija võiks kaasata ehitaja või ehituse konsultandi juba varajases staadiumis. Samuti võiks tellija teha ettepaneku, et projekti hinnata ja käia kõik keerulisemad kohad üle enne ehituse algust.

Üheks suureks probleemiks tehnosüsteemide puhul on materjalide asendamine ja nende jaoks kooskõlastuste saamine. Materjalide kooskõlastuste probleemide vältimiseks ühes intervjueeritud ettevõttes koostatakse juba põhiprojekti staadiumis *Exceli* tabel kõikidest toodetest ja materjalidest, mida tahetakse ehituses kasutada ning tellija ja projekteerija kooskõlastavad need. Pigem kulutatakse asendustoodete koordineerimise peale rohkem aega kui tehakse osade kaupa kooskõlastusi. Asendustoodete koordineerimine *Exceli* tabel esitatakse varakult eesmärgil teha kooskõlastuste protsess võimalikult ühekordseks ning, et oleks võimalik õigel ajal tellida tooted ehitusplatsile. Teises ettevõttes, omaarenduste projektides antakse alltöövõtjatele ette kindel

kooskõlastustabelite põhi ning kui ATV tahab tooteid asendada peab ta ise tooma välja projektijärgse toote ja asendustoote koos dokumentidega ning tegema võrdluse. Kuna selles ettevõttes juba projekteerimise etapis üritakse leida parim võimalik toode, siis hiljem analüüsitakse, miks ATV tahtis asendusi teha.

Kolmest ettevõttest ainult üks kasutab teadlikult alltöövõtjate näol pikaajaseid koostööpartnereid. ATV-de valimisel eelistatakse selles ettevõttes neid, kellega on varasematel objektidel koostöö sujunud ning kellelt võib oodata head tööde kvaliteeti. Intervjueeritav ütles, et pikaajaste koostöö partnerite kasutamine on kõvasti parandanud tehnosüsteemide ehitustööde kvaliteeti ning vähendanud erinevaid paigaldusvigasid. Selles ettevõttes kasutatakse lisaks veel alltöövõtjate hindamissüsteemi ja andmebaasi selleks, et dokumenteerida ja hinnata tehtud tööd ja koostööd. Teised kaks ettevõtet pigem valivad ATV-sid hinnapakumiste järgi, kuid üks nendest eelistab hinnapakumisele siiski samasid ATV-sid analoogsete ehitusobjektide peal.

Paigaldusvigade vältimiseks kasutatakse kahes intervjueeritud ettevõttes avakoosolekuid alltöövõtjate, peatöövõtjate ja omanikujärelvalve vahel. Avakoosolekutel esitatakse ja käiakse läbi kõik nõudmised, mida alltöövõtjatelt oodatakse. Samuti lepitakse kokku osad, mida kindlasti kontrollitakse omanikujärelvalve ja objektijuhi poolt ning kohad, kus ei tehta järeleandmisi. Üks intervjueeritav tõi võrdluse ühelt ehitustöömaalt. Eelnevalt tehti sellel töömaal olevatele kõikidele objektidele avakoosolekud, kuid nüüd ühel objektil jäeti see tegemata. Sellel objektil, kus avakoosolekut ei tehtud on praeguseks palju probleeme. Platsil ei ole reeglid paigas ning platsitöölised ja järelvalve ei saa omavahel läbi, sest ei saada teineteisest aru.

Intervjueeritud ettevõtetest kahes on olemas ka tehnosüsteemide objektijuhid või töödejuhatajad, kes enamjaolt töötavad suurematel objektidel. Ettevõttes, kus ei ole hetkel tehnosüsteemide objektijuhti/töödejuhatajat, käib suurematel objektidel tehnosüsteemide projektijuht tihedamini ehitusobjektidel. Üks intervjueeritav tõi välja, et kui KVJ töödejuhataja on ehitusplatsil, siis tehnosüsteemide tööd lähevad palju sujuvamalt. Näiteks ei teki konflikte ehitaja ja järelvalve vahel ning ka tehnilised küsimused saavad kiiremini vatsused. Seega võib öelda, et kütte, ventilatsiooni ja jahutuse inseneri kaasamine ehitustöösse, lisaks omanikujärelvalvele, on üks praktikaid, kuidas ehitustööde sujuvust ja probleemide lahendamist ehitusplatsidel parandada.

Kolmest ettevõttest kahes on kaalutud moodullahenduste kasutamist. Ühes nendes ettevõttes käib moodullahenduste kasutamise mõte pidevalt läbi omaarenduste

planeerimisel. Põhjus, miks moodullahendusi siiski ei kasutata, jääb eelkõige eelarve taha. Moodul tehnosüsteemid on võrreldes kohapealse ehitusega liiga kallid. Teine põhjus, miks moodullahendusi ei kasutata on sellepärast, et projektides on liiga palju erilahendusi. Üks intervjueeritavatest tõi näite ühe objekti kohta, kus nende ettevõtte kasutas moodulvannitubasid. Kokku kasutati ligikaudu 70 moodulit, millest erilahendusi oli lõpuks umbes 30. Sellisel kujul, kui mooduleid on väga palju erinevaid, ei ole nende kasutamine kõige optimaalsem. Teisest ettevõttest insener tõi moodulite kohta näite, kuidas ühel objektil ATV pani oma tootmispinnal ventilatsiooni katusejupid kokku, isoleeris need ning tõi valmiskujul ehitusplatsile. Intervjueeritavad tõi välja, et nad kasutaksid oma objektidel tehnosüsteemide mooduleid kui hinna vahe ei oleks nii suur ning kui oleks rohkem standardseid tehnosüsteemide lahendusi objektidel.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et intervjueeritud ehituse projektijuhid ja kvaliteedijuhid kasutavad järgmisi ehitatavuse meetodeid:

- 3D mudelite ja mingil määral ka BIM-i kasutamine.
- Digitaalsete keskkondade kasutamine parema kommunikatsiooni ning dokumentide digitaliseerimise jaoks.
- Ehitusprojektide kontrollimine ja hindamine enne ehitustöid.
- Asendustoodete võrdlemine projektijärgsetega.
- Pikaajaste koostööpartnerite kasutamine.
- Avakoosolekute tegemine enne ehitustöödega alustamist.
- Ehitusplatsidel KVJ objektijuhtide/töödejuhatajate kasutamine.

Ehituse projektijuhtidelt küsiti samuti arvamust tuleviku osas ja selles osas, kuhu praegune ehituskultuur suundub kvaliteedi ja ehitatavuse poole pealt ning, mida võiks tulevikus tehnosüsteemide poole pealt oodata.

Ehituse projektijuhid ja kvaliteedijuhid olid samuti ehituse kvaliteedi tuleviku osas kahel arvamusel. Üks arvamus oli, et kvaliteet ehituses liigub aina paremuse suunas. Üha rohkem hakatakse panustama ehituse ettevalmistusse ning samuti tõuseb ka tellija ja tellija esindajate teadlikkus, sh teadlikkus ehitatavusest. Teine arvamus oli, et kvaliteet ehituses langeb iga aastaga, kuna platsimeeskondades on üha rohkem noori ja kogenematuid insenere. Samuti asjadesse, sh ehitusprojekti, süvenemist on järjest vähem.

Tehnosüsteemide poole pealt oodatakse tulevikus rohkem innovaatilisi ja keskkonnasõbralikke lahendusi. Näiteks uued seadmed tulenevalt kliimapolitikast ning uued torude ja õhukanalite materjalid. Samuti kaugjahutuse suurenemine teatud piirkondades ning kombiseadmete suurem kasutusele võtt, näiteks soojuspumbad, mis samal ajal toodavad nii külma kui ka sooja. Veel pakuti välja, et kui praegu Eesti ehituses valdavalt ei kasutata tehnosüsteemide moodullahendusi, siis ehk tulevikus nende maksumus võrreldes kohapealse ehitusega võrdsustub ning neid hakatakse kasutama.

3.4 Kirjanduse ülevaate, intervjuude ja juhtumiuuringute tulemuste võrdlus

Kirjanduse ülevaate, intervjuude ja juhtumiuuringute tehnosüsteemide paigaldusprobleemide tulemusi võrreldi. Selles peatükis tehakse kokkuvõtte peamistest kütte, ventilatsiooni ja jahutuse probleemidest ehitusplatsidel.

Kirjanduse ülevaatest, intervjuudest ja juhtumiuuringutest tuli kokkuvõttes välja 11 peamist kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide probleemi ehitusplatsidel. Üheks probleemiks nendest on ehitusprojektide korrektsus. Nii kirjanduse ülevaates, intervjuudes kui ka juhtumiuuringutes toodi see probleem välja põhjusel, et puudulik või vigane ehitusprojekt toob ehitustöodes palju segadust või olukordi, kus ehitatakse projekti järgi valesti.

