

TARTU ÜLIKOOL
Majandusteaduskond

Gerda-Annika Laager

INNOVATSIOONI KOMPLEMENTAARSUS TEHISARU RAKENDAMISE
NÄITEL EESTI EHITUSVALDKONNAS

Magistritöö

Juhendaja: Kaasprofessor Eneli Kindsiko

Tartu 2026

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Magistritöö koostamisel on autor kasutanud generatiivse tehisaru vahendeid (ChatGPT ja Claude) järgmistel eesmärkidel: kirjandusallikate otsimise toetamine; teadusartiklite kokkuvõtete koostamine sobivate allikate valimiseks; ideede ja kahtluste pörgatamine ning ristkontroll; tekstide parafraseerimine ning keeleline ja stiililine korrastamine. Empiirilise materjali analüüsi etapis kasutati keelemudeleid intervjuude kodeerimisel ja juhtumipõhisel süvaanalüüsil, mida on detailselt kirjeldatud peatükis 2.1. Kõik tehisaru abil koostatud sisendid läbisid autori sisulise ülevaatuses ning viidatud kirjandusallikad on autor salvestanud ja kontrollinud infot nende originaaltekstides. Töö sisulised väited, järeldused ja teaduslik panus kuuluvad autorile.

Sisukord

Sissejuhatus.....	5
1. Innovatsiooni komplementaarsus tehisaru kasutuselevõtul ehituses	7
1.1. Innovatsiooni komplementaarsuse alused tehisaru rakendamisel.....	7
1.2. Tehisaru rakendamise seis ja eripärad ehitusvaldkonnas.....	17
1.3. Tehisaru kasutuselevõtu komplementaarsus ehitusettevõtetes	20
2. Innovatsiooni komplementaarsus tehisaru kasutuselevõtul Eesti ehituses	26
2.1. Uurimisprotsess ja valim.....	26
2.2. Komplementaarsuse kujunemine Eesti ehituses: intervjuude analüüs.....	28
2.3. Ettepanekud tehisaru komplementaarseks rakendamiseks Eesti ehituses ...	45
Kokkuvõte.....	47
Viidatud allikad.....	51
Lisad.....	60
LISA A Innovatsioonitüüpide ülevaade.....	60
LISA B Innovatsiooniprotsess	61
LISA C Innovatsiooni komplementaarsuse võimaldajad ehitusvaldkonna näitel ...	62
LISA D Tehisaru komponendid, tüübid ja alamvaldkonnad	63
LISA E Intervjuude küsimustik	64
LISA F Intervjuude kvalitatiivse sisuanalüüsi protses.....	65
LISA G Intervjuude kodeerimistabel.....	66
LISA H Eesti ehituse tehisaru komplementaarsus: tugevused ja nõrkused.....	67
Summary.....	68

Töös kasutatavad mõisted

Innovatsioon – uus või täiustatud toode või protsess (või nende kombinatsioon), mis erineb märkimisväärselt üksuse või ka organisatsiooni varasematest toodetest või protsessidest ning mis on potentsiaalsetele kasutajatele kättesaadavaks tehtud (toote puhul) või organisatsioonis kasutusele võetud (protsessi puhul). Innovatsiooniks nimetatakse nii tegevust, kui tulemust ja definitsioon katab mõlemad. (OECD/Eurostat, 2018).

Komplementaarsus – kahe või enama tegevuse või süsteemi osa koosmõju loob suurema väärtuse või kasu kui nende eraldiseisev rakendamine. Ühe tegevuse tõhustamine suurendab samal ajal ka teiste tegevuste tulu ning vastupidi. (Milgrom & Roberts, 1995; Vahter & Vadi, 2024; Edgeworth, 1881)

Innovatsiooni komplementaarsus – olukord, kus innovatsiooniga seotud tegevused, strateegiad ja neid toetavad organisatsioonilised tingimused toimivad vastastikku tugevdavalt selliselt, et nende ühine rakendamine loob suurema innovatsioonitulemuse kui ükski element eraldi (Milgrom & Roberts, 1995; Cozzarin & Percival, 2006; Ennen & Richter, 2010).

Innovatsioonivõimekus – organisatsiooni suutlikkust pidevalt transformeerida teadmisi ja ideid uuteks toodeteks, protsessideks ja süsteemideks, luues väärtust nii ettevõttele kui ka selle sidusrühmadele (Lawson & Samson, 2001).

Absorbeerimisvõimekus – organisatsiooni suutlikkus tuvastada väliste teadmiste väärtus, neid omandada ja rakendada innovatsioonitegevustes (Cohen & Levinthal, 1989).

Dünaamilised võimekused – organisatsiooni suutlikkus oma ressursibaasi sihipäraselt muuta ja ümber konfigureerida vastavalt muutuvatele tingimustele (Teece, Pisano, & Shuen, 1997).

Tehisaru – masinate võime mõelda ja täita ülesandeid, mis jäljendavad inimeste käitumismustreid (Gama & Magistretti, 2025). Tänapäevaseks defineeritud kui tehnoloogiavaldkond, mille põhieesmärk on luua süsteemid, mis suudavad jäljendada inimlikku intelligentsust nii riistvara kui tarkvara lahenduste kaudu (Egwim, et al., 2024).

Ehitusinfo modelleerimine (Building Information Modeling ehk BIM) – digitaalne lähenemine ehitusprojektide planeerimisele, projekteerimisele ja haldamisele, mis võimaldab luua ja hallata andmerikkaid, elutsüklit hõlmavaid mudelipõhiseid andmeid (Alves, Palha, & de Almeida Filho, 2025)

Sissejuhatus

Majandusteadlased on juba aastaid nentinud niinimetatud produktiivsuse paradoksi, mille puhul digitaalsed tehnoloogiad levivad kiiresti, kuid nende mõju organisatsioonide tootlikkusele jääb oodatust tagasihoidlikumaks (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2017). Tehisaru on selle uusim ja kõige teravam ilming. MIT uuringu kohaselt ei saavuta 95% ettevõtetest tehisaru rakendamisest mõõdetavat majanduslikku kasu. Põhjuseks peetakse lahenduste ebapiisavat integreeritust töövoogudesse ning kohandamatust igapäevaste tööülesannetega. (Challapally, Pease, Raskar, & Chari, 2025) Samas on tehisaru potentsiaal produktiivsuse tõstmiseks märkimisväärne, kuid realiseerub üksnes siis, kui tehnoloogilist innovatsiooni toetab piisaval määral organisatsiooniline innovatsioon (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2017). Seda mustrit on korduvalt täheldatud alates arvutite kasutuselevõttust 1980. aastatel kuni tänapäeva tehisaru lahendusteni. Tehnoloogia üksi ei muuda töökorraldust, protsesse ega inimeste oskusi, mistõttu ei järgne selle kasutuselevõtul sageli oodatud tootlikkuse hüpet (Brynjolfsson, 1993). Küsimus ei ole tehisaru võimekuses, vaid selles, millistel organisatsioonilistel tingimustel selle potentsiaal tegelikult avaldub. Vastuse pakub innovatsiooni komplementaarsuse teooria, mille kohaselt väärtus ei teki üksikust elemendist, vaid elementide vastastikusest koostoimest. Komplementaarsus kujuneb strateegiate, struktuuri, ressursside, võimekuste, praktikate ja väliste võrgustike süsteemse ning üksteist tugevdava kujundamise kaudu. (Ennen & Richter, 2010; Milgrom & Roberts, 1995). Nimetatud teoreetiline raamistik pakub süsteemse seletuse, miks tehisaru rakendamine ebaõnnestub ka siis, kui tehnoloogia ise on kõrgel tasemel.

Ehitussektor muudab selle küsimuse eriti aktuaalseks, moodustades 13% globaalsest ja 6,1% Eesti SKPst (Mischke, Stokvis, Vermeltfoort, & Biemans, 2024; Statistikaamet, 2026), olles samal ajal üks Eesti ja Euroopa kõige vähem digitaliseeritud sektoreid. Civitta 2024. aasta uuringu kohaselt on Eesti ehitus- ja kinnisvarasektori ning ehitusmaterjali tootjate keskmine digitaliseerituse indeks (DI) 26,0 punkti skaalal 0–100 ja mediaanväärtus vaid 17,5, mis viitab sellele, et keskmist tõstavad üksikud kõrgelt digitaliseeritud suurettevõtted (Arrak, et al., 2024). Eurostat andmetel kuulub Euroopa Liidu (EL) ehitussektoris 86% ettevõtetest madala või väga madala digitaliseerituse kategooriasse, samal ajal kui info- ja sidesektoris jõuab 98% ettevõtetest vähemalt baastasemele (Eurostat, 2025). Lõhe on eriti terav tehisaru kasutuses. 2025. aastal rakendas tehisaru vaid 12% EL-i ehitusettevõtetest, paralleelselt info- ja kommunikatsioonisektoris ulatus vastav näitaja 62,5%-ni. Eesti ehitusettevõtete tehisaru kasutusmäär (17,4%) ületab küll EL-i keskmist, kuid jääb alla Soomele (24%). (Eurostat, 2026). See viitab struktuurilisele ja püsivale digitaliseerimise lõhele ehitussektori ja

tehnoloogiamahukate tööstusharude vahel. Kolmandaks on ehitussektori struktuurilised eripärad nagu projektipõhisus, killustunud andmed ja ressursipiirangud (Abioye, et al., 2021; Wuni, 2025), mis teevad komplementaarsuse kujunemise eriti keeruliseks. Kirjeldatud tingimused muudavad komplementaarsuspõhise analüüsi väärtuslikuks. Tehisaru rakendamise võimalusi ehitussektoris on rahvusvaheliselt uuritud üsna põhjalikult (Egwim, et al., 2024; Taiwo, et al., 2024), kuid innovatsiooni komplementaarsuse perspektiivist ning eriti Eesti kontekstis, on uurimistöö napp. Töö täidab selle lünga, ühendades innovatsiooni komplementaarsuse teooria tehisaru rakendamise empiirilise analüüsiga Eesti ehitusvaldkonnas.

Magistritöös töötatakse välja innovatsiooni komplementaarsuse mudel ehitusvaldkonna kontekstis, mis kujutab endast töö teoreetilist panust. Selle alusel analüüsitakse komplementaarsuse ilminguid tehisaru kasutuselevõtul Eesti ehitusettevõtetes. Töö eesmärk on esitada analüüsi põhjal tõenduspõhised ettepanekud tehisaru tulemuslikumaks rakendamiseks Eesti ehitusvaldkonna ettevõtetele ja teistele sidusrühmadele. Eesmärgi saavutamiseks on püstitatud kuus uurimisülesannet:

1. Avada innovatsiooni ja komplementaarsuse teoreetilised alused ning kirjeldada innovatsiooni komplementaarsuse kujunemist organisatsiooni tasandil.
2. Analüüsida tehisaru rakendamise hetkeseisu ja eripärasid ehitusvaldkonnas ning tõlgendada neid innovatsiooni komplementaarsuse kujunemise tingimuste kontekstis.
3. Sünteesida teoreetilised alused ja valdkonna eripärad innovatsiooni komplementaarsuse mudeliks ehitusvaldkonna kontekstis.
4. Kavandada kvalitatiivne uurimisdisain ja viia läbi süvaintervjuud Eesti ehitusettevõtete juhatuse liikmetega.
5. Analüüsida innovatsiooni komplementaarsuse ilminguid tehisaru rakendamisel Eesti ehitusettevõtetes väljatöötatud mudeli tasandite lõikes ning tuvastada avalduvad mustrid ja pudelikaelad.
6. Töötada välja tõenduspõhised ettepanekud tehisaru tulemuslikumaks rakendamiseks Eesti ehitusvaldkonna ettevõtetele ja teistele sidusrühmadele

Magistritöö koosneb kahest peatükist. Esimene peatükk loob teoreetilise aluse. Alapeatükk 1.1 käsitleb innovatsiooni komplementaarsuse teoreetilisi aluseid ning esitab kuuedimensioonilise elementide raamistiku ja neljatasandilise komplementaarsuse kujunemise kontseptuaalse mudeli. Alapeatükk 1.2 analüüsib tehisaru olemust ja rakendamise

võimalusi ehitusvaldkonnas ning tõlgendab kasutuselevõttu soodustavaid ja takistavaid tegureid ja konteksti komplementaarsuse dimensioonide kaudu. Alapeatükk 1.3 sünteesib eelneva viietasandiliseks innovatsiooni komplementaarsuse modeliks ehitusvaldkonna kontekstis, mis toimib empiirilise analüüsi struktuurse alusena. Teine peatükk esitab kvalitatiivse uurimuse tulemused: alapeatükk 2.1 kirjeldab uurimismetoodikat ja valimit; alapeatükk 2.2 analüüsib komplementaarsuse kujunemist Eesti ehitusettevõtetes mudeli viie tasandi lõikes; alapeatükk 2.3 esitab ettepanekud tehisaru tulemuslikumaks rakendamiseks. Töö lõpetavad eestikeelne kokkuvõte ja ingliskeelne resümee.

Märksõnad: innovatsiooni komplementaarsus, tehisaru, ehitussektor, digitaliseerimine, organisatsiooniline muutus.

Teaduseriala kood (CERCS): S190 Ettevõtete juhtimine; S191 Turuteadus; T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia.

1. Innovatsiooni komplementaarsus tehisaru kasutuselevõtul ehituses

1.1. Innovatsiooni komplementaarsuse alused tehisaru rakendamisel

Innovatsiooni komplementaarsuse teoreetiline raamistik tehisaru rakendamise perspektiivist avatakse innovatsioonist. Innovatsioon ei piirdu ainult tehnoloogiliste muutustega, vaid hõlmab ka organisatsioonilisi ja ärilisi muutusi, sealhulgas uusi töökorraldusviise, turundusmeetodeid ja äriprotsesse. Innovatsioonitegevused hõlmavad kõiki arendus-, finants- ja äritegevusi, mida ettevõtte teeb selleks, et luua innovatsioon. (OECD/Eurostat, 2005; OECD/Eurostat, 2018). 2005. aasta Oslo Manualis (OECD/Eurostat, 2005) eristati nelja innovatsioonitüüpi (toote-, protsessi-, organisatsiooniline ja turundusinnovatsioon), mis konsolideeriti 2018. aastal kaheks põhitüübiks: tooteinnovatsioon ja äriprotsesside innovatsioon, mis omakorda jaguneb kuueks alaliigiks (OECD/Eurostat, 2018). Tabelis 1 on esitatud innovatsioonitüüpide kokkuvõte Oslo 2018 põhjal. Täielik ülevaade alaliikidest koos hõlmatud tegevustega on toodud lisas A.

Tabel 1.

Innovatsioonitüüpide kokkuvõte

Innovatsioonitüüp Oslo 2018	Hõlmatud tegevused
Tooteinnovatsioon	Uue/täiustatud kauba või teenuse turule toomine
Kaupade/teenuste tootmine	Tootmistehnikad, seadmed, kvaliteedijuhtimine
Jaotus ja logistika	Transport, ladustamine, tellimuste töötlemine
Turundus ja müük	Bränding, hinnakujundus, reklaam, klienditugi
Info- ja kommunikatsioonisüsteemid	IT-taristu haldus, andmetöötlus, veebimajutus
Administratsioon ja juhtimine	Strateegiline, finants- ja personalijuhtimine, hanked
Toote- ja äriprotsesside arendus	Tootearendus, protsessiparandus, prototüüpide testimine

Allikas: Autori koostatud OECD/Eurostat, 2018; OECD/Eurostat, 2005 põhjal

Töös käsitletakse tehisaru rakendamist äriprotsesside innovatsioonina, kuna võib liigitada mitme alaliigi alla. Näiteks ehitusprojektide planeerimisel, ajakava ja kulude prognoosimisel võib see kuuluda toote- ja äriprotsesside innovatsiooni alla. IT-süsteemide ja andmeanalüüsi lahendustes aga info- ja kommunikatsioonisüsteemide innovatsiooni alla. Mõned uurijad käsitlevad tehisaru ka tehnoloogilise funktsioonina, keskendudes selle algoritmilisele ja arvutuslikule olemusele (Egwwim, et al., 2024; Taiwo, et al., 2024). Selline käsitus aga ei selgita, miks sama tehisaru toob ühele ettevõttele tulu ja teisele mitte. Põhjus on selles, et tehisaru väärtus avaldub alles laiemate organisatsiooniliste muutustega.

Teaduskirjanduses defineeritakse innovatsiooni kui keerulist ja mitmetahulist protsessi, mis hõlmab teadmiste loomist, arendamist ja kombineerimist ning rakendamist organisatsiooni ja väliskeskkonna koostöös (Cohen & Levinthal, 1989; Love & Roper, 1999). Lisas B esitatud joonis koondab innovatsiooniprotsessi etapid ja nende seosed väliskeskkonnaga ühtseks tervikuks. Protsess algab teadmiste hankimisest sisemistest ja välistest allikatest ning kulmineerub uute toodete või äriprotsesside rakendamise ja turustamisega kus viimane samm eristab innovatsiooni ideest või leiutisest (OECD/Eurostat, 2018; Roper, Du, & Love, 2008). Iga etapp eeldab lisaks tuumtehnoloogiale täiendavaid ressursse ja võimekusi nagu turundust, tootmisvõimekust ja järelteenuseid (Colombo, Grilli, & Piva, 2006; Teece, 1986). Pudelikaelad tekivad seal, kus elementide kooskõla puudub. Näiteks teadmiste arendamise faasis takistavad protsessi andmevalmiduse, standardite või kompetentside puudumine, aga rakendamise faasis tekib pudelikael suutmatusest tööd ümber korraldada ja uut väärtust klientidele nähtavaks muuta. (Roper, Du, & Love, 2008). Seda dünaamikat selgitab komplementaarsuse teooria.

Komplementaarsuse teooria matemaatilised juured ulatuvad Edgeworth (1881) kasulikkuse teooriasse, mille Penrose viis 1959 aastal ettevõtte tasandile (Kor & Mahoney, 2000), Rosenberg (1963) tootmise valdkonda, Topkis (1979) üldistas mänguteooriasse ning Milgrom ja Roberts (1990; 1995) kandsid üle organisatsioonijuhtimise konteksti. Käesolev töö keskendub komplementaarsuse kujunemisele organisatsiooni tasandil, kus tähendab erinevate elementide (strateegia, struktuurid, teadmised, protsessid) ja funktsioonide (tootmine, turundus, tarneahela juhtimine) sünergilist koostööt. Väärtus tekib nende koosmõjust, mitte üksikute osade eraldiseisvast toimimisest, ning hästi toimivad komplementaarsed süsteemid loovad konkurentsieelise, kuna nende jäljendamine on kulukas ja keeruline. (Milgrom & Roberts, 1995; Turner, 2022). Kaks tegurit muutuvad

komplementaarseks alles kolmanda teguri mõjul, mis on igas organisatsioonis erinev, seega universaalset komplementaarsust loovat tegurit ei eksisteeri. (Ennen & Richter, 2010)

Käesolevas töös on kesksel kohal innovatsiooni komplementaarsus, mis avaldub esmajoones äriprotsesside innovatsiooni kontekstis. Ühe innovatsioonitegevuse rakendamine suurendab teiste tegevuste tulemuslikkust, mistõttu nende koos rakendamine loob suurema väärtuse kui eraldi (Teece, 1986; Foss & Pedersen, 2002; Ennen & Richter, 2010). Ennen ja Richter (2010) hoiatavad aga, et komplementaarsuse loogika ei tähenda automaatset edu. Sama kombinatsioon võib mõnes kontekstis luua väärtust, teises mitte. Universaalset retsepti ei eksisteeri ja iga organisatsiooni puhul tuleb hinnata, kas elementide paralleelne kasutuselevõtt loob tegelikku sünergia või suunab nad vastastikku piiranguks. Äriprotsesside innovatsiooni alaliigid on üksteisest sõltuvad ning toimivad tihti üksteist toetavana (OECD/Eurostat, 2018) ehk muutus ühes alaliigis eeldab või võimendab muutust teises.

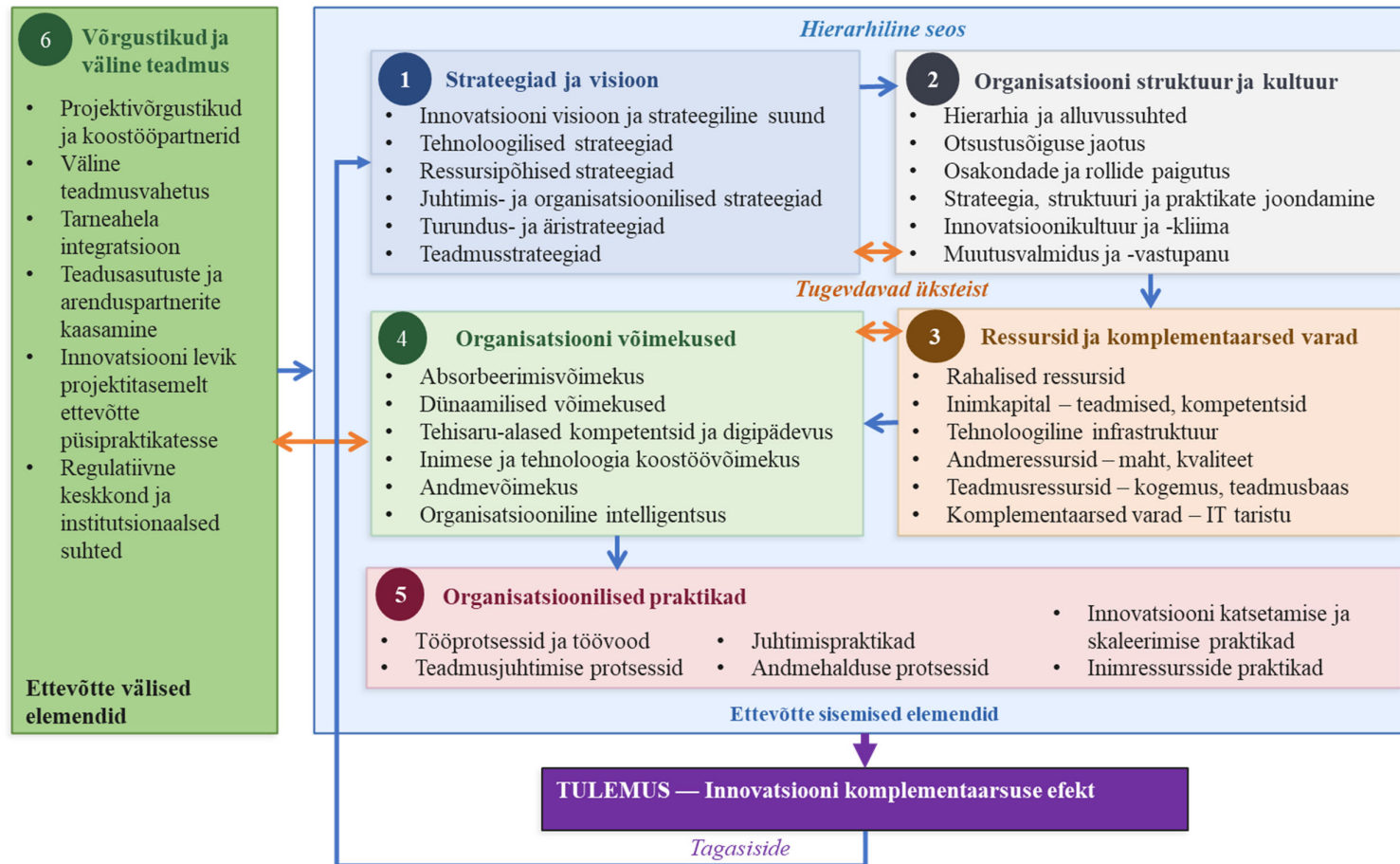
Innovatsioonikirjandus käsitleb komplementaarsuse elemente erinevatest vaatenurkadest, kuid ehitusvaldkonna ja tehisaru rakendamise kontekstile sobiv terviklik raamistik seni puudub. Töö koondab elemendid kolmest teineteist täiendavast teoreetilisest allikast ja jaotab need kuude dimensiooni. Innovatsioonivõimekuse konstrukti annab organisatsiooniliste elementide tuumiku, mida dünaamiliste võimekuste teooria ja absorbeerimisvõimekuse kontseptsioon täpsustavad välise teadmuse omandamise ja ressursside ümberkonfigureerimise loogikaga (Cohen & Levinthal, 1989; Lawson & Samson, 2001; Teece, Pisano, & Shuen, 1997). Ehitusvaldkonna empiiriline kirjandus toob esile valdkonnale omased elemendid nagu projektipõhine innovatsioon ja võrgustikupõhine teadmusvahetus (Meng & Brown, 2018; Duarte & Picchi, 2021; Wuni, 2025). Komplementaarsuse põhiloogika tugineb omakorda Milgromi ja Robertsi (1995) käsitlusele. Selle kohaselt on organisatsioon omavahel seotud valikute süsteem, kus erinevad elemendid võivad olla üksteist tugevdavad.

Innovatsioonivõimekuse konstrukti (Lawson & Samson, 2001) on innovatsioonikirjanduses laialt kasutatud kontseptuaalne raamistik, mis koondab innovatsiooni mõjutavad organisatsioonilised elemendid seitsmesse rühma. Need on visioon ja strateegia, kompetentsibaasi rakendamine, organisatsiooniline intelligentsus, loovuse ja ideede juhtimine, organisatsioonilised struktuurid ja süsteemid, kultuur ja töökliima ning tehnoloogia juhtimine. Elemendid katavad strateegilise, struktuurist tuleneva, ressursipõhise ja kultuurilise mõõtme, mis moodustavad käesoleva sünteesi tuuma. (Lawson & Samson, 2001) Konstrukti on välja töötatud üldise raamistikuna ega kata kahte käesoleva töö jaoks

olulist valdkonda. Esiteks ei käsitle see ehitusvaldkonna eripärasid nagu projektipõhisus, võrgustikupõhine innovatsiooniloogika ja tarneahela integratsioon (Meng & Brown, 2018; Duarte & Picchi, 2021; Wuni, 2025). Teiseks ei kata seitse elementi tehisaru rakendamise spetsiifilisi nõudeid, eelkõige andmehaldust, andmeressursse ning inimese ja tehnoloogia koostöövõimekust. Tehnoloogia iseenesest ei loo ettevõttele uusi dünaamilisi võimekusi, vaid tugineb tulemuslikuks rakendumiseks ettevõtte olemasolevatele võimekustele (Liu, et al., 2024; Gao, Liu, & Yang, 2025). Nagu varem käsitletud, tekib tehisaru väärtus alles siis, kui töötajate oskused ja tööprotsessid on vastavalt arendatud ning absorbeerimisvõimekus tagab väliste teadmiste muundumise sisemiseks innovatsioonipotentsiaaliks (Cohen & Levinthal, 1989). Seetõttu on Lawsoni ja Samsoni elementide juurde lisatud andme-, dünaamilised ja absorbeerimisvõimekused ning välise dimensioonina võrgustikud ja väline teadmus.

