



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**EESTI KORTERELAMUTE
RENOVEERIMISE TEADMUSPÕHINE
KONFIGUREERIMISEKSPERTSÜSTEEM (TeKES)**

**KNOWLEDGE-BASED CONFIGURATION EXPERT SYSTEM
FOR RENOVATING ESTONIAN APARTMENT BUILDINGS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Joosep Viik

Üliõpilaskood: 177463

Juhendaja: Ergo Pikas

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

30. aprill 2024

Autor:

.....
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

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

Juhendaja:

.....
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....
/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, **Joosep Viik**,

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

Eesti korterelamute renoveerimise teadmuspõhine konfigureerimisekspertsüsteem (TeKES),

mille juhendaja on Ergo Pikas

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

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

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

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

30. aprill 2024

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: **JOOSEP VIIK**

Üliõpilaskood **177463**

Õppekava: **EAEI02 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine**

Peeriala: Ehitiste projekteerimine

Lõputöö teema:

EESTI KORTERELAMUTE RENOVEERIMISE TEADMUSPÕHINE KONFIGUREERIMISEKSPERTSÜSTEEM (TEKES)

Knowledge-based Configuration Expert System For Renovating Estonian Apartment Buildings

Juhendaja: **Ergo Pikas**

ergo.pikas@taltech.ee

Lõputöö konsultandid:

Tiitel või ametikoht, Ees- ja
Perekonnanimi

Kontakt (e-post või
telefon)

Allkiri ja kuupäev

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Renoveerimisprotsessi digitaliseerimise kontseptsioonide ja lahenduste ülevaade
2. Renoveerimistööde kavandamise configureerimiseksperitsüsteemi kontseptsiooni ja prototüübi väljatöötamine
3. Renoveerimise configureerimiseksperitsüsteemi kasu hindamine renoveerimise algatajale ja tehnilisele konsultandile

Töö keel: eesti keel

Lõputöö etapid ja ajakava:

Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1. Kirjanduse ülevaade ja lähteülesande püstitamine	01.11.2023
2. Loodava lahenduse ärianalüüs	01.11.2023
3. Konfiguraatori analüüs ja kavandamine	15.01.2024
4. Konfiguraatori arendamine	01.03.2024
5. Konfiguraatori testimine	31.03.2024
6. Tulemuste analüüs ja lõputöö vormistamine	30.04.2024

Lõputööde ülevaatus, mille läbimine on kaitsmise eelduseks

06.05.2024

Esitlusmaterjalid kaitsmisel: Powerpoint esitlus ja jaotusmaterjalid

Kirjeldus	Tähtaeg
1 Esitlus ja jaotusmaterjalid	20.05.2023

Lõputöö esitamise tähtaeg: 20. mai 2024

Plagiaadikontrolli läbinud lõputöö digiallkirjastatakse autori, juhendaja(te), konsultandi(tide) ja kaitsmiskomisjoni esimehe poolt. Paberil pole vaja allkirju koguda.

Lõputöö ülesanne välja antud: 01.09.2023

Juhendaja: **Ergo Pikas**

Ülesande vastu võtnud: **Joosep Viik**

Avalikustamise piirangu tingimused: puuduvad

EESSÕNA

Käesolev lõputöö on inspireeritud Eesti eelseisvast renoveerimislainest ja soovist panustada Eesti elukeskkonna parandamisse.

Soovin tänada lõputöö juhendajat Ergo Pikast, kelle julgustuse ja toeta poleks käesoleva uurimistöö teema sündinud ning kelle mõtted, ideed, soovitused ja tagasiside olid alati aja- ja asjakohased.

Samuti soovin tänada lõputöö prototüüpi testinud Anvar Kima, Kristo Tuult, Igor Onkelit, Lauri Suud ja Kalle Kuuske. Tänan ka Targo Kalameest, Elisa Ilistet ja Erki Eessaart nende väärtuslike soovituste ja abi eest töö koostamisel.

ANNOTATSIOON

Eesti viimase rahvaloenduse andmetel elab keskmine eestlane 1974. aastal valminud paneelkorterelamus. Sarnased korterelamud, mis on ehitatud perioodil 1961-1990, moodustavad suurima osa Eesti eluasemefondist. Need ehitised on projekteeritud 50 aastase kasutuseaga ning on valdavas osas tänaseks nii füüsiliselt kui ka moraalselt vananenud, mistõttu vajavad need üha rohkem hooldus- ja renoveerimistõid.

Eestis on seatud pikaajaline eesmärk renoveerida 2050. aastaks terviklikult kõik enne 2000. aastat ehitatud hooned vähemalt energiatõhususe klassi C. See eesmärk eeldab, et Eesti iga-aastane renoveerimismaht peab oluliselt suurenema. Et renoveerimist kiirendada, pakub riigi SA KredEx rahalisi toetusi, mis katavad märkimisväärse osa renoveerimise maksumusest. Ent vaid rahast ei piisa, kuna lisaks majanduslikele barjääridele muudavad renoveerimise ettevõtmise keeruliseks ka mitmed teised tegurid nagu spetsialistide puudus, regulatiivsed takistused, kaasatavate isikute suur hulk jpt.

Renoveerimine on keeruline protsess, mis hõlmab mitmete erinevate spetsialistide ekspertteadmisi. Protsessi selgitamine ja renoveerimisvõimaluste kirjeldamine tellijale on keeruline ja aeganõudev. Samal ajal on Eestis aina kasvav renoveerimise alane tehniline kompetents ning arenevad digitaalsed tööriistad nagu EHR, Eesti digikaksik ja RESTO tööriist. Selleks, et Eesti pikaajaline eesmärk täita on vaja mitmekülgset tuge mitte-professionaalsele projekti algatajale, et ta oskaks renoveerimist tellida ja et korteriühistu suudaks aegsasti konsensuslikki otsuseid langetada.

Käesoleva magistritöö eesmärk on välja töötada lahenduse kontseptsioon mitte-ekspertidest renoveerimisprotsessi algatajale, et teda korterelamu renoveerimise lähteülesande loomisel toetada. Töoga luuakse renoveerimise teadmuspõhine konfigureerimisekspertsüsteem (TeKES), mis aitab erinevaid renoveerimisvõimalusi läbi mängida, neid analüüsida ning seeläbi renoveerimisele võimalikult konkreetne ja kvaliteetne lähteülesanne luua. Ühtlasi pakub loodav süsteem raamistiku olemasolevate renoveerimisalaste akadeemiliste teadmiste ja digitaalsete tööriistade kokku toomiseks.

Töös kasutatakse disainiteaduse metoodikat (*Design Science Research*), kuna see keskendub praktilise, innovaatilise lahenduse väljatöötamisele ja testimisele, mille eesmärk on konkreetse probleemi lahendamine. Uurimistöö tulem on renoveerimise algatamise toetava süsteemi kontseptsioon ja selle prototüüp. TeKES töötatakse välja Ehitusregistri (EhR) ja Eesti digikaksiku andmete toetudes ja selle prototüüp põhineb Eesti 1961-1990. aastatel ehitatud kivikonstruktsioonist korterelamute tüpoloogial [1]. Prototüübi loomisel on kasutatud insenerirakenduste platvormi VIKTOR.ai, tarkvara Rhino 7 ja Grasshopper ning Python 3.11 programmeerimiskeelt.

Töö koosneb neljast peamisest osast. Esimene peatükk on laiendatud sissejuhatus, kus antakse ülevaade töö taustast ja motivatsioonist, töö eesmärkidest, kasutatavast metoodikast ja töö ülesehitusest. Teises peatükis antakse kirjanduse ülevaade renoveerimisprotsessist, selle osapooltest ja väljakutsetest, tehisarust, ekspert-süsteemidest, teadmussüsteemidest ja konfigureerimissüsteemidest. Kolmandas peatükis käsitletakse lahendusele seatavaid nõudeid, määratletakse TeKES-i kontseptsioon ja arhitektuur, luuakse kontseptsiooni prototüüp ja demonstreeritakse seda praktikas. Neljandas peatükis hinnatakse ja analüüsitakse töö tulemust.

Võtmesõnad: renoveerimine, teadmussüsteemid, ekspertsüsteemid, konfigureerimissüsteemid, kivikonstruktsioonist korterelamud, Eesti tüpologia, magistritöö

ABSTRACT

According to the latest Estonian census, the average Estonian lives in a panel apartment building built in 1974. Similar apartment buildings, constructed during the period 1961-1990, comprise the largest portion of Estonia's residential built environment. These buildings were designed with a 50-year service life and are now becoming physically and morally outdated, thus requiring increasingly more maintenance and renovation.

Estonia has set a long-term goal to fully renovate all its buildings constructed before the year 2000 to energy efficiency class C or better by 2050. Achieving this goal requires a significant increase in Estonia's annual renovation pace. To accelerate renovation, the local KredEx Foundation offers financial grants that can cover a substantial portion of the renovation costs. However, funding alone is not enough to encourage renovation as there are many additional barriers that hinder the process, such as the difficulty of achieving consensus among apartment owners, regulatory obstacles, a shortage of specialists and others.

Renovation is a complex process that involves the expertise of various specialists. Explaining the process and describing renovation options to clients is challenging and time-consuming. Meanwhile, Estonia is experiencing growing technical competence in renovation and has many helpful digital tools and platforms such as the Estonian Register of buildings (EhR) and the Estonian Digital Twin. To fulfil Estonia's long-term goal, comprehensive support is required for non-professional project initiators so that they can more efficiently make timely consensual decisions in apartment associations and initiate the renovation process.

The aim of this master's thesis is to develop a conceptual solution for non-expert initiators of the renovation process, to support them in formulating a precise and reliable design task for apartment building renovations. In this thesis a conceptual knowledge-based configuration expert system (TeKES) is described, which allows for simulating and analysing common renovation options, and thereby helps to create a concrete and high-quality assignment for renovation design. Additionally, the system provides a framework for integrating existing academic knowledge and digital tools on renovation.