Teiseks enamlevinud probleemiks on halb ehituse juhtimine. Sealhulgas mõeldakse kehvade kommunikatsiooni erinevate osapoolte vahel, tööde järjekorra läbimõtlematut plaanimist ning ehitusprojekti mitte süvenemist ja selle tagajärjel projekti järgi mitte ehitamist. Ehituse juhtimine sõltub väga meeskonnast ehitusplatsil ja ehitusettevõttes olemasolevast kvaliteedijuhtimise süsteemist. Mitmetes artiklites ja intervjuudes toodi välja, et KVJ ehitustööde tulemust mõjutab oluliselt projekteerijate, PTV, ATV ja OJV ettevõtete kvaliteet ja piisav pädevus. Seega kolmandaks probleemiks võib välja tuua odavate, aga samas probleemsete koostööpartnerite valik.

Järgmine suurem probleem, mida mainiti mitmetes artiklites, intervjuudes ja, mis tuli välja ka juhtumiuuringutest on seadmete ja materjalide vale valik. Valik projekteerimise etapis ning valik kui tahetakse teha asendusi ehitamise etapis. Toodete valikul saab tihti otsustavaks asjaoluks hind, sest tahetakse eelkõige valida odavam toode. Toodete tehnilised andmed ja kvaliteet jääb sellisel juhul tahaplaanile. Erimeelsused seadmete ja materjalide valikutel võivad mõjutavad lisaks veel kooskõlastuste protsessi ja seda pikendada.

Viies probleem, mida erinevates kirjandustes ja intervjuudes välja toodi on seotud tehnosüsteemide seadmete ja materjalide tarneaegadega. Kui seadmed ja materjalid ei jõua õigel ajal ehitusplatsile, siis see hakkab mõjutama tööde ajagraafikut. Tarneaegasid ei saa ehitusmeeskond mõjutada, aga teades seda probleemi on võimalik paremini ette planida ja tooted piisavalt varakult ära tellida.

Kuuendaks probleemiks võib välja tuua ehitusnõuete ja paigaldusjuhendite mitte järgimine. See probleem kajastus mitmetes artiklites ja juhtumiuuringutes, kuid intervjuudes mainiti seda pigem põgusalt. Ehitusnõuete ja paigaldusjuhendite kõrval üheks oluliseks probleemiks on veel toodete ladustamine ehitusplatsidel. Kirjanduse ülevaatest ja juhtumiuuringutest selgus, et seda probleemi esineb tihti, kuid intervjuudest käis see probleem samuti põgusalt läbi.

Kaheksas probleem, mis tuli kirjandustes, intervjuudes ja juhtumiuuringutes esile on seotud ehitustööde kontrollimisega ja kaetud tööde aktidega. Probleemiks on puudulikud või ebaregulaarsed vahekontrollimised ning süsteemide paigalduste katsetamiste ja mõõtmiste (nt survekatsetuste või õhuhulkade mõõtmiste) ebaõnnestumised. Samuti probleemid sellega kui monterijad on jätnud mingid katsetused tegemata ja hiljem vajalikud kaetud tööde aktid puuduvad. Ehitustööde protsess oleks palju sujuvam kui paigaldusvigu või probleeme märgataks piisavalt varakult ning kui süsteemide toimivuse katsetusi tehtaks õiges järjekorras ja õigel ajal.

Viimased kolm enamlevinud probleemi, mis tulid välja artiklitest, intervjuudest ja juhtumiuuringutest on järgmised paigaldusvead – puudulikult või halvasti tehtud isoleerimistööd, valede kinnitite või kinnitusmeetodite kasutamine ning ruumipuudusest tulenevalt süsteemide paigaldamine mitte normide kohaselt ja seadmete teenindusruumi mitte tagamine. Antud uurimistöö tulemuste põhjal esineb ehitusobjektidel kõige rohkem neid kolme paigaldusvigasid.

4. KVALITEEDIJUHTIMISE JA E HITATAVUSE ANALÜÜSI ABIL KVJ PAIGALDUSPROBLEEMIDE VÄLTIMINE

Selles peatükis tuuakse välja põhimõtted ja praktikad, millega on võimalik tehnosüsteemide paigaldusprobleeme vähendada. Välja pakutud põhimõtted ja praktikad põhinevad TQM ja *lean* kvaliteedijuhtimise printsiipidel, ehitatavuse analüüsi praktikatel ning intervjueritud inseneride ettepanekutel. Kogenud ehitusinsenerid avaldasid arvamusi ning andsid hinnangu nende kohta.

Esimeses alapeatükis on välja toodud põhimõtted, mis võiksid abistada ehitatavuse analüüsi ja praktikate kasutuselevõttu. Järgnevas kahes alapeatükis on välja toodud soovituslikud praktikad projekteerimises ja ehitusplatsil kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemide vähendamiseks.

Välja toodud põhimõtteid ja praktikaid on mõeldud kasutama vastavalt projektile. See tähendab, et neid kõiki ei pea kasutama ühes projektis, vaid vastavalt vajadustele tuleb valida ja kombineerida praktikad, mis aitaksid saavutada soovitud projekti tulemusi.

4.1 Kvaliteedijuhtimise põhimõtted ehitatavuse praktikate kasutuselevõtuks

Selleks, et ehitatavuse analüüsi praktikad oleksid võimalikult tõhusad tuleks neid praktiseerida koos üleüldise kvaliteedijuhtimisega. Järgnevalt on välja toodud 16 põhimõtet, mis võiksid aidata tehnosüsteemide ehitustööde kvaliteeti parandada. Need põhimõtted on kombineeritud TQM ja *lean* põhiprintsiipidest.

- 1) „Eesmärgi järjekindla hoidmise plaani loomine.“

Kui eesmärgiks on vähendada tehnosüsteemide paigaldusprobleeme ning selleks kasutada kvaliteedijuhtimise juhiseid ja/või ehitatavuse parendamise praktikaid, siis tasub luua plaan, kuidas järjekindlalt neid kasutada. Uute töömeetodite kasutusele võtmise tüüpiliseks probleemiks on järjepidevus, sest vanad harjumused kipuvad kiiresti tagasi tulema.

- 2) „Uue kvaliteedifilosoofia omaksvõtmine.“

Soovitud tulemuste saavutamise jaoks on oluline, et enamus töötajatest uued töömeetodid vastu võtaksid ning neid regulaarselt kasutama hakkaksid. Ehitusplatsi meeskonnas on natuke lihtsam uusi praktikaid kasutusele võtta, sest inimesi on vähem.

Teisest küljest on seal olulisem, et kõik meeskonna liikmed praktiseeriksid uusi meetodeid.

3) „Maksumuse, kvaliteedi ja varasema koostöö alusel koostööpartnerite valimine.“

Soovitud kvaliteeti ei saa eeldada ettevõtetelt, kes on teinud hangetel alampakkumise. Projekteeerijate, PTV, ATV ja OJV valikult tuleks hinnata lisaks nende hinnapakkumisele ka nende eelnevaid töid ja tööde kogemust. Ehitusplatsil tööde plaanimist ja ehitustööde protsessi lihtsustab see kui tehakse koostööd pikaajsete koostööpartneritega, kellega on tekkinud usaldussuhe ja kellelt on oodata parimat võimalikku kvaliteeti. Kui rohkem valitaks ettevõtteid mitte ainult hinna, vaid ka kvaliteedi alusel, siis see võiks üks hetk parandada üldist turul pakutavat ehituskvaliteeti.

4) „Probleemide määratlemine ning süsteemi pidev täiustamine.“

Selleks, et lõpptulemusi parandada, on vaja selgeks teha probleemset ja nõrgad kohad. Korduvate probleemide korral on vaja neid probleeme analüüsida, teha selgeks nende põhjused ning leida nendele põhjustajatele lahendused. See punkt on vajalik tööde sujuvuse saavutamise jaoks.

5) „Kaasaegsete väljaõppe- ja koolitusmeetodite kasutamine.“

Ehitusvaldkond on pidevalt arenev. Teatava regulaarsusega täiustatakse olemasolevaid digitaalseid keskkondasid ja tarkvarasid, või tulevad turule täiesti uued tehnoloogiad. Samuti arendatakse pidevalt edasi erinevaid juhtimismeetodeid, kuidas ehitusprotsesside tulemusi parendada. Selleks, et kõige selle arenguga kaasas käia ja olla kursis parimate tehnikatega, on vaja töötajaid teatava regulaarsusega koolitada.