Eelnimetatud allikate sünteesina koondab autor analüüsi kuue dimensiooni alla, millest viis kirjeldavad ettevõtte sisemisi elemente ja kuues ettevõtte välist konteksti (vt joonis 1). Lawsoni ja Samsoni elementidest enamik kandub raamistikku otse, kuid kaks valikut väärivad selgitust. Esiteks on organisatsioonilised struktuurid ja süsteemid ning kultuur ja töökliima koondatud üheks dimensiooniks (D2). Mõlemad toimivad kogu organisatsiooni läbiva raamina ning nende komplementaarsus avaldub esmajoones koosmõjus. Teiseks on osa dimensioone ehitusvaldkonna ja tehisaru konteksti tõttu täiendatud: ressursside dimensioonile (D3) on lisatud andmeressursid, võimekuste dimensioonile (D4) dünaamilised, absorbeerimis- ja andmevõimekused ning kuuenda, ettevõtte välise dimensioonina on raamistikku toodud võrgustikud ja väline teadmus (D6).

Sisemiste dimensioonide vahel toimivad kahte tüüpi seosed. Esiteks, hierarhilised seosed, kus kõrgemad tasandid ei aktiveeru ilma madalamateta (Love, Roper, & Vahter, 2014). Strateegia rakendamine eeldab sobivat struktuuri ja kultuuri, võimekuste arendamine eeldab ressursse, praktikate kujundamine eeldab võimekusi. Teiseks vastastikku tugevdavad seosed, kus strateegia ja struktuur ning võimekused ja ressursid mõjutavad teineteist mõlemas suunas. Kuues, väline dimensioon mõjutab kõiki sisemisi dimensioone, kuid selle väärtus sõltub absorbeerimisvõimekusest (Cohen & Levinthal, 1989). Valdkonna innovatsioonivõrgustikust saadud teadmused suudab ettevõtte kasutada vaid siis, kui sisemine teadmusbaas on piisavalt tugev. Komplementaarsuse efekt tekitab tagasiside, mille kaudu tulemused mõjutavad omakorda algingimusi, muutes innovatsioonivõimekuse kujunemise kumulatiivseks protsessiks (Roper, Du, & Love, 2008; Cohen & Levinthal, 1989). Joonisel 1 esitatud raamistik moodustab ühe osa töö teoreetilisest panusest.



Joonis 1. Innovatsiooni komplementaarsuse kuus dimensiooni ehitusvaldkonnas

Allikas: Autori koostatud Lawson & Samson, 2001; Milgrom & Roberts, 1995; Cohen & Levinthal, 1989; Meng & Brown, 2018; Wuni, 2025; Duarte & Picchi, 2021; Teece, 1986; Turner, 2022; Cassiman & Veugelers, 2006; Roper, Du, & Love, 2008; Cozzarin & Percival, 2006; Vahter & Vadi, 2024 põhjal

Innovatsiooni komplementaarsuse kujunemine toimub neljal omavahel seotud tasandil, mis on käesolevas töös struktureeritud järgnevalt:

1. eelduste tasand, kus tekivad tingimused komplementaarsuse kujunemiseks;
2. innovatsiooniprotsess, kus komplementaarsus avaldub erinevate elementide koostoimes;
3. tulemuslikkuse efekt, mille kaudu komplementaarsuse mõju realiseerub
4. tagasisidetsüklid, mis omakorda kujundab uusi eeldusi edasiseks arenguks.

Neid nelja tasandit aitab illustreerida BIM modelleerimise ja tehisaru integreerimine ehitussektoris. BIM loob eeldusena andmerikka keskkonna, AI analüüsib neid andmeid innovatsiooniprotsessis ning tulemuseks on paremad otsused ja efektiivsus, mis omakorda loob uued andmed järgmiseks arengutsüklis (Alves, Palha, & de Almeida Filho, 2025).

Komplementaarsuse kujunemise esimene eeldus on ettevõtte sisemine innovatsioonivõimekus, mis avaldub kolme omavahel seotud komponendi kaudu. Need on absorbeerimisvõimekus (Cohen & Levinthal, 1989), strateegilised valikud ning ressursid ja kompetentsid (Lawson & Samson, 2001). Absorbeerimisvõimekus on neist fundamentaalseim. Ettevõtte, mis ei investeeris sisemisse arendusse, kaotab võime väliseid teadmisi üldse mõtestada ja integreerida ning võib seetõttu jääda ilma nii sisemistest kui ka välistest innovatsiooniallikatest. Absorbeerimisvõimekus kujuneb kumulatiivselt, kus varasemad investeeringud määravad, milliseid teadmisi on organisatsioon võimeline tulevikus omandama ja kasutama, ning seda võimekust ei ole võimalik kiiresti turult sisse osta. (Love, Roper, & Vahter, 2014; Cohen & Levinthal, 1989) Ka väliste koostööpartnerite ja innovatsioonivõrgustike kaudu saadava teadmuse väärtus sõltub kriitiliselt ettevõtte sisemise teadmusbaasi tugevusest. Ilma selleta muutub väline teadmus kuluallikaks, mitte komplementaarseks. (Grimpe & Kaiser, 2010) Tehnilisest koolitusest ei ole kasu, kui inimesed sellest aru ei saa. Mõnede ettevõtete jaoks võivad sisemine arendustegevus ja väliste teadmiste omandamine toimida teineteist asendavate strateegiatena, teiste jaoks komplementaarsetena. Absorbeerimisvõimekuse tase otsustab, kumb avaldub. (Cassiman & Veugelers, 2006)

Strateegilised valikud määravad, milliseid innovatsioonitegevusi kombineeritakse ja kuidas neid omavahel joondatakse. Innovatsioonistrateegiate komplementaarsus ei teki spontaanselt, vaid eeldab teadlikke juhtimisotsuseid (Milgrom & Roberts, 1995). Ehitusettevõtte võib valida, et ta investeerib korraga nii BIM-i kui ehitusplatsil droonipõhisesse seire tarkvarasse. Teadlik otsus neid kombineerida loob komplementaarsuse, mitte kumbki tööriist eraldi. Ressursid ja kompetentsid toimivad samuti eeltingimusena. Ilma

nendeta ei kujune innovatsioonistrateegiate vahel komplementaarset koostoimet, sõltumata organisatsiooni strateegilisest tahtest. (Turner, 2022) Ehituses võib tehisarupõhise riskianalüüsi tööriista kasutuselevõtt takerduda, kui puuduvad oskustega projektijuhid, vajalik taristu või eelarve ja strateegiline tahe jäädagi pelgalt kavatsuseks.

Komplementaarsuse kujunemise teine eeldus on innovatsiooni ajendite olemasolu. Ettevõtte sisemised innovatsiooni ajendid on strateegiline ambitsioon, juhtkonna innovatsioonivalmidus ning organisatsiooni soov efektiivsust ja konkurentsivõimet parandada (Meng & Brown, 2018). Väliskeskkonnast tulenevad ajendid hõlmavad tehnoloogia-lüket, kus innovatsiooni käivitavad uued tehnoloogilised võimalused, ning nõudluse-tõmmet, kus innovatsioonitegevust suunavad turu ja klientide vajadused. Lisaks kuuluvad väliste ajendite hulka konkurentsisure ja koostööpartnerite kaudu saadavad teadmusimpulsid. (Di Stefanoo, Gambardellab, & Veronab, 2012; Zhang, Wang, Tang, & Zhang, 2020) Ehitusvaldkonnas on oluliseks väliseks ajendiks ka avaliku sektori tellijate roll. Eestis suunatakse riigihangete kaudu majandusse aastas 4–5 miljardit eurot, millest oluline osa läheb ehitustöödeks. Innovatsiooni toetamine on alates 2023. aastast riigihangete strateegiline põhimõte (Rahandusministeerium, 2023). Sarnaselt rõhutavad Soome ja Hollandi riiklikud tegevuskavad innovaatiliste riigihangete rolli ehitussektori uuenemisel (European Commission, 2024a; European Commission, 2024b). Sisemised ajendid ei toimi välistest sõltumatult, vaid nende koostoime määrab, kas organisatsioon suudab väliseid impulsse ära kasutada ja komplementaarsuse kujunemiseni jõuda (Meng & Brown, 2018).

Innovatsioonivõimekuse ja innovatsiooni ajendite eeldused ei toimi eraldiseisvalt, vaid on omavahel hierarhiliselt seotud. Sisemise teadmusbaasi arendamine ja protsesside standardiseerimine toimivad väravana teistele innovatsioonitegevustele. Need peavad olema paigas enne, kui ajendid saavad komplementaarsuse kujunemist käivitada. (Love, Roper, & Vahter, 2014) Näiteks digitaliseerimisest ei ole kasu ilma standardiseeritud protsessideta, partnerluspõhisest teadmusvahetusest ilma absorbeerimisvõimekuseta ega uutest tehnoloogiatest ilma inimkapitalita, mis neid käitab (Brynjolfsson, Aral, & Wu, 2012).

Innovatsioonivõimekus kirjeldas organisatsiooni sisemist suutlikkust ehk mida organisatsioon on võimeline tegema. Sellele lisanduvad innovatsiooni võimaldajad, mis kirjeldavad tingimusi ja praktikaid, mis peavad olema paigas, et suutlikkus realiseeruks. Süsteemset innovatsiooni ehitusettevõtetes võimaldavad 15 peamist tegurit (Duarte & Picchi, 2021) (toodud lisas C), mis jagunevad strateegilisteks, organisatsioonilisteks, inimressursside, protsessilisteks ja finantsilisteks dimensioonideks, hõlmates innovatsioonistrateegiat,

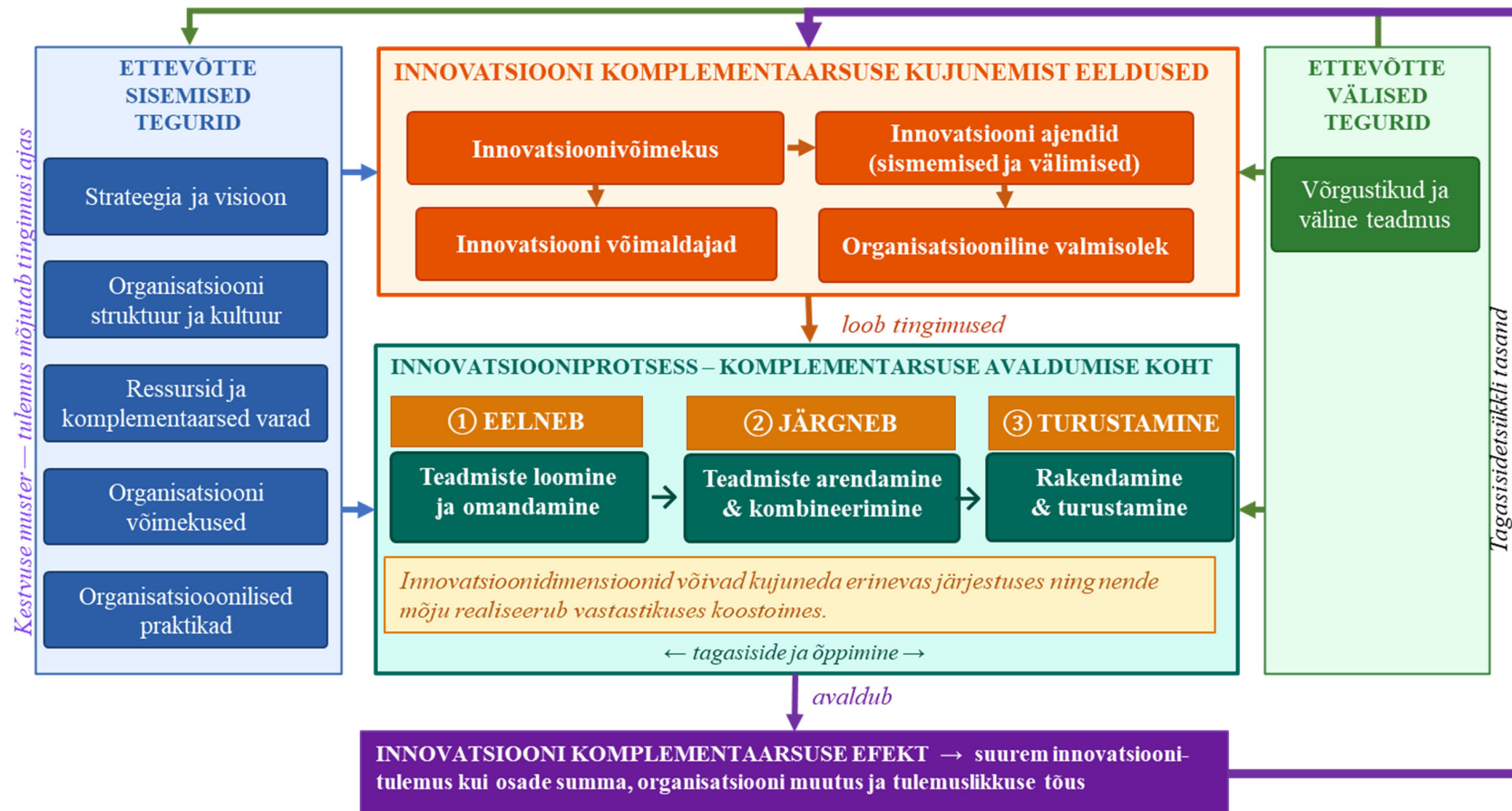
juhtkonna toetust, innovatsioonikultuuri, teadmiste juhtimist ja väliskoostööd. Innovatsioon ehitussektoris ei saa toimuda juhuslikult, vaid peab olema juhitud ja integreeritud organisatsiooni strateegia, protsesside ja ressursidega. (Duarte & Picchi, 2021) Need on komplementaarsuse avaldumise tingimused ehitusvaldkonna kontekstis. Innovatsioonikultuur mõjutab kõiki teisi dimensioone läbivalt ja strateegiline suund seob kogu raamistiku (Lawson & Samson, 2001). Ükski dimensioon ei asenda teist. Rahalised vahendid ei kompenseeri strateegilise suuna puudumist (Teece, Pisano, & Shuen, 1997) nagu ka tehnilised kompetentsid ei asenda protsessilist tuge (Brynjolfsson, Aral, & Wu, 2012). Hea näide on ehitusettevõtte, mis võtab kasutusele tehisarul põhineva projektijuhtimissüsteemi: juhtkond toetab ja eelarve on olemas, kuid nõrk innovatsioonikultuur, töötajate skeptilisus ja korrastamata andmehaldus viivad selleni, et süsteemi kasutatakse vaid pinnapealselt. Kui aga strateegia, juhtimine, töötajate oskused, protsessid ja rahastus on kõik paigas, saab tehisarust organisatsiooni võimekust tervikuna tugevdav lahendus. Komplementaarsuse võimaldajad on struktuurseks eeltingimuseks komplementaarsuse kujunemisele innovatsiooniprotsessis. Iga etapp alates teadmiste loomisest, arendamise ja rakendamiseni toimib eelnevatega komplementaarselt (Roper, Du, & Love, 2008).

Pelgalt teadmiste ja võimekuste olemasolu ei taga nende rakendamist. Innovatsiooni elluviimine sõltub organisatsiooni strateegilisest valmisolekust ja tippjuhtkonna toetusest, mis on eriti kriitilised varases rakendamisetapis (Solaimani & Swaak, 2023). Organisatsiooniline valmisolek muutusteks väljendab organisatsiooni liikmete ühist psühholoogilist seisundit, kus ollakse pühendunud kavandatud muutuse elluviimisele ning usutakse kollektiivsesse võimekusse seda edukalt rakendada. Valmisolek kujuneb sellest, kuivõrd väärtuslikuks muutust peetakse ning kuidas hinnatakse selle elluviimiseks vajalikke ressursse, ülesandeid ja tingimusi. (Weiner, 2009) Kui eeltingimused on loodud ning valmisolek tekkinud, avaldub komplementaarsus innovatsiooniprotsessis endas: teadmiste loomine ja omandamine; teadmiste arendamine ja kombineerimine ning rakendamine ja turustamine. Need ei ole lineaarsed, vaid kumulatiivsed ja komplementaarsed: iga järgneva etapi edukus sõltub eelnevate lülide tugevusest ning ühe lüli nõrkus piirab kogu innovatsiooni potentsiaali. (Roper, Du, & Love, 2008) Komplementaarsus avaldub selles väärtusahelas struktuurse sõltuvusena: tugev teadmusbasis ei realiseeru väärtuseks, kui puudub võime seda tööprotsessidesse integreerida. Tähendab, et innovatiivne lahendus ei jõua kasumini, kui protsessi- ja turustamisvõimekus seda ei toeta. (Roper, Du, & Love, 2008; Lam, 2004)

Komplementaarsus innovatsiooniprotsessi ei teki aga lihtsalt strateegiate samaaegsel olemasolul vaid oluline on ka nende rakendamise järjestus. Vahter ja Vadi (2024) näitavad Hispaania töötleva tööstuse ettevõtete paneelandmete (PITEC, 2008–2016) analüüsis, et tehnoloogilise ja organisatsioonilise innovatsiooni sünkroonne rakendamine annab ~23,5% kõrgema müügitulu töötaja kohta. Siinkohal on oluline järjestus: tehnoloogiline innovatsioon peab eelnema organisatsioonilisele, mitte vastupidi. Kuigi uuring põhineb Hispaania töötleva tööstuse andmetel, on järjestuse loogika rakendatav ka ehitusvaldkonnas tehisaru kasutuselevõtul. Innovatsioon suurendab tulemuslikkust üksnes koos toetavate strateegiliste valikutega, mis on raskesti imiteeritavad eelkõige nende vastastikuse komplementaarsuse, mitte üksikkomponentide tõttu (Cozzarin & Percival, 2006).

Innovatsiooniprotsessi viimane etapp on rakendamine ja turustamine. Seal sõltub innovatsiooni majanduslik tulu mitte tehnoloogiast, vaid sellest, kas ettevõtte omab toetavaid komplementaarseid varasid (tootmisvõimekus, müügikanalid, järelteenused, kompetentsid). Ilma nendeta ei jõua isegi parim innovatsioon mõõdetava tulemuseni. (Teece, 1986; Roper, Du, & Love, 2008) Etapp ei tähista innovatsiooniprotsessi lõppu. Klientide tagasiside ja rakendamise käigus ilmnunud puudused muutuvad sisendiks järgmisele teadmiste loomise etapile ehk tagasiside tsüklile. Innovatsioonitsükli jätkusuutlikkus sõltub organisatsiooni võimest muuta kogemuspõhine õppimine püsivateks praktikateks. Katsetamine võib lühiajaliselt olla tõhus, kuid ilma ekspluateerimiseta ei looda pikaajaliselt väärtust. Õpitu peab kanduma üle protsessidesse, normidesse ja rutiinidesse. (March, 1991). Ülekandumine eeldab kolme mehhanismi. Kogemuste akumulatsioon loob vahekõiki teadmuse; artikuleerimine muudab selle jagatavaks; ja alles kodifitseerimine käsiraamatute, protsessistandardite ja järelanalüüside kaudu muudab üksikkogemused korduvkasutatavaks ressursiks. (Zollo & Winter, 2002) Ilma selle teadliku kodifitseerimiseta jäävad isegi edukad innovatsioonid ühekordseks, mitte kestvaks väärtuse allikaks.

Neli taset: eeldused, protsess, tulemuslikkus kui avalduv innovatsiooni komplementaarsuse efekt ning tagasisidetsükel, moodustavad dünaamilise süsteemi, kus tulemuslikkus omakorda tagasisidestab tingimuste kujunemist: edukad komplementaarsused tugevdavad absorbeerimisvõimekust, loovad ressursse järgmisteks investeeringuteks ja suurendavad strateegilist valmisolekut. Joonis 2 koondab selle dünaamika ühtseks mudeliks.



Joonis 2. Innovatsiooni komplementaarsuse kujunemise kontseptuaalne mudel

Allikas: Autori koostatud Milgrom & Roberts, 1995; Love, Roper, & Vahter, 2014; Vahter & Vadi, 2024; Duarte & Picchi, 2021; Ennen & Richter, 2010; Cohen & Levinthal, 1989; Lawson & Samson, 2001; põhjal

Tehisaru kasutuselevõtt käsitletakse töös äriprotsesside innovatsioonina. Selle väärtus ei realiseeru isoleeritud tehnoloogilise lahendusena, vaid üksnes siis, kui komplementaarsuse kujunemise eeldused (innovatsioonivõimekus, ajendid, võimaldajad ja valmisolek) on paigas ning tehisaru integreerimine toimub innovatsiooniprotsessi kõigis etappides kooskõlastatult (Teece, 1986; Gama & Magistretti, 2025). Selle mõju sõltub sellest, kuivõrd suudetakse ettevõtte sisemised ja välised tegurid siduda komplementaarsuse kujunemise eeldusteks ning saavutada komplementaarsus innovatsiooniprotsessis. Järgnev alapeatükk täpsustab seda raamistikku ehitusvaldkonna kontekstis, käsitledes tehisaru rakendamise seisu ja eripärasid ehitusvaldkonnas ning tõlgendades neid komplementaarsuse kujunemise tingimustena, mis moodustavad aluse alapeatükis 1.3 esitatavale empiirilisele analüüsiraamistikule.

1.2. Tehisaru rakendamise seis ja eripärad ehitusvaldkonnas

Vastavalt sissejuhatuses kirjeldatule, on ehitussektor on maailma suurim majandusharu ja samal ajal üks digitaliseerimises enim mahajäänud valdkondi. Sektori tootlikkus kasvas aastatel 2000-2022. vaid 0,4% aastas, võrreldes kogu majanduse 2%-lise kasvuga. Globaalsed ehituskulutused kasvavad keskmiselt 3,2% aastas, suurenedes prognooside kohaselt 12 triljonilt eurolt 2023. aastal 20 triljoni euroni 2040. aastaks. (Mischke, Stokvis, Vermeltfoort, & Biemans, 2024) Ilma tootlikkuse läbimurdeta ei suuda sektor seda nõudlust täita. McKinsey prognooside kohaselt saab digitaalsete tehnoloogiate tõhus integreerimine seda toetada, võiks ehitussektoris tuua kuni 15%-se kulude kokkuhoiu ning lühendada projektide kestvust kuni 20% (Mischke, Stokvis, Vermeltfoort, & Biemans, 2024). Tehisaru esindab fundamentaalset võimalust selle olukorra muutmiseks. Mitte ainult üksiku tööriistana, vaid süsteemse innovatsioonina, mis suudab transformeerida projektijuhtimist, ohutust, kvaliteedikontrolli ja ressursside planeerimist (Gomes, 2025; Abioye, et al., 2021). Siiski on ehitusvaldkond tehisaru rakendamises alles varajases arengufaasis ning jääb tehnoloogilises küpsuses teistele sektoritele alla. Madalam kasutus on seotud sektori tööde suurema füüsilise ja vähem digitaliseeritud iseloomuga, mis piirab AI rakendusvõimalusi. (Decastro & Bransden, 2026). Alapeatükk käsitleb tehisaru olemust ja rakendamise võimalusi ehitusvaldkonnas ning analüüsib kasutuselevõtu tingimusi innovatsiooni komplementaarsuse perspektiivist.

Tehisaru komponendid, tüübid ja alamvaldkonnad on toodud magistritöö lisas D (Abioye, et al., 2021). Ehitusvaldkonna kontekstis hõlmab tehisaru masinõpet (*machine learning*), arvutinägemist (*computer vision*) ja loomuliku keele töötlemist (*natural language processing*). Need on tehnoloogiaid, mis võimaldavad süsteemidel mustreid tuvastada, ennustusi teha ning andmemahukates ja keerukates keskkondades otsuste tegemist toetada.