The Design Science Research (DSR) methodology is used, focusing on developing and testing a practical, innovative solution to solve a specific problem. The outcome of the research is a conceptual solution and its prototype. The artefact is based on data from the Estonian Register of buildings (EhR) and the Estonian Digital Twin. The prototype is based on the typology of Estonian stone and concrete-panel apartment buildings built

between 1961 and 1990. To create the prototype, the engineering applications platform VIKTOR.ai was used, along with Rhino 7, Grasshopper, and Python 3.11.

The thesis consists of four main parts. The first chapter is an extended introduction, providing an overview of the background and motivation for the work, the objectives, methodology, and structure of the thesis. The second chapter provides a literature review of the renovation process, its stakeholders and challenges, artificial intelligence, expert systems, knowledge-based systems, and configuration systems. The third chapter addresses the requirements set for the solution, defines the TeKES concept and architecture, describes the creation of the prototype, and demonstrates it in practice. The fourth chapter evaluates and analyses the results of the thesis.

Keywords: renovating, knowledge-based systems, expert systems, configuration systems, apartment buildings, Estonian typology, master's thesis

SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	13
1. SISSEJUHATUS	14
1.1 Taust ja probleem.....	14
1.2 Eesmärk ja uurimisküsimused	14
1.3 Metoodika ja lähteandmed	15
1.4 Töö ülevaade	18
2. TEOREETILINE RAAMISTIK	19
2.1 Eesti elamufondi renoveerimine	19
2.1.1 Renoveerimise olulisus.....	19
2.1.2 Eesti elamufond ja tüpologia	21
2.1.3 Renoveerimisprotsess ja seotud osapooled.....	23
2.1.4 Renoveerimise väljakutsed	25
2.2 Konfigureerimissüsteem ja tehisaru.....	28
2.2.1 Tehisaru	28
2.2.2 Teadmussüsteem	30
2.2.3 Ekspertsüsteem	32
2.2.4 Konfigureerimissüsteem	34
2.3 Kirjanduse analüüsi tulemuste süntees	37
3. RENOVEERIMISE KONFIGURAATOR	40
3.1 Nõuded loodavale lahendusele.....	40
3.2 Konfiguraatori arhitektuur ja disain	42
3.2.1 Kasutajaliides.....	44
3.2.2 Järeldusmootor	46
3.2.3 Teadmusbaas.....	49
3.2.4 Sarnased süsteemid	54
3.3 Prototüübi arendamine.....	55
3.4 Testimine	58
3.4.1 Testimise metoodika kirjeldus	58
3.4.2 Probleemistiku lühituvustuse etapp	60
3.4.3 Lahenduse iseseisva katsetamise etapp.....	61
3.4.4 Lahenduse kontseptsiooni tutvustamise etapp	63
3.4.5 Edasiarenduste ettepanekud ja muud lahendused	65
4. HINDAMINE.....	67
4.1 Eesmärkidele ja nõuetele vastavus	67

4.2 Piirangud ja edasiarendused	69
4.3 Võrdluses teiste töödega.....	70
KOKKUVÕTE	72
SUMMARY	74
KASUTATUD MATERJAL.....	76
LISA 1. RENOVEERIMISPROTSESSIGA SEOTUD OSAPOOLTE KAARDISTUS.....	79
LISA 2. KONTSEPTUAALNE KONFIGUREERIMISMUDEL	80
LISA 3. KASUTAJALIIDESE KUVATÕMMIS	81
LISA 4. ARENDUSKESKKONNA KUVATÕMMIS.....	82

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Lühend	Eesti keeles	Inglise keeles
EhR	Eesti riiklik ehitisregister	
RESTO	Renoveerimisstrateegia tööriist	
KHG	Kasvuhoonegaasid	<i>Greenhouse gases</i>
KÜ	Korteriühistu	
PTV	Peatöövõtja	<i>General contractor</i>
ATV	Alltöövõtja	<i>Subcontractor</i>
ETA	Energiatõhususarv	
KEK	Kaalutud energiakasutus	
MKM	Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium	<i>Ministry of Economic Affairs and Communications</i>
AI; TI	Tehisar, tehisintellekt	<i>Artificial intelligence</i>
ML	Masinõppimine, masinõpe	<i>Machine learning</i>
NLP	Loomuliku keele töötlus	<i>Natural language processing</i>
DL	Sügavõpe	<i>Deep learning</i>
ES	Ekspertsüsteem	<i>Expert system</i>
TS	Teadmussüsteem	<i>Knowledge-based system</i>
TeKES	Teadmuspõhine konfigureerimisekspertsüsteem	<i>Knowledge-based configuration expert system</i>
DSR	Disainiteaduste meetodika	<i>Design Science Research</i>
FURPS	Funktsionaalsus, kasutatavus, töökindlus, jõudlus ja toetatavus	<i>Functionality, usability, reliability, performance and supportability</i>

Infotehnoloogiline sõnavara on kooskõlas standardiga EVS-ISO/IEC 2382-28:1998.

1. SISSEJUHATUS

1.1 Taust ja probleem

Eesti viimase rahvaloenduse andmetel elab keskmine eestlane 1974. aastal valminud paneelkorterelamus [2]. Sarnased korterelamud, mis on ehitatud perioodil 1961-1990, moodustavad suurima osa Eesti eluasemefondist [3]. Need ehitised on projekteeritud 50 aastase kasutuseaga ning on valdavas osas tänaseks nii füüsiliselt kui moraalselt vananenud, mistõttu vajavad need järjepidevalt aina rohkem hooldus- ja renoveerimistõid.

Eestis on seatud pikaajaline eesmärk renoveerida 2050. aastaks terviklikult kõik enne 2000. aastat ehitatud hooned vähemalt energiatõhususe klassi C. See eesmärk eeldab, et Eesti iga-aastane renoveerimismaht peaks tipphetkel olema 5 korda suurem kui täna. Et renoveerimist kiirendada, pakub KredEx rahalisi toetusi, mis katavad märkimisväärse osa renoveerimise maksumusest. Ent vaid rahast ei piisa, kuna lisaks majanduslikele barjääridele muudavad renoveerimise ettevõtmise keeruliseks ka mitmed teised tegurid. Väljakutsed on näiteks kaasatavate korteriomanike arv ja korteriühistusisese konsensususe leidmise raskus, regulatiivsed takistused, spetsialistide puudus jpt.

Renoveerimine on keeruline protsess, mis hõlmab mitmete erinevate spetsialistide ekspertteadmisi. Protsessi selgitamine ja renoveerimisvõimaluste kirjeldamine tellijale on keeruline ja aeganõudev. Renoveerimise mahu suurenedes on inimestel tarvis aina rohkem abi renoveerimiseks vajalike sisendite hindamisel ja otsuste langetamisel. Selleks, et Eesti pikaajaline eesmärk täita, on vaja mitmekülgset tuge mitte-professionaalsele projekti algatajale, et ta oskaks renoveerimist tellida ja et korteriühistus suudaks aegsasti kaalutletud ja konsensuslikki otsuseid langetada.

1.2 Eesmärk ja uurimisküsimused

Käesoleva magistr töö eesmärk on välja töötada tööriist renoveerimisprotsessi mitte-ekspertdist algatajale, et teda kivikonstruktsioonist korterelamu renoveerimise lähteülesande loomisel toetada. Tööga luuakse teadmuspõhise konfigureerimisekspertsüsteemi (TeKES) kontseptsioon ja prototüüp, mis aitab valida ja analüüsida kivikonstruktsioonist korterelamute renoveerimislahendusi ja koostada võimalikult konkreetne ja kvaliteetne sisend nende renoveerimise lähteülesande loomiseks. TeKES on tehisarvuti alamilik ja arvutisüsteem, mis aitab üksikkomponendid mingi konkreetse eesmärgi järgi ja ekspertteadmisi kasutades tervikuks kokku panna.

Ühtlasi pakub loodav süsteem raamistiku olemasolevate renoveerimisalaste akadeemiliste teadmiste ja digitaalsete tööriistade kokku toomiseks.

Konfiguraator töötatakse välja Ehitusregistri (EhR) ja Eesti digikaksiku andmetele toetudes ja see põhineb Eesti tehiskivi korterelamute tüpoloogial [1]. Uurimistöö eesmärgi täitmiseks on püstitatud järgmised uurimisküsimused:

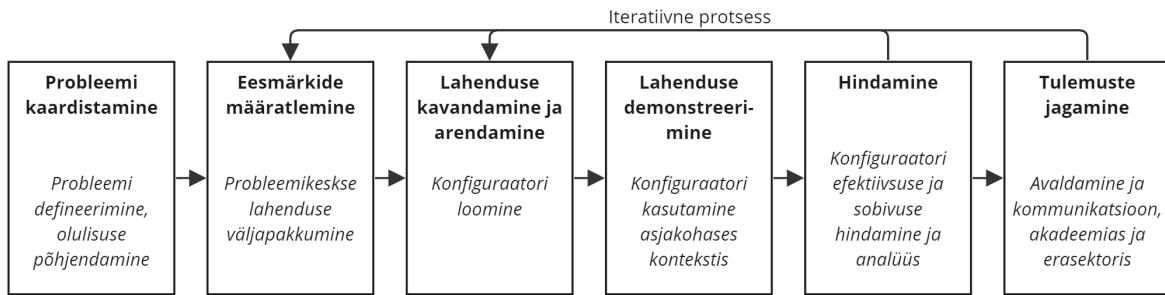
1. Mis on tänased suurimad väljakutsed renoveerimisprojektide algatamisel?
2. Missugune süsteemi arhitektuur on sobilik konfiguraatori tööriista loomiseks?
3. Millised on funktsionaalsed nõuded renoveerimise konfiguraatori tööriistale?
4. Missugust lähteinfot on vaja, et luua renoveeritud tehiskivi korterelamu konfiguratsioon?
5. Kuidas toetab renoveerimise konfiguraator renoveerimise algatajat nende väljakutsete ületamisel ja renoveerimisprojekti lähteülesande loomisel?