6) „Põhitähelepanu suunamine lõpptulemuse kvaliteedile.“

Enne projekteerimise või ehitustöödega alustamist tasub välja tuua soovitud lõpptulemus ja tulemuse kvaliteet selleks, et kõik töötajad oleksid ühisel arusaamal. Valdavalt kõik töötajad soovivad teha oma tööd hästi, kuid iga inimese jaoks on kvaliteedil veidi erinev tähendus. Kvaliteedile põhitähelepanu suunamine kohe alguses võiks vähendada ümberehitamistele ja parandustöödele kuluvat aega.

7) „Suhtlemistakistuste ja suhtlemispelguse eemaldamine.“

Iga töötaja peaks tundma tööl ennast piisavalt turvaliselt selleks, et julgetaks pöörduda probleemi korral juhi või teiste töötajate poole. Töötajal peab olema julgust küsida kui midagi jäi segaseks või ei saadud oma tööülesandest täpselt aru. Samuti peab olema julgust tunnustada kui midagi läks valesi, näiteks kui ehitusprojekti jäi viga sisse, aga

see saadeti juba ehitajatele edasi või kui näiteks ehitaja paigaldustöödel midagi ära lõhkus. Selline avatud kommunikatsioon kõikide osapoolte vahel on oluline selleks, et õigel ajal reageeritakse probleemidele.

8) „Protsesside läbipaistvuse suurendamine.“

Läbipaistvus on oluline selleks, et tööprotsessid oleksid jälgitavad ning, et neile oleks võimalik teha kontrolli. Ehitusprotsessid peaksid olema algusest lõpuni kõigile töötajatele arusaadavad. Näiteks OJV insener, kes ei ole iga päev objektil, peab olema informeeritud sellest, mis ajal mis ehitustöid tehakse selleks, et õigel ajal kontrolle teostada.

9) „Ehituse lõpptulemuse parendamine arvestades kliendi/tellija soovide ja vajadustega.“

Ehitis ehitatakse tellija/kliendi jaoks. Tehnosüsteemide poole pealt on ehituse lõpptulemuse eesmärgiks hea sisekliimaga ja võimalikult energiasäästlik ehitis. Tellija määrab lähteinfos ehitise kasutuse eesmärgid ning KVJ insenerid peavad sellega arvestama nii projekteerimises kui ka ehitustöodes.

10) „Ehitusprotsessidele kuluva aja lühendamine.“

Tehnosüsteemide ehitusprotsessidele kuluvat aega saab lühendada selliselt kui juba projekteerimise etapis eemaldatakse ehitusprojektiga seonduvad ehitustakistused. Üks osa ehitustakistuste vähendamisest on seotud ehitusprojektis vigade ja puuduste likvideerimisega. Teine osa puudutab ehitatavuse analüüsi – kui ehitusprojektis on tehtud lihtsustusi, optimeerimist, standardiseerimist ning mõeldud tehnosüsteemide paigaldatavusele ja ehitatavusele. Ehitustakistuste alla kuulub veel palju muid aspekte, kuid neid selles uurimistöös ei käsitleta.

11) „Lihtsustuste tegemine tehnosüsteemide lahenduste välja pakkumisel.“

Lihtsustamiste all mõeldakse tehnosüsteemide optimaalseima lahenduse leidmist. Projekteerimisel KVJ süsteemide lahenduste lihtsustamine hoiab ehitustööde ajal kokku raha ja aega. Mida lihtsam on projekteeritud lahendus, seda lihtsam on seda välja ehitada ning seda arusaadavam on KVJ ehitusprojekt. Lihtsustamist saab teha vähendades elementide erisuste arvu, vähendades materjalide või informatsiooni liikumise sammude arvu, standardiseerides protsesse ning kasutades standardseid tooteid.

12) „Ehitusprotsesside paindlikuse suurendamine.“

Ehitusprotsesside paindlikus tähendab kiiret reageerimist või lahenduste leidmist kui on tekkinud etteaimatavad või ootamatud ehitustakistused. Samuti tähendab protsesside paindlikus seda kui tööde ajagraafikus on arvestatud varuga juhul kui tekivad töid takistavad asjaolud.

13) „Tähelepanu juhtimine kogu ehitusprotsessile.“

Tähelepanu juhtimine kogu ehitusprotsessile tähendab ette mõtlemist ja selle põhjal otsuste langetamist. Kui on teada, et halvasti või valesti tehtud paigaldustööd vajavad hiljem parandustöid või ümberehitamisi, siis pööratakse kohe alguses rohkem tähelepanu sellele, et ehitatakse õigesti.

14) „Ehitusprotsesside pideva täiustamise harjumuse sisse harjutamine.“

Iga töötaja eesmärk võiks olla pidevalt areneda ja paremaid tulemusi saavutada. Protsesside täiustamise jaoks on vajalik ebaõnnestumiste ja erinevate kogemuste analüüsimine. Seda saab teha iga töötaja iseseisvalt, aga selline sisend võiks olla ka ettevõttel. Ettevõtted peaksid motiveerima oma töötajaid sooritama paremaid tulemusi ning oma kogemusi analüüsima ja jagama teistega. Protsesside täiustamine on järkjärguline ja järjepidev tegevus.

15) „Võrdlusuuringu tegemine.“

Võrdlusuuringud on abistav praktika ettevõtte arengu jaoks. Võrdlusi tasub teha ettevõtte siseselt, näiteks võrreldes ja analüüsides õnnestunud ja mitteõnnestunud projekte. Võrdlusi tasub teha ka ettevõtte väliselt, näiteks võrrelda oma ettevõttes kasutatavaid praktikaid ja meetodeid konkureerivates ettevõtetes kasutatavatega. Võrdlusuuringute tegemine võiks aidata leida parimaid ja optimaalsemaid praktikaid soovitud tulemuste saavutamiseks.

16) „Lauskontrollimiste ja väärtust mitte loovate tegevuste vähendamine.“

Tehnosüsteemide ehitustööde pidev täiustamine, kvaliteedi osas usaldusväärsete ATV-de kasutamine jms võib viia tööd sellise kvaliteedini, et ehitusplatsidel ei vajata igapäevast pingsat kontrollimist. Kontrollimiste tegemist jätkatakse kokkulepitud regulaarsusega ning kindlasti tehakse OJV poolt neid kontrole, mis on kohustuslikud. Samuti on kahtluste või murede korral ehitajatel võimalik pöörduda ise objektijuhtide või OJV poole. Selle tulemuseks on aja kokkuhoid nii OJV kui ka objektijuhi poole pealt.

Tööde paranenud kvaliteet vähendab ka ümberehitamistele ja parandustöödele ehk väärtust mitte loovatele tegevustele kuluvat aega.

4.1.1 Hinnang soovituslike põhimõtete kohta

Eelpool mainitud 16 põhimõtet esitleti viiele ehitusinsenerile, kes on pikalt ehituses töödanud ja, kellel on sellel alal palju kogemusi ning küsiti nende arvamust. Üldjoontes nõustuti nende põhimõtetega, kuid kommentaariks toodi, et need kirjeldavad ideaalset olukorda ja reaalsuses enamus neid põhimõtteid ei rakendata või on raske rakendada. Samuti ei oldud täielikult nõus nr 3 ja nr 15 põhimõtetega.

Nr 3 põhimõtte juures oldi nõus, et koostööpartnereid peaks valima maksumuse, kvaliteedi ja varasema koostöö alusel, kuid selles osas, kas peaks kasutama pikaajaseid koostööpartnereid oldi kahel arvamusel. Üks arvamus oli, et eraettevõtluses ei ole probleemi kasutada pikaajaseid koostööpartnereid ja pigem see on hea kui on tekkinud selline usaldussuhe. Teine arvamus oli, et pidevalt samade koostööpartnerite kasutamine tekitab tööturul halbasid suhteid ja küsimusi, miks eelistatakse ühte ettevõtet teisele. Selle põhimõtte juures leiti kompromiss, et koostööpartnereid peaks valima maksumuse, kvaliteedi ja varasema koostöö alusel ning ei peaks eelistama ühte ettevõtet teisele, vaid valikul kaaluma kõiki koostööpartnereid võrdselt.

Nr 15 põhimõttes oli välja toodud, et võrdlusuuringuid tuleks teha ettevõtte siseselt ja ettevõtte väliselt. Oldi nõus, et ettevõtte sisesed võrdlusuuringud on kasulikud, kuid ettevõtetest väljapoole tehtava võrdlusuuringu kohta toodi kommentaariks, et seda pole alati võimalik teha. Enamjaolt ettevõtted ei jaga avalikult oma tehnikaid ja meetodeid.