Erinevalt varasematest digitaalarendustest, nagu BIM, ei piirdu tehisaru andmete struktureerimisega, vaid suudab neist aktiivselt järeldusi teha ja soovitusi genereerida. Seetõttu on tehisarul ehitusvaldkonnas küll ulatusliku mõju potentsiaal, kuna andmete kogus kasvab, kuid nende kasutamise suutlikkus on seni piiratuks jäänud. (Egwim, et al., 2024; Abioye, et al., 2021)

Tehisaru rakenduste kasutus ehitusvaldkonnas on viimastel aastatel märkimisväärselt laienenud (aastaga 3,8% tõus OECD ja 6% EL riikides (OECD, 2025; Decastro & Bransden, 2026; Eurostat, 2026)). 85 teadusartikli süstemaatiline ülevaade tuvastas ehituses üle 350 tehisaru kasutusjuhtumi, mis jagunevad nelja põhikategooriasse: ohutuse seire, projekteerimise automatiseerimine, operatiivne tõhusus ning jätkusuutlikkus (Gomes, 2025). Tehisaru eduka rakendamise potentsiaal on kolmes ehituse faasis: ehituseelne (kuluproгноos, riskianalüüs, ajakava planeerimine), ehituse teostus (reaalajas ohutusseire, viivituste vähendamine, kulude juhtimine, kvaliteedikontroll, ressursside juhtimine) ning ehitusjärgne (hoolduse prognoosimine, energiajuhtimine, elutsükli analüüs) (Abioye, et al., 2021; Adebayo, Udoh, Kamudiyariwa, & Osobajo, 2025). Suurt tulevikupotentsiaali nähakse generatiivsete mudelite erinevate rakendusvormide, nagu teksti, pildi ja video vastastikuse töötlemise kasutuselevõtt (Taiwo, et al., 2024). Praktikas tähendab see, et tehisaru suudab tuvastada ehitusplaanides konflikte enne, kui need muutuvad kulukateks vigadeks, jälgida töötajate ohutust arvutinägemise abil ning optimeerida materjalide tarneahelat. Samuti täita ülesanded, mida seni on peamiselt käsitsi ja reaktiivselt lahendatud. (Kabalisa & Altmann, 2021; Egwim, et al., 2024)

Ehitusvaldkond pakub tehisaru rakendamiseks nii võimast potentsiaali kui erandlikult keerukaid tingimusi. Võrreldes tootmise või finantssektoriga iseloomustab ehitust projektipõhine töökorraldus, kus iga objekt on unikaalne, meeskonnad vahetuvad projektide lõikes ning andmed on hajutatud paljude osapoolte vahel (Abioye, et al., 2021). Selline struktuurne eripära tähendab, et tehisaru rakendamine ei saa tugineda üksikutele lahendustele. Valdkond eeldab innovatsioonivisiooni, sobivate ressursside, organisatsiooniliste võimekuste, praktikate ning väliste võrgustike süsteemset ja üksteist tugevdavat kujundamist. Teisisõnu vajab edukas tehisaru kasutuselevõtt innovatsiooni komplementaarsuse kujunemist organisatsiooni kõigil tasanditel (Milgrom & Roberts, 1995). Tabelis 2 on esitatud kirjandusanalüüsi põhjal koostatud ülevaade tehisaru kasutuselevõttu soodustavatest ja takistavatest teguritest ehitusvaldkonnas, mis on jaotatud kuue komplementaarsuse dimensiooni järgi (joonis 1).

Tabel 2.

Tehisaru kasutuselevõtu takistused ja soodustavad tegurid ehitusvaldkonnas innovatsiooni komplementaarsuse dimensioonide lõikes

Dimensioon	Takistused	Soodustavad tegurid	Allikad
Strateegiad ja visioon	Strateegilise suuna ja juhtimisvisiooni puudumine; ebaselge majanduslik kasu ja raskused investeeringute tasuvuse hindamisel; tippjuhtkonna toe puudumine varajases etapis; tehnoloogiliste algatuste seostamatus pikaajaliste eesmärkidega; konservatiivsus ja kõrge riskitaju	Kasvav majanduslik surve loob selge stiimuli — investeeringud AEC-sektori tehnoloogiasse kasvasid 2020–2022 hinnanguliselt 85%; tehisaru investeeringute maht võib ulatuda 2026. aastaks 4,51 miljardi dollarini	Egwim et al. (2024); Solaimani et al. (2023); Regona et al. (2022); Darkoa et al. (2020);
Organisatsiooni struktuur ja kultuur	Projektipõhisus takistab lahenduste skaleerimist ja valideerimist; iga projekt on unikaalne, mis raskendab korduvkasutatavate lahenduste arendamist; katsetused ei kandu üle ettevõtte püsipraktikatesse — eksploreerimine ilma ekspluatatsioonita	Projektipõhised võrgustikud loovad potentsiaali hajutatud innovatsiooniks, kui koostöö on koordineeritud	Abioye et al. (2021); Bygballe & Ingemansson (2014)
Ressursid ja komplementaarsed varad	Ebapiisav IT-taristu; andmete nappus, kehv kvaliteet, usaldusväärsus- ja turvalisusprobleemid; kõrged infrastruktuuri juurutus- ja hooldustasud; alla 1% käibest investeeritakse IT-sse; ressursipiirangud eriti VKE-des. Kõrged kulud juurutamiseks	LLM-ide kiire areng on oluliselt langetanud sisenemisbarjääri — eeldab väiksemaid andmekogumeid ja lühemaid arendustsükleid; ChatGPT-põhised rakendused realiseeritavad lühikese arendustsükliga (ajagraafikud, dokumentatsiooni süntees)	Gomes (2025); Solaimani et al. (2023); Prieto et al. (2023); Chunga et al. (2023)
Organisatsioonilised võimekused	AI-alaste oskuste nappus — andmeanalüütikute ja algoritmispetsialistide puudumine; digitaalse pädevuse puudumine nii juhtkonna kui töötajad; black-box algoritmid vähendavad läbipaistvust ja usaldust; vastupanu uutele tehnoloogiatele; juurdunud tööpraktikad tekitavad ebakindlust; tehisaru kasutuselevõtu tempo varieerub kultuuriliselt ja sotsiaal-majanduslikult	Tehisaru tõestatud mõju sektori põhiprobleemidele — 180 dokumenteeritud kasu; planeerimisaja kokkuhoid kuni 15–20%; vigade esinemissageduse vähenemine 25–30%; operatiivne tõhusus, ohutus ja kvaliteet koondavad üle poole kasudest	Abioye et al. (2021); Ghimire et al. (2023); Young et al. (2021); Gomes (2025); Egwim et al. (2024)
Organisatsioonilised praktikad	Traditsiooniliste töömeetodite muutmise aeglus; andmejuhtimise puudulik korraldus ja andmetöötlusprotsesside ebaküpsus; fragmentaarsed ja lühiajalised tehnoloogilised algatused ilma järjepideva sisekommunikatsioonita; sobimatu või vananenud IT-infrastruktuur takistab integreerimist ja skaleerimist	Generatiivsete mudelite areng: teksti, pildi ja video vastastikuse töötlemise võimekus, loob aluse hübriidsüsteemidele, mis ühendavad LLM-id arvutinägemise ja robotikaga; tehisaru laieneb füüsilisse ehituskeskkonda, muutudes strateegiliseks investeeringuks	Egwim et al. (2024); Wuni (2025); Adebayo et al. (2025); Taiwo et al. (2024); Gomes (2025)
Võrgustikud ja väline teadmus	Kooskõlastamata koostöö projektivõrgustikes — andmed, teadmised ja otsustusõigus hajutatud mitme osapoole vahel; ebapiisav info- ja andmevahetus piirab lahenduste levikut ja skaleerimist; regulatiivsed ja eetilised mured nõuavad täiendavaid juhtimiskohandusi ja suurendavad ebakindlust	Ühiselt kokkulepitud tööviisid ja mitme osapoole koostöö võimendavad tehisaru väärtust — tehnoloogia potentsiaal sõltub otseselt koostöö kvaliteedist	Zhang et al. (2020); Adebayo et al. (2025); Gomes (2025)

Allikas: Autori koostatud, ptk 1.1 (Joonis 1) ja ptk 1.1–1.2 kirjanduse sünteesi põhjal

Tabelis 2 toodud takistuste ja soodustavate tegurite analüüs paljastab olulise mustri. Nimelt tehisaru kasutuselevõtu probleemid ehitusvaldkonnas ei ole oma olemuselt pelgalt tehnoloogilised, vaid peegeldavad süsteemset komplementaarsete tingimuste puudumist organisatsiooni erinevatel tasanditel (Ennen & Richter, 2010; Milgrom & Roberts, 1995). Iga tabelis 2 kirjeldatud takistuste kategooria vastab ühele innovatsiooni komplementaarsuse elementide dimensioonile ning nende koosmõju määrab, kas tehisaru rakendamine jääb üksikuks katsetuseks või kujuneb organisatsiooni püsivaks võimekuseks.

Komplementaarsus avaldub ehitusvaldkonnas kahes suunas. Esiteks peavad kuus dimensiooni toimima üksteist tugevdavalt. Strateegiline visioon ilma vastavate ressurssideta või digitaalsed võimekused ilma toetavate protsessideta ei tekita süsteemset innovatsioonimõju (Ennen & Richter, 2010). Ehitusvaldkonna näitena ei anna tehisaru tarkvara soetamine ilma IT-taristuta, koolitatud töötajateta ja standardiseeritud protsessideta oodatud tulemust. Teiseks on komplementaarsuse kujunemine järjestikune protsess. Enne kui innovatsiooniprotsess saab käivituda, peavad olema täidetud eeldused nagu innovatsioonivõimekus, sobivad innovatsiooni käivitamise ajendid, organisatsiooniline valmisolek ja vajalikud võimaldajad (Lawson & Samson, 2001; Duarte & Picchi, 2021; Weiner, 2009). Vahter ja Vadi (2024) on näidanud, et tehnoloogilise ja organisatsioonilise innovatsiooni kombineerimine toob märkimisväärselt suurema tulemuslikkuse kui kumbki eraldi. Ehituse kontekstis tähendab see, et tehisaru lahenduste kasutuselevõtt peab käima käsikäes organisatsiooni võimekuste ja praktikate arendamisega, mitte nende eelnema. Soodustavad tegurid nagu LLM-ide sisenemisbarjääri langus (Prieto, Mengiste, & Soto, 2023; Chunga, Moon, Kim, Lim, & Chi, 2023), kasvavad investeeringud (Darkoa, et al., 2020; Rafsanjani & Nabizadeh, 2023) ja tehisaru tõestatud ärintulu (Gomes, 2025; Egwim, et al., 2024), loovad küll soodsad välistingimused, kuid ei asenda organisatsiooni sisemist valmisolekut ega eelduste täitmist. Komplementaarsus ei kujune iseenesest, vaid eeldab teadlikku ja järjepidevat kujundamist (Ennen & Richter, 2010) kõigis kuues dimensioonil korraga. Kuidas kujunemine Eesti ehitusettevõtetes toimub ja millistel tingimustel komplementaarsus areneb, on magistr töö empiirilise analüüsi keskseks küsimuseks. Selle analüütilise raamistiku esitab autor järgnevas alapeatükis 1.3.

1.3. Tehisaru kasutuselevõtu komplementaarsus ehitusettevõtetes

Alapeatükid 1.1 ja 1.2 on käsitlenud innovatsiooni komplementaarsuse teoreetilist alust ning tehisaru rakendamise seisuhitust valdkonnas. Käesolev alapeatükk sünteesib need kaks tasandit magistr töö teoreetiliseks analüüsiraamistikuks (joonis 3), mis toimib

empiirilise uurimuse struktuurse alusena. Süntees toob kaasa kaks autori täiendust innovatsiooni komplementaarsuse üldisele teooriale. Esiteks ehitusvaldkonnale kohandatud kuuedimensiooniline elementide raamistik ning teiseks viietasandiline analüütiline struktuur, mis lisab üldisele komplementaarsuse mudelile (joonis 2) konteksti tasandi.

Ehitussektori spetsiifilisest kontekstist omandab tehisaru rakendamine täiendava mõõtme. Seda iseloomustab projektipõhine ja ajutine töökorraldus (Regona, Yigitcanlar, Xia, & Li, 2022; Abioye, et al., 2021; Egwim, et al., 2024) ning võrgustikupõhine töökorraldus, kus teadmised, andmed ja otsustusõigus on osapoolte vahel hajutatud (Bygballe & Ingemansson, 2014; Solaimani & Swaak, 2023; Abioye, et al., 2021). Tehisaru väärtuse realiseerimine sõltub sektorispetsiifilistest komplementaarsetest varadest nagu osapooltevahelised suhted, koostööloogika ja võimekus projektitasemel loodud lahendusi ettevõtte ja laiema väärtusahela tasandile kanda. (Prieto, Mengiste, & Soto, 2023; Gomes, 2025).

Komplementaarsuse kujunemise eeldused (innovatsioonivõimekus, ajendid, organisatsiooniline valmisolek ja võimaldajad) on käsitletud alapeatükis 1.1 teoreetilises raamistikus. Ehitusvaldkonna tehisarukontekstis omandavad need eeldused sektorispetsiifilise sisu, mis on koondatud tabelisse 2 alapeatükis 1.2. Näiteks absorbeerimisvõimekus avaldub konkreetselt andmehalduse ja digipädevuse tasandil, ajendid tulenevad tellijate nõudmistest ja projektide ülekulude survest. Ettevõtete valmisolek sõltub juhtkonna varasemast muutuste kogemusest. Eelduste tasand loob tingimused komplementaarsuse kujunemisele kuue dimensiooni koostoimes, mida avatakse järgnevalt.

Strateegiate ja visiooni dimensiooni edukus sõltub sellest, kuivõrd juhtkond tõlgib eelduste tasandi ajendid selgeks tegevussuunaks. Solaimani ja Swaak (2023) näitavad, et tippjuhtkonna toetus on varases faasis välistav tingimus, ilma milleta jäävad isegi suured investeeringud ja tugev väline surve vaid eksperimendi tasandile. Ehitusvaldkonnas tähendab see, et tehisaru kasutuselevõtt peab olema juhitud selge ärilise eesmärgi kaudu (nt projektide ülekulu vähendamine, ohutuse tõstmine), mille juhtkond omandab ja tõlgib tegevuseks. Tehnoloogilise võimaluse olemasolu üksi ei käivita komplementaarsuse kujunemist, kui puudub strateegiline vastus. Strateegia toimib sidusainena ühendades eelduste tasandi ajendid ja ressursid kuue dimensiooni koostoimeks ning määrates, kas teised dimensioonid arenevad samas suunas või eraldi.

Organisatsiooni struktuuri ja kultuuri dimensioonis avaldub tehisaru kasutuselevõtu edukus selles, kas tehnoloogiline innovatsioon suudab kujuneda projektipõhisest katsetusest

ettevõtte püsivaks praktikaks. Solaimani ja Swaak (2023) NCA-meetodil tuletatud küpsusprotsess täpsustab seda kolmeastmeliselt: tippjuhtkonna toetus varases faasis, tehnilised kompetentsid keskmises faasis, organisatsiooniline sobivus kõrgemal küpsusastmel. Need tasandid ei ole kompenseeritavad, vaid üksteise eeltingimused. Ehitusvaldkonna projektipõhine kultuur loob siin omanäolise takistuse. Iga projekti piiratud kestvus ja unikaalsus töötab organisatsioonilise järjepidevuse kujunemisele vastu (Abioye, et al., 2021). Projektis toimiv lahendus ei kandu automaatselt ettevõtte püsipraktikatesse. Komplementaarsuse seisukohalt on kultuur dimensioon, mis määrab, kas teiste dimensioonide investeeringud (IT-taristu, koolitused, andmejuhtimine) hakkavad üksteist võimendama või jäävad paralleelseteks silodeks.

Ressursside ja komplementaarsete varade dimensioonis sõltub tehisaru tehnoloogiline potentsiaal nelja elemendi koostoimest: rahalised ressursid, andmeplatvormid, süsteemide integratsioonivõimekus ja standardiseeritud andmevood. Ehitusvaldkonnas on need elemendid klassikaliselt killustunud. Iga projekt toodab oma süsteemides enda formaadis andmeid, mistõttu isegi piisavate investeeringute korral ei teki ettevõttele kumulatiivset andmevara (Adebayo, Udoh, Kamudyariwa, & Osobajo, 2025). Ehitusettevõttes on kriitiline eristada ühekordset tarkvaralitsentside ostu ja süsteemset komplementaarset investeeringut. Neist esimene tekitab kulu, teine võimekust.

Organisatsiooniliste võimekuste dimensioonis avaldub tehisaru kasutuselevõtu edukus eelkõige inimkapitali tasandil, kus absorbeerimisvõimekus kujuneb kumulatiivselt ega ole ühekordsete koolitustega asendatav (Cohen & Levinthal, 1989; Vahter & Vadi, 2024). Ehitusettevõtetes, kus digitaalpädevusse on seni vähe investeeritud, loob see ajalise probleemi (Arrak, et al., 2024). Tehisaru tööriist on kiiremini kättesaadav kui meeskonna võimekus seda tulemuslikult kasutada (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2017). Inimese ja tehisaru koostoime tekib vigade kompenseerimise, kognitiivse mitmekesisuse ja tööjaotuse kaudu (Hemmer, Schemmer, Kühl, Vössing, & Satzger, 2025). Ehitusvaldkonnas, kus otsuste tagajärjed on kulukad ja pöördumatud (Kabalisa & Altmann, 2021; Egwim, et al., 2024), on kriitilise hindamisoskuse arendamine inimkapitali komplementaarsuse tuum ehk võimekus, mis eristab tehisaru-toetatud otsustust tehisaru-asendatud otsustusest.

Organisatsioonilised praktikad on dimensioon, kus tehisaru rakendamine sõltub andmejuhtimise, andmetöötluse ja analüütiliste tööprotsesside küpsusest. Ehitusvaldkond on andmemahukas, andmed on aga hajutatult erinevate osapoolte valduses. Madal standardiseeritus ja ebaküps andmejuhtimine tähendavad, et tehisaru mudelite treenimiseks

vajalik andmemahat ja -kvaliteet ei ole üksiku ettevõtte tasandil saavutatav ilma võrgustikutasandi koordineerimisega. (Wuni, 2025; Gomes, 2025) Sedasi seotakse praktikate ja võrgustike dimensioonid komplementaarselt, kuna mõlemat eraldi rakendades jäävad tulemused kesiseks. Probleemi lahendamine eeldab andmejuhtimise protsesside, IT-taristu ning organisatsiooni andmeanalüütiliste võimekuste paralleelset arendamist.

Võrgustike ja välise teadmuse dimensioonis määrab ehitussektori projektipõhine töökorraldus, kas innovatsioon suudab liikuda üksikutest projektikatsetustest ettevõtte püsipraktikatesse. Uute lahenduste otsimise ja eksploateerimise raamistik (Bygballe & Ingemansson, 2014) selgitab levinud mustri, kus projektis katsetatud tehisaru lahendused ei kandu ettevõtte püsipraktikatesse, sest ülekande mehhanismid (dokumentatsioon, koolitusformaadid, protsessistandardid) puuduvad. Lisaks sõltub innovatsiooniedu ettevõtte positsioonist projektivõrgustikus. Usalduslikud suhted, varajane kaasamine ja regulaarne teadmusvahetus on komplementaarsuse väline tingimus, mida ettevõtte üksi luua ei saa (Zhang, Wang, Tang, & Zhang, 2020). Järeldusena on võrgustikud erandlik dimensioon, sest ei asu ettevõtte sees, vaid selle ümber, ning selle kvaliteet määrab, kui palju ettevõtte suudab teistest dimensioonidest kasu lõigata.

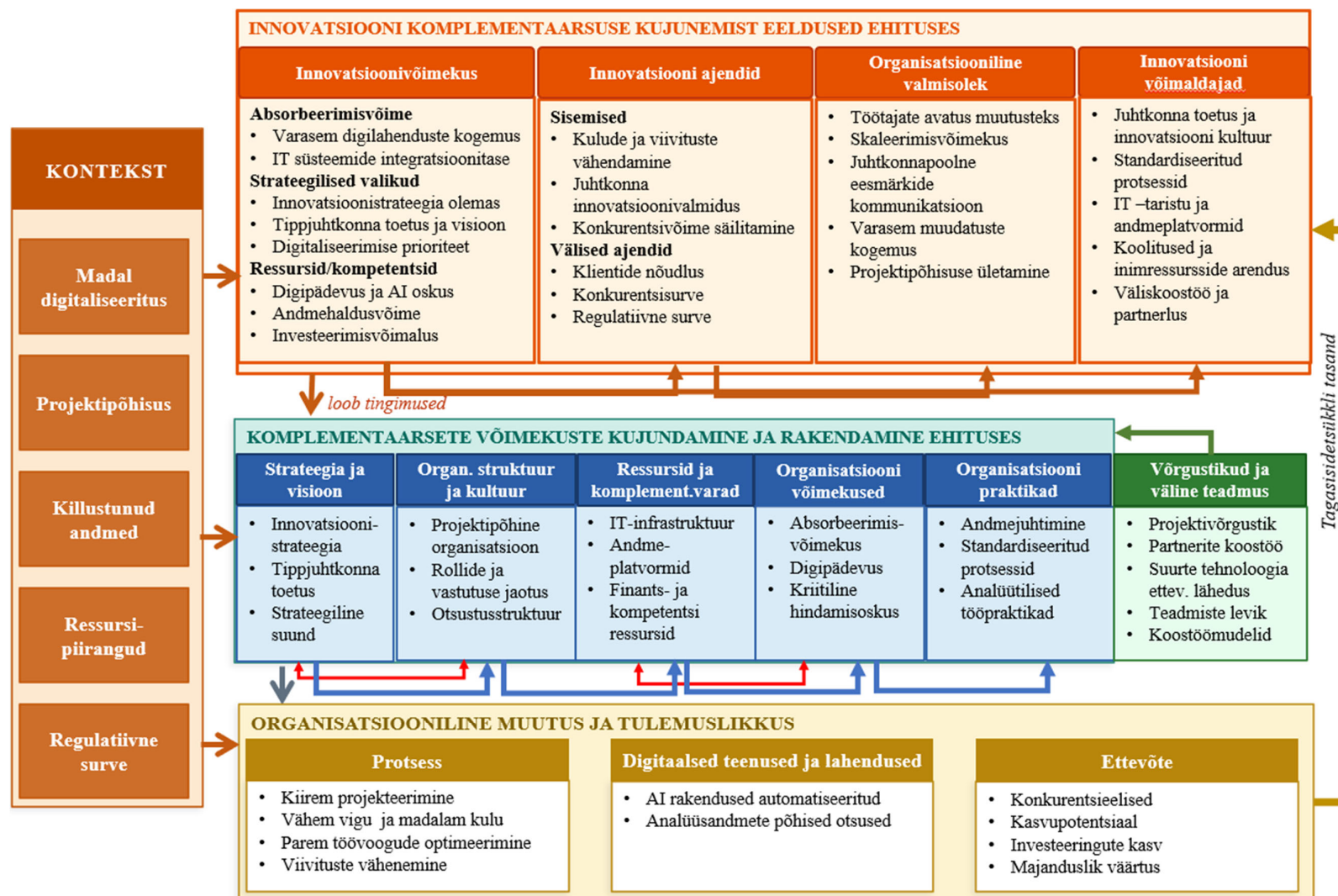
Organisatsioonilise muutuse ja tulemuslikkuse tasand kajastab komplementaarsete võimekuste rakendamise tulemust. Tegemist ei ole eraldiseisva tulemusega, vaid eelduste ja innovatsiooniprotsessi koostoime kumulatiivse väljundiga, mis ilmneb nii tööviisides, struktuurides kui ka rutiinides. Ehitusvaldkonnas, kus organisatsioonilised praktikad on ajalooliselt staatilised ja projektipõhised, eeldab tehisaru integreerimine töökorralduse, otsustusloogika ja väärtusloome ahela paralleelset ümberkujundamist (Zollo & Winter, 2002). Ilma selle süsteemse muutuseta jäävad tehisarurakendused pelgalt lisakihiks, mis põhiprotsesse ei mõjuta.

Muutus avaldub tulemuslikkusena kolmel hierarhiliselt seotud tasemel. Protsessitasandil hõlmab see kiiremas projekteerimises, vigade vähenemises ja töövoogude optimeerimises. Gomes (2025) süstemaatiline ülevaade dokumenteerib ehitussektoris planeerimisaja kokkuhoidu kuni 15–20% ja vigade esinemissageduse vähenemist 25–30%. Digitaalsete lahenduste tasandil väljendub tulemuslikkus andmepõhiste otsuste osakaalu suurenemises ja tehisarurakenduste integreerumises igapäevaseks töövahendiks (Egwim, et al., 2024; Adebayo, Udoh, Kamudyariwa, & Osobajo, 2025). Ettevõtte tasandil realiseerub aga konkurentsieeliste, kasvupotentsiaali ja majandusliku väärtuse kasvuna. Tulemuslikkuse realiseerumine ei ole aga automaatne. Tehisaru produktiivsuse paradoks (Brynjolfsson, Rock,

& Syverson, 2017) osutab nähtusele, kus tehnoloogiline edasimineku ja mõõdetav mõju omavahel lahknevad. Põhjuseks ei ole puudus tehnoloogiast, vaid komplementaarsete investeeringute (oskuste, protsesside, organisatsioonilise muutuse) hiline mine ja mõõtmisraskused. Ehitussektoris, kus komplementaarsete varade kujunemine on ajalooliselt aeglane ja projektipõhine, ajalõhe võimendub ja tehisaru tööriistade kasutuselevõtt ilma organisatsioonilise muutuseta (Brynjolfsson, Aral, & Wu, 2012) toodab piiratud tulemusi. Täpselt sama mustrit märgib sissejuhatuses toodud MIT NANDA uuring, kirjeldades, et tehisaru rakendamise ei saada mõõdetavat majanduslikku kasu (Challapally, Pease, Raskar, & Chari, 2025). Põhjus pole tehnoloogia ebaküpsuses, vaid komplementaarsuse kujunemise puudumises.

Tulemuslikkus ei ole staatiline lõpp-punkt, vaid süsteemi tsükliline sisend. Edukad komplementaarsed rakendused tugevdavad absorbeerimisvõimekust kogemuste akumulierimise, artikuleerimise ja kodifitseerimise kaudu. Need loovad uusi andmevarasid, organisatsioonilisi rutiine ja inimkapitali kompetentse, mis omakorda kujundavad järgmise innovatsioonitsükli eeldusi. (Zollo & Winter, 2002) Tagasiside ei toimi aga automaatselt, vaid eeldab teadlikku mõõtmist ja kogemuste süstemaatilist hindamist. Mõõdikute puudumisel jääb tsükkel katkenuks ka siis, kui üksikud rakendused on edukad (Brynjolfsson, Aral, & Wu, 2012). Tagasiside võib seetõttu olla nii võimendav (edu kasvatab edu) kui blokeeriv (mõõtmiseta kasu ei kujune strateegiliseks tõendiks järgmiste investeeringute tegemiseks).