1.3 Metoodika ja lähteandmed

Töös kasutatakse disainiteaduse metoodikat (*Design Science Research, DSR*), kuna keskendutakse praktilise ja uudse lahenduse loomisele, mille eesmärk on konkreetse probleemi lahendamine. Lõputöö käigus luuakse infotehnoloogiline prototüüp, mida testitakse ja täiustatakse iteratiivselt.

Disainiteaduse metoodika on interdistsiplinaarne uurimismeetod, mis keskendub innovaatiliste lahenduste loomisele praktiliste probleemide lahendamiseks, tuginedes seejuures juba olemasolevatele teadmistele. Erinevalt traditsioonilistest teadusmetoodikatest, mis keskenduvad peamiselt teadmiste loomisele ja olemasoleva maailma mõistmisele, luuakse DSR metoodikaga uudne tehisasi, mis aitab lahendada konkreetset praktilist probleemi. Selle protsessi käigus genereeritakse uusi teadmisi, mis on kasulikud nii praktikas kui ka teaduses. [4]

Käesolevas magistritöös on kasutatud infosüsteemide kavandamiseks kohandatud Peffers *et al* DSR metoodikat [5], mis jaotab protsessi kuueks erinevaks etapiks: (1) probleemi kaardistamine ja olulisuse põhjendamine, (2) eesmärkide määratlemine, (3) lahenduse kavandamine ja arendamine, (4) lahenduse demonstreerimine, (5) hindamine ja (6) tulemuste jagamine. DSR protsessis tehakse tavaliselt läbi mitu iteratsiooni (vt **Joonis 1**). [4]



Joonis 1. Disainiteaduste metoodika protsessimudel. [4]

Uurimistöö esimeses, probleemi kaardistamise etapis (1), antakse põhjalik kirjanduse ülevaade. Etapis määratletakse võimalikult selgelt ja täpselt, millist praktilist probleemi lahendada hakatakse ning kaardistatakse võimalikke lahenduste kontseptsioone. [4]

Pärast probleemi mõistmist seatakse selged ja saavutatavad eesmärgid, mida pakutav lahendus peab täitma. Etapis (2) otsustatakse, millistele nõuetele loodav tehisasi peab vastama, et probleemi tõhusalt lahendada. Nõuded peavad olema ambitsioonikad ent realistlikud, et arendatav lahendus vastaks sihtrühma vajadustele ja oleks samas teostatav. Lahenduse eesmärke kontrollitakse ja täiustatakse iteratiivselt vastavalt järgmiste etappide tulemustele. [4]

Pärast probleemi kaardistamist ja lahendusele seatavate nõuete määramist kavandatakse ja arendatakse praktiline tehisasi (3). Loodud lahendust täiustatakse iteratiivselt vastavalt järgmiste etappide tulemustele. Pärast lahenduse loomist demonstreeritakse (4) seda asjakohases kontekstis ja näidatakse, kuidas loodud tehisasi määratletud probleemi lahendab. Prototüübi saab testida reaalses või simuleeritud keskkondades näiteks kasutajakatsetega, juhtumiuuringutega või simulatsioonidega, et näidata selle kasulikkust sihtrühmale ja teistele seotud osapooltele. [4]

Hindamise etapis (5) analüüsitakse, kui hästi loodud lahendus määratletud probleemi lahendab ja missugune uus akadeemiline teadmine loodi. Etapis kontrollitakse lahenduse vastavust sellele seatud nõuetele ja tõhusust uurimistöö eesmärkide täitmisel. Hindamine annab sisendi järgmisteks iteratsioonideks ja täiustusteks. [4]

Viimases etapis (6) jagatakse tulemusi ja uusi teadmisi nii akadeemilises kogukonnas kui ka praktikas tegutsevate ettevõtete ja inimestega. Selle etapiga tagatakse uurimistöö nähtavus ja teadmiste levik ning soodustatakse edasist innovatsiooni ja arengut valdkonnas. [4]

Vastavalt käesoleva magistritöö eesmärgile luua renoveerimise algatamist toetav tööriist on etapis (1) tuvastatud Eesti tehiskivi korterelamute renoveerimisega seotud väljakutsed, kirjeldatud renoveerimisega seotud osapooli ja nende vajadusi ning põhjendatud renoveerimise ja sellega seotud väljakutsete lahendamise olulisust. Selles etapis on antud ülevaade tehisarust, teadmussüsteemidest, ekspertsüsteemidest ja konfigureerimissüsteemidest. Kirjanduse ülevaade on alusmaterjaliks kogu tööle ja aitab seada uurimistöö eesmärgid.

Käesoleva magistritöö etapis (2) on määratletud renoveerimise algatamist toetavale tööriistale seatavad funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded. Nõuded on määratud FURPS [6] meetodit kasutades.

Lahenduse kavandamise ja arendamise etapis (3) on loodud seatud nõuetele vastava TeKES-i kontseptsioon ja prototüüp. Etapis on valitud prototüübi loomiseks kasutatavad tehnoloogiad, tööriistad, programmid ning põhjendatud nende sobivust kontseptsiooni elluviimisel. On kasutatud töö autori oskusi, et luua uudne toode – kivikonstruktsioonist korterelamute renoveerimise TeKES-i prototüüp – mis töö alguses määratletud probleemi lahendab.

Lahenduse arendusprotsess on iteratiivne ning muudatusi tehakse jooksvalt, vastavalt eelmiste ja järgmiste etappide tagasisidele ja testitulemustele. Käesoleva magistritöö mahus tehakse läbi DSR metoodika esimene iteratsioon ja luuakse lahenduse prototüüp. See tähendab, et kontseptsiooni ei jõuta ellu viia selle täie potentsiaali ulatuses. Prototüübi loomisel on kasutatud insenerirakenduste platvormi VIKTOR, tarkvara Rhino 7 ja Grasshopper ning programmeerimiskeelt Python 3.11.

Lahenduse demonstreerimise etapis (4) on loodud prototüüpi testitud selle kasutajatega. Töö käigus korraldati intervjuud tehniliste konsultantide ja teiste renoveerimisega seotud isikutega, mille käigus kasutati prototüüpi kasutajakeskse stsenaariumi käigus ja vastati kvalitatiivsele küsimustikule. Intervjuude käigus valideeriti lahendatav probleem ja loodavale lahendusele seatavad nõuded. Kuna käesolev lõputöö käsitleb renoveerimise konfiguraatori esimest iteratsiooni, siis on testimise põhirõhk funktsionaalsete nõuete täitmisel ja valideerimisel.

Hindamise etapis (5) analüüsiti, kui hästi loodud lahendus määratletud probleemi lahendab, kuidas see renoveerimise algatajat renoveerimise lähteülesande loomisel toetab ja kuidas see lahendusele seatud funktsionaalsetele nõuetele vastab. Etapis kirjeldatakse, kuidas vastab loodud lahendus uurimistöö eesmärkidele ja missugune uudne akadeemiline teadmine protsessi käigus loodi.

Viimane, tulemuste jagamise etapp (6) tähendab lõputöö kontekstis selle kirjutamist, kaitsmist ja võimalusel teadusartikli avaldamist.

1.4 Töö ülevaade

Töö koosneb neljast peamisest osast, millest igaüks käsitleb vastavaid disainiteaduste metoodika etappe. Käesolev peatükk on laiendatud sissejuhatus, kus antakse ülevaade töö taustast ja motivatsioonist, töö eesmärkidest, disainiteaduste metoodikast ja selle rakendamisest ning töö ülesehitusest.

Teises peatükis antakse kirjanduse ülevaade renoveerimise protsessist, selle osapooltest ja renoveerimisega seotud väljakutsetest. Lisaks antakse teoreetiline ülevaade tehisarust, ekspertüsteemidest, teadmussüsteemidest ja konfigureerimissüsteemidest. Peatüki lõpus tehakse kokkuvõtte renoveerimise probleemistikust ja pakutakse välja lahendus väljakutsete lahendamiseks.

Kolmandas peatükis käsitletakse lahendusele seatavaid funktsionaalseid ja mittefunktsionaalseid nõudeid kasutades FURPS meetodit, seejärel määratletakse TeKES-i kontseptsioon ja arhitektuur. Lõpuks luuakse kontseptsiooni prototüüp ja demonstreeritakse seda lahenduse sihtgrupile, valideerides kirjeldatud probleemistiku asjakohasust ja väljapakutud lahenduse sobivust renoveerimise väljakutsete lahendamisel.

Neljandas peatükis hinnatakse ja analüüsitakse töö tulemust. Peatükis antakse hinnang, kui hästi loodud lahendus teises peatükis määratletud probleemi lahendab ja kuidas see vastab lahendusele seatud nõuetele. Etapis kirjeldatakse ka laiemalt, kuidas vastab loodud lahendus uurimistöö eesmärkidele ja missugune uudne akadeemiline teadmine protsessi käigus loodi.

2. TEOREETILINE RAAMISTIK

Teoreetilise raamistiku peatükis käsitletakse disainiteaduste meetodika probleemi defineerimise ja olulisuse põhjendamise etappe. Peatükk koosneb Eesti elamufondi renoveerimise alapeatükist, konfigureerimissüsteemi ja tehisaru alapeatükist ning antava kirjanduse ülevaate analüüsi tulemuste sünteesist. Viimases tehakse kokkuvõtte renoveerimise probleemistikust ja pakutakse välja lahendus väljakutsete lahendamiseks. Peatükk on aluseks disainiteaduste meetodika järgmistele etappidele.