4.2 Soovituslikud praktikad projekteerimise etapis

Selles peatükis tuuakse välja soovituslikud praktikad kavandamise ja projekteerimise etappides kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemide vähendamiseks. Välja pakutud praktikad põhinevad ehitatavuse analüüsi praktikatel ja intervjuueeritud inseneride ettepanekutel. Tabelis nr 7 on välja toodud 13 praktikat.

Tabel 7. Soovituslikud ehitatavuse praktikad projekteerimise etapis

	Praktikad:	Selgitused:
1.	Ehitaja, ehituskonsultandi või ehitusplatsi ja projekteerimise	Projekteeritud lahenduste ehitatavuse probleemide vähendamiseks.

	kogemustega inseneri kaasamine projekteerimisetappi.	Tööprojekti staadiumis ümberprojekteerimise vähendamiseks.
2.	Regulaarne ja avatud suhtlus teiste projekteerimise osapooltega.	Hea kommunikatsioon vähendab arusaamatusi ning hiljem probleeme koondmudelite kokkupanemisel.
3.	BIM, 3D mudeldamine.	BIM mudelite või tavaliste 3D mudelite olemasolu aitab paremini hinnata ja kontrollida projekteeritud lahendust. BIM-i eeliseks on see, et kõik vajalik informatsioon on mudelis olemas. BIM-i on soovitatav kasutada suuremates projektides.
4.	Kolmandate isikute kasutamine projekti ja mudelite kontrollimisel. (Nt projekteerimise projektijuht, BIM koordinaator vms.)	Ehitusprojekti kontrollimine kellegi teise poolt võib tuua välja projekteerimisvigu, mida projekteerija ise ei märganud. Samuti võidakse nii jõuda optimaalsemate lahendusteni kui mitu inseneri hindavad ühte projekti.
5.	Süsteemide paigaldatavusele mõtlemine projekteerimise käigus. (Nt kinnitite võimalike asukohtade peale mõtlemine.)	Aitab vähendada paigaldamiste küsimusi ehitusplatsidel.
6.	Tehnosüsteemide lahenduste võimalikult lihtsaks ja optimaalseks tegemine.	Aitab lihtsustada ehitustöid, vähendada tööde peale kuluvat aega ja raha.
7.	Standardiseerimine – erilahenduste, eridetailide vältimine.	Standardsete elementide kasutamine lihtsustab ehitustöid ja vähendab eelarvet.
8.	Ehitusnõuete kasutamine. (Juhendkaardid, standardid, määrused, toodete paigaldusjuhendid jne.)	Tagab ehitusprojekti korrektsuse.

9.	Ehitusprojekti vahekontrollimiste tegemine (nt ristumiskontrollid).	Regulaarne kontrollimine võimaldab vead kohe alguses likvideerida. Hiljem vigade parandamine on palju ajamahukam.
10.	Seadmete põhjalik võrdlemine, projekteerimise etapis ning hiljem kui tahetakse teha asendusi.	Nõuetele vastavad seadmed on süsteemi eesmärgipärase toimima hakkamise jaoks esmatähtsad.
11.	Ehitusprojekti hindamine ja analüüsimine enne ehitajale välja saatmist.	Ehitusprojekti viimane kontroll on vajalik võimalike projekteerimisvigade välja filtreerimiseks.
12.	Võimalusel kasutada moodul lahendusi.	KVJ moodulite kasutamine kiirendab ehitustöid ning vähendab ehitusplatsil vajaminevat tööjõudu.
13.	Eelnevatelt projektidelt tagasiside analüüsimine ning kogemuste kaasa võtmine uutesse projektidesse.	Kogemuste ja vigade analüüsimine ning seega pidev õppimine vähendab samade vigade tegemist tulevikus.

4.2.1 Hinnang soovituslike praktikate kohta projekteerimise etapis

Soovituslikke praktikaid kavandamise ja projekteerimise etapis hindas viis inseneri, kes andsid punkte selle kohta, kas praktika võiks vähendada tehnosüsteemide paigaldusprobleeme (hinne a) ning kui lihtne on praktikat kasutusele võtta (hinne b). Iga praktika jaoks antud punktid summeeriti. Tabelis nr 8 on praktikad pandud paremuse järjekorda eelkõige arvestades punkte, mis näitavad praktika kasumlikkust ning teisena arvestades praktika kasutusele võtmise lihtsust.

Tabel 8. Hindamise tulemused soovituslike praktikate kohta

Jrk	Praktika nr	Praktika:	Hinne: (a) Max 10p	Hinne: (b) Max 20p
1.	8.	Ehitusnõuete kasutamine.	10	19
2.	9.	Ehitusprojekti vahekontrollimiste tegemine.	10	19

3.	10.	Seadmete põhjalik võrdlemine, projekteerimise etapis ning hiljem kui tahetakse teha asendusi.	10	19
4.	11.	Ehitusprojekti hindamine ja analüüsimine enne ehitajale välja saatmist.	10	18
5.	1.	Ehitaja, ehituskonsultandi või ehitusplatsi ja projekteerimise kogemustega inseneri kaasamine projekteerimisetappi.	10	17
6.	7.	Standardiseerimine – erilahenduste, eridetailide vältimine.	10	17
7.	2.	Regulaarne ja avatud suhtlus teiste projekteerimise osapooltega.	10	15
8.	4.	Kolmandate isikute kasutamine projekti ja mudelite kontrollimisel.	10	15
9.	12.	Võimalusel kasutada moodul lahendusi.	10	12
10.	13.	Eelnevatelt projektidelt tagasiside analüüsimine ning kogemuste kaasa võtmine uutesse projektidesse.	10	11
11.	3.	BIM, 3D mudeldamine.	8	13
12.	5.	Süsteemide paigaldatavusele mõtlemine projekteerimise käigus.	7	8
13.	6.	Tehnosüsteemide lahenduste võimalikult lihtsaks ja optimaalseks tegemine.	6	8

Tulemustest on näha, et viie inseneri arvates kõige kasumlikumad ja lihtsamini kasutuselevõtvad praktikad on ehitusnõuete kasutamine, ehitusprojekti vahekontrollimiste tegemine ning seadmete põhjalik võrdlemine projekteerimise etapis ja hiljem kui tahetakse teha asendusi. Kõige vähem sai punkte praktikad nr 5 ja nr 6. Praktika nr 5 kohta toodi kommentaariks, et kõigest süsteemide paigaldatavusele mõtlemine ei avalda suurt mõju ehitusobjektidel paigaldusprobleemide vähendamiseks. Praktika nr 6 kohta tehti kommentaar, et selle mõte on väga laialivalguv ning, et

lihtsustusi ja optimeerimisi ei ole alati projektides võimalik teha. Praktika nr 3 kohta kommenteeriti, et mudeleid on keeruline kontrollida.

Kokkuvõttes võib öelda, et suurem osa välja toodud praktikatest said väga häid punkte kasumlikkuse poole pealt. Praktikate kasutuselevõtmise lihtsust nii kõrgelt ei hinnatud. Põhjuseks toodi, et Eesti ehituses on töötempo nii kiire ning sellepärast on selliseid praktikaid raske sisse harjutada ja keeruline kasutusele võtta.

4.3 Soovituslikud praktikad ehitamise etapis

Selles peatükis on välja toodud soovituslikud praktikad ehitamise etapis kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide paigaldusprobleemide vähendamiseks. Välja pakutud praktikad põhinevad ehitatavuse analüüsi praktikatel ja intervjueeritud inseneride ettepanekutel.