Käesoleva alapeatüki süntees, mis sisaldas kuue dimensiooni kohandamist ehitusvaldkonnale ning innovatsiooni komplementaarsuse mudeli (joonis 3) laiendamist konteksti tasandiga. Mudel on visualiseeritud joonisel 4. Joonisel on autori kaks täiendust visuaalselt eraldatud: konteksti tasand vasakul ja tagasisidetsükkel paremal. Mitmed käsitletud tegurid, sealhulgas andmed, inimkapital ja organisatsioonilised protsessid, esinevad nii rakendamise eelduste kui ka rakendusprotsessi osana, peegeldades nende kahetist rolli. Ühelt poolt loovad käsitletud tegurid eelduse tehisaru kasutuselevõtuks, teisalt kujundavad otseselt selle rakendamise ja väärtuse realiseerimise viisi. Mudel toimib magistritöö empiirilise uurimuse struktuurse alusena, määratledes, milliseid komplementaarsuse avaldumisviise Eesti ehitusettevõtetes uuritakse ning millistel tingimustel nende kujunemist hinnatakse.



Joonis 3. Innovatsiooni komplementaarsuse viitetasandiline mudel ehitusettevõtetes tehisaru kasutuselevõtul

Allikas: Autori koostatud Milgrom et al.,1995; Cohen 1989;Vahter et al.2024; Solaimani et al.2023; Wuni, 2025; Bygballe et al 2014; Zhang et al, 2020 põhjal

2. Innovatsiooni komplementaarsus tehisaru kasutuselevõtul Eesti ehituses

2.1. Uurimisprotsess ja valim

Alapeatükk tutvustab uurimuse metodoloogilist raamistikku, mõistmaks Eesti ehitusettevõtete tehisaru rakendamise komplementaarseid mustreid. Kirjeldatakse uurimisprotsessi, valimi koostamise põhimõtteid ning andmete kogumise ja analüüsi meetodeid. Magistritöö rakendab kvalitatiivset uurimisstrateegiat, mis tugineb tõlgendavale uurimislähenemisele. Kvalitatiivne lähenemine on valitud kolmel põhjusel. Esiteks on innovatsiooni komplementaarsus kontekstist mõjutatud nähtus, mida standardiseeritud kvantitatiivsed instrumendid ei suuda piisava täpsusega tabada (Ennen & Richter, 2010). Teiseks on tehisaru rakendamine Eesti ehitusvaldkonnas varajases ja ebaühtlases kujunemisfaasis, mistõttu on asjakohane kasutada protsesse ja mehhanisme kirjeldavat ning selgitavat uurimisviisi. Kolmandaks võimaldab kvalitatiivne meetod avastada varjatud mustreid, mida autor ei ole eelnevalt sõnastanud. Komplementaarsuse analüüsis on see eriti oluline, kuna ootamatud seosed elementide vahel kannavad kõige enam analüütilist informatsiooni. Empiirilise uuringu meetodiks on poolstruktureeritud süvaintervjuud. Ühelt poolt tagatakse sellel viisil uurimisküsimuste süsteemne katmine ja teiselt poolt antakse intervjuueeritavatele võimaluse vabas vormis oma kogemusi jagada. Valim moodustati eesmärgipärase valimi põhimõttel, tagamaks teoreetiline küllastumine sarnase suuruse, struktuuri ja digitaliseerituse tasemega organisatsioonide lõikes. Valimi moodustamisel lähtuti järgmistest kriteeriumidest: ettevõtte ehitusvaldkonna käive 2024. aasta andmetel ületas 22 miljonit eurot, töötajate arv oli üle 30, tegevus toimus Eesti ehitusvaldkonna peatöövõtu alasektoris ning intervjuueeritav kuulus juhatuse tasemele ja omas vähemalt viieaastast ettevõtluskogemust.

Lisaks kaasati analüüsi üks kontrastne referentsjuhtum ehitusvaldkonna erinevast alasektoriga. Ettevõtte ei vasta peatöövõtu kriteeriumile, kuid pakub teoreetiliselt olulist võrdluspunkti innovatsiooni komplementaarsuse küpsema avaldumisvormi mõistmiseks. Nimetatud juhtum toimib võrdlusalusena ega kuulu peatöövõtu valimi üldistuste hulka.

Intervjuud viidi läbi Eesti ehitusvaldkonna ettevõtete tippjuhtidega ajavahemikus jaanuar–veebruar 2026. Uurimusse kaasati kokku 13 ettevõtet, neist 12 peatöövõtu ettevõtet ja üks kontrastne referentsjuhtum. Intervjuudes osales 14 individuaalset vastajat. Üks intervjuudest viidi läbi paarisintervjuuna, milles osalesid sama ettevõtte juhatuse esimees ja juhtkonna liige. Kõik vastajad täitsid juhatuse esimehe või sellega võrdväärset rolli, olid meessoost ning vanuses 37–61 aastat. Intervjuude kestus jäi vahemikku 46–78 minutit, kokku salvestati 13 tundi ja 13 minutit audiomaterjali.

Intervjuuküsimused koostati koostöös teise uurijaga, tuginedes tehisintellekti rakendamisega seotud kirjandusele ning uurimisteema põhikategooriatele, nagu strateegia, protsessid, kompetentsid, andmed ja võrgustikud. Küsimused ei lähtunud otseselt töös esitatud lõplikust analüüsitudelist, vaid võimaldasid koguda laiapõhjalist empiirilist materjali. Küsimused olid avatud loomuga, võimaldades vastajatel anda kontekstirikast ja narratiivset informatsiooni. Vajadusel esitati täpsustavaid lisaküsimusi, et süvendada arusaama konkreetsetest näidetest ja mehhanismidest. Intervjuude küsimustik on toodud lisas E. Kõik intervjuud salvestati helikandjale ja transkribeeriti. Transkriptsioonide kogumaht on 341 lehekülge (Times New Roman, kirja suurus 12, reavahe 1). Konfidentsiaalsuse tagamiseks ei kuulu transkriptsioonid magistr töö lisadesse, kuid analüüsi illustreerimiseks kasutab autor intervjuudest otsetsitaate.

Andmete analüüsiks rakendati kvalitatiivset sisuanalüüsi, mis koosnes viiest etapist ja on toodud lisas F. Kodeerimistabeli struktuur tugines joonisel 4 esitatud innovatsiooni komplementaarsuse mudeli tasanditele ja dimensioonidele (vt. lisa G). Intervjuude struktureeritud kodeerimisel ChatGPT abil kasutati sisendina teises etapis koostatud kodeerimistabelit. Iga rida tabelis esindas üht kodeeritud väljavõtet koos selle tõlgendusega, mistõttu ühe intervjuu kohta tekkis mitu rida vastavalt sellele, kui palju kodeerimisüksusi igas dimensioonis tuvastati. Kokku sisaldab tabel 289 rida. Selline struktuur tagas, et iga tõlgendus jäi seotud konkreetse originaaltsitaadiga ning võimaldas hilisemas sünteesifaasis kiirelt jälgida mustrite empiirilisi allikaid ning teostada kontrolli. Koondatud tabel andis valimist dimensioonipõhise laiapindse ülevaate ja võimaldas tuvastada esmaseid kordusi, erinevusi ning tühikuid juhtumite vahel. Claude AI keelemudelile anti struktureeritud analüüsijuhend. Iga intervjuud analüüsiti eraldi, ilma teiste juhtumitega tegemata võrdlusi või üldistusi tegemata. Üksikanalüüs järgis ühtset struktuuri: intervjuu peamiste teemade kodeerimine ja nende sidumine mudeli dimensioonidega; iga dimensiooni avaldumise kirjeldus koos tugevuste ja puudujääkidega ainult selle intervjuu põhjal; komplementaarsuse analüüs juhtumi sees, kus tuvastati üksteist toetavad elemendid ja komplementaarsuse katkemiskohad; pudelikaelade tuvastamine ja nende seostamine mudeli dimensioonidega; leidude sidumine innovatsiooni komplementaarsuse, absorbeerimisvõimekuse ja dünaamiliste võimekuste teooriatega konkreetse juhtumi kontekstis; ning lühikokkuvõtte, milles hinnati ettevõtte komplementaarsuse seis kolmes tasemes kas killustunud, osaliselt toimiv või hästi integreeritud. Kolmas ja neljas etapp täiendasid teineteist metodoloogiliselt. ChatGPT-l põhinev kodeerimine andis valimist laiapinnalise võrreldava ülevaate ja Claude AI-l põhinev

süvaanalüüs tagas iga juhtumi kontekstist tuleneva sügavuse säilimise. Kahe erineva keelemudeli kasutamine toimis ühtlasi ristkontrollina, mis võimaldas võrrelda erinevate tööriistade abil tuvastatud mustreid ja tõlgendusi. Analüüsi usaldusväärsuse täiendavaks tagamiseks kontrollis autor iga üksikanalüüsi tulemusi originaaltranskriptsiooni vastu, veendumaks, et tsitaadid ja tõlgendused vastavad vastajate tegelikule sõnastusele. Kuna autor viibis suurel osal intervjuudest isiklikult kohal, sai ta tuvastatud mustreid valideerida lisaks transkriptsioonidele ka oma vahetu intervjuukogemuse kaudu.

Süntees tugines kahele eelnevale analüüsikihile: Exceli tabel võimaldas tuvastada valimiüleseid mustreid ja dimensioonipõhiseid erinevusi ning juhtumipõhised süvaanalüüsid andsid nendele mustritele kontekstist tuleneva sisu ning tsitaatidega toetatud tõlgendused. Sünteesi eesmärk ei piirdunud empiiriliste leidude kirjeldusega, vaid hõlmas ka nende pidevat dialoogi teoreetilise raamistikuga. Iga dimensiooni käsitluses võrreldi empiirilisi tulemusi alapeatükkides 1.1–1.3 esitatud teoreetilise käsitlustega ning alapeatükis 1.3 koostatud mudeli (joonis 3) eeldustega. Hinnati, kas empiirilised leiud kinnitavad, täiendavad või vaidlustavad teoreetilisi ootusi. Iga dimensiooni käsitluse lõpus toodi võrdluspunktina sisse kontrastne referentsjuhtum, mis illustreerib komplementaarsuse küpsemat avaldumisvormi ning võimaldas teravamalt esile tuua peatöövõtu valimis ilmnevaid mustreid. Mitme-etapiline analüüsiprotsess tagas, et sünteesi aluseks olid struktureeritud ja valideeritud üksikanalüüsid, mitte vahetult tervikandmetest tuletatud üldistused ning empiirilised järeldused olid järjekindlalt seotud töö teoreetilise raamistikuga.

2.2. Komplementaarsuse kujunemine Eesti ehituses: intervjuude analüüs

Alapeatükis esitab autor empiirilise uuringu tulemused ja analüüsi töö teoreetilises osas koostatud mudeli (joonis 4) tasemete kaupa. Mudelis on viis põhitasandit: kontekst, eeldused, protsess, tulemuslikkus ja tagasiside tsüklid. Tulemused on mudeli alusel struktureeritud kuueks alakategooriaks: kontekstist tulenevad tegurid, innovatsiooni komplementaarsuse kujunemise eeldused, komplementaarsete võimekuste kujundamine ja rakendamine kuue dimensiooni lõikes, organisatsiooniline muutus ja tulemuslikkus, tagasiside ja õppimistsüklid ning komplementaarsuse kujunemise mustrid ja pudelikaelad. Iga mudeli taseme all on toodud peamised teemad ja alamkategooriad. Teemabloki analüüsi ette on jälgimise lihtsustamiseks lisatud illustratiivne pilt joonis 3 toodud mudeli taseme komponentidest. Toodud on kokkuvõtlikud tulemused, et hoida magistr töö maht optimaalne. Täiendavalt on lisas H toodud kokkuvõtlik tabel Eesti ehituse tehisaru komplementaarsuse tugevustest ja nõrkustest.



Joonis 4. Kodeerimisjoonis: Kontekst (teemaplokk)

Kontekstist tulenevad tegurite analüüsi kohaselt ei toimi tehisaru kasutuselevõtul iseseisvate takistuste kogumina, vaid Milgromi ja Robertsi (1995) mõttes süsteemse konfiguratsioonina, kus tegurid võimendavad üksteise piiravat toimet. Empiirilises materjalis eristub viis omavahel põimunud mehhanismi, mis koostoides hoiavad ehitussektorit madalal komplementaarsuse tasemel.

Madal baasdigitaliseeritus näitab, et Eesti ehitusettevõtted ei ole tehisaru kasutuselevõtuks veel küpsed. Leid kinnitab kvalitatiivselt sektori madalat digiküpsust, mille Civitta 2024. aasta uuring on statistiliselt dokumenteerinud. Hoolimata valimi sisesest varieeruvusest, alates tugeva struktuurse alusega ettevõtetest (*„Me projekteerime 3D-s juba 10 aastat või rohkem“*) kuni nendeni, kus digiküpsus on ebapiisav isegi esmaseks katsetamiseks, ühendab kõiki domineeriv tööriist: *„täna me tegelikult oleme ikkagi nagu kõik on nagu Excelis“*. Kusjuures isegi keerukamate süsteemidega ettevõtetes toetuvad eelarvestus ja järelanalüüs struktureerimata tabelarvutusele. Protsessistandardid tehisaru kasutuseks puuduvad (*„süsteemset rakendamist veel kuskil ei ole“*), mistõttu iga tehisaru algatus peab lahendama korraga nii enda rakendusülesande kui ka baastaristu puudumise. Järelduv produktiivsuse paradoksi ilming (Brynjolfsson, 1993; Brynjolfsson, Aral, & Wu, 2012) avaldub ehitussektoris erilise nüansiga. Komplementaarsed varad ei puudu mitte ühes dimensioonis, vaid paralleelselt kõigis kolmes (andmeinfrastruktuur, protsessistandardid, andmeanalüütiline võimekus). Projektipõhine töökorraldus takistab ettevõttes varade kumulatiivset kasvu, mistõttu selle lahenemine ei sõltu üksnes investeerimisajast, vaid eeldab varade liikumist projektitasandilt ettevõtte tasandile (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2017).

Projektipõhisus katkestab õppimistsükli. Ehitussektori väärtusloome algab hankest, kus hinnakonkurents surub marginaalid alla ning kulmineerub unikaalse, tellijaspetsiifilise projekti tarnes. Projektide ajasurve välistab standardiseeritud lahenduste järkjärgulise ülesehitamise. Innovatsioon toimub objektipõhiselt, sõltuvalt sellest, *„kes on objektil väga huvitatud“* tehisaru kasutamisest. Sageli jääb tehisaru kasutus üksikute objektide külge, liikumata ettevõtte tasandile. Niisiis ei ole komplementaarsuse kujunemise ühik ettevõtte, vaid üksikprojekt. Leid laiendab Coheni ja Levinthali (1989) absorbeerimisvõime kontseptsiooni: projektipõhises väärtusloomes ei vähene mitte absorbeerimisvõime tase, vaid katkeb selle

kumulatiivsus. Bygballe ja Ingemanssoni (2014) raamistikus tähendab see, et katsetamine toimub, kuid õpitu ülekandmine püsipraktikatesse jääb struktuurselt blokeerituks.

Andmete killustatus viitab Eesti ehitusettevõtete andmekihi ebaküpsusele. Andmed on organisatsioonides olemas, kuid tehisaru jaoks kättesaamatul kujul: „*kõik on kaustas, kaustas, kaustas, igäihe teha. Sellega ei saa tehisaru mitte midagi.*” Killustatus avaldub füüsilises hajutatuses, erinevates failiformaatides („*olenemata sellest, kas ta on dwg, pdf*”), hankedokumentatsiooni mahus („*hankedokumentatsiooni seletuskirja osa on 1000 lehekülge, tuhandeid ridu*”) ning andmehalduse puudumises strateegilise prioriteedina. Tegemist ei ole üksnes tehnilise, vaid omandi ja vastutuse küsimusega: „*andmed on jälle kuskil kinni, kuskil on lahti..*”. Empiirilised leiud kinnitavad Solaimani et al. (2023) ja Chunga et al. (2023) tuvastatud andmekvaliteedi ja IT-taristu probleeme ehitussektoris, mis Eesti ehitusettevõtetes avaldub teravamal kujul. Leiud täiendavad Prieto et al. (2023) ja Gomes'i (2025) optimismi tehisaru madala sisenemisbarjääri kohta olulise piiranguga. Kuigi tehisaru ise vajab väiksemaid andmekogumeid ja lühemaid arendustsükleid, eeldab nende sisenemine ettevõttesse siiski eelnevat andmehalduse küpsust. Eesti ehitussektori puhul ei ole sisenemisbarjäär järelikult tehnoloogiline, vaid organisatsiooniline. Andmete killustatus muudab isegi madala sisenemisbarjääriga tehisaru rakendamise käivituskulu keeruliseks, kuna andmete korrastamine nõuab investeringut enne, kui tehisaru tulu on nähtav. Piiratud rahaliste vahendite tingimustes eelistatakse investering sageli edasi lükata.

Ressursipiirangud toimivad kui struktuursed innovatsioonivõimekuse kitsendaja. Ehitussektorit iseloomustab krooniline kapitali- ja ajanappus: „*ehitusäri on nii õhuke, otsitakse igat senti*”, „*meil ei ole raha, et neid masinaid osta, innovatsiooni teha*”, millele lisandub tööjõuressursi nappus („*viite inimest ma siin ei hoi*”) ja tippjuhtkonna ajapuudus („*meil on kõigil aega vähe*”). Ressursipiirang ei ole seega üksnes eelarvest tulenevad, vaid kumulatiivsed piirangud kogu innovatsioonivõimekuse tekkimisele. Kapital piirab investeerimisvõimet, tööjõud rakendamisevõimet ja aeg õppimisvõimet. Teece (1986) komplementaarsete varade raamistikus sõltub tehisaru väärtuse realiseerimine eelnevatest investeringutest eriotstarbelistesse ja vastastikku sõltuvatesse varadesse nagu andmestruktuur, oskusbaas, protsessistandardid. Ressursipiirangute tingimustes muutub nende varade loomise edasilükkamine põhjendatuks.

Regulatiivne surve mõjub ehituses kui piirav, mitte käivitav tegur. Regulatsioon avaldub kolmel piiraval tasandil: andmekaitse- ja ärisaladuse nõuded kitsendavad tööriistade valikut („*NDA'd – ei tohi dokumente sisse panna*”); riigihangete hinnapõhine loogika kaotab

digitaalse kvaliteedi konkurentsieelise („*ainult hind loeb*“); ning sektoripõhiste andmete (nt EVS-standardite) suletus teeb asjakohase teadmuse tehisaru jaoks kättesaamatuks.

Andmekaitse on enamikus ettevõtetes olemas, kuid mitte süsteemselt juhitud („*mingit infot peaks krüpteerima, meil ei ole*“). See muudab regulatiivse nõude pigem keelavaks filtriks kui aktiivseks juhtimisülesandeks. Lisandub käitumuslik piirang: „*kui ütled, et lindistad, inimene ei ava ennast*“, järelikult takistus ei ole alati tehniline, vaid sotsiaalne. Leiud kinnitavad Solaimani ja Swaaki (2023) ning Regona et al. (2022) tuvastatud regulatiivseid takistusi tehisaru omaksvõtul ehitussektoris ja täiendavad Adebayo et al. (2025) süstemaatilist ülevaadet ühe Eesti spetsiifilise nüansiga. Kolm regulatsiooni tasandit ei mõju iseseisvalt, vaid kumuleeruvad regulatiivseks keskkonnaks, mis muudab digitaalsed algatused riskantseks juba enne tehnilise rakendamise alustamist.

Viie mehhanismi koostoime on kumulatiivne ja vastastikku võimendav.

Projektipõhisus katkestab absorbeerimisvõime kumuleerimise, mis omakorda muudab nii baasdigitaliseerituse arendamise kui andmekihi korrastamise tasuvusarvestuse keeruliseks. Madal baasdigitaliseeritus tähendab, et iga algatus peab kandma topelt koormust, nii enda rakendusülesannet, kui puuduva taristu loomist. Killustunud andmekiht omakorda takistab olemasolevate süsteemide väärtuse realiseerumist. Ressursipiirangud muudavad süsteemsed investeeringud kättesaamatuks ning regulatiivne surve kitsendab ka seda väikest ruumi, mis veel alles jääb. Tegemist on Milgromi ja Robertsi (1995) kirjeldatud mittetäielik konfiguratsioon. Iga üksik tegur on põhimõtteliselt ületatav, kuid koos hoiavad nad süsteemi püsivalt madalas komplementaarsuse seisundis, millest väljumine nõuaks korraga mitme elemendi muutmist.

Referentsjuhtum kinnitab seda teistpidi. Ressursipiirang on ületatud organisatsiooniliselt ning osa aastakäibest on fikseeritud innovatsioonieelarveks. Tulemusena ei konkureeri innovatsioon operatiivsete vajaduste ressurssidega. Projektipõhisus on ületatud „*Innovate & Integrate*” protsessiga, millest kasvavad välja iseseisvad ettevõtmised. See on sild katsetamise ja püsivate tööpraktikate vahel, kus üksikus projektis õpitu ei jää projekti külge, vaid kinnistub ettevõtte tasandil. Baasdigitaliseeritus on määratletud IT-hügieenina, mis on lahutatud digitaliseerimisest kui innovatsiooni funktsioonist ja andmete killustatus on lahendatud grupi tasandi andmestrategiega. Regulatiivne kontekst ei ole fikseeritud piirang, vaid osa keskkonnast, mida ettevõtte ise kujundab. Erinevus madalama ja kõrgema komplementaarsuse juhtumite vahel ei ole kraadi, vaid süsteemse arhitektuuri küsimus ning

kirjeldatud arusaam on aluseks järgnevas teemaplokis käsitletavale innovatsiooni eelduste analüüsile.

INNOVATSIOONI KOMPLEMENTAARSUSE KUJUNEMIST EELDUSED EHITUSES

Innovatsioonivõimekus

Innovatsiooni
ajendid

Organisatsiooniline
valmisolek

Innovatsiooni
võimaldajad

Joonis 5. Kodeerimisjoonis: Eeldused (teemaplokk)

Innovatsiooni komplementaarsuse kujunemise eeldused on innovatsioonivõimekus, ajendid, võimaldajad ja organisatsiooniline valmisolek. Tegemist on potentsiaalsete võimekustega, mis on enamikus ettevõtetes formaalselt olemas, kuid ei realiseeru komplementaarsuse kujunemiseks. Eesti ehitusettevõtete uuringu empiiriline materjal viitab, et eeldused ei toimi paralleelselt, vaid moodustavad põhjusliku ahela: võimekus annab potentsiaali, ajendid annavad suuna, võimaldajad loovad tingimused ja valmisolek muudab need tegelikuks tegevuseks. Ahela katkemine ükskõik millises lülis paneb süsteem takerduma ning selle võimekus jääb realiseerumata. Eelduste olemasolu ei ole sama, mis nende toimimine.

Innovatsioonivõimekus on Eesti ehitusettevõtetes blokeeritud potentsiaal. Autori koondatud raamistikus (joonis 4) moodustavad innovatsioonivõimekuse absorbeerimisvõime, strateegilised valikud ning ressursid ja kompetentsid, mis on omavahel hierarhiliselt seotud. Esimene värav on absorbeerimisvõime. Uuritud ettevõtetes on värav osaliselt avatud, kuid kumulatsioon katkeb. Teadmus liigub individuaaltasandilt grupitasandile vaid neis ettevõtetes, kus on loodud struktureeritud jagamiskanalid (*„innovatsiooni infotund on iga kahe nädala tagant, kus räägitakse, mis me oleme jälle edasi viinud ja rakendanud“*). Ülejäänutes jääb õpitu kinni isegi siis, kui kasutus on aktiivne (*„keegi kuskilt nokitseb midagi nurgast, täpselt aru ei saa, mida ta teeb“*). Eristav tegur ei ole tehnoloogiline, vaid ajalooline. Ettevõtte, kus IT-arhitektuur oli teadlikult kavandatud masinloetavuse põhimõttel juba enne tehisaru tulekut, näiteks vastaja sõnastuses *„me panime need pilve, et andmed oleks masinloetavad — me veel ei teadnud, mida täpselt vaja on“*, demonstreerivad selgelt kõrgemat tehisaru integratsiooni. Need leiud kinnitavad Coheni ja Levinthali (1989) absorbeerimisvõime kumulatiivset olemust. Eesti ehitussektoris katkeb kumulatiivsus aga teadmuse individuaaltasandilt grupitasandile liikumise blokeerimisel (Foss & Pedersen, 2002), mis Zollo ja Winteri (2002) raamistikus tähendab teadliku õppimisprotsessi struktuurset katkestust.

Strateegilise tasandi avaldumine on lahknev. Eesti ehitusettevõtetes on tehisaru valdavalt strateegilises raamistikus tunnustatud, kuid harva strateegiliselt küps: *„strateegias*

on kirjas, et me kasutame tehisaru. Aga täpsemalt — mida, kuidas, millal, kes vastutab — seda pole". Strateegiline teadvustamine on kohati toimunud ilma teadliku juhtimiseta: „strateegia tekib igapäevase töö käigus” või välise impulsi kaudu nõukogust: „see tuli nõukogust, et see valdkond on teil katmata”. Leid vastandub Lawsoni ja Samsoni (2001) raamistiku eeldusele visioonist ja strateegiast kui teisi innovatsiooni võimekuse elemente kujundavast jõust. Eesti ehitusettevõtetes tekib strateegia reaktiivselt või isetekkeliselt, mistõttu ressursse ja vastutust ei joondata ühe eesmärgi järgi ning komplementaarsus jääb käivitumata.

Ressursside ja kompetentside tasandil avaldub sama loogika isikupõhisuses. Tehisaru-alane pädevus on koondunud üksikute võtmeisikute kätte: „*meil see inimene on ka heas mõttes fanaatik sellel teemal*”, „*arendusjuht, kes veab seda asja*”, „*peajagu üle teistest AI teemal*”, mis loob näilise suutlikkuse, kuid muudab kogu innovatsioonivõimekuse võtmeisikust sõltuvaks. Lisandub kriitilise hindamisvõimekuse puudujääk: tehisaru väljundeid „*ei saa pimesi usaldada*”, kuna „*ta ütleb sulle, et jaa, ma proovisin, aga näe läks valesti*”, mistõttu „*selleks peab ikkagi inimene veel tööd tegema... üle vaatama, et kas see on õige või vale*”. Leid kinnitab Rafsanjani ja Nabizadehi (2023) inimkeskse tehisaru käsitluse vajalikkust ning toetab Wuni (2025) järeldust, mille kohaselt ei sõltu tehisaru rakendamine ehitussektoris üksnes tehnoloogiast, vaid inimese ja tehnoloogia vahelise koostöö süsteemsest kujundamisest. Järelikult inimkapitali ja tehisaru komplementaarsuse tekkimine eeldab valdkondlikku ekspertiisi, mitte tehisaru kasutamise oskust. Kogu innovatsioonivõimekuse muster on ühtne: kõik kolm komponenti on formaalselt olemas, kuid kumulatsioon, joondus ja jaotus puuduvad. Seetõttu jääb võimekus potentsiaaliks, mille realiseerumine sõltub järgmisest ahelalülist.