2.1 Eesti elamufondi renoveerimine

Renoveerimise alapeatükis antakse kirjanduse ülevaade tänasest olukorrast Eestis ja maailmas, renoveerimisega seotud strateegiatest, Eesti hoonefondist ja tüpoloogias, korterelamute renoveerimise osapooltest ja olulisematest väljakutsetest. Renoveerimise all mõeldakse üldiselt hoone osade uuendamist, korrastamist või taastamist. See ülevaade on oluline, et mõista renoveerimisprotsessi mitmetahulisust ja mõju Eesti hoonefondi energiatõhususele ja jätkusuutlikkusele. Peatükis põhjendatakse tehiskivi korterelamute renoveerimise konfiguraatori loomise vajalikkust ja selgitatakse, kuidas see renoveerimisprotsessi erinevaid etappe toetaks ja optimeeriks.

2.1.1 Renoveerimise olulisus

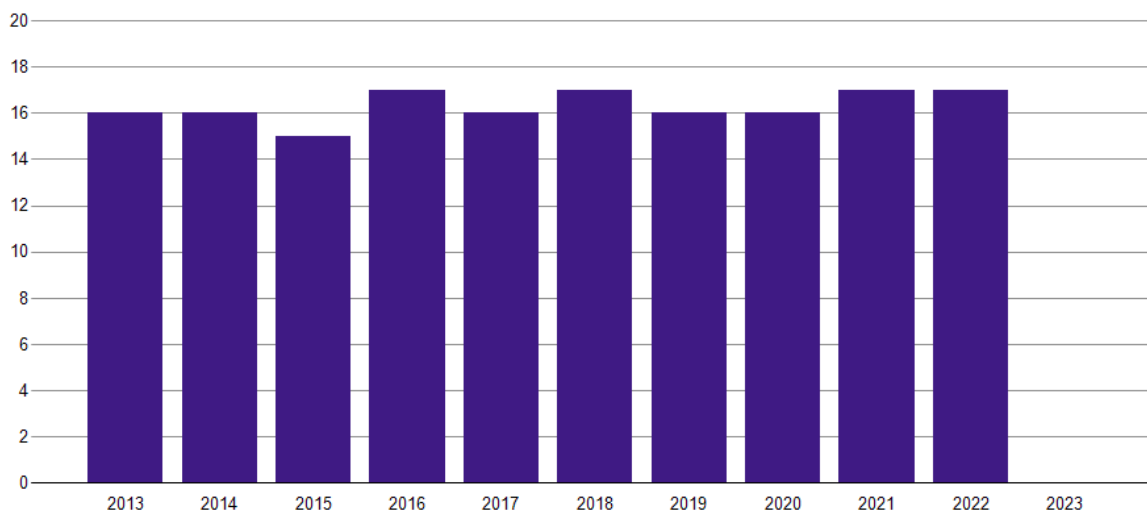
ÜRO säästva arengu eesmärkide täitmine 2030-ks aastaks on kahtluse alla seatud. 2023. aasta seisuga on poolte eesmärkide täitmine sihist kõrvale kaldunud ning veel 37% neist on stagneerunud või on isegi tagasisuunas arenevad, sh eesmärgid nr 7 (taskukohane ja puhas energia), 9 (tööstus, innovatsioon ja taristu) ning 11 (kestlikud linnad ja kogukonnad) [7]. Võrreldes tööstusrevolutsioonieelse perioodiga ületab globaalne 20 aasta jooksev keskmine temperatuur 1,5°C kraadi piiri suure tõenäosusega 2030ndate aastate esimeses pooles. Muutuse tagajärjeks on intensiivsemad ilmastikunähtused nagu kuumalained, põuad, merevee taseme tõus, üleujutused ja metsatulekahjud, mis ohustavad sadu miljoneid inimesi. Juba täna on liikide väljasuremise kiirus suurem kui viimase massilise väljasuremise ajal kriidipaleogeeni ajastul. [8]

Sellest tulenevalt on Euroopas sõlmitud Euroopa rohelepe (*European Green Deal*), mille eesmärk on saavutada kliimanetraalsus 2050. aastaks. Üks kokkuleppe olulisematest alameesmärkidest on seotud hoonete keskkonna jalajälje ja energiakulu vähendamisega [9]. Eestis suunavad riigi arengut ja põhjendavad hoonete renoveerimise olulisust mitmed dokumendid: Eesti 2035 arengustrateegia [10], Ehituse

pikk vaade 2035 [11], Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia [3], Rohetiigri ehituse teekaart 2040 [12] ja perspektiivne Eesti kliimaseadus [13].

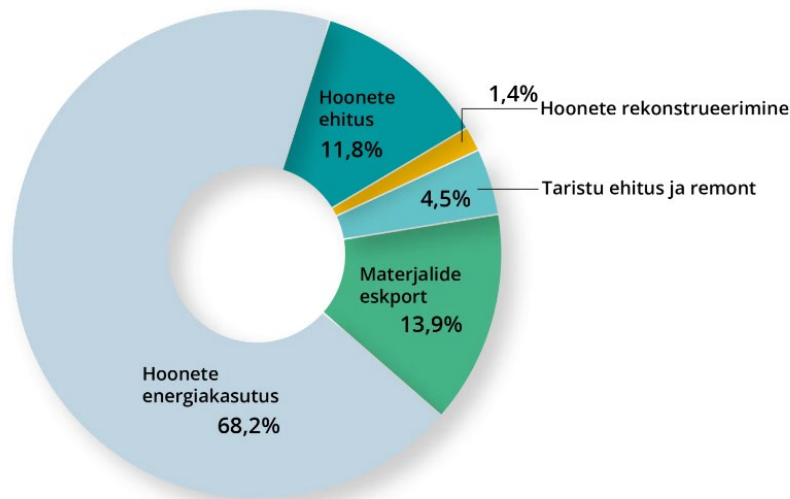
Eesti elamute ja mitteelamute energiatarve 2022. aastal oli 16,5 TWh ja energiatarve ajalugu ei näita trendi Eesti 2035 arengustrateegia eesmärgi 14,5 TWh suunas [14] (vt

Joonis 2).



Joonis 2. Statistikaamet, "Eesti 2035" arengustrateegia elamute ja mitteelamute energiatarve mõõdik (TWh) [14]

Praegu kulub hoonetele 53% Eesti energiakulust ning ehituse- ja kinnisvarasektori kasvuhoonegaaside (KHG) heitmest 68% moodustab hoonete energiakasutus. Kusjuures, ehitustegevuse KHG heitmete hulk oli 2021. aastal ligi 4 korda väiksem kui hoonete energiakasutuse oma ning rekonstrueerimise KHG hulk oli üle 8 korra väiksem kui uue ehitamise heitkogus (vt **Joonis 3**). KHG heitmete ning materjalide taaskasutamise ja jäätmetekke vähendamise seisukohast tuleks esmalt proovida vana hoone renoveerida ja alles siis kaaluda uue hoone ehitamist. [12]



Joonis 3. Ehitus- ja kinnisvarasektori kasvuhoonegaaside heitkogus 2021. aastal. [12]

Eesti hoonete energiakulu ja keskkonna jalajälje vähendamiseks on Eestis olulise rekonstrueerimise energiatõhususe miinimumnõue rekonstrueerida hoone vähemalt energiatõhususarvu (ETA) klassile C. [3]

Avalikud hooned renoveeritakse vastavalt EL-i ja Eesti seatud määrustele, aga elamute ja eraomandis olevate ärihoonete renoveerimise osas valitseb ebakindlus. Ärihoonete renoveerimise osas lähtutakse eelkõige kasumlikkusest, mida saab ergutada süsinikumaksude ja KHG piirangutega. Olemasolevatele elamutele sarnaste maksude ja piirangute seadmine ei pruugi olla ei poliitiliselt ega sotsiaalselt vastuvõetav. Seetõttu on tarvis luua teistsuguseid toetavaid meetmeid ja uusi tehnilisi lahendusi, et need rangemad energiatõhususe ja KHG nõuded täita. [15]

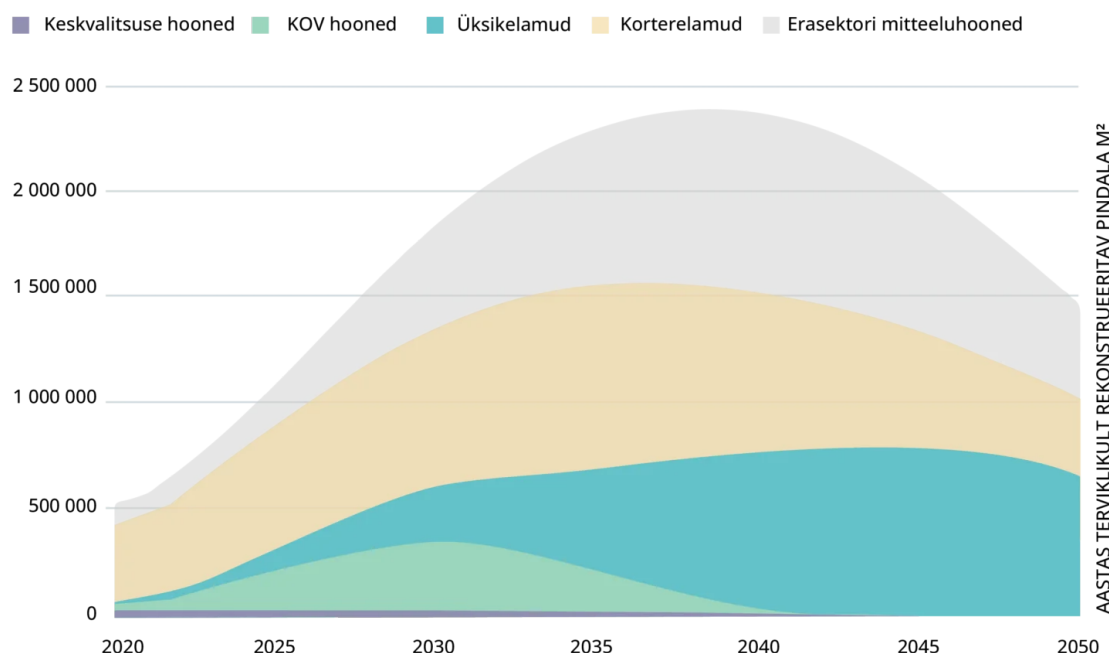
Selleks, et Euroopa roheleppuga seatud kliimanetraalsuse eesmärk täita, on ehitussektori digitaliseerimine hädavajalik. [16]