Tabel 9. Soovituslikud ehitatavuse praktikad ehitamise etapis

	Praktikad:	Selgitused:
1.	Ehitusprojekti kontrollimine ja analüüsimine enne ehitustöödega alustamist.	Ehitusprojekti põhjaliku kontrollimisega on võimalik leida ja välja tuua projekti sisse jäänud vigasid või puudusi. Samuti hinnata, kas projekteeritud lahendus on ehitatav ja paigaldatav.
2.	Ehitusprojekti puuduste või vigade likvideerimise nõudmine.	Selleks, et projekti järgi ehitada on vaja vigadeta ja puudusteta projekti.
3.	Asendustoodete põhjaliku võrdluse tegemine pädeva isiku poolt.	Põhjaliku võrdluse tegemine ja selle põhjal asendusseadmete välja pakkumine kiirendab kooskõlastuste saamise protsessi.
4.	Seadmete ja materjalide kooskõlastustabelite esitamine võimalikult varakult. (Asenduste puhul esitada võrdlustabel, kus on välja toodud projektijärgne toode ja asendustoode ning esitada	Vajalik selleks, et kooskõlastuste saamise taha ei jääks materjalide õigel ajal tellimine ning, et ei mindaks seda teed, et kasutatakse kooskõlastamata seadmeid ja materjale.

	mõlema toote tehnilised andmed, vastavusdeklaratsioonid, toimivusdeklaratsioonid ja kasutus-, hooldus- ja paigaldusjuhendid.)	
5.	Seadmete ja materjalide piisavalt varakult tellimine ning tarneaegade jälgimine.	Vajalik selleks, et vältida tarneaegadest sõltuvat tööde edasi lükkumist või seiskumist.
6.	Ehitusprojektiga põhjalikult tutvumine (KVJ osadega tegelevate inseneride poolt – OJV, ehituse projektijuht, objektijuht/töödejuhataja, ATV-d).	Vajalik ehitusprojektist õigesti arusaamise jaoks ning selleks, et midagi märkamata ei jääks.
7.	Alltöövõtjate valimine lähtuvalt eelnevast koostööst, tehtud tööde kvaliteedist ning maksumusest. Eelistada pikaageid koostööpartnereid.	ATV-de valimine ainult odavaima hinna alusel suurendab ehitustöödel esinevate probleemide riske. Tavaliselt odavam hind tähendab kompenseerimist tööde kvaliteedi koha pealt. Pikaageste koostööpartnerite eeliseks on see, et ATV oskab juba eeldada, mida temalt oodatakse ning PTV võib tunda ennast kindlamalt koostöö sujumise osas.
8.	Avakoosolekute tegemine PTV, ATV ja OJV vahel. (Avakoosolekul rääkida läbi kõik tingimused ja nõudmised, mida igalt osapoolt oodatakse.)	Enne ehitustöödega alustamist avakoosolekute tegemine võimaldab kohe alguses läbi käia olulisemad punktid ning seega parandada üksteisest arusaamist ja vältida hilisemaid konflikte.
9.	Läbimõeldud tööde järjekorra tegemine. Sh läbirääkida või koostada tööjuhend, mis järjekorras nõutakse ATV-lt tööde tegemist ja mis hetkedel on vaja teha testimisi, katsetusi, puhastustöid, isoleerimistöid jne.	Tööde hea koordineerimine aitab saavutada soovitud tulemusi.

10.	Ehitustöödel ja tööde plaanimisel kasutada BIM-i või tavalisi 3D mudeleid.	3D mudelite kasutamine ehitusplatsil aitab paremini aru saada projekteeritud lahendustest ning on abiks ka tööde plaanimisel.
11.	KVJ inseneride kasutamine ehitusplatsidel.	KVJ inseneri olemasolu platsil kiirendab tehnilistele küsimustele lahenduste leidmist.
12.	Seadmete ja materjalide ladustamisel järgida toodete ladustamise nõudeid.	Valesti ladustatud tooted võivad saada kahjustada, mis tähendab, et neid ei saa enam ehitustöödeks kasutada. Materjalide ja eelarve kokkuhoiu mõttes tasub sellepärast järgida ladustamise nõudeid.
13.	Tehtud töödele vahekontrollimiste tegemine. Regulaarne kontroll PTV ja OJV poolt.	Vahekontrollide tegemine aitab tuvastada võimalikult varakult tehtud vead ning aitab seega vältida hilisemaid suuremaid ümberehitamisi.
14.	Paigaldustöödel ehitusnõuete ning toodete paigaldusjuhendite järgimine. (Vajadusel paigaldajate/ehitajate koolitamine.)	ATV-d peavad ehitustööde käigus järgima ehitusnõudeid ja paigaldusjuhendeid. PTV ja OJV hiljem kontrollivad seda.
15.	Ehitustöodes ehitamise aluseks oleva projekti järgimine.	Täpselt ehitusprojekti järgi ehitamine vähendab võimalikke tehnilisi vigu (kui ehitusprojekt on korrektne) ning samuti vähendab lisakulutusi teostusjooniste peale.
16.	Regulaarsed koosolekud, nõupidamised – heale kommunikatsioonile rõhutamine. Nt igapäevased ATV-de koordineerimise koosolekud või	Regulaarsed koosolekud aitavad teha ülevaadet hetke olukorrast ning need on kohaks, kus saab arutada ja leida lahendusi tekkinud ehitustakistustele. Hea ja avatud kommunikatsioon kõikide osapoolte

	koosolekud, kus igat töötajat teavitatakse tema päevaülesannetest.	vahel on oluline ehitusprotsesside läbipaistvuse jaoks.
17.	Digitaalsete keskkondade kasutamine; dokumentide digitaliseerimine.	Digitaalsed keskkonnad on abivahendiks kogu ehitusdokumentatsiooni digitaliseerimiseks ning süsteemselt ühes kohas hoidmiseks. Samuti digitaalsed keskkonnad hõlbustavad osapoolte vahelisi vestlusi. Süsteemselt digitaliseeritud dokumendid aitavad palju kiiremini leida ülese vajaminevat informatsiooni.
18.	OJV regulaarne objekti külastamine.	OJV peab oskama märgata kõike. Regulaarne objektil käimine aitab tuvastada võimalikult varakult tehtud valed otsused ja paigaldusvead.
19.	Komplekskatsetuste tegemine.	Komplekskatsetused aitavad tuvastada tehnosüsteemide tehnilisi ja toimimise probleeme. Komplekskatsetustega esile tulnud vigade lahendamine vähendab parandustöid garantiiajal.
20.	Ehitustööde lõppedes viimaste visuaalsete kontrollide tegemine tehtud töödele.	Ehitustööde käigus võib ikka juhtuda, et kahjustatakse torude isolatsiooni või värvikihti, unustatakse mingites kohtades süsteemide tähistused lisada või jääb midagi muud märkamata. Ehitise üleandmisel peaksid kõik need puudused olema likvideeritud.

4.3.1 Hinnang soovituslike praktikate kohta ehitamise etapis

Soovituslikke ehitatavuse praktikaid ehitamise etapis hindasid viis inseneri, kes jagasid punkte selle kohta, kas praktika võiks vähendada tehnosüsteemide paigaldusprobleeme (hinne a) ning kui lihtne on praktikat kasutusele võtta (hinne b). Iga praktika jaoks antud punktid summeeriti. Tabelis nr 10 on praktikad pandud paremuse järjekorda eelkõige arvestades punkte, mis näitavad praktika kasumlikkust ning teisena arvestades praktika kasutusele võtmise lihtsust.

Tabel 10. Hindamise tulemused soovituslike praktikate kohta

Jrk	Praktika nr	Praktika:	Hinne: (a) Max 10p	Hinne: (b) Max 20p
1.	5.	Seadmete ja materjalide piisavalt varakult tellimine ning tarneaegade jälgimine.	10	20
2.	15.	Ehitustöodes ehitamise aluseks oleva projekti järgimine.	10	20
3.	2.	Ehitusprojektis puuduste või vigade likvideerimise nõudmine.	10	19
4.	4.	Seadmete ja materjalide kooskõlastustabelite esitamine võimalikult varakult ja enne ehitustöid.	10	19
5.	6.	Ehitusprojektiga põhjalikult tutvumine KVJ osadega tegelevate inseneride poolt.	10	19
6.	8.	Avakoosolekute tegemine PTV, ATV ja OJV vahel.	10	19
7.	13.	Tehtud töödele vahekontrollimiste tegemine. Regulaarne kontroll PTV ja OJV poolt.	10	19
8.	14.	Paigaldustöodel ehitusnõuete ning toodete paigaldusjuhendite järgimine.	10	19
9.	16.	Regulaarsed koosolekud, nõupidamised – heale kommunikatsioonile rõhutamine.	10	19

10.	18.	OJV regulaarne objekti külastamine.	10	19
11.	1.	Ehitusprojekti kontrollimine ja analüüsimine enne ehitustöödega alustamist.	10	18
12.	3.	Asendustoodete põhjaliku võrdluse tegemine pädeva isiku poolt.	10	18
13.	7.	Alltöövõtjate valimine lähtuvalt eelnevast koostööst, tehtud tööde kvaliteedist ning maksumusest. Eelistada pikaajaseid koostööpartnereid.	10	18
14.	11.	KVJ inseneride kasutamine ehitusplatsidel.	10	15
15.	9.	Läbimõeldud tööde järjekorra tegemine.	10	13
16.	10.	Ehitustöödel ja tööde plaanimisel kasutada BIM-i või tavalisi 3D mudeleid.	10	13
17.	19.	Komplekskatsetuste tegemine.	10	13
18.	12.	Seadmete ja materjalide ladustamisel järgida toodete ladustamise nõudeid.	8	19
19.	17.	Digitaalsete keskkondade kasutamine; dokumentide digitaliseerimine.	7	20
20.	20.	Ehitustööde lõppedes viimaste visuaalsete kontrollide tegemine tehtud töödele.	7	18

Soovituslikke praktikaid ehitamise etapis hindasid insenerid palju kõrgemalt. 20st praktikast 17 said maksimaalsed punktid kasumlikkuse poole pealt. Kõige kõrgemad punktid kasumlikkuse ja kasutuselevõtmise lihtsuse poolest said praktikad nr 5 ja nr 15. nendeks praktikateks oli seadmete ja materjalide piisavalt varakult tellimine ja tarneaegade jälgimine ning ehitustöodes ehitamise aluseks oleva projekti järgimine. Neid praktikaid on lihtne praktiseerida ning need aitavad vähendada oluliselt tehnosüsteemide paigaldusprobleeme. Kasumlikkuse poole pealt hinnati kõige halvemini praktikaid nr 12, 17 ja 20. Ehk need praktikad ei paranda oluliselt tehnosüsteemide paigaldusprobleeme.