Innovatsiooni ajendite kvaliteet Eesti ehitusettevõtetes on vastuoluline. Mengi ja Browni (2018) raamistikus jagunevad innovatsiooniajendid sisemisteks ja välisteks. Komplementaarsuse loogikas (Milgrom & Roberts, 1995) käivitab innovatsiooni nende kahe tüübi koosmõju, kus sisemine ambitsioon kohtub välise survega ja loob ühise ajendi innovatsiooniks. Eesti ehitusettevõtetes on kõik ajendid olemas. Sisemised ajendid on läbivalt efektiivsuspõhised („*15 protsenti rohkem tööd teha, 15 protsenti vähem töötajaid*”, „*inimressurss on praktiliselt koos ajaga kõige piiratum asi*”), välised ajendid on tugevad ja tehnoloogiapõhised („*AI surub ennast uksest aknast peale*”, „*AI on tulnud, et jääda*”), kuid need ei käivita ulatuslikku muutust. Sisemised ajendid on kõik kaitsva iseloomuga, mille eesmärk on rutiinse töö automatiseerimine ja olemasoleva mahu säilitamine, mitte

väärtusloome arendamine. Empiirilisest uurimusest järelduv tulemus kirjeldab madalat innovatsiooniambitsiooni: Marchi (1991) raamistikus paigutuvad Eesti ehitusettevõtete sisemised ajendid eranditult ärakasutamise loogikasse, kus eesmärk on olemasoleva optimeerimine, mitte uue avastamine. Bygballe ja Ingemansson (2014) on tuvastanud sarnase tasakaalu puudumise ehitussektoris laiemalt. Eesti kontekstis on kirjeldatud nähtus laiem kui ainult ehitussektor. Näiteks 2021 magistritöös on Eesti ettevõtete kasvu peamiste takistustena tuvastatud halb innovatsioonijuhtimine, juhtkonna tegevusetus ja omanike ambitsiooni puudumine, mis viitavad struktuursele madala ambitsiooni probleemile (Leego & Toomik, 2021). Ehitussektoris on see eriti terav, kuna ka välised ajendid nagu tehnoloogiline surve ei suuda avastavat loogikat käivitada ning ambitsioon jääb pelgalt kaitsetaktikaks.

Välised ajendid on omakorda väga vastuolulised, sest klientide otsene nõudlus tehisaru järele on olematu (*„telli ja vaata ainult kolme asja: hind, hind ja hind“*), tehnoloogiline surve on peamiselt müügipõhine (*„kõik müüvad AI-d“*) ja sektorite vaheline võrdlus toimib FOMO-efektina, mitte mõõdetava turuosa kaotuse hirmuna (*„advokaadibüroodel on olemas oma AI abiline“*). Konkurentsisurve avaldub kaitsva mehhanismina, et mahajäämist vältida, mitte aktiivse edestamise sooviga: *„teised ettevõtted on kõik eest ära jooksnud juba“*. Leid vaidlustab klassikalise sisemiste ja väliste ajendite koostoime käsitluse, näidates, et ajendite olemasolu ei ole samaväärne nende tegeliku toimimisega. Samuti seab see kahtluse alla Di Stefano, Gambardella ja Verona (2012) eelduse, et tehnoloogia tõuge ja nõudluse tõmme toimivad innovatsiooni kujundamisel koosmõjus. Eesti ehitussektoris ei loo tehnoloogiline surve ja kliendinõudlus ühist innovatsioonijõudu, vaid mõlemad ajendid jäävad pinnapealseks. Marchi (1991) raamistikus laienevad kaitsvad ajendid eelmises etapis tuvastatud ärakasutamise loogikast ka välistele suhetele. Turusurve mõjub kui ärakasutamise jätk, mitte kui avastamise käivitaja. Kaitsvad ja kaudsed ajendid viivad üksiklahendusteni, mitte süsteemsete muutusteni. Ajendite kvaliteet määrab, kas varasemates etappides takerdunud võimekus liigub edasi ja loob muutuse või jääb üksikute probleemide lappimise tasandile.

Organisatsiooniline valmisolek tehisaru rakendamiseks on Eesti ehitusettevõtetes puudulik. Weineri (2009) raamistiku kaks komponenti, muutuse väärtustamine ja kollektiivne võimekus seda rakendada, on Eesti ehitusettevõtetes lahknenu. Muutuseid väärtustatakse kõrgelt: *„üldine foon tundub nagu positiivne, see kuidagi nagu AI meeldib“* ja *„pigem kõik on nagu elevil, kuidas leida mingit uut nurka“*, kuid kollektiivne usk selle tõhususse on madal.

Kirjeldatud ahela lülid ei ole pakkunud usaldusväärset alust uskumiseks, et muutus ka tegelikult õnnestub. Töötajate seas eristub kolm segmenti, mis kinnitavad seda lahknevust:

- A. Eesjooksjad katsetavad iseseisvalt, mis kinnitab, et huvi tehisaru vastu tekib töötajate algatusel. Vastupanu ei ole ideoloogiline, vaid tuleneb harjumuste jõust: *„inimesed on harjumuste ohvrid...“*. Ehitusvaldkonnas avaldub see eriti kogenud praktikute juures, kelle puhul *„vanakooli meestel, kes on harjunud ehitama niimoodi... neil on järjest raskem“*.
- B. Ootajad, kes moodustavad enamuse on avatud, kuid vajavad isiklikku demonstratsiooni: *„see ei tähenda, et nad ei taha — aga nad ei ole valmis nagu tegema seda hüpet praegu“*.
- C. Resistentsed, kes on väikese osakaaluga, kuid blokeerivad ebaproportsionaalselt protsessistandardite juurutamist. Pärast esimesi pettumusi säilib küll huvi (*„ärme seda ..pesuveega välja viska“*), kuid ilma struktureerimata ei teisene tegevuseks.

Organisatsioonilise valmiseoleku ilmikas avaldumisvorm on varjatud tehisaru kasutus (ShadowAI), sest praktiliselt kõigis ettevõtetes kasutavad töötajad tehisaru iseseisvalt, väljaspool ametlikku raamistikku. Challapally et al. (2025) tuvastasid sama nähtuse kvalitatiivselt: 90% ettevõtetes kasutavad töötajad isiklikke tehisaru tööriistu, kuid kõigest 40% ettevõtetest on soetanud ametlikud tehisaru lahendused. Empiiriline analüüs pakub mitmekesisemat tõlgendust. Ettevõtetes, kus juhtkond suunas varjatud tehisaru kasutamise kogemused regulaarsete teadmiste jagamise kohtumiste kaudu organisatsiooniliseks õppimiseks (*„meil on iga kahe nädala tagant infotund. Igaüks, kellel on midagi näidata, näitab“*), kujunes sellest kollektiivse võimekuse arendamise vahend. Iga jagatud kogemus on tõend, et muutus on võimalik. Vastupidi, ettevõtetes, kus teatud platvormide kasutus oli andmeturbe kaalutlustel keelatud, ilma alternatiivset õppimisrada pakkumata, jätkus kasutus varjatumal kujul, ilma, et organisatsioon sellest kasu lõikaks. Varjatud tehisaru kasutuse risk ei tulene kasutusest endast, vaid selle süsteemse juhtimise puudumisest. Leid täiendab Challapally et al. (2025) tööd olulise nüansiga. Varjatud kasutuse väärtus realiseerub ainult siis, kui organisatsioon loob struktuuri selle ülekandmiseks. Wieneri (2009) raamistikus tähendab see, et kollektiivne muutusvõimekus saab kasvada töötajate igapäevasest praktikast, kui juhtkond loob kanalid teadmuse jagamiseks.

Skaleerimisvõimekus eristas uuritud Eesti ehitusettevõtteid kõige selgemalt. Ettevõtetes, kus toimisid regulaarsed infotunnid, koolitused ja kogemusseminarid, laienes tehisaru kasutus üksiktöötaja tasandilt kogu organisatsiooni praktikaks. Nagu üks vastaja

kirjeldas: „*terve seminari kestvus... võtame need, kes on selle rakendusega teistest ette jõudnud, ja laseme neil seletada, kuidas nad rakendavad.*” Ettevõtetes, kus sellised mehhanismid puudusid, jäid head praktikad üksikute töötajate teadmuseks ega kandunud organisatsiooni tasandile. Süsteemse teadmuse jagamiseta jääb olemasolev potentsiaal kasutamata.

Innovatsiooni komplementaarsuse võimaldajad Eesti ehitusettevõtetes on killustunud. Duarte ja Picchi (2021) süsteemsete innovatsiooni võimaldajate raamistikus peavad viie dimensiooni tingimused korraga paigas olema. Siis kujuneks innovatsioon ehitusettevõtetes juhitud ja integreeritud protsessiks. Empiirilises materjalis on kirjeldatud tingimused osaliselt olemas, kuid omavahel sidumata. Seetõttu ei moodusta nad vastastikku tugevdavat süsteemi.

Juhtkonna toetus jaguneb viieks eristuvaks mustriks: aktiivne eestvedamine, vastutuse delegeerimine, ressursside andmine ilma visioonita, valmidus muutusteks ilma reaalse tegevusega ning ettevatlik skeptilisus. Valimis oli kõige sagedasem neljas: „*ma tean, et see on oluline. Aga mul ei ole pool reedet aega istuda ja katsetada*”.

Standardiseeritud protsessid puuduvad universaalselt. Nimelt ükski intervjuueritud ettevõtte ei ole tehisaruga seotud tööprotsesse kirja pannud. Kasutus sõltub seetõttu üksiku töötaja teadmusest, mitte organisatsioonilisest võimekusest. IT-taristu on killustunud ja sisaldab kasutamata potentsiaali, mis ei ole tehisaru jaoks kasutatavas vormis: „*praegu on natuke sihuke, noh, isevoolsest see on läinud*”. Koolitused toimuvad, kuid nende mõju on episoodiline: „*koolituste osas tundus nagu kõik vägev ja hea ja siis me tampisime maha ja jõudsimme nullpunkti tagasi*” ja seda peamiselt ehitusspetsiifilisuse ja edasiandmise viisi puudumise tõttu.

Väliskoostöö on kõige nõrgem võimaldaja, sest praktiliselt kõigis ettevõtetes puuduva süsteemsed partnerlussuhted ning institutsionaalne tugi. Kui uurijad küsisid: „*Kas mingisugustest institutsioonidest on olnud abi või tuge... koolidelt, omavalitsustelt, klastritelt, liitudelt*”, oli vastus „*mina ei tea, vähemalt küll ühtegi*”. Tegemist on Grimpe ja Kaiser (2010) kirjeldatud välise teadmuse probleemiga, kus võimaldajad on olemas, kuid nende komplementaarne ühendamine puudub. Sisemine teadmusbaas on lihtsalt ebapiisav, et väliseid teadmusvooge organisatsiooniliseks võimekuseks muundada. Ilma sidusate võimaldajateta ei saa tekkida ka kollektiivset valmisolekut, mis on ahela viimane lüli.

Nelja mehhanismi koosmõju tähendab, et potentsiaal on olemas, kuid ei realiseeru. Ahel ei katke ühes kohas, vaid jääb toppama igas lülis. Innovatsioonivõimekus ei jõua

kasutusse, ajendid viivad pigem kaitsvate lahendusteni, võimaldajad on killustunud ning valmisolek ei kujune tervikuks. Iga lüli nõrkus võimendab järgmise lüli puudujääki, kuna põhjuslik ahel ei saa toimida, kui eelnev tasand ei paku piisavat alust. Empiiriline leid kinnitab Milgromi ja Robertsi (1995) põhiteese vastandnäite kaudu: kui aluskihi elemendid on olemas, kuid omavahel sidumata, ei suuda ülemised kihid avalduda. Tulemuseks on olukord, kus vajalikud koostisosad on olemas, kuid puudub neid sidustav süsteem, mistõttu ei kujune potentsiaalset tegelikku võimekust.

Referentsjuhtum kinnitab eelduste ahelat tervikuna. Innovatsioonivõimekus on juurutatud pikaajaliste struktuursete valikute kaudu: majasisesed programmeerijad arendavad omaenda platvorme, grupi tasandil on alates 2024. aastast kinnitatud andmestrateegia ning osa aastakäibest on fikseeritud innovatsioonieelarveks. Tehisaru ei ole strateegiasse lisatud, vaid selle sügavaim kiht: „*me ei näe, et AI peaks üldse spetsiifiliselt [eraldi käsitletud olema]*”. Ajendid ei ole kaitsvad, vaid kasvupõhised: ettevõtte jätab endale ressursi „*proaktiivselt asjadesse, mis kohe tulu ei too*” ja on skaleerinud oma tegevuse teistesse riikidesse. Võimaldajad on omavahel seotud: strateegiline vastutus on juurutatud grupi tasandi juhtkonna digitaliseerimise funktsiooniga ja CoCEO-positsiooniga, mis on ehitussektoris erakordne. Struktureeritud innovatsiooniprotsess sisaldab valideerimisvõimekust, mis sunnivad varakult loobuma ebaõnnestuvatest projektidest ning sisekoolitus on jõudnud küpsuse tasemele, kus „*me oleme sellest faasist väljas, et inimestele rääkida, et AI on midagi, mida sa võiksid kasutada*”. Organisatsiooniline valmisolek avaldub isejuhtimise loogika kaudu: „*me ei koolita inimesi, vaid inimesed koolitavad ennast ise*” ja kogu organisatsiooni info (sealhulgas 200 hooldussõiduki autojuhtide) liigub läbi Slacki. Kultuur on ajalooliselt kinnistunud alates ettevõtte asutamisest: „*kultuur oli enne, ja siis tulid protsessid kultuuri järgi*”. Erinevus madalama ja kõrgema komplementaarsuse juhtumite vahel ei seisne järelikult eelduste olemasolus, vaid nende seotuses, et iga lüli toetaks järgmist.

KOMPLEMENTAARSETE VÕIMEKUSTE KUJUNDAMINE JA RAKENDAMINE					Võrgustikud ja väline teadmus
Strateegia ja visioon	Organ. struktuur ja kultuur	Ressursid ja kompl.varad	Organ. võimekused	Organ. praktikad	

Joonis 6. Kodeerimisjoonis: Võimekuste kujundamine ja rakendamine (teemaplokk)

Komplementaarsete võimekuste kujundamise ja rakendamise analüüs Eesti ehitusvaldkonnas näitas, et tehisaru kasutuselevõtt on jõudnud kolme erinevasse arenguastmesse. Individuaalsetest katsetustest üksikute valdkondlike rakendusteni ja esimeste süsteemse komplementaarsuse märkideni. Ükski intervjuueeritud ettevõtte ei ole jõudnud täieliku organisatsioonilise integratsiooni tasemele. Empiiriline materjal kinnitab Milgromi ja

Roberts (1995) ning Ennen ja Richteri (2010) teoreetilisi väiteid negatiivse näite kaudu: kuus dimensiooni eksisteerivad ettevõtetes paralleelselt, kuid mitte vastastikku tugevdavalt, mistõttu üksikud tehisaru rakendused ei suuda kogu süsteemi tulemuslikkust tõsta. Eristub kolm omavahel sõltuvat mehhanismi, mis selgitavad, miks väärtus ei realiseeru.

Strateegia ja visiooni tasandil avaldub lahknevus, mis ei käivita komplementaarsust. Strateegia on enamasti reaktiivne (*„me ei alusta strateegiast, see kujuneb“*) või paindlik ilma kindla struktuurita (*„see suund on käes ja me oleme suhteliselt vabad neid otsuseid kiirelt tegema“*), mistõttu kõik elemendid paralleelselt ei muutu. Seejuures elementide üheaegne joondumine käivitab komplementaarsuse. Visioon on omakorda jooksvalt kujunev, mitte eelnevalt sõnastatud: vastajad tunnistavad otse, et *„lõppvisiooni“* pole (*„mul ei ole veel täpselt sihukest nagu lõppvisiooni, kuhu me peame jõudma“*) ja et strateegia *„tekib igapäevase töö käigus... reaalsest vajadusest“*, mistõttu tehisaru ei suuna teisi otsuseid, vaid kohandub neile. Selge eristus ilmneb ettevõtetes, kus tehisaru on seotud konkreetse mõõdetava ärilise eesmärgiga (*„saada 30 protsenti ehitusaega lühemaks“*) versus need, kus tehisaru on jäänud *„lauanurgale“*. Konkreetne eesmärk loob loomuliku surve üheaegselt kooskõlastada andmeid, kompetentse ja protsesse, mida Milgrom ja Roberts (1995) kirjeldavad komplementaarsuse aktiveerimise tingimusena.

Struktuuri ja kultuuri tasandil avaldub sama lahknevus, mis ei loo komplementaarsuse käivitamiseks vajalikku pinnast. Ettevõtetes, kus oli identifitseeritud konkreetne arendusjuht tehisaru koordineerimiseks: *„meil on endal arendusjuht, kes nii-öelda püüab seda asja vedada... valdkonnajuhid on koostöös arendusjuhiga“*, oli komplementaarsuse tase märkimisväärselt kõrgem kui ettevõtetes, kus innovatsioon oli jagatud kõigi vahel, ilma vastutava isikuta. Uuritud ettevõtted iseloomustavad end järjekindlalt konservatiivse kultuuriga, kus üks vastaja sõnastab: *„täna pigem ikkagi konservatiivne, aga tahaks olla innovatiivne“*. Sellele lisandub vanusepõhine lõhe: *„... küll noored jälle rohkem võtavad omaks ja minuealised vähem“* ning vabameelsus ilma struktuurita (*„me oleme nii kuradi vabameelsed, et me ei defineeri midagi“*), mis kokku ei loo komplementaarsuse käivitamiseks vajalikku kultuurilist pinnast.

Ressursside tasandil avaldub lahkneva loogika kolmas vorm, mis on kasutamata jäänud komplementaarsete varade probleem. Ettevõtetel on väärtuslikud andmestikud ja süsteemid: *„tegelikult on masinloetavad materjalid, joonised, asjad“*, kuid neid ei ole kättesaadaval kujul tehisaru rakendamiseks: *„iga projekti sisu on nagu oma platsi meeskonna nägu... kaustapuu on olemas, aga sees on erinevust“*. Vastupidi need ettevõtted, mis juba

enne tehisaru tulekut olid oma IT-arhitektuuri masinloetavust silmas pidades planeerinud „*me panime need pilve, et andmed oleks masinloetavad, me veel ei teadnud, mida täpselt vaja on*”, avaldub see strateegilise ettenägelikkuse väärtusena, mis tagantjärele toodab komplementaarsust ilma täiendava investeeringuta. Pealegi tulevad osa otsuseid hoopis kontsernist ning rahvusvahelise grupi tasandil tehtud valikud ei pruugi ehitusettevõtte oludele vastata: „*kuna tema on rahvusvaheline, tahab investoreid saada... see laieneb kogu grupile, paneb mulle kohustused peale, mida muidu ei oleks vaja*”.

Järeldub, et innovatsiooni komplementaarsuse aluskiht Eesti ehitusettevõtetes joondamata. Selleks, et tehisaru saaks ettevõttes tegelikult tööle hakata, peavad strateegia, struktuur ja ressursid toetama sama eesmärki, kuid empiirilises analüüsis elemendid lahknevad. Strateegia ja visioon on jooksvalt kujunevad, struktuuris pole vastutajat ja ressursid suunatakse jooksvatele vajadustele. Empiiriline analüüs kinnitab Ennen ja Richteri (2010) väidet, et komplementaarsus vajab aktiivset joondajat mis on tavaliselt konkreetne ärieesmärk ja inimene, kes selle eest vastutab.

Organisatsiooni võimekuste tasandil eristub kaks oskust, mille koosmõju selgitab kõige paremini komplementaarsuse taset. Esiteks suutlikkus tehisaru kogemusest süsteemselt õppida, mis ilmneb selles, kas ettevõttes on loodud teadmuse jagamise mehhanismid. Ettevõtetes, kus toimuvad „*innovatsiooni infotunnid iga kahe nädala tagant*“, liigub teadmus organisatsiooni tasandile, samas kui mehhanismi puudumisel jääb hoopis indiviidi tasandile: „*igati nohistab omaette*”. Teiseks kriitiline hindamisoskus, mis ehitusvaldkonnas omandab erilise tähenduse: „*kaine mõistus ei tohi ära kaduda... kui sarnasel hoonel varem oli maht 100 ja nüüd saad mahuks 1000, siis kohe võiks tuluke põlema minna*”. Tehisaru väljundeid ei saa pimesi usaldada, mistõttu inimese roll on jätkuvalt kriitiline. Leid toetab Hemmer et al. (2025) inimese ja tehnoloogia komplementaarsuse kontseptsiooni ning täiendab Cohen ja Levinthali (1989) absorbeerimisvõime käsitlust. Tehisaru ajastul muutub eelnev valdkonnateadmus mitte üleliigseks, vaid kriitilise tähtsusega filtriks, milleta tekivad ehitussektoris otsesed majanduslikud riskid.

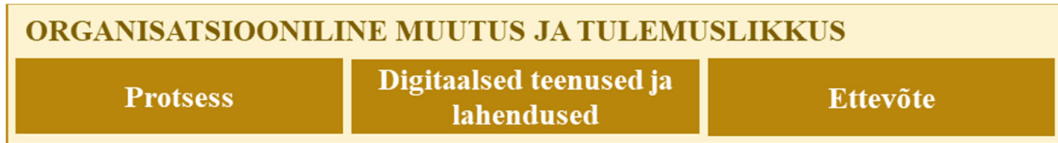
Organisatsiooni praktikate tasandil ilmneb läbiv probleem, kus tehisaru on integreeritud üksikutesse mikropraktikatesse („*protokollide koostamine, Teamsi koosolekute vormistamine*”), kuid ei jõua ühegi põhiprotsessi ametlikku osasse: „*ühtegi AI elementi ei ole meil üheski protsessis. Ei eelarvestamises, objektitöös, mitte kuskil*”. Tööviisid muutuvad orgaaniliselt enne formaalset protsessimuutust, kuid imbumine ei jõua protsessistandardini: „*...tihti võetakse piltlikult ruuduline paber ja tehakse vanal moel edasi*”. Kõige olulisem

puudujääk on mõõdikute puudumine: ükski intervjueritud ettevõtte ei olnud rakendanud süsteemset raamistikku tehisaru tasuvuse hindamiseks. Kasu tunnetatakse („*ta lihtsustab, hoiab aega kokku, hoiab inim-tunde kokku*“), kuid ei mõõdeta („*väga keeruline on seda ka mõõta, et seda peab kasutama ja siis saama teada*“), mis blokeerib organisatsioonilise tagasisidetsükli. Zollo ja Winteri (2002) raamistikus tähendab tulemus, et kogemuste akumulatsioon toimub, kuid artikuleerimine ja kodifitseerimine jääb tegemata.

Kaks dimensiooni ei toida üksteist. Kui aluskiht annab raami, siis võimekused ja praktikad peaksid muutma selle raami igapäevaseks tegevuseks, kuid empiirilises analüüsis on need kaks tasandit eraldunud. Tehisaru oskused tekivad alt üles töötajate enda katsetamisest, kuid ettevõtte protsessideni need ei jõua ehk töötaja teadmuse ja organisatsiooni praktikate vahele jääb sild ehitamata. Süsteemse õppimise ja kriitilise hindamise oskused jäävad isikutasandile ega kandu protsessistandarditeks. Vastupidi, mikropraktikatesse imbunud tehisaru ei tagasisidesta võimekuste arengut, kuna mõju ei mõõdeta. Iga uus katsetus alustab nullist. Toimimise tasandi katkestus ei ole seega tehnoloogiline, vaid organisatsioonilise praktika küsimus.

Referentsjuhtum kinnitab kõiki kolme mehhanismi tervikuna. Koondamata aluskihi vastandina on referentsjuhtumi ettevõttes innovatsioon „*strateegias sügavalt sees*“ ja selle elluviimiseks on grupi tasemel loodud eraldi juhatuse liikme funktsioon, mis viib ellu innovatsiooni kõigis tüarettevõtetes. Oluline struktuurne eristus on, et IT ja digitaliseerimine on eraldi funktsioonid: IT tegeleb hügieeniga (taristu, turvalisus), aga digitaliseerimine kuulub tootearenduse ja innovatsiooni alla. Eristus võimaldab tehisaru käsitleda „*üks tööriist, mille abil midagi teha*“, tavalise osana tootearendusest, mitte erilise trenditeemana. Toimimise tasandil on võimekused ja praktikad omavahel seotud läbi operatiivmudeli, mis on vastaja sõnul „*ära kirjeldatud*“ kogu ettevõtte ulatuses. Seotust tugevdab tasustamisloogika, mille raames pehmed KPI-d arvestavad lisaks kasumlikkusele ka ideede panust. Leid muudab innovatsioonipanuse formaalselt oodatavaks, mitte pelgalt vabatahtlikuks tegevuseks. Välise teadmuse osas ei ole ettevõtte vastuvõtja, vaid aktiivne kujundaja. Vastaja enda sõnadega „*me ei osta ainult sisse*“, vaid arendab ise oma tööriistad, mis omakorda jõuavad iseseisvate platvormidena turule. Kogu süsteemi aluseks on kultuuriline veendumus, mille vastaja sõnastab klassikalise Peter Druckeri parafrasiga: „*kultuur sööb lõunaks nii protsessi kui*

strateegiat". Erinevus madalama ja kõrgema komplementaarsuse juhtumite vahel ei seisne üksikute dimensioonide kvaliteedis, vaid selles kuidas need omavahel kokku on pandud.