2.1.2 Eesti elamufond ja tüpologia

Eesti viimase rahvaloenduse andmetel elab keskmine eestlane 1974. aastal valminud paneelkorterelamus [2], mille energiamärgis on F [1]. EhR-i andmetel on Eestis ~27 000 korterelamut, millest kõige suurema elanike arvuga osa Eesti hoonefondist moodustavad Nõukogudeaegsed raudbetoonpaneelidest, plokkidest ja telliskividest korterelamud. Selliste hoonete projekteeritud kasutusiga on tänaseks läbi või läbi saamas. [3]

2023. aasta seisuga on terviklikult renoveeritud umbes 2000 korterelamut, millest 1200 puhul on kasutatud SA KredEx tuge. Hoonete rekonstrueerimise pikaajalise strateegia kohaselt tuleb 2050. aastaks kõik enne 2000. aastat ehitatud hooned terviklikult

rekonstrueerida vähemalt energiaklassi C. Prognoositud rekonstrueerimist vajavate hoonete hulk järgmise 30 aasta jooksul on 141 000, sh 14 000 korterelamut, mis eeldab tipphetkel umbes viiekordset rekonstrueerimise vajaduse mahu kasvu võrreldes tänasega (vt **Joonis 4**). [3]



Joonis 4. Kumulatiivne aastane rekonstrueerimise vajadus. [3]

Renoveerimisstrateegiate rakendamisel on levinud hoonete tüpologia ja statistiliste andmete kasutamine. Eestis on suur osa renoveerimist vajavatest korterelamutest ehitatud nõukogudeaegsete tüüpprojektide järgi. Perioodil 1961-1990 ehitatud korterelamud võib välisseinte materjali põhjal jagada kolme kategooriasse: (1) tellis- ja suurplokk hooned, mis on ehitatud tüüpprojekt 1-317 järgi, (2) raudbetoon suurpaneelidest hooned, mis on ehitatud tüüpprojektide 1-464, 121 ja 84 järgi ning (3) gaasbetoonpaneelidest hooned, mis on ehitatud tüüpprojektide 111-133 ja 111-66 järgi. Olgu märgitud, et 111-133 tüüpprojekti on ehitatud ka raudbetoonpaneelidest variandina. Eestis algava renoveerimislaine puhul on alustatud just sellistest nõukogudeaegsetest tehiskivist korterelamutest. [1]

Eesti tehiskivi korterelamutest on loodud tüpologia ja tüübi kategooria määramise otsustuspuu [1]. Selle tüpologia põhjal on kõik enne 2000. aastat ehitatud Eesti tehiskivi korterelamud kategoriseeritud ning igale tüübile on leitud statistilised keskmised parameetrid vastavalt nõukogudeaegsetele tüüpkonstruktsioonidele. [1]

Eestis on ka suur hulk puitkorterelamuid, millest tuntuimad on Lenderi ja Tallinna tüüpi korterelamud. Tallinna Kultuuriväärtuste amet on Tallinna puitkorterelamuid veel

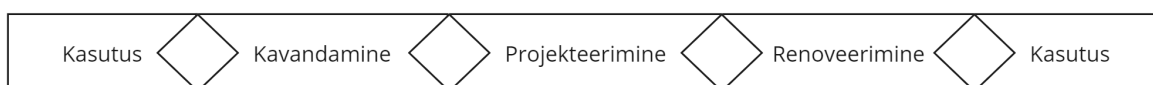
täpsemalt klassifitseerinud ning Tallinna näitel on puitkorterelamute tüübid väga mitmekesised [17]. Käesoleva töö kirjutamise hetkel pole terviklikku Eesti puitkorterelamute tüpoloogiat loodud ega nende üldisi statistilisi keskmiseid parameetreid lähemalt uuritud.

2.1.3 Renoveerimisprotsess ja seotud osapooled

Nii renoveerimisprotsess kui ka ehitusprotsess üldiselt koosneb mitmetest erinevatest osapooltest, kelle panus ehitustulemusse sõltub nii tema rollist kui ka etapist, kus ta on kaasatud. Seejuures esimeste etappide sisend kandub edasi järgnevasse etappidesse, mistõttu on algusetappides tehtud otsustel tulemusele kõige suurem mõju. [16]

Renoveerimise esimene ja peamine osapool on tellija ehk isik, kes algatab ehitusprojekti, sõlmib lepingud projektis osalevate ettevõtjatega ja vastutab ehitusprojekti finantseerimise eest [18]. Käesoleva töö kontekstis kasutatakse laiemat mõistet **renoveerimise algataja**, kes on defineeritud kui füüsiline isik, kellel on huvi hoone renoveerida.

Huvi hoone renoveerida võib tuleneda näiteks soovist kinnisvara väärtust tõsta, ebaseadmisest sisekliimast, kõrgetest küttekuludest või ka hoone tervisehädadest nagu hoone konstruktsioonide lagunemine või hallituse olemasolu. Renoveerimise algataja võib, aga ei pruugi, olla renoveerimise tellija; ta võib olla ka näiteks ehitise haldaja, aktiivne korterielanik või muu seotud füüsiline isik. Renoveerimise algatajal on oluline mõju renoveerimise kavandamise järgus (vt **Joonis 5**) ja lähteülesande dokumendi loomisel. Kortereelamute puhul on tellija lähtuvalt Eestis levinud omandistruktuurist tavaliselt korteriühistu (KÜ) esindaja, kuid võib olla ka hoone üksikomanik või avaliku sektori esindaja. [19]



Joonis 5. Renoveerimisprotsess.

Kuna KÜ esindaja on tavaliselt ehitussektoriväline isik, kes ei tunne projekteerimis- ja ehitusprotsessi eripärasid, siis rahalise toe saamiseks Eesti riigilt on seatud nõue renoveerimisprotsessi kaasata tehniline konsultant. Tehniline konsultant on pädev isik, kes tunneb korteriühistu juhtimise põhialuseid, oskab läbi viia ostumenetlust riigihangete registris, oskab kasutada SA KredExi e-toetuse keskkonda ja ehtisregistrit. Lisaks peab tehnilisel konsultandil olema vähemalt kolmeaastane kogemus korteriühistu juhatuse liikmena või asjakohane kutsetunnistus ehituse või kinnisvara valdkonnas. [20]

Praktikas on tehniline konsultant tellija kõrval renoveerimisprotsessi vedaja, kes on kaasatud nii projekteerimiseelses, projekteerimisaegses, ehitusaegses ning kokkuleppe korral ka ehitusjärgses faasis kuni garantiiperioodi lõpuni. Tema rollide hulka kuuluvad renoveerimise lähteülesande koostamine, lepingute sõlmimise nõustamine, läbirääkimised ja suhtlemine osapooltega, projekteerimis- ja ehitushangete ettevalmistamine ning läbiviimine, vajalike dokumentide hankimine ja koostamine, KredExi toetuse taotluse esitamine, renoveerimise jälgimine ja kontroll ning üleüldine tellija nõustamine ning hinnangute ja arvamuste esitamine. [21]

Renoveerimise aluseks on renoveerimise ehitusprojekt. Renoveerimisprojekti loojate meeskonda kuuluvad tavaliselt projektijuht, arhitekt, ehitusinsener, kütte- ja ventilatsiooni insener, vee ja kanalisatsiooni insener ning tugev- ja nõrkvooluspetsialist. Sõltuvalt projektist ja selle iseloomust võivad eraldi veel kaasatud olla sisearhitekt, energiatõhususe spetsialist, tuleohutuse spetsialist, akustikaspetsialist, BIM koordinaator, kvaliteedispetsialist jt. Üks spetsialist võib täita ka mitut erinevat rolli, näiteks energiatõhususe osa eest võib vastutada ka arhitekt või ehitusinsener. Igal spetsialistil on oma spetsiifilised teadmised ja vastavad ülesanded ning igaühel neist on töö tegemiseks vaja tellijalt selget ja konkreetset lähteülesannet. [18]

Ehitusjärgus juhib protsessi ehituse peatöövõtja (PTV) projektijuht ning renoveerimise teostab PTV meeskond koos erinevate alltöövõtjatega (ATV), materjalitootjate ja -tehadega. Ehitusjärgus on kaasatud ka teised osapooled nagu ehitusjärelevalve ja omanikujärelevalve, kes tegelikku ehitustulemust mõjutavad [18]. Kõik mainitud ja mainimata jäetud renoveerimisega seotud osapooled on uurimistöö käigus detailsemalt kaardistatud (vt **Lisa 1**).