Neli praktikat said madalamaid punkte kasutuselevõtmise lihtsuse osas (hinne b). Praktika nr 11, KVJ inseneride kasutamine ehitusplatsidel sai sellepärast madalamaid punkte, kuna KVJ pädevusega ja ehitusplatsi kogemusega insenere on Eestis vähe. Praktika nr 10 sai madalamaid punkte, kuna osadel inseneridel on olnud kogemusi sellega, et BIM ja 3D tarkvarade kasutamisega kaasnevad lisa probleemid või siis neid tarkvarasid ei osata lihtsalt kasutada. Praktika nr 9 ja nr 19 kohta öeldi, et neid ei tehta või ei taheta teha korralikult, kuna nende peale kulub palju aega. Lisaks sellele komplekskatsetused (praktika nr 19) alati ei õnnestu ja seega vajavad korduskatsetusi.

Kokkuvõttes võib öelda, et enamus soovituslikest ehitamise etapi praktikatest said häid punkte ja tagasisidet. Üleüldine kommentaar oli, et uurimistöös toodud ettepanekute läbi on kirjeldatud ideaalset olukorda ning tegelikkuses kõiki neid praktikaid ei järgita ning on keeruline järgida. Peamiseks põhjuseks toodi, et meil on Eestis selline ehituskultuur, kus maksab aeg ja mitte kvaliteet. Selleks, et kvaliteedile hakataks rohkem tähelepanu pöörama on vaja muutust ehituskultuuris. Veel kord toodi näide Soomest ja sellest, kuidas seal rahulikult ja tasakaalukalt tehakse otsuseid ja plaanitakse ehitustöid, mille tulemuseks on hea ehituskvaliteet.

KOKKUVÕTE

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli kaardistada enamlevinud ja korduvad tehnosüsteemide paigaldusprobleemid ja nende põhjused ning pakkuda välja kvaliteedijuhtimise ja ehitatavuse analüüsi abil meetodeid nende probleemide vähendamiseks. Eesmärgi saavutamise jaoks otsiti uurimistöös vastuseid kolmele küsimusele:

1. millised on enamlevinud ja korduvad tehnosüsteemide probleemid Eesti ehitusprojektides ja ehitusplatsidel ning, mis on nende peamised põhjused;
2. millised on Eestis teadmised ehitatavuse analüüsist ning, milliseid ehitatavuse praktikaid kasutatakse tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vältimiseks;
3. milliseid meetodeid kasutades on võimalik vähendada ehitusobjektidel esinevaid tehnosüsteemide paigaldusprobleeme?

Uurimisküsimustele vastuseid otsiti kasutades segameetodit ehk kvantitatiivsete ja kvalitatiivsete andmete kogumist. Kvantitatiivseid andmeid koguti intervjuude meetodiga ning kvalitatiivseid andmeid koguti juhtumiuuringute meetodiga. Intervjuude ja juhtumiuuringute tulemustest selgus, et tehnosüsteemide probleeme ja nende põhjuseid on palju ja erinevaid, kuid enamus nendel oli ühine seos, milleks oli inimlik eksimus. Probleeme, mis on tekkinud inimlikust eksimusest, on võimalik vähendada kvaliteedijuhtimisega.

Uurimistöös uuriti intervjuude meetodi abil, milliseid kvaliteedijuhtimise meetodeid ja praktikaid Eestis kasutatakse tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vältimiseks ning, millised on teadmised ehitatavuse analüüsist. Tulemustest selgus, et enamus intervjuueeritavatest ei olnud kuulnud ehitatavuse analüüsist ja ei olnud teadlikud selle tähendusest, kuid mõnel määral oldi sellega kokkupuutunud. Näiteks mõnel projekterijal oli kogemust sellega, et projekteerimise etappi kaasati ehituskonsultant. Kvaliteedijuhtimise praktikatest kasutati nii projekteerimises kui ka ehitamises kõige rohkem 3D mudeleid ja BIM-i, erinevaid meetodeid kommunikatsiooni parendamiseks (digitaliseerimine, koosolekud), erinevaid kontrollimisi ning pikaegseid koostööpartnereid.

Kirjanduse ülevaates saadud teadmiste ja intervjuude tulemuste põhjal pakuti välja soovituslikke meetodeid tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vähendamiseks. Uurimistöös toodi välja 16 põhimõtet ja 33 praktikat selle jaoks. Välja toodud 16 põhimõtet kombineeriti TQM ja *lean* põhiprintsiipidest ning 33 praktika välja töötamisel lähtuti kvaliteedijuhtimise põhimõtetest, ehitatavuse analüüsist ja intervjuueeritud

inseneride ettepanekutest ja kogemustest. Kuna tehnosüsteemide paigaldusprobleeme mõjutavad nii projekteerimise etapis tehtud otsused kui ka ehitamise etapis tehtud otsused, siis soovituslikud praktikad pakuti välja mõlema etapi jaoks. Projekteerimise etapi jaoks toodi välja 13 praktikat ning ehitamise etapi jaoks toodi välja 20 praktikat.

Uurimistöös välja toodud põhimõtete ja praktikate kohta andsid oma arvamuse ja hinnangu viis ehitusinseneri. Kokkuvõttes võib öelda, et suuremas osas insenerid nõustusid, et selles uurimistöös välja toodud põhimõtted ja praktikad võiksid aidata vähendada tehnosüsteemide paigaldusprobleeme. Ainukeseks probleemiks toodi, et kõiki põhimõtteid ja praktikaid ei ole väga kerge võtta kasutusele. Põhjuseks toodi, et aega on vähe ning insenerid ei ole motiveeritud oma tööde kvaliteeti parandama, kuna saab ka ilma selleta hakkama. Selleks, et ehitusprotsessides võetaks rohkem kasutusele kvaliteedijuhtimise meetodeid ja selle läbi tööde kvaliteeti parandataks, on vaja muutusi ehituskultuuris. Autori arvates on üksikute inseneride motivatsioon ja pingutus kvaliteedi tagamise suunas hea algus praeguse ehituskultuuri suunamiseks paremuse poole.

Antud uurimistööl oli kaks peamist piirangut. Üheks piiranguks oli, et intervjuusid nõustusid andma ainult 6 ettevõtet ning intervjuusid tehti ainult projekteerijate ja ehituse projektijuhtidega. Parema ja täpsema tulemuse jaoks oleks vaja teha intervjuusid ka alltöövõtjatega, objektijuhtidega, omanikujäreelvalve inseneridega ja tellijatega. Teiseks oluliseks piiranguks oli, et uurimistöös välja töötatud põhimõtteid ja praktikaid ei katsetatud ehitusobjektidel ning nendest ei töötatud välja konkreetsemaid lahendusi ja meetodeid, kuna see ei kuulunud antud uurimistöo mahtu.

Uurimistööd on võimalik edasi arendada katsetades ehitatavuse põhimõtteid ja praktikad mõnel ehitusobjektil. Põhimõtete ja praktikate katsetamine võimaldaks välja töötada konkreetsemad lahendused ja/või meetodid tehnosüsteemide paigaldusprobleemide vältimiseks. Samuti tehnosüsteemide probleemide ja nende põhjuste parema kaardistamise jaoks tuleks küsitleda rohkem insenere ning analüüsida erinevate OJV inseneride ehitusobjekte.

SUMMARY

The aim of the current thesis was to map the most common and recurrent HVAC installation problems and their causes, and to propose methods to reduce these problems using quality management and buildability analysis. For that, answers for the following questions were sought:

1. what are the most common and recurrent HVAC problems in Estonian construction projects and on construction sites, and what are their main causes;
2. what is the knowledge of buildability analysis in Estonia and what practices are used to avoid HVAC installation problems;
3. what methods can be used to reduce HVAC installation problems on construction sites?