Joonis 7. Kodeerimisjoonis: Organisatsiooniline muutus ja tulemuslikkus (teemaplokk)

Organisatsioonilise muutuse ja tulemuslikkuse analüüs Eesti ehitusettevõtetes peegeldab, et tehisaru rakendamine on viinud nähtavate muutusteni, kuid need on jäänud ulatuselt kitsaks ja mõju mõõtmiselt nõrgaks. Mustrid avalduvad mudeli kolme tasandi lõikes: protsess, digitaalsed teenused ja lahendused ning ettevõtte.

Protsessi tasandil tekivad mikrotasandi võidud, mis ei muutu organisatsioonitasandi võimekuseks. Tehisaru parandab mitmes tööetapis efektiivsust mõõdetavalt: suurte mahuarvutuste puhul loob tehisaru tulemuse, mille tegemine inimeselt võtaks „*poole aasta töö*“, ehitusplatsi seire puhul „*võidad meeletult aega*“ tänu sellele, et „*töö kolib rohkem online'ile*“ ja inspektor ei pea iga puudust kohapeal käima vaatamas. Teistpidi esineb ka vastassuunaline efekt. Tehisaru kasutus „*kipub tegema tihti asja võib-olla hoopis nagu kohmakamaks*“, millele lisandub vigade levitamise risk: „*laseb vigu läbi ja ta ei tea tegelikult isegi ka, mis see sisu on*“. Mikrotasandi võitude ja varjatud lisakulude tasakaal sõltub kasutaja oskuslikkusest, mistõttu sama tehnoloogia toob ühele kasutajale efektiivsust ja teisele aeglustust. Empiirilise analüüsi tulemus kinnitab Challapally et al. (2025) ja Brynjolfssoni, Rocki ja Syversoni (2017) tuvastatud mustrit, kus tehisaru parandab individuaalset tootlikkust, kuid ei muutu iseenesest organisatsioonitasandi võimekuseks. Eesti ehitussektor täiendab seda nüansiga, et lõhe tekib juba protsessitasandil.

Digitaalsete teenuste ja lahenduste tasandil on tehisaru rakendused valdavalt valdkonnaspetsiifilised ja killustunud, mitte süsteemselt integreeritud. Automatiseerimine toimub üksikutes tööetappides: mahuarvutused („*...automaatselt 75 protsenti... mahu tabelit tekitada*“), dokumendihaldus, koosolekute protokollimine Teamsis ja autoassistendi laadsed tugiteenused. Lisaks kasutatakse ChatGPT pro kontosid ning olemasolevate platvormide (Bauwise, Bauhub, Dalux) automatiseerimismoduleid, kuid süsteemne integratsioon puudub. Moodulid ja andmed liiguvad killustatult. Andmepõhise otsustuse tasandil on takistus veelgi selgem. Üks juht sõnastas otsustustäpsuse piirangu numbritega: „*praegune AI otsustustäpsus on seal kuskil 65 70 protsendi vahel. Aga tegelikult kvaliteetset otsust vastu võtta sa pead üle 80 olema*“. Otsustusvastutus jääb juhile „*otsuse teed sa ikkagi ise*“ ning

andmete killustatus ja struktuuri puudumine muudavad andmepõhise otsustuse pigem tunnetuslikuks kui süstemaatiliseks.

Ettevõtte tasandil on tehisaru strateegiline positsioon pelgalt tunnetuslik ning äriine kasu nähtamatu. Tehisaru ei ole ettevõtetele veel selget konkurentsieelist toonud ega muutnud nende positsiooni turul. Üks vastaja sõnastab dilemma teravalt: „*ainult kulu on. Tulu, tulu, mitte miskit*“, millele lisandub konkreetne loogika: „*iga kuu on platsil 5000 eurot lisakulu, aga kus on tulu, kuidas sa mõõdad seda?*“ Erandina ilmneb üks kasuloogika („*kui tekib vigu vähem, siis rohkem raha ettevõtte taskusse*“), kuid sealgi jääb ahel deklaratiivseks. Erinevus skeptilise („*ma ei usu... kus ta peab selle võtma*“) ja kasvuloogika („*me suudame majandada optimaalsemalt... nügida ja leida neid lahendusi*“) vahel pole tehnoloogiline, vaid ootuspiiri küsimus. Ühe vastaja retooriline küsimus võtab probleemi kokku: isegi kui tehisaru säästab tunde, „*aege milleks?*“ See kinnitab Milgromi ja Robertsi (1995) väidet, et ilma süsteemse mõõtmiseta jääb komplementaarsete elementide väärtus nähtamatuks.

Kolm komponenti võimendavad üksteise puudujääke. Protsessi tasandil tekivad mikrotasandi võidud, kuid need ei kasva organisatsioonitasandi võimekuseks. Tehisaru rakendused ei ole digitaalsete teenuste tasandil süsteemselt integreeritud ning andmepõhine otsustus on ebaküps. Ettevõtte tasandil puuduvad mõju kohta majanduslikud tõendid, mis omakorda ei loo motivatsiooni järgmisteks investeeringuteks. See on Roperi, Du ja Love'i (2008) innovatsiooni väärtusahela katkemine ehitussektori kontekstis. Iga lüli nõrkus piirab kogu ahela potentsiaali ning kasu jääb nähtamatuks (Ennen & Richter, 2010).

Referentsjuhtum kinnitab seda mustrit ka teistpidi. Erinevus ei seisne tehisaru rakenduste tehnoloogilises arengutasemes, vaid süsteemses lähenemises, kus iga rakendus on seotud struktureeritud protsessi valideerimisvõimega, mis sunnivad varakult loobuma ebaõnnestuvatest projektidest. Vastaja ise tunnistab, et ka selles ettevõttes on protsess alles arenev: „*me võiks selles kindlasti palju parem olla, kui me oleme*“. See toetab järeldust, et tulemuste mõõtmise puudulikkus on ehitussektoris pigem süsteemne kui üksikute ettevõtete probleem. Oluline erinevus on, et küpsem ettevõtte ei väldi tulemuslikkuse hindamist, vaid tunnistab selle puudumist, mis loob aluse mõõtmisüsteemi kujunemiseks.

Tagasiside ja õppimistsükkel on Eesti ehitusettevõtetes välja kujunemata. Zollo ja Winteri (2002) kolmeastmelise õppimismudeli empiiriline rakendus näitab, et kuigi kogemuste akumulimine toimub kõigis intervjueritud ettevõtetes, jäävad artikuleerimine ja eriti kodifitseerimine, süsteemselt teostamata. Eristub kaks omavahel seotud mehhanismi.

Kogemuste akumulatsioon toimib ilma süsteemse hindamiseta. Õppimine on peaaegu alati reaktiivne. Probleem ise käivitab tegevuse, mitte planeeritud refleksioon. Üks vastaja sõnastas selle tabavalt: „*kui sul kivi saapas ei ole, siis järelikult su segamist ei ole, kui kivi on saapas, siis tekib sul häirimisfaktor ja siis hakkad tegelema sellega*“. Mõned ettevõtted on selle jaoks loonud struktuurse koha („*meil on siuksed arenduskoosolekud, et katsume siin torkida igalt poolt*“), kuid tulemusi ei dokumenteerita ega kõrvutata varasemate kogemustega. Otsused tehakse kvalitatiivselt („*mõtleme, missugused need plussid-miinusused on*“), kuid „*mõõdikuid pannud ei ole*“. Mõõtmise puudumine blokeerib Zollo ja Winteri raamistiku artikuleerimise tasandi ehk kogemus jääb kogemuse läbinud inimese pähe ega jõua organisatsioonilisse teadmusbbaasi.

Negatiivsete kogemuste mõju on kahesuunaline. Esimeses mustris jääb ebaõnnestumine passiivsesse ootusse: „*ootame, kuna tuleb siis meie sektori portfoolio, kui seda üldse tuleb*” ning „*me isegi seda ei jaksa või ei suuda teha*”. Teises mustris käivitab negatiivne kogemus uue iteratsiooni. Ühe vastaja sõnul „*see koolitus põhjustas meie pettumuse*”, kuid „*altpoolt tuli see huvi ja õeldi, et me peaks ikkagi uuesti proovima*”. See oli ainus juhtum, kus negatiivsest kogemusest kasvas välja järgnev iteratsioon. Erinevus kahe mustri vahel ei seisne ressurssides ega tehnoloogilises küpsuses, vaid selles, kas töötajatel on kanalid altpoolt initsiatiivi näidata. Leid peegeldab Weineri (2009) kollektiivse muutusvõime usu raamistikku.

Reaktiivse õppimise ja negatiivse kogemuse lõksu koostoime selgitab, miks õppimistsükkel jääb pooleli. Iga uus katsetus alustab küll kogemustest, kuid mitte organisatsiooni omadest, vaid üksiku inimese omadest. Zollo ja Winteri raamistikus on tegemist selge kodifitseerimise puudumisega. Õppimistsükli katkestus on otseselt seotud eelmiste tasandite leidudega kuna ilma standardiseeritud protsessideta puudub koht, kuhu õpitut kirja panna. Puuduva mõõtmisega ei ole sobivat kõrvutamisalust ning joondamata strateegilise raamita puudub eesmärk, kelle jaoks õppida.

Referentsjuhtum kinnitab seda mustrit peegli. Erinevus ei ole selles, et ebaõnnestumisi ei juhtuks, vaid selles, et iga ebaõnnestumine on osa süsteemsest hindamisest, mis võimaldab teadlikku korrigeerimist. Vastaja sõnul on neil väljakujunenud praktika, kus probleemsete kohtade aktiivne otsimine on loomulik osa tööst: „*katsume siin torkida igalt poolt*”, mitte kriis, mis tekib kuskil pealt. See eristab küpset õppimistsükli ehitussektori valimi tüüpilisest reaktisioonist, kus ühes tegutsevad inimesed katsetusi otsides, teises ootavad nad, kuni kivi saapasse kukub. Seda enam on arusaam, et õppimistsükkel ei käivitu

ootamisest, vaid teadlikust otsimisest, aluseks järgnevas sünteesi-alapeatükis käsitletavale komplementaarsuse kujunemise mustrite analüüsile. Lisaks järeldustel koostas autor kokkuvõtte Eesti ehitusettevõtete tehisaru komplementaarsuse tugevustest ja nõrkustest mis on toodud lisas H.

Innovatsiooni komplementaarsuse kujunemise mustrid ja pudelikaelad Eesti ehitusettevõtetes koonduvad kolmeks autori induktiivseks järelduseks. Need ei ole vastajate sõnastatud kategooriad, vaid eelmiste alapeatükkide analüüsist tulenevad mustrid. Esimene leid on komplementaarsuse üleminekulävi. Vastajate kõnepruugis esinevad väljendid „*läbimurdefaas*“ ja „*hüppe tegemine*“ viitavad kvalitatiivsele üleminekupunktile. Komplementaarsus ei kasva järk-järgult, vaid käivitub paralleelselt mitme elemendi olemasolul. Autor sõnastab hüpoteesi minimaalsest toimivast kombinatsioonist, mille neli elementi on struktureeritud andmehaldus, pühendunud innovatsioonivedaja roll, identifitseeritud konkreetne valupunkt ja juhtkonna toetus vähemalt ressursside tasemel. Ükski element üksi komplementaarsust ei käivita, kuid nelja koos eksisteerimine soodustab seda märgatavalt. Praktiline järeldus on, et ressursipiirangute tingimustes on mõttekam saavutada minimaalne toimiv kombinatsioon ühes kitsas valdkonnas, ressursse hajutada.

Teine leid eristab kolm komplementaarsuse kujunemise rada. Kultuuripõhine rada (tehisaru tuleb „*alt üles*“, „*orgaaniliselt*“) tugineb pikaajalisele avatusele muutusteks ja kinnitab Lawsoni ja Samsoni (2001) väidet kultuuri rollist innovatsioonivõimekuse alusena. See toob esile ka varjatud piirangu, kuna ilma teadmuse jagamise mehhanismideta jääb orgaaniline innovatsioon üksikute praktikate tasemele. Pragmaatiline valupõhine rada käivitub konkreetsest operatiivsest probleemist („*ressurss rämedalt põleb*“) ning täiendab Roperi, Du ja Love'i (2008) sihtorientatsiooni käsitlust. Konkreetse valupunkti lahendamine sunnib korraga kohandama andmeid, kompetentse ja protsessistandardeid. Strateegiliselt juhitud rada esineb ainult referentsjuhtumis ja eeldab tingimuste kombinatsiooni (juhtkonna arenduskogemus, eelarve, eelnev digitaliseerimine), mis on Eesti ehitusettevõtetes erandlik.

Kolmas leid toob esile kaitsva innovatsioonijendi kui süsteemse raamistiku. Eesti ehitusvaldkonnas käsitleb enamik ettevõtteid tehisaru vahendina olemasoleva tootlikkuse säilitamiseks väiksema ressursikuluga („*säästa inimressurssi*“, „*vähem inimesi vaja*“), mitte kasvu võimaldajana. Kasvuloogika esineb kogu valimis ainult referentsjuhtumis. Kaitsev motivatsioon viib kõigest augu lappimise loogikani, kus investering peatub kohe, kui esimene säästev rakendus on leitud. Just see selgitab, miks valupõhine rada on kõige sagedasem, nimelt on see ainus, mille kaitsev ajend käivitada suudab.

Sünteesist tuleneb töö peamine teoreetiline panus: Eesti ehitussektori komplementaarsuse probleem ei ole tehnoloogiline, vaid ajendi kvaliteedi probleem. Paremad tööriistad ega koolitused seda ei lahenda. Tehisaru ei ole vahend, mis säästab tunde, vaid arhitektuuriline muudatus, mis nõuab kogu väärtusloome ümberkujundamist.

2.3. Ettepanekud tehisaru komplementaarseks rakendamiseks Eesti ehituses

Innovatsiooni komplementaarsuse kujunemise muustrite ja pudelikaelade kolme leiu praktiline väljund on kaheksa ettepanekut kolme adressaadi jaoks. Komplementaarsuse loogikast tulenevalt on iga ettepaneku mõju võimendatud teiste samaaegse rakendamisega.

Juhtkonnale: aluskihi joondamine. Juhtkonna roll on strateegiline ning hõlmab eeltingimuste loomist, vastutuse määramist ja tehisaru tähenduse raamimist. Valimis esines kõige sagedamini olukord, kus tööriistu hakati kasutusele võtma enne, kui organisatsiooniline alus selleks valmis oli. Referentsjuhtumit eristas ülejäänud ettevõtetest viie omavahel seotud juhtimisotsuse koostoime, mis võimaldas aluskihi süsteemset joondamist. Esiteks andmevalmiduse audit ja etapiviisiline rakendamine. Sisaldas andmekogumite kaardistamist, andmestruktuuride projektiülest ühtlustamist ja olemasoleva andmestiku süsteemset digitaliseerimist, mis järgis loogikat nähtavus → korrastamine → ühtlustamine → skaleerimine. Referentsjuhtumi näitel tähendas see kontserni andmestrateegiat, mis ei ole tehisaru-spetsiifiline dokument, vaid eelnev struktuurne valik, mis võimaldab tehisaru ettevõttesse kergemalt integreerida.

Teiseks innovatsioonivedaja kui komplementaarsuse koordineeri määramine. Vastutuse isikustamine osutus valimis kõige tugevamini komplementaarsuse taset eristavaks struktuuriliseks teguriks. Hajutatud vastutuse korral jäävad ka head algatused ellu viimata. Suuremates ettevõtetes võib roll olla formaalne, väiksemates osalise tööajaga, kuid määratud konkreetsele inimesele. Referentsjuhtum on digitaliseerimine IT-funktsioonist eraldatud: IT tegeleb hügieeniga, digitaliseerimine kuulub tootearenduse alla, mis võimaldab tehisaru käsitleda tavalise tööriistana.

Kolmandaks innovatsiooni rahastamise lahutamine operatiivsest eelarvest. Empiiriline analüüs näitas, et ettevõtetes, kus innovatsiooniresursid konkureerisid jooksvate vajadustega, lükati algatusi regulaarselt edasi. Juhtkond peaks fikseerima osa aastakäibest innovatsiooni eelarveks, mis ei sõltu kvartali tulemustest.

Neljandaks kolmel tasandil mõõdikute raamistiku loomine: efektiivsuse mõõdikud (ajakulu, töötundide muutus), kvaliteedimõõdikud (vigade arv, garantiikulude muutus) ja organisatsioonilised mõõdikud (kasutajate osakaal, dokumenteeritud standardite hulk).

Mõõtmisperioodi miinimumiks soovitab autor kogemusele tuginedes kuut kuud, et eristada lühiajalist adaptatsiooniefekti püsivast komplementaarsest mõjust. Ühtlasi peab juhtkond selgelt sõnastama, et tehisaru eesmärk on rutiinse töö vähendamine, mitte professionaalse otsustusõiguse asendamine. Ehitussektoris, kus peamine pinge tuleneb tööjõupuudusest, vähendab selline raamistus vastuseisu.

Viiendaks kultuurilise eeltingimuse teadvustamine. Juhtkonna esimene ülesanne ei ole tehnoloogia valimine, vaid tingimuste loomine, kus katsetamine on lubatud, vead arutatavad ja õppimine süstemaatiline. Referentsjuhtumi näitel oli kultuur eeltingimus, mille olemasolu võimaldas struktuuride loomist.

Erialaliitudele: sektoriülese teadmusruumi loomine. Turul puuduvad ehitusspetsiifilised tehisaru teadmised on struktuurseks barjääriks, mida üksikettevõtte omaette kõrvaldada ei suuda. Erialaliidud (näiteks Eesti Ehitusettevõtjate Liit) peaksid kaaluma anonüümse kogemuspanga loomist (kus ettevõtted saaksid jagada protsessiteadmused ärisaladusi avalikustamata), edulugude süstemaatilist dokumenteerimist ja avalikustamist ning koostöös Tartu Ülikooli ja TalTechiga ehitusvaldkonna sektoripõhiste mikrokraadide algamist spetsiifiliste pädevuste arendamiseks.

Avalikule sektorile: hangete loogika ümberkujundamine. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ehitus- ja elamuvaldkonna asekancleri pädevuses on kujundada kahesuunaline lähenemine. Esiteks tuleks luua ehitussektori konkreetsetele protsessivaldkondadele suunatud toetusprogrammid (näiteks hangete digitaliseerimiseks, projekteerimisautomaatikaks ja ehitusinfo halduse standardiseerimiseks) mitte piirduda üldiste digitaliseerimistoetustega. Teiseks tuleks süsteemselt arendada innovaatiliste riigihangete praktikat. See tähendab funktsionaalsete nõuete eelistamist tehniliste lahenduste ettekirjutamisele, pilootprojektide soodustamist ning edukate innovatsioonilahenduste arvestamist kvalifikatsiooninõuetes.

Edasiseks uurimiseks pakub erilist huvi avaliku sektori tellija roll ehitussektori innovatsiooni komplementaarsuse kujunemise suunamisel. Eesti suuremad taristuobjektid, näiteks Pärnu uus sild, illustreerivad innovaatiliste riigihangete kitsaskohti: kaks esimest hanget aastatel 2021 ja 2022 luhtusid ning lõplik leping sõlmiti algselt eelarvestatust oluliselt kallima maksumusega (SA Pärnumaa Arenduskeskus, 2025). Madalaima hinna loogika hangetes premeerib kaitsvat innovatsiooniajendit. Ettevõtted kujundavad oma võimekuse selle järgi, mida tellija ostab. Kui tellija ostab madalaimat hinda, ei ole ettevõtetel ärilist

põhjust arendada ambitsioonikamaid komplementaarsuseid, sealhulgas tehisaru süsteemset integreerimist.

Esitatud ettepanekuid läbib keskne järeldus: komplementaarsus ei teki uue tehnoloogia lisandumisest, vaid organisatsiooni võimekusest muuta üksik katsetus korduvaks praktikaks. Juhtkonna tasandil tähendab see aluskihi joondamist viies dimensioonis (andmed, vastutus, rahastamine, mõõtmine ja kultuur), kus ühe elemendi puudumine pärsib ülejäänute mõju. Sektori tasandil tähendab see ühise teadmusruumi kujundamist erialaliidu ja avaliku sektori koostöös. Praktiline panus seisneb tasandite vastastikuse sõltuvuse nähtavaks tegemises, kus iga üksik ettepanek on mõjus ainult osana tervikust.

Kokkuvõte

Majandus- ja juhtimisteadlased on pikalt täheldanud, et digitaalsete tehnoloogiate kiirele levikule ei järgne automaatselt nende mõju tootlikkusele. Tehisaru on produktiivsuse paradoksi uusim ilming. Ehitussektor moodustab Eesti SPK-st 6,1% ja on samal ajal üks aeglasemalt digitaliseeritud ja tehisaru kasutusele võttev valdkond, kus kõigest 17,4% ettevõtetest rakendab vähemalt ühte tehisaru rakendust. Selline vastuolu sektori majandusliku olulisuse ja madala tehnoloogilise rakendamise vahel muudab ehitusvaldkonna produktiivsuse paradoksi uurimiseks eriti oluliseks kontekstiks. Senised uurimused on põhjalikult käsitlenud tehisaru rakendamise tehnilist potentsiaali või digitaliseerimise üksikuid takistusi. Süsteemne analüüs sellest, miks tehisaru väärtus ehitusettevõtetes ei realiseeru isegi, kui tehnoloogia on kättesaadav, on jäänud käsitlemata. Töö täidab selle lünka, ühendades innovatsiooni komplementaarsuse teooria Eesti ehitusvaldkonna empiirilise analüüsiga.

Magistritöö eesmärk on esitada tõenduspõhised ettepanekud tehisaru tulemuslikumaks rakendamiseks Eesti ehitusvaldkonna ettevõtetele ja teistele sidusrühmadele. Eesmärgi täitmiseks püstitas autor kuus uurimisülesannet. Need hõlmasid innovatsiooni komplementaarsuse teoreetiliste aluste selgitamist, ehitusvaldkonna eripärade analüüsi, komplementaarsuse mudeli väljatöötamist, kvalitatiivse uurimisdisaini kavandamist ja andmete kogumist, empiiriliste ilmingute, mustrite ja pudelikaelade analüüsi ning tõenduspõhiste ettepanekute väljatöötamist tehisaru tulemuslikumaks rakendamiseks.

Magistritöö teoreetiline osa käsitleb tehisaru kasutuselevõttu äriprotsesside innovatsioonina, mille väärtus ei tulene üksikust tehnoloogilisest otsusest, vaid sõltub innovatsiooni komplementaarsuse kujunemisest organisatsiooni erinevate elementide vahel. Komplementaarsuse teooria kohaselt loob väärtust elementide sünergiline koostoime, kus ühe

komponendi puudumine piirab kogu süsteemi potentsiaali. Analüüs näitab, et komplementaarsus tugineb innovatsioonivõimekusele (sh absorbeerimisvõimekus, strateegilised valikud ning ressursid ja kompetentsid) ja innovatsiooni ajenditele, kusjuures eriti kriitiline on organisatsiooni sisemine võimekus väliseid teadmisi omandada ja rakendada. Ehitusvaldkonna eripärad, nagu projektipõhisus, andmete killustatus ja madal digitaliseerituse tase, loovad täiendavaid takistusi, mis selgitavad ka tehisaru piiratud majanduslikku mõju praktikas. Teoreetilise osa peamine panus on autori sünteesitud innovatsiooni komplementaarsuse mudel tehisaru kasutuselevõtuks ehitusettevõtetes, mis on üles ehitatud viiel tasandil:

- kontekst – ehitussektori eripärad, mis kujundavad komplementaarsuse kujunemise tingimused;
- eeldused – innovatsioonivõimekus, ajendid, valmisolek ja võimaldajad;
- innovatsiooni protsess – komplementaarsuse avaldumine kuue dimensiooni lõikes (strateegiad ja visioon; organisatsiooni struktuur ja kultuur; ressursid ja komplementaarsed varad; organisatsioonilised võimekused; organisatsioonilised praktikad; võrgustikud ja väline teadmus);
- tulemuslikkus
- tagasisidetsüklid, kus edukad rakendused tugevdavad absorbeerimisvõimekust ja loovad eeldused järgmiseks innovatsioonitsükliks.

Mudel näitab, et komplementaarsus kujuneb korraga horisontaalselt, kuue dimensiooni üksteist tugevdava koostoime kaudu ja vertikaalselt, hierarhilise järjestusena, kus kõrgemad tasandid ei aktiveeru ilma madalamata. Samuti on oluline rakendamise järjestus, kus tehnoloogiline innovatsioon eelneb organisatsioonilisele (Vahter & Vadi, 2024). Mudel käsitleb tehisaru rakendamist süsteemse organisatsioonilise muutusena ja toimib empiirilise analüüsi struktuurse alusena.

Empiiriline uuring põhineb 12 Eesti ehitusettevõtte juhatuse liikmega läbi viidud poolstruktureeritud süvaintervjuul, millele lisandub kontrastiks referentsjuhtum infrastruktuuri valdkonnast. Andmed kodeeriti ja analüüsiti viie tasandi (kontekst, eeldused, võimekused, tulemuslikkus, õppimistsüklid) kaupa, et tuvastada komplementaarsuse kujunemise mustrid ja pudelikaelad.