Viimastel aastatel on ehitussektorit iseloomustanud ehitiste ja ehitusprotsesside keerukuse kasv, sest kasutajate vajadused, nõuded ja võimalused on kasvanud. Sellest tulenevalt on muutunud olulisemaks ehitust ettevalmistava informatsiooni kogumine ehk nn ehitamise teabeprotsess. See tähendab, et tõusnud on ehitise kavandamise, projekteerimise, ehituse ettevalmistuse ja haldamise proportsionaalne ajakulu terve ehitusprotsessi lõikes. [16]

Seda teabeprotsessi aitaks optimeerida digitaliseerimine, mille üks oluline seostatud kasutegur on efektiivsuse kasv ja ajakulu vähendamine. Samuti on ehitusprotsessi varajastes faasides otsuste langetamine ja muudatuste tegemine odavam kui hilisemates faasides. Lisaks on eeltöö ja projekteerimisega seotud tegevused lihtsamini digitaliseeritavad kui materjalide tootmisprotsessid ja ehitustegevus. Ehitusprotsessi kavandamise etapi digitaliseerimine loob eeldused kuluefektiivsemaks ja kvaliteetsemaks projektiks. [16]

Tervikrenoveerimine on tavalisest ehitusest keerulisem protsess, sest olemasolev ja vananenud hoone seab täiendavaid ja tihti ootamatuid piiranguid renoveerimislahendustele. Lisaks võivad tervikrenoveerimisega seotud olla täiendavad osapooled nagu muinsuskaitse, keerukust ja töömahtu lisab lammutusprotsess ning ehitustööde ajal peab tihti arvestama elanike elamisega hoones. Lisaks on renoveerimise projekteerimisel vaja teostada mitmed erinevad uuringud, et saada täpne ülevaade olemasoleva hoone tegelikust tehnilisest seisukorrast. [22]

2.1.4 Renoveerimise väljakutsed

Lähtuvalt kasvavast hoonete renoveerimise vajadusest ja tervikrenoveerimise protsessi keerukusest on selles valdkonnas kaardistatud mitmeid probleeme ja väljakutseid, mis renoveerimise kasvu takistavad. Väljakutseid on kirjeldatud muuhulgas näiteks Rohetiigri ehituse teekaardis [12], 2023. aasta uuringus „Analüüs ja ettepanekud korterelamute renoveerimise protsesside tõhustamiseks“ [19] ning 2024. aasta ehitussektori digitaliseerituse uuringus [16]. Varasemalt tuvastatud renoveerimisega seotud väljakutsed Eestis on toodud alljärgnevas tabelis (vt **Tabel 1**).

Tabel 1. Hoonete renoveerimise väljakutsed.

Nr	Väljakutse	Kirjeldus	Allikas
1	Eraomanike teadmatus	Eraomanikud ei tea miks renoveerida, kuidas renoveerida ning kust alustada.	[12]
2	Projekti tähtsust ei väärtustata	Panustatakse ainult ehitajale. Tellija ei pruugi osata väärtustada projekti tähtsust renoveerimisprotsessis ega osata valida kvaliteetsemat pakkumist projektile. Samuti ei kasutata projekteerimises sageli mudelprojekteerimist, mis aitaks projekteerimisvigu vähendada.	[19]
3	Mitte-professionaalne tellija	Kuna tellija puutub ehitusega kokku harva, siis puuduvad tal vajalikud erialalised oskused ehitusprojekti lugemiseks ja mõistmiseks, kuidas projektlahendused ehituse tulemust mõjutavad.	[19]
4	Ebaühtlane lähteülesande kvaliteet	KÜ esindajate kõikuva teadlikkuse tõttu ei osata projekteerijalt renoveerimislahendust küsida ja lähteülesannet sõnastada.	[19]
5	Väike finantsvõimekus	Pole raha C klassi energiatõhususe saavutamiseks ja/või hoitakse kokku muude oluliste ehitustööde arvelt.	[12]

Nr	Väljakutse	Kirjeldus	Allikas
6	Kvaliteedi-kriteeriumite puudumine	Nii projekteerimis- kui ehitushangete läbiviimisel ei seata olulisi kvaliteedikriteeriumeid ning hanke võidab kõige odavam pakkumine, mille tagajärjel kannatab tihti teenuse kvaliteet.	[19]
7	Oluliste ehitustööde tegematajätmine	Lähtuvalt hoone rekonstrueerimise muust eesmärgist jäetakse olulised ehitustööd tegemata, <i>a la</i> energiatõhusust ei parandata, kuna rekonstrueerimise eesmärk on parandada hoone funktsionaalset toimivust ja ohutust.	[12]
8	Ei läheneta terviklikult	Kinnisvaraomanikud ei mõista tervikliku lähenemise olulisust. Kolmest aspektist – kestlikkus, tervislikkus ja energiatõhusus – valitakse üks ning seda vaadatakse vaid 20-30 aasta perspektiivis.	[12]
9	Omaavalitsuse roll	Kohaliku omaavalitsuse roll renoveerimislaine korraldamisel ja naabruskondade hoonete kordategemisel ei ole selge. Ei arvestata piisavalt regionaalse arenguga.	[12], [19]
10	Tsükliline EL rahastus	Renoveerimise sõltuvus tsüklilisest Euroopa Liidu rahastusest takistab Eestis ettevõtluse arengut, tehaselist renoveerimist ja pärsib rühmrenoveerimist, mistõttu jääb ära ka mastaabisääst ja renoveerimine on kallim kui võiks.	[12]
11	Toetusmeetmete ebaühtlane regionaalne jagunemine	Keskustest eemal asuvad korterelamud vajavad rohkem tuge nii rahaliselt kui ka nõustamisega. 50%-ne toetus ei ole alati madala kinnisvara väärtusega piirkondades piisav, kuna ülejäänud summa katmiseks ei pruugita pangalt laenu saada.	[3]
12	Ehitussektori killustatus	Renoveerimise protsessid ja kogemused erinevate omaavalitsuste ja ettevõtete lõikes ei ole piisavalt ühetaolised, mille tagajärjel on renoveerimise tootlikkus väike.	[19], [16]
13	Vähe spetsialiste	Renoveerimisalaseid spetsialiste on vähe kõikide osapoolte seas, kuid eriti projekteerijate seas.	[19], [16]
14	Pealiskaudne kaasamine	Töövõtjate kaasamine renoveerimisprotsesside arendusse on pealiskaudne ja ebaregulaarne ning sellele ei järgne asjakohast tagasisidet.	[19]

Nr	Väljakutse	Kirjeldus	Allikas
15	Juhusliku iseloomuga tagasisideahelad	Renoveerimisprotsessis aktiivselt osaleva tellija ja töövõtjate kogemus ei jõua teiste turuosalisteni ning tagasisideahelad kõikide osapoolte vahel on juhusliku iseloomuga.	[19]
16	Regulatiivsed takistused	Kutsetegevuses ei arvestata, et tervikrenoveerimine on tehniliselt keerukam kui tavaline uusehitus. Ehitusteatis aegub sageli varem kui ehitus lõpetatakse.	[19]

Renoveerimise õnnestumise kõige olulisem tegur on põhjalik ja korrektne renoveerimisprojekt. Ehitustööde käigus tekkivad planeerimata kulud on enamasti põhjustatud just puudulikust projektlahendusest. Aga sageli saavad probleemid juba alguse omaniku ja/või tehnilise konsultandi poolt koostatud lähteülesandest. Sõltuvalt KÜ esindajate ja tehniliste konsultantide teadlikkusest on ka lähteülesande kvaliteet ja projekteerijatelt küsitud lahendus väga kõikuva kvaliteediga. Näiteks on tehnilised konsultandid ise rõhutanud vajadust paremini mõista tehaselise renoveerimise protsessi ja tellija valikuvõimalusi tehaseliselt renoveerides [19]. Seetõttu keskendub ka käesolev uurimistöo väljakutsetele nr 1, 2, 3 ja 4 – renoveerimise algataja teadmatuse ja lähteülesandega seotud probleemidele.

Oluline on, et lähteülesanne oleks hästi täpne ja renoveerimisprotsessi juht võimalikult pädev. Kuna tellija puutub suuremahulise projekti ja ehitusega kokku harva, siis ei ole otstarbekas tellijat ka koolitada. Mitte-professionaalsest tellijast tingitud probleemid tuleb lahendada muul moel, näiteks tõstes tehniliste konsultantide pädevust ning luues tellijale paremaid juhendmaterjale ja tööriistu, mis võtaks arvesse varasemat kogemust renoveerimisel. 2023. aasta renoveerimise protsesside tõhustamise uuringu kohaselt pole selleks hetkel „ühtegi platvormi ega eestvedamist“. Uuringus tõdeti, et projekteerimise lähteülesande koostamisel hankeks on vaja riigi poolt rohkem tuge. Vaja oleks ka avaldada juhendeid ja anda soovitusi hanke lähteülesannetele ja projekteerimisele. Lisaks võiksid innovaatilised lahendused ja tüüpvead olla kokku kogutud ühtsesse andmebaasi. [19]

Sama Majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi (MKM) tellitud korterelamute renoveerimise protsesside tõhustamise analüüsi peamine järeldus oli, et „mitte-professionaalne tellija vajab igakülgset tuge, mida ta saaks iseseisvalt ning omale sobival ajal kasutada“. Lahendus peaks aitama vähendada renoveerimise tegelikku ja tunnetatud keerukust ning paremini selgitada renoveerimise protsessi ja leevendada renoveerimisega seotud eelarvamusi ja väärarusaami. [19]

Renoveerimise algatajaga seotud väljakutsete kõrval on teine oluline väljakutse Euroopa roheleppes tingitud suureneva renoveerimismahuga toime tulemine. Kokkuleppes tulenev Euroopa renoveerimislaine mängib kesksel rollil keskkonnanäesmärkide saavutamisel ning seab sektorile ülesande väga suur hulk hooneid kiirelt ja efektiivselt renoveerida. [16]

Renoveerimise efektiivsuse tõstmisel on suur potentsiaal digitaliseerimisel. Renoveerimislaine edukaks elluviimiseks on vaja renoveerimisprojekte senisest targemalt ja tõhusamalt kavandada. Eesmärgi saavutamine on keeruline ja nõuab täpset planeerimist, jätkusuutlikumate materjalide kasutamist ja uuenduslike tehnoloogiate kasutuselevõttu. Digitaalsed ja andmepõhised lahendused, sh BIM ja tehisaru, võimaldavad näiteks erinevaid renoveerimisstsenaariume simuleerida ja lahendusi optimeerida. Seesuguste lahenduste kasutuselevõtmine võimaldab renoveerimise osapooltel senisest parema täpsusega renoveerimist kavandada ja projekteerida. [16]

Tuginedes Eesti kasvavale renoveerimisvajadusele ja mitte-eksperdist renoveerimise algatajaga seotud väljakutsetele, pakutakse käesoleva uurimistöega välja lahendus mitte-professionaalse tellija toetamiseks renoveerimise kavandamise etapis. Väljakutset aitaks lahendada tehisaru, täpsemalt teadmuspõhine konfigureerimiseksperisüsteem.