The answers to the research questions were sought using a mixed method, i.e. the collection of quantitative and qualitative data. Quantitative data was collected using an interview method, and the qualitative data was collected using a case study method. The results of interviews and case studies showed that there are many HVAC problems with different causes. Most of them had a mutual reason, which was human error. The problems caused by human error can be reduced by quality management.

Using the interview method, it was examined which quality management methods and practices are mostly used to avoid HVAC installation problems and what is the knowledge about buildability analysis in Estonia. The results showed that most of the interviewees had not heard of the buildability analysis and were not aware of its meaning, but to some extent some had experienced it. For example, some designers had experiences with projects, where a construction consultant was involved in the design phase. In conclusion the most commonly used quality management practices in both design and construction stages were: using 3D models or BIM, various methods for improving communication (digitalization, meetings), various inspections and long-term cooperation partners.

Based on the knowledge gained from the literature review and the results of interviews, recommended methods were proposed to reduce HVAC installation problems. In this thesis 16 principles and 33 practices were composed. TQM and lean basic principles were combined to put together these 16 principles. The 33 practices were composed on the basis of quality management principles, buildability analysis, and proposals and experiences of the interviewed engineers. As HVAC installation problems are influenced

by decisions made at the design stage as well as at the construction stage, recommended practices were proposed for both stages. For the design stage 13 practices were brought out and for the construction stage 20 practices were brought out.

Five engineers gave their opinions and ratings for the principles and practices outlined in the thesis. In conclusion, most of the engineers agreed that the principles and practices could help reduce HVAC installation problems. The only problem was that it is not very easy to adopt all these principles and practices. The reasons were, that there is not enough time to work on these practises and also engineers usually are not very motivated to improve the quality of their work. In order for more quality management methods to be used in construction processes and thereby improve the quality of works, changes in construction industry culture are needed. In author's opinion motivation and effort of individual engineers towards better outcome quality is a good start to improve the current construction industry culture.

This thesis had two main limitations. One limitation was that only 6 companies agreed to give interviews, and interviews were conducted only with designers and construction project managers. For better and more accurate results, it would also be necessary to do interviews with subcontractors, site managers, owner supervisors and subscribers. Another important limitation was that the principles and practices developed in the research were not tested on construction sites and because of that specific solutions and methods were not developed.

The thesis can be developed further by testing the principles and practices on some construction sites. The testing would help to develop more specific solutions and/or methods to avoid HVAC installation problems. Also, for better mapping of HVAC problems and their causes, more engineers should be interviewed and various construction sites should be analyzed.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] X. Yang and S. Ergan, "Leveraging BIM to Provide Automated Support for Efficient Troubleshooting of HVAC-Related Problems," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 30, no. 2, p. 04015023, 2016, doi: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000492.
- [2] S. A. A. Mosaad, U. H. Issa, and M. S. Hassan, "Risks affecting the delivery of HVAC systems: Identifying and analysis," *Journal of Building Engineering*, vol. 16, no. December 2017, pp. 20–30, 2018, doi: 10.1016/j.jobe.2017.12.004.
- [3] Y. Sun *et al.*, "Difficulty analysis and countermeasure discussion of building HVAC construction," *Smart Construction Research*, vol. 2, no. 3, Jun. 2018, doi: 10.18063/SCR.V2I3.584.
- [4] R. Xiaolong, "Problems and Improvement Methods of HVAC Design of Building," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 332, no. 4, p. 042049, Oct. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/332/4/042049.
- [5] Z. Liu, "The construction quality control analysis of water supply a drainage and hvac engineering," vol. 92, no. Icessms 2016, pp. 50–54, 2017, doi: 10.2991/icesms-16.2017.12.
- [6] T. Samarasinghe, P. Mendis, L. Aye, T. Gunawardena, S. Fernando, and R. Karunaratne, "BIM AND MODULAR MEP SYSTEMS FOR SUPER-TALL AND MEGA-TALL BUILDINGS," 2017.
- [7] K. S. Krishnamoorthi, V. R. Krishnamoorthi, and A. Pennathur, "A First Course in Quality Engineering : Integrating Statistical and Management Methods of Quality," *A First Course in Quality Engineering*, Sep. 2018, doi: 10.1201/9780429505621.
- [8] B. Lahidji and W. Tucker, "Continuous Quality Improvement as a Central Tenet of TQM: History and Current Status," *Quality Innovation Prosperity*, vol. 20, no. 2, pp. 157–168, Dec. 2016, doi: 10.12776/QIP.V20I2.748.
- [9] A. Weckenmann, G. Akkasoglu, and T. Werner, "Quality management - History and trends," *TQM Journal*, vol. 27, no. 3, pp. 281–293, Apr. 2015, doi: 10.1108/TQM-11-2013-0125/FULL/PDF.
- [10] N. I. Fisher and V. N. Nair, "Quality management and quality practice: Perspectives on their history and their future," *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, vol. 25, no. 1, pp. 1–28, Jan. 2009, doi: 10.1002/ASMB.756.
- [11] "Quality Engineering Handbook," *Quality Engineering Handbook*, Apr. 2003, doi: 10.1201/9781482276350.
- [12] "Principles of Total Quality - Vincent K. Omachonu, Joel E. Ross - Google Books." <https://books.google.ee/books?hl=en&lr=&id=IH->

- bBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Omachonu+2004+Principles+of+total+quality&ots=fIIWZIJ3O2&sig=z_I22Qri2wKkTVmlwMD7zQTGxJw&redir_esc=y#v=onepage&q=Omachonu%202004%20Principles%20of%20total%20quality&f=true (accessed Feb. 02, 2022).
- [13] "The Innovation Tools Handbook, Volume 2: Evolutionary and Improvement Tools ... - H. James Harrington, Frank Voehl - Google Books." https://books.google.ee/books?hl=en&lr=&id=J4mKDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT143&dq=shewhart+cycle&ots=QswRdAFXpi&sig=_VdoRnN7nQ9Tv91gXITrrBjFGQs&redir_esc=y#v=onepage&q=shewhart%20cycle&f=false (accessed Feb. 25, 2022).
- [14] S. Jurow and S. Barnard, "Integrating Total Quality Management in a Library Setting," *Integrating Total Quality Management in a Library Setting*, Apr. 2013, doi: 10.4324/9780203708101/INTEGRATING-TOTAL-QUALITY-MANAGEMENT-LIBRARY-SETTING-SUSAN-JUROW-SUSAN-BARNARD.
- [15] "The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's ... - James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos - Google Books." https://books.google.ee/books?hl=en&lr=&id=9NHmNCmDUUoC&oi=fnd&pg=PR7&dq=info:gIm7opbDf38J:scholar.google.com&ots=UhgwdhQ1ee&sig=glhDFYjX--Evm-_xUyTRnrfYI40&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (accessed Feb. 28, 2022).
- [16] "Lean Construction - Luis Alarcón - Google Books." https://books.google.ee/books?hl=en&lr=&id=tUpZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=lean+construction&ots=CIUuUuz_hT&sig=En9V_5z75dlqcA5K-zxKJWSXW3A&redir_esc=y#v=onepage&q=lean%20construction&f=false (accessed Feb. 03, 2022).
- [17] L. Koskela, "CIFECENTER FOR INTEGRATED FACILITY ENGINEERING APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION," 1992.
- [18] "Lean Construction - Luis Alarcón - Google Books." https://books.google.ee/books?hl=en&lr=&id=tUpZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=lean+construction&ots=CIUxLwrWdZ&sig=g24We2iR8ZbnFT3scvrpKUp049Q&redir_esc=y#v=onepage&q=lean%20construction&f=false (accessed Feb. 27, 2022).
- [19] S. Singh and K. Kumar, "A study of lean construction and visual management tools through cluster analysis," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 1153–1162, 2021, doi: 10.1016/j.asej.2020.04.019.
- [20] Y. Eaidgah Torghabehi, A. A. Maki, K. Kurczewski, and A. Abdekhodae, "Visual management, performance management and continuous improvement: A lean