Empiirilise analüüsi tulemused näitavad, et komplementaarsus ei teki Eesti ehitussektoris enamikus juhtumites mitte tehnoloogia puudumise, vaid süsteemse joondatuse puudumise tõttu. Konteksti tasandil moodustavad ressursipiirangud, projektipõhisus, madal

baasdigitaliseeritus, andmete killustatus ja regulatiivne surve vastastikku võimendava piirangute süsteemi, mis hoiab sektorit madala komplementaarsuse tasakaalus. Eelduste tasandil eksisteerib innovatsioonivõimekus, ajendid, võimaldajad ja organisatsiooniline valmisolek formaalselt enamikus ettevõtetes, kuid nad moodustavad katkenud põhjusliku ahela. Ahel toppab eriti innovatsiooni võimaldajate killustatuse ja juhtkonna toetuse pinnapealsuse tõttu. Komplementaarsete võimekuste tasandil avaldub joondamata aluskiht, toimimise tasandil sidumata võimekused ja praktikad ning väline teadmusvahetus, mis ei toimi. Need tegurid selgitavad koos, miks üksikud rakendused ei kasva organisatsiooniliseks võimekuseks. Tulemuslikkuse tasandil tekivad mikrotasandi võidud, kuid ükski intervjueeritud ettevõtte ei mõõda süstemaatiliselt tehisaru ärilist kasu. Kasu tunnetatakse, aga ei jõua bilansi tasandile, mistõttu strateegilise positsiooni muutus jääb ootuseks. Õppimistsükkel jääb pooleli, kuna kogemused akumulēruvad reaktiivselt ja negatiivne kogemus viib enamasti passiivsesse ootusse, mitte uude iteratsiooni.

Sünteesiv analüüs pakub kolm teoreetilist järeldust. Esiteks, töö sõnastab autori induktiivse sünteesina komplementaarsuse üleminekuläve hüpoteesi: Eesti ehitusettevõtete näitel näib komplementaarsuse käivitumiseks vaja olevat nelja elemendi üheaegne olemasolu. Nendeks on struktureeritud andmehaldus, pühendunud innovatsioonivedaja roll, identifitseeritud konkreetne valupunkt ning juhtkonna toetus vähemalt ressursside tasemel. Teiseks, töö eristab kolm komplementaarsuse kujunemise rada (kultuuriliselt kinnistunud, valupõhine pragmaatiline ja strateegiliselt juhitud), millest empiirilises valimis avaldub praktiliselt ainult valupõhine rada, samas kui strateegiline rada esineb vaid referentsjuhtumise. Kolmandaks, töö identifitseerib kaitsva innovatsiooniajendi kui süsteemse raamistiku, mis selgitab kogu sektori komplementaarsuse aeglust: enamik ettevõtteid läheneb tehisarule loogikast „säilita olemasolev tootlikkus väiksema ressursiga”, mitte loogikast „kasva läbi innovatsiooni”, mis välistab strateegilise ümberkujundamise võimaluse.

Töö peamine teoreetiline panus seisneb leiu sõnastamises, et ehitussektori tehisaru komplementaarsuse problemaatika ei ole tehnoloogiline, vaid innovatsiooniajendi kvaliteedi probleem. Paremad tööriistad ja suuremad koolitused seda üksi ei lahenda. Töö praktiline panus avaldub kaheksas ettepanekus, mis on suunatud kolmele adressaadirühmale. Juhtkonnale soovitatakse aluskihi joondamist viies punktis. Need on andmevalmiduse audit, innovatsioonivedaja rolli isikustamine, innovatsiooni rahastamise lahutamine operatiivsest eelarvest, mõõdikute raamistiku loomine ja kultuurilise eeltingimuse teadvustamine. Innovatsioonivedajale soovitatakse pilootprojektide valupõhist valikut ja varjatud tehisaru

kasutuse kanaliseerimist organisatsiooniliseks õppimiseks. Erialaliitudele sektoriülest teadmusruumi loomist. Selleks on neli konkreetset instrumenti: anonüümne kogemuspank, edulugude avalikustamine ja sektoripõhised mikrokraadid. Avalikule sektorile soovitatakse hangete loogika ümberkujundamist ning innovaatiliste riigihangete praktika. Ettepanekuid läbib komplementaarsuse loogikast tulenev keskne põhimõte: iga üksik soovitus on mõjus ainult osana tervikust, kuna komplementaarsus ei kujune mitte üksikute elementide lisandumisest, vaid nende samaaegsest joondatud muutusest. Töö tulemused on esmajoones suunatud ehitussektori ettevõtetele ja sellega seotud huvigruppidele. Sellega on autori hinnangul täidetud ka magistritöö eesmärk.

Töö olulisemad piirangud tulenevad valimi suurusest ja kvalitatiivsest disainist. Kuna empiirilise analüüsi aluseks on 12 ettevõtte intervjuu materjal, vajab sünteesi alapeatükis välja toodud minimaalse toimiva kombinatsiooni hüpotees edasises uurimistöös kvantitatiivset kinnitamist suurema valimi pealt. Samuti pakub edasise uurimise võimalusi kolme kujunemisraja rühmituse katsetamine teiste sektorite kontekstis, mis võimaldaks hinnata, kas kaitsev innovatsiooniajend on ehitussektori erijoon või laiem nähtus traditsioonilistes tööstusharudes.

Viidatud allikad

1. Abioye, S., Oyedele, L., Akanbi, L., Ajayi, A., Delgado, J., Bilal, M., . . . Ahmed, A. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, 44, 103299.
2. Adebayo, Y., Udoh, P., Kamudyariwa, X. B., & Osobajo, O. A. (2025). Artificial Intelligence in Construction Project Management: A Structured Literature Review of Its Evolution in Application and Future Trends. *Digital*.
3. Alves, J. L., Palha, R. P., & de Almeida Filho, A. T. (2025). Towards an integrative framework for BIM and artificial intelligence capabilities in smart architecture, engineering, construction, and operations projects. *Automation in Construction*, 174, 106168.
4. Arrak, K., Helilaid, M., K. V., Reiska, K., Schultz, A., & Vaarik, R. (2024). *Ehitussektori digitaliseerituse uuring*. Civitta Eesti AS. Kliimaministeerium. Allikas: <https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2025-10/Ehitussektori-digitaliseerituse-uuring.pdf>
5. Athey, S., & Stern, S. (May 1998. a.). An empirical framework for testing theories about complementarity in organizational design. *MIT Sloan School of Management*.
6. Barbosa, F., Woetzel, J., Mischke, J., Ribeirinho, M. J., Sridhar, M., Parsons, M., . . . Brown, S. (2017). *Reinventing construction: A route to higher productivity*. McKinsey Global Institute.
7. Bellan, R. (6. oktoober 2025. a.). *Techcrunch.com*. Allikas: Sam Altman says ChatGPT has hit 800M weekly active users: <https://techcrunch.com/2025/10/06/sam-altman-says-chatgpt-has-hit-800m-weekly-active-users/>
8. Bonney, K., Breaux, C., Buffington, C., Dinlersoz, E., Foster, L. S., Goldschlag, N., . . . Savage, K. (2024). *Tracking firm use of AI in real time: a snapshot from the business trends and outlook survey*. National bureau of economic research. Allikas: www.nber.org/papers/w32319
9. Brynjolfsson, E. (1993). The productivity paradox of information technology. *Communications of the ACM*, 36(12), 66-77.
10. Brynjolfsson, E., & Unger, G. (detsember 2023. a.). The Macroeconomics of Artificial Intelligence. *Finance & Development, International Monetary Fund*, 20-25.

11. Brynjolfsson, E., Aral, S., & Wu, L. (2012). Three-Way Complementarities: Performance Pay, HR analytics and Information Technology. *Manage Science*, 913–931.
12. Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2017). Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics. *National Bureau of Economic Research (No. w24001)*.
13. Bygballe, L. E., & Ingemansson, M. (2014). The logic of innovation in construction. *Industrial marketing management*, 43(3), lk 512-524.
14. Calvino, F., Dernis, H., Samek, L., & Ughi, A. (2024). *A sectoral taxonomy of AI intensity*. OECD. Allikas: https://www.oecd.org/en/publications/a-sectoral-taxonomy-of-ai-intensity_1f6377b5-en.html
15. Cassiman, B., & Veugelers, R. (2006). In search of complementarity in innovation strategy: Internal R&D and external knowledge acquisition. *Management science*, 52(1), , 68-82.
16. Challapally, A., Pease, C., Raskar, R., & Chari, P. (2025). *The GenAI Divide, State of AI in Business 2025*. MIT NANDA.
17. Chen, H. P., & Ying, K. C. (2022). Artificial intelligence in the construction industry: Main development trajectories and future outlook. *Applied Sciences*, 12(12), 5832.
18. Chief Investment Office. (23. mai 2023. a.). <https://www.ubs.com>. Allikas: Has the AI rally gone too far?: <https://www.ubs.com/global/en/wealthmanagement/insights/chief-investment-office/house-view/daily/2023/latest-25052023.html>
19. Chunga, S., Moon, S., Kim, J., Lim, S., & Chi, S. (2023). Comparing natural language processing (NLP) applications in construction and computer science using preferred reporting items for systematic reviews (PRISMA). *Automation in Construction* .
20. Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). Innovation and learning: the two faces of R & D. . *The economic journal*, 99(397), 569-596.
21. Colombo, M. G., Grilli, L., & Piva, E. (2006). In search of complementary assets: The determinants of alliance formation of high-tech start-ups. *Research policy*, 35(8), , 1166-1199.
22. Cozzarin, B. P., & Percival, J. C. (2006). Complementarities between organisational strategies and innovation. *Economics of innovation and new technology*, 15(03), 195-217.

23. Darkoa, A., Chana, A. P., Adabrea, M. A., Edwardsb, D. J., Hosseinic, M. R., & Ameyaw, E. E. (2020). Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*.
24. Datta, S. D., Sobuz, M. H., Ahmed, S., & Kar, M. (2024). Artificial intelligence and machine learning applications in the project lifecycle of the construction industry: A comprehensive review. *Heliyon*.
25. Decastro, R., & Bransden, N. (2026). *Making AI work for Europe*. Ipsos. Allikas: <https://www.ipsos.com/en-uk/making-ai-work-europe>
26. Di Stefano, G., Gambardellab, A., & Veronab, G. (2012). Technology push and demand pull perspectives in innovation studies: Current findings and future research directions. *Research Policy*, 41, , 1283-1295. Allikas: https://www.researchgate.net/profile/Giada-Di-Stefano/publication/228539119_A_Demand-Based_View_of_Technological_Innovation_A_Review_Conceptualization_and_Future_Research_Directions/links/54ad87fe0cf2828b29fcabb2/A-Demand-Based-View-of-Technological-Innov
27. Duarte, C. M., & Picchi, F. A. (2021). Key elements to enable systemic innovation in construction firms. *Ambiente Construido*, 21(4), lk 385-405.
28. Edgeworth, F. Y. (1881). *Mathematical Psychics: An Essay on the Application of Mathematics to the Moral Sciences*. London, Suurbritannia: C. Kegan Paul & Co.
29. Egwim, C. N., Alaka, H., Demir, E., Balogun, H., Olu-Ajayi, R. S., Wusu, G., . . . Muideen, A. A. (2024). Artificial Intelligence in the Construction Industry: A Systematic Review of the Entire Construction Value Chain Lifecycle. *Energies* 2024, 17, 182.
30. Ennen, E., & Richter, A. (2010). The whole is more than the sum of its parts—or is it? A review of the empirical literature on complementarities in organizations. *Journal of Management*, 36(1), 207-233.
31. European Commission. (2024a). *Netherlands: COUNTRY PROFILE – Benchmarking of national policy frameworks for innovation procurement*. European Union: PwC EU Services EESV. Allikas: <https://ec.europa.eu/assets/rtd/innovation-procurement/country-report-2024-policy-benchm-netherlands.pdf>
32. European Commission. (2024b). *Finland: COUNTRY PROFILE – Benchmarking of national policy frameworks for innovation procurement*. PwC EU Services EESV.

- Allikas: <https://ec.europa.eu/assets/rtd/innovation-procurement/country-report-2024-policy-benchm-finland.pdf>
33. Eurostat. (juuni 2025. a.). *Towards Digital Decade targets for Europe*. Allikas: Eurostat: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Towards_Digital_Decade_targets_for_Europe
34. Eurostat. (2026). Artificial intelligence by NACE Rev. 2 activity. Allikas: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_eb_ain2__custom_21381097/default/table
35. Foss, N. J., & Pedersen, T. (2002). Transferring knowledge in MNCs: The role of sources of subsidiary knowledge and organizational context. . *Journal of international management*, 8(1), 49-67.
36. Gama, F., & Magistretti, S. (2025). Artificial intelligence in innovation management: A review of innovation capabilities and a taxonomy of AI applications. *Journal of Product Innovation Management*, 42(1), 76-111.
37. Gao, Y., Liu, S., & Yang, L. (2025). Artificial intelligence and innovation capability: A dynamic capabilities perspective. *International Review of Economics & Finance*, 98, 103923.
38. Ghimire, P., Kim, K., & Acharya, M. (2023). Generative ai in the construction industry: Opportunities & challenges. *arXiv preprint arXiv:2310.04427*.
39. Goertzel, B. (2014). Artificial General Intelligence: Concept, State of the Art, and Future Prospects. *Journal of Artificial General Intelligence*.
40. Gomes, J. d. (2025). *A Framework for AI Implementation in Construction: Use Cases, Challenges, and Benefits for Contractors*. University of Kentucky.
41. Grimpe, C., & Kaiser, U. (2010). Balancing internal and external knowledge acquisition: the gains and pains from R&D outsourcing. *Journal of management studies* 47(8), 1483-1509.
42. Hemmer, P., Schemmer, M., Kühl, N., Vössing, M., & Satzger, G. (2025). Complementarity in human-AI collaboration: Concept, sources, and evidence. *European Journal of Information Systems*, 1-24.
43. Howard, J. (2019). Artificial intelligence: Implications for the future of work. *American Journal of Industrial Medicine*.
44. Hu, Y., L., W., Li, N., & Zhao, T. (2024). Multi-Agent Decision-Making in Construction Engineering and Management: A Systematic Review. *Sustainability*, 16(16), 7132.

45. Kabalisa, R., & Altmann, J. (2021). AI Technologies and Motives for AI Adoption by Countries and Firms: A Systematic Literature Review. rmt: K. Tserpes, J. Altmann, J. Á. Bañares, O. A. Ben-Yehuda, K. Djemame, V. Stankovski, & . Tuffin, *Economics of Grids, Clouds, Systems, and Services* (lk 39-51). Cham: Springer International Publishing.
46. Kor, Y. Y., & Mahoney, J. T. (2000). Penrose's Resource-Based Approach: The Process and Product of Research Creativity. *Journal of Management Studies*, 37(1), , 109–139.
47. Kõiv, S., & Remmelg, T. (06. 02 2026. a.). *Ehitusuudised*. Allikas: Ehitusfirmade Käibe TOP 100: 2025. aasta eristas võitjad ja kaotajad:
<https://www.ehitusuudised.ee/top/2026/02/03/ehitusfirmade-kaibe-top-100+2025-aasta-eristas-voitjad-ja-kaotajad>
48. Lam, A. (2004). Organizational Innovation. rmt: J. Fagerberg, D. Mowery, & R. Nelson, *Handbook of Innovation* (lk 1-45).
49. Lawson, B., & Samson, D. (2001). Developing innovation capability in organisations: a dynamic capabilities approach. . *International journal of innovation management*, 5(03), 377-400.
50. Leego, E., & Toomik, M.-L. (2021). *Eesti ettevõtete kasvu takistavad tegurid. [Magistritöö]*. Tartu Ülikool, Majandusteaduskond. Allikas:
<https://dspace.ut.ee/server/api/core/bitstreams/646e95d2-edb9-4dbf-937d-e161f2c9c888/content>
51. Liu, Y., Sun, J., Zhang, Z., Wu, M., Sima, H., & Ooi, Y. M. (2024). How AI impacts companies' dynamic capabilities: lessons from six Chinese construction firms. *Research-Technology Management*, 67(3), 64-76.
52. Love, J. H., & Roper, S. (1999). The determinants of innovation: R & D, technology transfer and networking effects. *Review of Industrial Organization*, 15(1), 43-64.
53. Love, J. H., Roper, S., & Vahter, P. (2014). Dynamic complementarities in innovation strategies. *Research policy*, 43(10), 1774-1784.
54. Love, P. E., Fang, W., Matthews, J., Porter, S., Luo, H., & Ding, L. (2023). Explainable artificial intelligence (XAI): Precepts, models, and opportunities for research in construction. *Advanced Engineering Informatics*.
55. March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science*, 2(1), , 71–87.

56. McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1955). Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. *AI Magazine*.
57. Meng, X., & Brown, A. (2018). Innovation in construction firms of different sizes: drivers and strategies. . *Engineering, construction and architectural management*, 25(9), , lk 1210-1225.
58. Milgrom, P., & Roberts. (1995). Complementarities and fit strategy, structure, and organizational change in manufacturing. *Journal of accounting and economics*, 19(2-3), 179-208.
59. Milgrom, P., & Roberts, J. (1990). The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization. *American Economic Review*, 80(3), 511–528.
60. Mischke, J., Stokvis, K., Vermeltfoort, K., & Biemans, B. (2024). *Delivering on construction productivity is no longer optional*. . McKinsey & Company.
61. Mohapatra, A., Mohammed, A. R., & Panda, S. (2023). Role of Artificial Intelligence in the Construction Industry – A Systematic Review. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*.
62. OECD. (2025). *AI adoption by small and medium-sized enterprises: OECD discussion paper for the G7*. OECD Publishing, Paris. doi:<https://doi.org/10.1787/426399c1-en>
63. OECD/Eurostat. (2005). *Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data*. Paris: OECD/Eurostat.
64. OECD/Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation, 4th Edition*. The Measurement of Scientific, Technological and Innovation. Paris/Eurostat, Luxembourg.
doi:<https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
65. Paris, M. (12. aprill 2025. a.). *Forbes*. Allikas: ChatGPT Hits 1 Billion Users? ‘Doubled In Just Weeks’ Says OpenAI CEO:
<https://www.forbes.com/sites/martineparis/2025/04/12/chatgpt-hits-1-billion-users-openai-ceo-says-doubled-in-weeks/>
66. Prieto, S. A., Mengiste, E. T., & Soto, B. G. (2023). Investigating the Use of ChatGPT for the Scheduling of Construction Projects. *Buildings*.
67. Rafsanjani, H. N., & Nabizadeh, A. H. (2023). Towards human-centered artificial intelligence (AI) in architecture, engineering, and construction (AEC) industry.

- Computers in Human Behavior Reports, 11, 100319. *Computers in Human Behavior Reports, 11, 100319.*
68. Rahandusministeerium. (2023). Riigihangete läbiviimise strateegilised põhimõtted. Allikas: https://www.fin.ee/sites/default/files/documents/2023-04/Riigihanked%20strateegilised%20p%C3%B5him%C3%B5tted_26042023.pdf
69. Regona, M., Yigitcanlar, T., Xia, B., & Li, R. Y. (2022). Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity.*
70. Roper, S., Du, J., & Love, J. H. (2008). Modelling the innovation value chain. *Research policy, 37*(6-7), 961-977.
71. Rosenberg, N. (1963). Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910. *The Journal of Economic History* ,, Vol. 23, No. 4, 414-443.
72. SA Pärnumaa Arenduskeskus. (19. juuni 2025. a.). *Pärnu uus ja Eesti kõige pikem sild on valmis*. Kasutamise kuupäev: 9.05.2026, allikas Pärnumaa: <https://parnumaa.ee/uudis/parnu-uus-ja-est-koige-pikem-sild-on-valmis/>
73. Schmiedeberg, C. (2008). Complementarities of innovation activities: An empirical analysis of the German manufacturing sector. *Research Policy, 37*(9), 1492-1503.
74. Solaimani, S., & Swaak, L. (2023). Critical success factors in a multi-stage adoption of artificial intelligence: A necessary condition analysis. *Journal of Engineering and Technology Management, 69*, 101760, lk 1-17.
75. Statistikaamet. (3. Märts 2026. a.). RAA0042: Lisandväärtus tegevusala järgi (ESA 2010) (kvartalid) [Andmebaas]. Allikas: [https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__rahvamajanduse-arvepidamine__sisemajanduse-koguprodukt-\(skp\)__sisemajanduse-koguprodukt-tootmise-meetodil/RAA0042/table/tableViewLayout2](https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__rahvamajanduse-arvepidamine__sisemajanduse-koguprodukt-(skp)__sisemajanduse-koguprodukt-tootmise-meetodil/RAA0042/table/tableViewLayout2)
76. Zeeshan, M. (2. september 2024. a.). *Alysed Construction*. Allikas: <https://alsyedconstruction.com/how-big-is-the-construction-industry-worldwide/>
77. Zhang, D. (2024). Who benefits from AI adoption? Skill complementarity and labour market dynamics. *Racing with AI: How complementarity shapes regional labour market outcomes and the future of work*, 117-174. Allikas: <https://research-portal.uu.nl/ws/portalfiles/portal/254165258/dongmiaothesisprint0302%20-%2067a224c1d02b0.pdf#page=129>

78. Zhang, R., Wang, Z., Tang, Y., & Zhang, Y. (2020). Collaborative innovation for sustainable construction: The case of an industrial construction project network. *Ieee Access*, 8, lk 41403-41417.
79. Zheng, J., & Fischer, M. (2023). Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search . *Automation in Construction*.
80. Zohuri, B. (2023). Artificial Super Intelligence (ASI) The Evolution of AI Beyond Human Capacity. *Current Trends in Engineering Science (CTES)*.
81. Zollo, M., & Winter, S. G. (2002). Deliberate learning and the evolution of dynamic capabilities. *Organization Science*, 13(3), 339–351.
82. Taiwo, R., Bello, I. T., Abdulai, S. F., Yussif, A. M., Salami, B. A., Saka, A., & Zayed, T. (2024). Generative AI in the Construction Industry: A State-of-the-art Analysis. *arXiv preprint 2402.09939*.
83. Teece, D. J. (1986). Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research policy*, 15(6), 285-305.
84. Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic management journal*, 18(7), 509-533.
85. Topkis, D. (1979). Equilibrium Points in Nonzero-Sum n-Person Submodular Games. *SIAM Journal on Control and Optimization Vol. 17, Iss. 6* , 773 - 787.
86. Turner, P. (2022). *Complementarity in Organizations: Strategy, leadership, management, talent and engagement in the fourth industrial revolution*. Springer Nature.
87. Uddin, S. M., Albert, A., Ovid, A., & Alsharef, A. (2023). Leveraging ChatGPT to Aid Construction Hazard Recognition and Support Safety Education and Training. *Sustainability*.
88. Vahter, P., & Vadi, M. (2024). The relationship of technological and organizational innovation with firm performance: Opening the black box of dynamic complementarities. *Technological Forecasting and Social Change*, 206, 123516, lk 1-20.
89. Wang, P. (1995). *Non-Axiomatic Reasoning System - Exploring the Essence of Intelligenec*. Indiana Univesity.
90. Wang, P. (2019). On Defining Artificial Intelligence. *Journal of Artificial General Intelligence*, 1-37.
91. Vayre, J.-S. (2018). Les machines à produire des futurs économiques. *Revue française de socio-economie*, no 21, 105-127. doi:10.3917/rfse.021.0105

92. Weiner, B. J. (2009). A theory of organizational readiness for change. . *Implementation Science*, 4, 67.
93. Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). *User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View*. MIS Quarterly.
94. Vives, X. (1990). Nash Equilibrium with Strategic Complementarities. *Journal of Mathematical Economics*, 19(3), 305–321.
95. Wuni, I. Y. (2025). Critical success factors for implementing artificial intelligence in construction projects: A systematic review and social network analysis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*.
96. You, H., Ye, Y., Zhou, T., Zhu, Q., & Du, J. (2023). Robot-Enabled Construction Assembly with Automated Sequence Planning Based on ChatGPT: RoboGPT. *Buildings*.
97. Young, D., Panthi, K., & Noor, O. (2021). *Challenges Involved in Adopting BIM on the Construction Jobsite*. EasyChair.

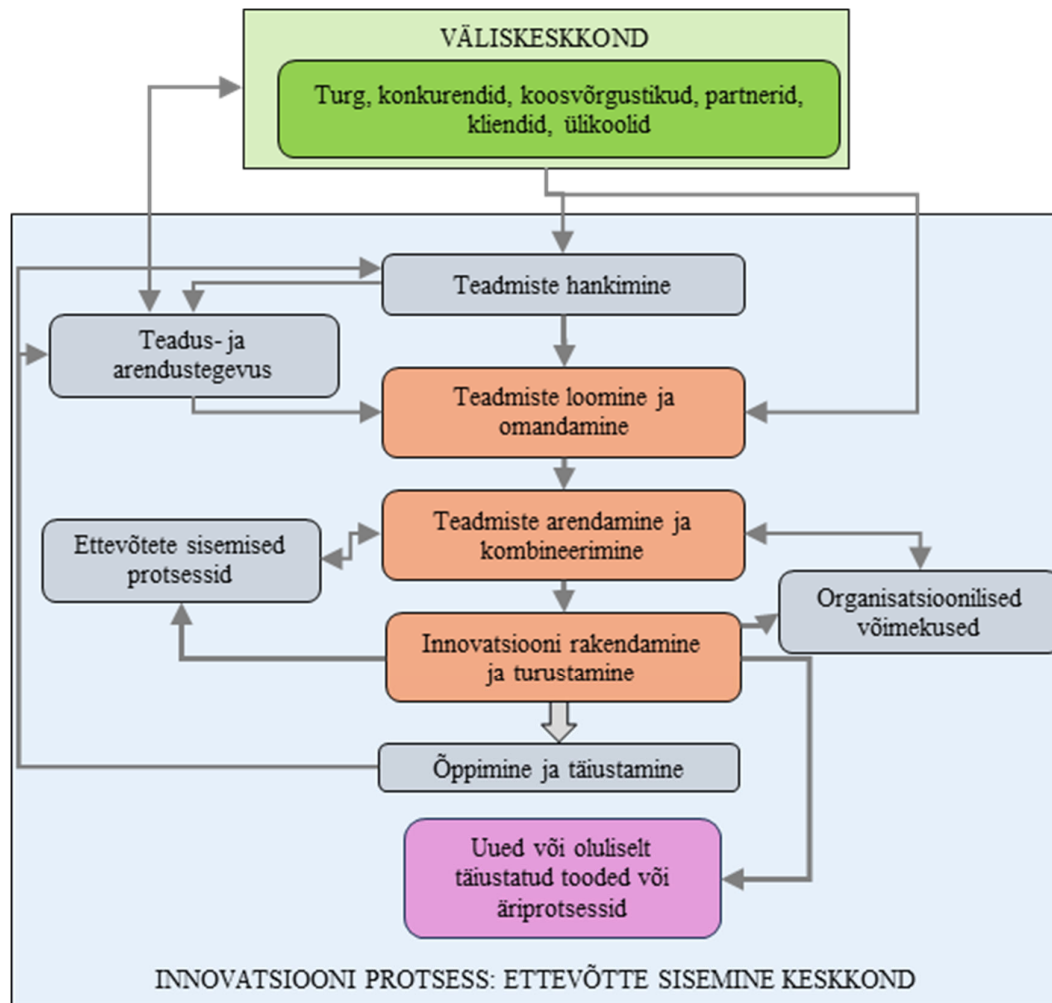
Lisad
LISA A

Innovatsioonitüüpide ülevaade

Oslo 2005 Innovatsiooni- tüüp	Oslo 2018 Innovatsioonitüüp	Lühikirjeldus	Mida hõlmab (näited / ulatus)
Toote- innovatsioon	Tooteinnovatsioon	Uue või oluliselt täiustatud kauba või teenuse turule toomine.	Uued tooted; täiustatud materjalid, komponendid, tarkvara; hõlmab kaupu ja teenuseid.
Protsessi- innovatsioon	Äriprotsesside innovatsioon	Tegevused, mis muudavad sisendid kaupadeks või teenusteks.	Uued tootmistehnikad, seadmed, tarkvara; kvaliteedijuhtimine.
Protsessi- innovatsioon	Äriprotsesside innovatsioon <i>↳ Jaotus ja logistika</i>	Transport, ladustamine ja tellimuste töötlemine	Transpordi ja -teenuse osutamine, ladustamine, tellimuste töötlemine
Turundus- innovatsioon	Äriprotsesside innovatsioon <i>↳ Turundus- ja müük</i>	Turundus- ja müügitegevused, sh reklaam, turu- uuringud, hinnastrateegiad ning müügi- ja klienditoe tegevused..	Brändimuutused, hinnakujundus, reklaamikanalid, toote turule viimine.
—	Äriprotsesside innovatsioon <i>↳ Info- ja kommunikatsiooni- süsteemid</i>	Info- ja kommunikatsioonisü- steemide haldamine ja hooldus, sh riist- ja tarkvara, andmetöötlus ning muud IT-teenused.	Riist- ja tarkvara haldamine, andmebaaside ja andmetöötluse korraldamine, süsteemide hooldus ja remont, veebimajutus ning muud IT-teenused.
Organisatsiooni- line innovatsioon	Äriprotsesside innovatsioon <i>↳ Administratsioon ja juhtimine</i>	Strateegiline juhtimine, haldus, finants- ja personalijuhtimine, hanked ning välissuhete haldamine.	Strateegiliste otsuste tegemine, tööülesannete korraldamine, raamatupidamine ja finantsjuhtimine, töötajate värbamine ja koolitamine, hangete korraldamine, suhtlus tarnijate ja partneritega.
—	Äriprotsesside innovatsioon <i>↳ Toote- ja äriprotsesside arendus</i>	Tegevused toodete ja äriprotsesside arendamiseks või kohendamiseks ettevõttes või väliste partnerite abil.	Uue toote arendamine, olemasoleva toote täiustamine, protsesside parandamine, uute tehnoloogiate kasutuselevõtt, prototüüpide testimine.

Allikas: Autori koostatud OECD/Eurostat, 2018; OECD/Eurostat, 2005 põhjal

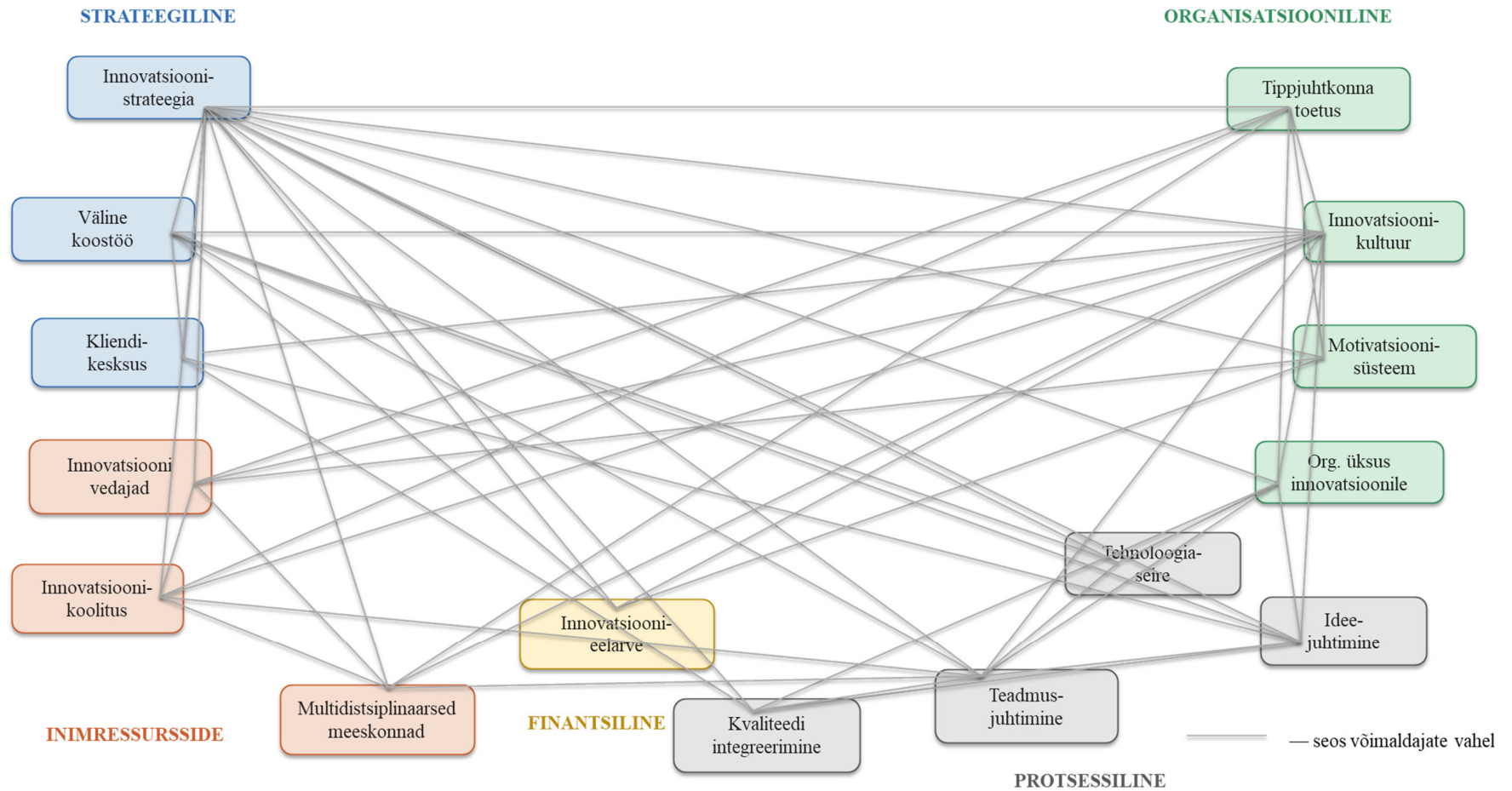
LISA B
Innovatsioooniprotsess



Allikas: Autor koostatud Roper, Du, & Love, 2008; Lam, 2004; Love & Roper, 1999; Cohen & Levinthal, 1989; OECD/Eurostat, 2018 baasil

LISA C

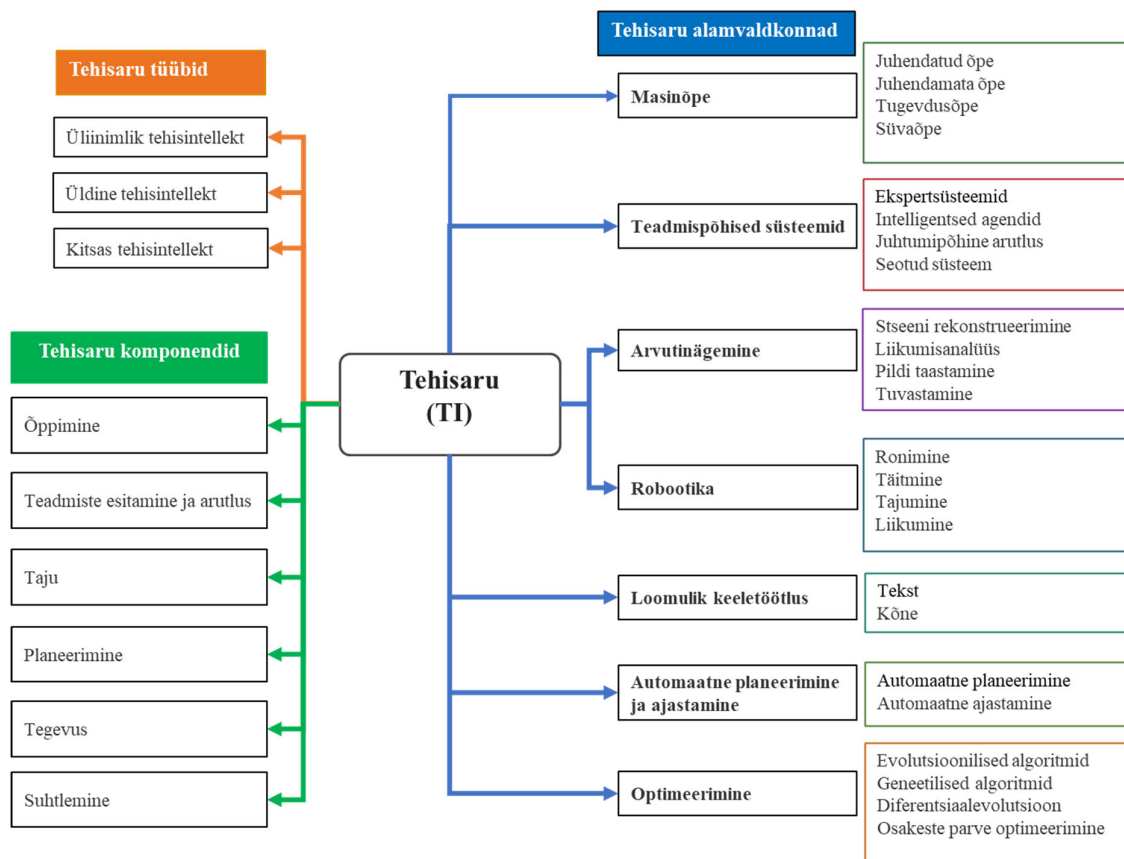
Innovatsiooni komplementaarsuse võimaldajad ehitusvaldkonna näitel



Allikas: Autori koostatud Claude AI abil Duarte & Picchi, 2021 põhjal

LISA D

Tehisaru komponendid, tüübid ja alamvaldkonnad



Allikas: Autori tõlgitud Abioye, et al., 2021 põhjal

LISA E
Intervjuude küsimustik

Strateegia ja AI

- 1) Milline on tippjuhtkonna roll AI kasutuselevõtul?
- 2) Kas ja kuidas olete AI kasutuselevõttu ettevõtte juhtimise strateegilisel tasandil käsitlenud?
- 3) Kas AI on seotud ettevõtte laiemate strateegiliste eesmärkidega või pigem üksikalgatus?
- 4) Mil moel olete AI innovatsiooni teemasid juhtimisvisioonis esile toonud?

Protsessid ja AI

- 1) Millised protsessid, andmed või tööviisid pidid AI kasutamiseks muutuma?
- 2) Kas need muudatused tehti teadlikult enne AI kasutuselevõttu või orgaaniliselt kasutamise käigus?
- 3) Milliseid muudatusi olete struktuurides sisse viinud seoses AI kasutamisega?
- 4) Milliseid rolle tuli AI tõttu muuta?

Kompetentsid ja AI

- 1) Mis vormis õppimine toimub mis puudutab AI kasutamist?
- 2) Kui palju tajute nõ shadow-AI kasutamist ettevõttes ja selle mõju kompetentsidele?
- 3) Kui palju olete andmete käitlemise ja analüütikaga seoses võtnud fookusesse uued kompetentsid?

Andmed ja AI

- 1) Kas ja kuidas olete seoses AI'ga andmete korrastamisega tegelenud?
- 2) Kas ja kuidas olete uuendanud oma IT-infrat seoses AI vajadustega?

Võrgustik ja AI

- 1) Kas AI rakendamisel lähtute ainult sisemisest võimekusest või olete kaasanud ka välist abi ja milleks?
- 2) Kas olete AI innovatsiooni rakendamise käigus süsteemselt laiendanud vastavate firmade ja kontaktide võrgustikku?

Institutsioonid ja AI

- 1) Kas olete kasutanud AI kasutuselevõtul mõnda universaalset (ühtlustatud) juhust või standardit kasutanud?
- 2) Kas ja millised institutsioonid on AI kasutuselevõtus tuge pakkunud (nt koolid, omavalitused, asutused, klastrid, liidud)

Järgnevus ja AI

- 1) Kas olete jaganud AI rakendamise innovatsiooni ka loogilisteks järgnevusteks(sammudeks)?
- 2) Millised varasemad (innovatsiooni)sammud on loonud hea stardipositsiooni AI innovatsiooni tegemiseks?

LISA F

Intervjuude kvalitatiivse sisuanalüüsi protsess

1. etapp - esmane tutvumine

Transkriptsioonide lugemine ja helisalvestiste kuulamine • esmane arusaam andmetest ja kontekstist

**2. etapp - kodeerimistabeli koostamine**

Struktuur põhineb innovatsiooni komplementaarsuse mudeli tasanditel ja 6 dimensioonil (joonis 5) • tulemus: Lisa E

**3. etapp - struktureeritud kodeerimine (ChatGPT)**

Iga intervjuu kodeeritakse eraldi
 Exceli tabel: intervjuu nr, peakategooria (dimensioon), kood, kategooria sisu, viide originaaltekstile, järeldus
 → valimi laiapindne, dimensioonipõhine ülevaade
 → võimaldab tuvastada korduseid, erinevusi ja tühimikke

4. etapp - juhtumipõhine süvaanalüüs (Claude AI)

Struktureeritud analüüsijuhend, raamistik ptk 1.1–1.3 ja joonis 5
 Iga intervjuu analüüsitakse eraldi, ilma võrdlusteta teistega
 6-sammuline analüüsistruktuur → juhtumi konteksti sügavus säilib
 → tsitaadid seotud tõlgendustega

**Ristkontroll ja valideerimine**

Kaks keelemudelit töötavad metodoloogilise ristkontrollina, võrreldakse tuvastatud mustreid ja tõlgendusi
 Autor kontrollib üksikanalüüsides tulemusi originaaltranskriptsiooni vastu
 Täiendav valideerimine autori vahetu intervjuukogemuse kaudu

**5. etapp - võrdlev süntees dimensioonide lõikes**

Exceli tabeli mustrid + juhtumipõhised süvaanalüüsid • Dialoog teoreetilise raamistikuga
 Iga dimensiooni juures kontrastne referentsjuhtum • Empiirilised järeldused seotud teooriaga

Allikas: Autori koostatud

LISA G
Intervjuude kodeerimistabel

Peakategooria	Alakategooria	Kood	Definitsioon / sisu
KONTEKST	Madal digitaliseeritus	KON-DIG	Ehitussektori üldine madal digitaalne küpsus
	Projektipõhisus	KON-PRO	Töö on korraldatud ühekordsete projektidena
	Killustunud andmed	KON-AND	Andmed hajutatud, ei ole integreeritud
	Ressursipiirangud	KON-RES	Piiratud aeg, raha, inimesed
	Regulatiivne surve	KON-REG	Seadusandlus ja nõuded
INNOVATS. EELDUSED	Innovatsioonivõimekus – absorbeerimisvõime	EEL-ABS	Varasem kogemus digilahenduste ja IT-integratsiooniga
	Innovatsioonivõimekus – strateegilised valikud	EEL-STR	Innovatsioonistrateegia, tippjuhi visioon, digiprioriteet
	Innovatsioonivõimekus – ressursid/kompetentsid	EEL-RES	Digipädevus, AI oskus, andmehaldus, investeerimisvõime
	Innovatsiooni ajendid – sisemised	EEL-AJS	Kulude vähendamine, juhtkonna valmidus, konkurentsivõime
	Innovatsiooni ajendid – välised	EEL-AJV	Klientide nõudlus, konkurents, regulatsioon
	Organisatsiooniline valmisolek	EEL-VAL	Töötajate avatus, skaleerimisvõime, kommunikatsioon, varasem muutuste kogemus
	Innovatsiooni võimaldajad	EEL-VÕI	Juhtkonna toetus, standardid, IT-taristu, koolitused, partnerlus
	Strateegia ja visioon	KOM-STR	Innovatsioonistrateegia, tippjuhi toetus, strateegiline suund
	Organisatsiooni struktuur ja kultuur	KOM-ORG	Projektipõhine org., rollid, otsustusstruktuur
	Ressursid ja komplementaarvarad	KOM-RES	IT-infrastruktuur, andmeplatvormid, finants- ja kompetentsiressursid
KOMPLEMENT. VÕIMEKUSED	Organisatsioonilised võimekused	KOM-VÕI	Absorbeerimisvõime, digipädevus, kriitiline hindamisoskus
	Organisatsioonilised praktikad	KOM-PRA	Andmejuhtimine, standardsed protsessid, analüütiline töö
	Võrgustikud ja väline teadmus	KOM-VÕR	Projektivõrgustik, partnerlus, teadmiste levik, koostöömodelid
	Protsess	TUL-PRO	Kiirem projekteerimine, vähem vigu, optimeerimine, viivituste vähenemine
	Digitaalsed teenused ja lahendused	TUL-DIG	AI rakendused, analüütikapõhised otsused
TULEMUSLIKKUS	Ettevõtte tulemus	TUL-ETT	Konkurentsieelis, kasvupotentsiaal, investeeringud, majanduslik väärtus
	Tagasisidetsükkel	TAG-SID	Tulemuste mõju eeldustele (õppimine, kohandumine)

Allikas: Autori koostatud joonis 5 mudeli põhjal

LISA H

Eesti ehituse tehisaru komplementaarsus: tugevused ja nõrkused

Dimensioon	Tugevused	Nõrkused
Kontekst	Tööjõupuudus loob selge ja püsiva innovatsioonisurve; kasvav bürokraatia tekitab kaudse tehisaru ajendi	Kolmikbarjäär: innovatsioonieelarve puudub, ROI hindamatu, tippjuhi aeg puudub; projektipõhisuse löks blokeerib teadmuse leviku; latentsete varade paradoks kõigis ettevõtetes
Absorbeerimisvõimekus	Ettevaatav IT-arhitektuur (masinloetavus enne tehisaru tulekut) = tugevaim latentne eelise allikas; struktureeritud jagamismehhanismid kasvavad absorbeerimisvõimekust aktiivselt	Kahetasandiline lõhe — teadmus jääb enamasti individuaaltasandile; kõrge absorbeerimisvõimekus ei garanteeri komplementaarsust
Strateegia ja visioon	Üksikutes ettevõtetes konkreetne äriplane eesmärk (nt 30% ehitusaja lühendamine) seob tehisaru teiste dimensioonidega	Enamasti loosungi tasemel — eesmärgid, vastutajad ja mõõdikud puuduvad; visiooni-rakenduse lõhe universaalne
Innovatsiooni ajendid	Valupõhised ajendid (hankedokumentatsioon, garantiiosakond, eelarvestamine) on konkreetsed ja tulemustele orienteeritud	Kaitsev motivatsioon domineerib — “säilita tootlikkust” mitte “kasva”; FOMO-põhised ajendid viivad eufooria-pettumus tsükklisse
Organisatsiooniline valmisolek	Üldine avatus tehisarule positiivne; eesjooksjad eksisteerivad praktiliselt igas organisatsioonis; ShadowAI on kanaliseerimisvõimalus	Avatus on potentsiaal, mitte käitumismuutus; projektipõhisuse ületamine eeldab kultuurilist muutust, mitte ainult struktuuri; skaleerimisvõimekus madal
Juhtkonna toetus ja kultuur	innovatsioonikultuuriga ettevõtted adopteervad tehisaru kiiremini; delegeeritud innovatsioon (koordineerija roll) vabastab tippjuhi ajapiirangust	Filosoofiline avatus + operatiivne passiivsus = kõige levinum muster; innovatsioonivedaja roll puudub enamikes ettevõtetes
Standardiseeritud protsessid	Osakonnaspetsiifiline standardiseerimine (garantiiosakond) = toimivim mudel	Universaalseim puudujääk — ühtki projektiülest protsessistandardit praktiliselt ei eksisteeri; standardite puudumine blokeerib skaleerimise
IT-taristu ja andmeplatvormid	Avatud liidesed (API) on olemas ja tuvastatud; üksikutes ettevõtetes masinloetavuse põhimõttel kujundatud taristu	Platvormide killustatuse tõttu manuaalne andmete liigutamine; andmeturve kaalutlused piiravad platvormi valikuid; latentsete varade kättesaamatul kujul
Digipädevus ja võimekused	Kõrge pädevusega kasutajad rakendavad analüütikat (geoloogia, mahud, projekteerimine); kriitilise hindamisoskusega insenerid valideerivad instinktiivselt	Kriitiline hindamisoskus erosiooniriskis laialdase kasutuse kasvades; madal pädevus piirab kasutust tekstipõhisele tasemele
Andmejuhtimine ja praktikad	Üksikud näited retrospektiivanalüüsist (lõpukoosolekute protokollid); osakonnastandardid toimivad seal, kus loodud	Universaalselt kõige nõrgem dimensioon; mõõdikud puuduvad täielikult — blokeerib tagasisidettsükli ja kumulatiivse komplementaarsuse
Koolitused	Üksikutes ettevõtetes ehitusspetsiifiline sektoriekspert organisatsiooni sees = tõhusam mudel	Üldkoolitused loovad entusiasmi, ei muuda käitumist; ehitusspetsiifilises puudub turul; koolituste transfer protsessidesse ebaõnnestub süsteemselt
Võrgustikud ja partnerlus	Kodumaised valdkondlikud iduettevõtted = toimivaimad partnerid; vastastikune väärtusloogika koostöös toimib	Turu-ebaõnnestumine — ehitusspetsiifilised AI partnerid praktiliselt puuduvad; sektoriülene teadmusvahetus minimaalne; samad vead korduvad iseseisvalt; institutsioonid puudulikud
Tulemuslikkus	Konkreetsed tulemused: 2 päeva → 2 tundi (hankedokumentatsioon); 2 kuud kiiremini (ettevalmistus); garantiiosakond 2 inimest vs. konkurentide terved osakonnad	Ettevõtte tasandi tulemused mõõtmata universaalselt; automatiseerimine harv; analüüsandmetel põhised otsused kõige vähem arenenud; majanduslik väärtus dokumenteerimata

Allikas: Autori koostatud 12 süvaintervjuu empiirilise analüüsi põhjal kasutades Claude tehisaru vahendit.

Summary

INNOVATION COMPLEMENTARITY FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE ADOPTION: THE CASE OF THE ESTONIAN CONSTRUCTION SECTOR

Gerda-Annika Laager

This thesis examines why artificial intelligence (AI) fails to deliver measurable value in the construction sector even where the technology is accessible. The construction industry is the world's largest by output, yet among the slowest to digitalise, provides a particularly revealing empirical context for the productivity paradox. While prior research has addressed either the technical potential of AI or isolated barriers to digitalisation, a systematic analysis of the organisational conditions enabling AI value creation has been lacking. The thesis fills this gap by integrating the theory of innovation complementarity with empirical analysis of AI adoption in Estonian construction enterprises. The aim is to formulate proposals for the more effective adoption of AI by analysing qualitative interview data through an innovation complementarity model. The thesis develops two theoretical contributions: a six-dimensional framework of innovation complementarity elements adapted to the construction sector, and a five-tier innovation complementarity model that extends the framework with context level. The empirical study comprises twelve semi-structured interviews with senior executives of Estonian construction enterprises, complemented by a contrasting reference case from the infrastructure sector. Data were coded across five levels: context, prerequisites, capabilities, performance, and learning cycles. The analysis demonstrates that complementarity fails to emerge in most cases not from the absence of technology but from systemic misalignment. Contextual constraints, prerequisite chain breaks, foundational misalignment, unmeasured performance, and interrupted learning cycles together explain why isolated applications do not develop into organisational capability. The synthesising analysis offers three theoretical conclusions. First, the thesis proposes a complementarity activation threshold hypothesis: the simultaneous presence of four elements including structured data management; a dedicated innovation leader; an identified concrete pain point; and managerial support at the resource level appears necessary to trigger self-reinforcing complementarity. Second, three pathways to complementarity are distinguished (culturally embedded, pain-driven pragmatic, and strategically directed), of which only the pain-driven pathway emerges in the sample. Third, defensive innovation motivation is identified as the systemic frame explaining the sector's slowness: enterprises approach AI through the logic of preserving existing productivity with fewer resources rather than growing through innovation, which precludes systemic transformation. The principal theoretical contribution is the demonstration that the AI

complementarity problem is not technological but one of motivation quality. Better tools and broader training alone cannot resolve it. The practical contribution comprises eight proposals across four target groups: management (data readiness audit, dedicated innovation leadership, measurement framework); innovation leaders (pain-driven piloting, channelling shadow AI use into organisational learning); department heads (function-based standardisation); human resources (training tied to tasks and follow-up); and industry associations and the public sector (sectoral knowledge networks). Each recommendation is effective only as part of an aligned whole, since complementarity emerges from simultaneous coordinated transformation, not from the addition of isolated elements.

Keywords: innovation complementarity, artificial intelligence, construction sector, digitalisation, organisational change, dynamic capabilities, absorptive capacity.

CERCS codes: S190 Management of enterprises; S191 Market study; T120 Systems engineering, computer technology.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Gerda-Annika Laager

(autori nimi)

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

Innovatsiooni komplementaarsus tehisaru rakendamise näitel Eesti ehitusvaldkonnas
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Kaasprofessor Eneli Kindsiko

(juhendaja nimi)

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Gerda-Annika Laager
19.05.2026