- manufacturing approach," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 7, no. 2, pp. 187–210, 2016, doi: 10.1108/IJLSS-09-2014-0028.
- [21] "Projekteerimise korraldamise toimivuse analüüs ja parandusettepanekud ehitusprojekteerimise ettevõttes - TalTech raamatukogu digikogu." <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/4076a076-aecd-4456-a8df-999d8570f3f0> (accessed Mar. 07, 2022).
- [22] "Kvaliteeditehnika ja Taguchi meetod kvaliteedi tagamiseks ehituse projekteerimises - TalTech raamatukogu digikogu." <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/0c00a553-541a-4a6e-8d5b-6ee80e0d1681> (accessed Mar. 07, 2022).
- [23] "EVS-EN ISO 9001:2015 en - Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus." <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-9001-2015-en> (accessed May 01, 2022).
- [24] "ISO 9001:2015(en), Quality management systems — Requirements." <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:en> (accessed Mar. 07, 2022).
- [25] "EVS-EN ISO 9004:2018 - Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus." <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-9004-2018> (accessed May 01, 2022).
- [26] C. Thirion, "Introduction to Constructability and Constuctability Programmes | OwnerTeamConsultation," *Owner Team Consult*, no. August, p. 1, 2019.
- [27] D. Kifokeris and Y. Xenidis, "Constructability: Outline of Past, Present, and Future Research," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 143, no. 8, p. 04017035, Mar. 2017, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001331.
- [28] F. W. H. Wong, P. T. I. Lam, E. H. W. Chan, and L. Y. Shen, "A study of measures to improve constructability," *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 24, no. 6, pp. 586–601, 2007, doi: 10.1108/02656710710757781.
- [29] J. T. O'connor, A. M. Asce, R. L. Tucker, and F. Asce, "Industrial Project Constructability Improvement," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 112, no. 1, pp. 69–82, Mar. 1986, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1986)112:1(69).
- [30] P. T. I. Lam, F. W. H. Wong, and A. P. C. Chan, "Contributions of designers to improving buildability and constructability," *Design Studies*, vol. 27, no. 4, pp. 457–479, 2006, doi: 10.1016/j.destud.2005.10.003.
- [31] I. C. Osuizugbo and K. C. Okolie, "Factors supporting the implementation of buildability assessment as a tool for buildability improvement," 2022, doi: 10.1108/JEDT-12-2021-0738.
- [32] C. Thirion, "Introduction to Constructability and Constuctability Programmes | OwnerTeamConsultation," *Owner Team Consult*, no. August, p. 1, 2019.

- [33] "Virtual building environments (VBE) - Applying information modeling to buildings." <https://escholarship.org/uc/item/0wp0n585> (accessed Mar. 04, 2022).
- [34] G. Raviv, A. Shapira, and R. Sacks, "Empirical investigation of the applicability of constructability methods to prevent design errors," *Built Environment Project and Asset Management*, vol. 12, no. 1, pp. 53–69, Jan. 2022, doi: 10.1108/BEPAM-02-2020-0028/FULL/PDF.
- [35] P. Dallasega, A. Revolti, C. Follini, C. P. Schimanski, and D. T. Matt, "BIM-based construction progress measurement of non-repetitive HVAC installation works," *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019*, no. June, pp. 819–830, 2019, doi: 10.24928/2019/0152.
- [36] D. A. S. Samarasinghe and I. S. Piri, "Assessing design buildability through virtual reality from the perspective of construction students," *Built Environment Project and Asset Management*, 2021, doi: 10.1108/BEPAM-03-2021-0054.
- [37] I. C. Osuizugbo, "The need for and benefits of buildability analysis: Nigeria as a case study," *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 19, no. 5, pp. 1207–1230, 2020, doi: 10.1108/JEDT-08-2020-0338.
- [38] M. K. Tauriainen, J. A. Puttonen, and A. J. Saari, "The assessment of constructability: BIM cases," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 20, no. October 2014, pp. 51–67, 2015.
- [39] T. Samarasinghe, P. Mendis, L. Aye, T. Gunawardena, S. Fernando, and R. Karunaratne, "Bim and Modular Mep Systems for Super-Tall and Mega-Tall Buildings," 2017.
- [40] J. Guo, Q. Wang, and J. H. Park, "Geometric quality inspection of prefabricated MEP modules with 3D laser scanning," *Automation in Construction*, vol. 111, no. December 2019, p. 103053, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2019.103053.
- [41] T. Samarasinghe, P. Mendis, and L. Aye, "Applications of design for excellence in prefabricated building services systems," *The 7th International Conference on Sustainable Built Environment*, no. December, 2016.

LISA 1. Intervjuude eelne internetiküsitlus intervjueeritavate tutvustamiseks

1. Sugu: mees/naine
2. Vanus:
3. Mitu aastat olete töödanud ehituses?
4. Mis on Teie praegune ameti nimetus?
 - Projekteerija;
 - Projekteerimise projektijuht;
 - Ehituse projektijuht;
 - Objektijuht;
 - Muu:
5. Mitu aastat olete töödanud praegusel ametil?
6. Milline on olnud Teie teenistuskäik ehituse töömaastikul? (Varasemad töökohad)
7. Milliseid tarkvarasid kasutate oma igapäevases töös? (Küsimus projekteerijatele.)
 - AutoCad;
 - Revit;
 - MagiCad;
 - Solibri;
 - Muu:
8. Kas Te olete kuulnud sellisest terminist nagu „ehitavuse analüüs“?
 - Jah
 - Ei
9. Kas Te olete kokku puutunud mõne ehitusprojektiga, kus on kasutatud ehitavuse analüüsi (kui ühte osa kvaliteedijuhtimisest)?

LISA 2. Intervjuuküsimused projekteerijatele ja projekteerimise projektijuhtidele

I osa – digitaalne küsitlus, saadetud enne intervjuud

II osa – tehnosüsteemide probleemid ehituses

1. Mis on Teie arvates üks suurimaid probleeme ehituses seoses tehnosüsteemidega? Projekteerimise poole pealt?
2. Millised tehnosüsteemide probleemid kipuvad projektides korduma? Too näiteid viimastest projektidest.
3. Kas te saate tavaliselt ehitusplatsidelt tagasisidet oma projektidele? Näiteks selles osas, milliseid kohti ei olnud võimalik teostada vastavalt ehitusprojektile. Too näiteid viimastest projektidest.

III osa – ehitatavuse analüüs

1. Kas te olete kuulnud sellisest terminist nagu "ehitatavuse analüüs"? Kuidas te sellest aru saate?
2. Milliseid tänapäeval levinuid praktikaid ehitatavuse tagamiseks projekteerimise etapis teate?
3. Kas ja milliseid ehitatavuse meetodeid praktiseerite oma töös?
4. Kuidas hindate oma töö (projekteerimise protsessi) sujuvust ning erinevates projektides esile tulevate probleemide lahendamist?
5. Kas te olete ehitatavuse analüüsiga mõnes ehitusprojektis kokku puutunud?
6. Mis on teie arvamus kvaliteedijuhtimisest ehituses? Negatiivsed/positiivsed kogemused.

IV osa – tulevik

1. Kuhu Teie arvates praegune ehitus/ehituskultuur suundub kvaliteedi ja ehitatavuse poole pealt?
2. Mida võiks tulevikus oodata tehnosüsteemide poole pealt?

LISA 3. Intervjuuküsimused ehituse projektijuhtidele ja kvaliteedijuhtidele

I osa – digitaalne küsitlus, saadetud enne intervjuud

II osa – tehnosüsteemide probleemid ehituses

1. Mis on Teie arvates üks suurimaid probleeme ehituses seoses tehnosüsteemidega?
2. Milliseid suuremaid tehnosüsteemide (küte, ventilatsioon, jahutus) paigaldusvigu olete objektidel näinud? Tooge näiteid viimastest projektidest.
3. Millised tehnosüsteemide paigaldusvead kipuvad objektidel korduma? Tooge näiteid viimastest projektidest.
4. Mis on Teie silmis selliste paigaldusvigade põhjuseks?

III osa – ehitatavuse analüüs

1. Kas te olete kuulnud sellisest terminist nagu "ehitatavuse analüüs"? Kuidas te sellest aru saate?
2. Millised on täna levinud praktikad ehitatavuse tagamiseks ehitamise ettevalmistamisel ja ehitustööde ajal ehitusplatsil?
3. Kas Te praktiseerite mingit kindlat ehitatavuse meetodit oma töös?
4. Milliseid praktilisi punkte kasutate oma igapäevases tööelus, et saavutada ehitusobjektidel sujuv töö?
5. Kuidas hindate oma objektidel töö sujuvust ja probleemide lahendamist? Tooge näiteid viimastest projektidest.
6. Mis on Teie arvamus kvaliteedijuhtimisest ehituses? Negatiivsed/positiivsed kogemused.
7. Kas Te olete ehitatavuse analüüsiga mõnes projektis kokku puutunud?

IV osa – tulevik

1. Kuhu Teie arvates praegune ehitus/ehituskultuur suundub kvaliteedi ja ehitatavuse poole pealt?
2. Mida võiks tulevikus oodata tehnosüsteemide poole pealt?