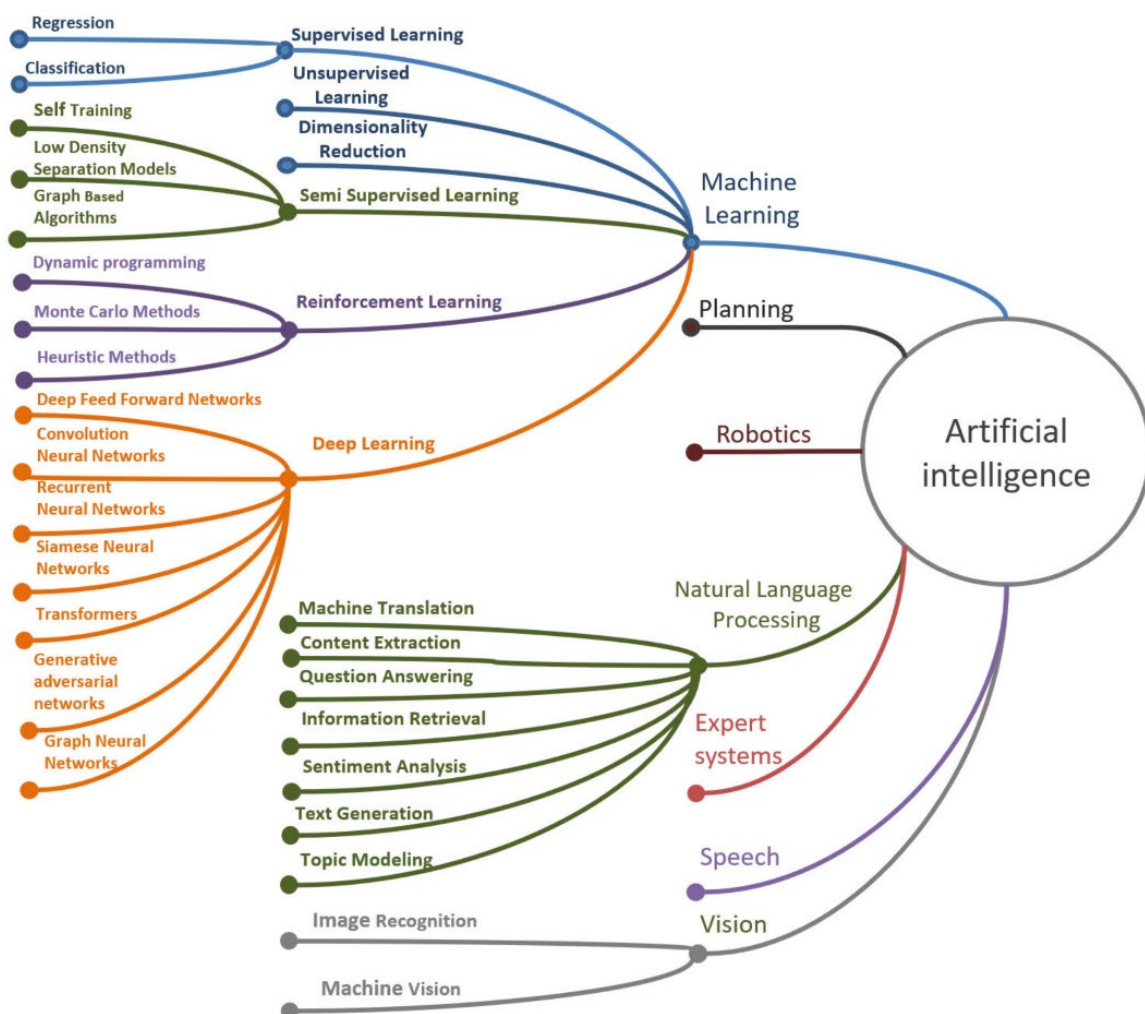
2.2 Konfigureerimissüsteem ja tehisaru

Järgnevas alapeatükis antakse kirjanduse ülevaade, mis on konfigureerimissüsteemid ning kuidas nad on seotud tehisaruga. Defineeritakse ja võrreldakse erinevaid tehisaru valdkondi, sh eksperisüsteeme, teadmussüsteeme ning konfigureerimissüsteeme. Seejärel antakse ülevaade konfigureerimissüsteemidest teadmuspõhiste eksperisüsteemide kontekstis. Ülevaade on vajalik, et luua raamistik renoveerimise konfiguraatori kontseptsiooni ja prototüübi loomiseks.

2.2.1 Tehisaru

Intellekt tähendab võimet mõista ümbritsevat maailma ja oskust uudsele olukorrale õigesti reageerida, ratsionaalselt mõelda, olemasolevaid teadmisi tõhusalt kasutada ja probleeme lahendada [23]. Tehisintellekt ehk tehisaru on arvutisüsteem, mis jäljendab loomulikku intellekti ning üldiselt seostatakse seda just inimhõistuse jäljendamisega. Kaasaegsed praktikas kasutatavad tehisarud rakendavad tehisnärivõrke, geneetilisi algoritme ja evolutsioonilisi meetodeid, mis sobivad hästi spetsiifiliste probleemide lahendamiseks. [24]

Tehisararu hõlmab mitmeid erinevaid teadusvaldkondi: masinõppimine (*machine learning*, ML), loomuliku keele töötlus (*natural language processing*, NLP), kõnesüntees (*text and speech synthesis*), arvutinägemine (*computer vision*), robotika, ekspertsüsteemid jt. Masinõppimine jaguneb veel lähtuvalt rakendatud õppimise viisist: juhendatud masinõpe (*supervised learning*, SL), juhendamata masinõpe (*unsupervised learning*, UL), klasteranalüüs (*cluster analysis*), mõõtmete vähendamine (*dimensionality reduction*), pooljuhendatud masinõpe (*semi-supervised learning*, SSL), stiimulõpe (*reinforcement learning*, RL) ja sügavõpe (*deep learning*, DL). Tehisintellektiga seotud märksõnad ja valdkonnad on laiemalt toodud alljärgneval joonisel (vt **Joonis 6**). Praktikas on piirid erinevate tehisaru valdkondade vahel hägused. Näiteks, tänapäeval toetub NLP-de arendus olulisel määral masin- ja sügavõppe tehnoloogiatele. Masinõppimise meetodid on leidnud laialdast kasutust näiteks majanduses, tootmises, andmetöötluses, meditsiinis, robotikas, astronoomias, ehituses jpt valdkondades. [24]



Joonis 6. Tehisintellekti puudutavad teadusvaldkonnad inglise keeles. [24]

Ehitusvaldkonna tehisarude üks peamine rakendusala on suurte andmekogumite muustrite analüüsimine ja masinõppe kasutamine. Tehisarul on ehitusvaldkonnas suur potentsiaal ja selle „peamine tugevus seisneb võimes täita ülesandeid, mis nõuavad pidevat, ööpäevaringset ja kiiret ekspertide sekkumist“. Tehisaru säästab nii ajalist, rahalist kui ka inimressurssi, aidates teha efektiivsemaid analüüse, teadlikumaid prognoose ning paremaid otsuseid. [16]

2.2.2 Teadmussüsteem

Teadmuspõhine süsteem ehk teadmussüsteem (*knowledge-based system*, TS) on arvutisüsteem, mis kasutab ülesannete lahendamisel tehisaru meetodeid, et toetada inimeste otsustusprotsessi, õppimist või muid tegevusi. TS-id kuuluvad tehisaru perekonda ja neid kutsutakse tihti ekspertsüsteemideks, mis olid esimesed ja on kõige levinumad teadmussüsteemid. TS kasutab ja loob uusi teadmisi juba olemasolevatest andmetest, infost ja teadmistest. Sellised süsteemid on võimelised töödeldavat infot mõistma ja selle põhjal otsuseid langetama [25]. Teadmussüsteemid on kasutajakesksed ja need on oma olemuselt katsed mõista ja rakendada inimteadmust arvutisüsteemides. [26]

Nagu eksperdi kompetents lasub tema võimel põhjendada ja lahti seletada oma otsuseid, sõltub ka teadmussüsteemi usaldusväärsus süsteemi võimest oma otsuseid põhjendada. Inimesed õpivad pidevalt juurde ja unustavad teadmisi, mida nad regulaarselt ei kasuta. Teadmussüsteem „õpib“ juurde kui teda manuaalselt uuendatakse või ka iseseisvalt, kui süsteemis rakendatakse masinõpet. [25]

Teadmussüsteemid jagunevad viieks tüübiks: ekspertsüsteemid, seotud süsteemid (*linked systems*), juhtumipõhised süsteemid (*CASE-based systems*), andmebaasid koos targa kasutajaliidesega ja targad õpisüsteemid (*Intelligent tutoring systems*). Teadmussüsteemid koosnevad teadmusbaasist (*knowledge base*) ja järeldusmootorist (*inference engine*). [25]

Teadmusbaas (*knowledge base*) on kirjade kogum, kusjuures iga kirje kujutab endast teadmisi ehk teadmust maailma kohta. Teadmusbaasi teadmiste repositoorium võib olla ükskõik millises formaadis või keeles, nii inim- kui programmeerimiskeeles. Tavaliselt on teadmusbaasis suur hulk piiratud teadmisi väga spetsiifilise probleemi kohta, mis tähendab et probleemiväliseid teadmisi on selles vähe või üldse mitte. Ka kõige lihtsama probleemi lahendamiseks on vaja väga suurt hulka teadmisi, mis teeb teadmusbaasid kompleksseks. Struktureeritud teadmusbaasi loomiseks on tarvis sobilikku strateegiat, sest muidu on hästi keeruline salvestatud teadmisi ära kasutada. Teadmisi peab olema alati võimalik teadmusbaasi lisada ja olemasolevaid teadmisi pärida. [25], [27]

Teadmised võivad olla näiteks mingi ainevaldkonna faktid, seaduspärasused või tuletusreeglid, mida saab mingil moel interpreteerida ehk tõlgendada [23]. Teadmusbaasis on piiratud teadmised, mis tähendab, et kirjeldatud on ainult eeldus ja järeldus, kuid mitte nendevaheline suhe. Näiteks kui teadmine on väljendatud kujul:

KUI auto ei käivitu, SIIS kontrolli auto akut,

siis süsteem teab vaid kahe juhtumi vahelist heuristilist seost, kuid ta ei tea miks aku auto käivitamiseks oluline on ja et mootori käivitamiseks vajab starter elektrivoolu. [25]

Teadmusinsener (*knowledge engineer*) on inimene, kes vastutab süsteemi teadmiste omandamise ning teadmusbaasi arendamise ja haldamise eest. Ta on lüli valdkonna ekspertide ja arvutisüsteemi vahel, kes ekspertidelt või teistest teadmusallikatest saadud teadmised süsteemi teadmusbaasina formaliseerib. Selleks, et teadmusbaas võimalikult täpselt ja korrektselt valdkonna teadmisi esitaks, on vaja tihedat suhtlust teadmusinseneri ja valdkonna ekspertide vahel. Selle tulemuseks võib olla proportsionaalselt väga suur kommunikatsioonikulu, mida tuntakse ka teadmiste omandamise pudelikaelana. Teadmusinsener ja valdkonna ekspert võib olla üks ja sama isik, kuid oluline on, et teadmusinsener tunneks teadmussüsteemide tehnoloogiaid. [28]

Järeldusmootor (*inference engine*) on arvutiprogramm, mis teeb teadmusbaasis oleva info pealt järeldusi ja otsuseid. [25] Kui teadmusbaas on teadmiste kogum, siis järeldusmootor rakendab nendele teadmistele loogilisi reegleid ja järeldab uusi teadmisi konkreetse olukorra kohta. Järeldusmootoreid on kahte liiki, sõltuvalt kas tuletamine toimub päripidi (*forward chaining*) või tagurpidi (*backward chaining*). [29]

Päripidi tuletamine tähendab, et lähtutakse teadaolevatest faktidest ja neile rakendatakse reegleid järjest. Päripidi tuletamist nimetatakse ka otsetuletuseks [23]. Päripidi tuletavad programmid on näiteks meditsiinis rakendatavad diagnoosisüsteemid. Sellisel juhul on teadaolevad faktid patsiendil esinevad sümptomid. Olemasolevatele teadmistele rakendatakse reegleid ja luuakse uusi teadmisi nii kaua, kuni lõpptulemusena on võimalik sisestatud info põhjal patsiendile diagnoos panna. [30]

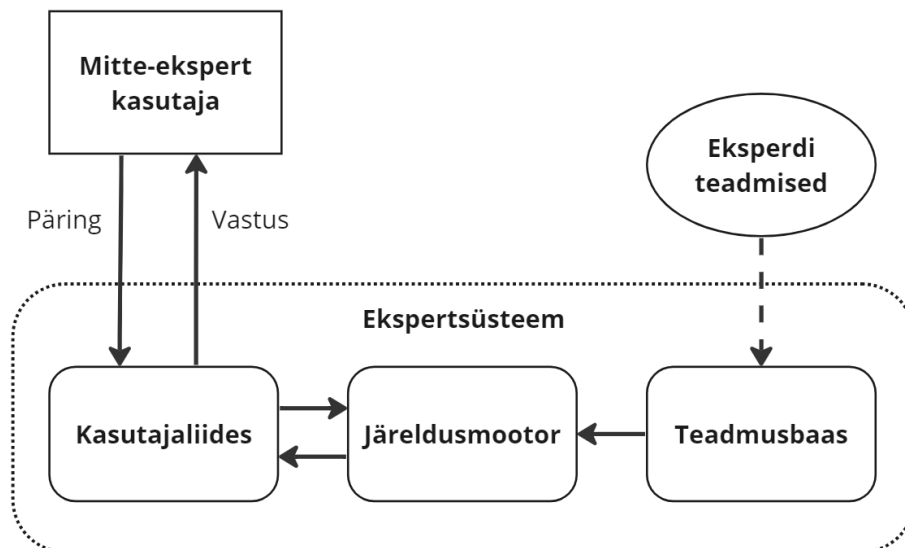
Tagurpidi tuletamine tähendab, et lähtutakse mingist hüpoteesist ja püütakse seda tõestada, rakendades reegleid tagurpidi. Tagurpidi tuletamist nimetatakse ka pöördtuletamiseks [23]. Tagurpidi tuletamisel otsib süsteem mingi reeglitele vastava eelduse, mis määratud tulemust põhjustada võib, ja küsib kasutajalt kas see eeldus peab paika või mitte. Lõpptulemusena leitakse faktid, mis etteantud lõpptulemust rahuldavad. Tagurpidi tuletavad programmid on näiteks IT-toe tõrkeotsingu programmid. Alustuseks on teada lõpptulemus ja programm aitab leida, mis selle

tulemuse põhjustas. Näiteks kui arvuti ei käivitu, siis programm ütleb kasutajale, et ta kontrolliks, kas arvuti on elektrivooluga ühendatud. [30]

2.2.3 Ekspertsüsteem

Ekspertsüsteemid on ühed esimestest tehisarudest, mis töötati välja 1960. aastate keskel. Ekspertsüsteemide põhiidee on ekspertteadmiste ehk suure kogumi probleemispetsiifiliste teadmiste ülekandmine inimeselt arvutile. See teadmine salvestatakse arvutis, misjärel kõik arvuti kasutajad saavad seda teadmist vastavalt vajadusele küsida, kusjuures arvuti teeb järeldusi ja annab soovitusi samamoodi nagu inimesest spetsialist seda teeks. Vajadusel annab arvuti kasutajale lisaks ka selgituse, kuidas ta nende järeldusteni jõudis [26]. Eesti keeles on ekspertsüsteem defineeritud kui „süsteem, mis ühendab arvuti võimalused ja eksperdi teadmised sellises vormis, et süsteem suudab anda mõistlikku nõu või realiseerida antud ülesande mõistliku lahenduse.“ [23]

Ekspertsüsteeme tohib nimetada teadmussüsteemide alamliigiks [25], aga nende erinevus seisneb pigem käsitlusviisis – teadmussüsteemide puhul on oluline süsteemi arhitektuur ja teadmuse esitamise viis [25], ekspertsüsteemide puhul on oluline ülesande tüüp, mida süsteem lahendab ning asjaolu, et ta asendab inimeksperti [26]. Ekspertsüsteemi arhitektuuri visualiseeritakse tavaliselt teadmussüsteemide kontekstis (vt **Joonis 7**).



Joonis 7. Ekspertsüsteem.

Koit ja Roosmaa [23] on nimetanud ekspertsüsteemi järeldusmootori põhilisteks ehitusplokkideks (1) interpreteerija, mis teadmust mõistab ja probleemid püstitab, (2) lahendaja, mis probleemid lahendab, (3) õppimisploki, mille ülesanne on uusi teadmisi

hankida ja (4) selgitusploki, millega süsteem kasutajale probleemilahenduse samme selgitab ja põhjendab.

Ekspertsüsteemid on kõige kasulikumad sellistes olukordades kui inimesest spetsialist pole kättesaadav, kui on vajadus teadmisi tuleviku tarbeks salvestada, kui otsuste langetamisel on vaja tarka abilist või treenerit või kui mitme spetsialisti teadmised on vaja ühte kohta kokku grupeerida [25]. Hoonete projekteerimise ja eriti just renoveerimisprojektide puhul on erinevate erialade ekspertide hulk väga suur ja mitte-ekspertidest lähteülesande koostajal pole reeglina kerge spetsialistiga ühendust saada. Seetõttu on ekspertüsteemid renoveerimise algatamisega seotud probleemide lahendamisel väga asjakohased.

Reeglitepõhine süsteem on ekspertteadmussüsteem, mis väljendab eksperdi teadmisi kui-siis (*if-then*) tingimustega ehk produktsioonidena. Koos teadmussüsteemiga on ka reeglitepõhist süsteemi nimetatud ekspertüsteemi sünonüümiks, kuna see on üks esimestest ja lihtsamatest ekspertüsteemi ja tehisaru vormidest. Reeglitepõhise süsteemi eripära on, et produktsioonid on süsteemi programmi vahetult sisse kodeeritud. Need reeglid ütlevad samm-sammult mida teha või mida järeltada konkreetses olukorras. Oma olemuselt on see arvutiprogramm, mis annab meetoodika olemasolevast teabest loogiliste järeltuste sõnastamiseks. [26], [31]

Kuigi reeglitepõhised ekspertüsteemid panid aluse tehisaru arengule, on kaasajal seatud kahtluse alla, kas nad ikkagi väärivad tehisaru nime, kuna nad on võrreldes masinõpet rakendavate teadmussüsteemide ja teiste kaasaegsete tehisaru arengusuundadega palju primitiivsemad süsteemid. [32]

Reeglitepõhised süsteemid on suhteliselt lihtsad ja neil on väga palju rakendusalasid. Ainuke nõue on, et rakendusala ei oleks liiga lai, sest väga suur reeglite hulk teeb programmi ebatõhusaks. [31]

Reeglitepõhise süsteemi suurim puudus on ajakulu, mis on tarvis süsteemi arendajal, et teadmised süsteemi sisse kirjutada, uuendada ja hallata. Kuna reeglid on programmi vahetult sisse kodeeritud ja süsteem ei ole võimeline ise õppima, siis see on kasutu ääreolukordades, mille jaoks see disainitud ei ole. Lisaks, ekspertidest kasutajate jaoks on sellised süsteemid hästi piiravad ja pigem takistuseks kui abiks, kuna nad tahaks lähteülesannet põhjalikumalt kirjeldada ja mitte vastata nende jaoks ebarelevantsetele küsimustele. [33]

Tabel 2. Näide reeglitepõhise süsteemi osadest ja nendevahelistest interaktsioonidest. [31]

ANDMED	TINGIMUSED	REEGLID
temperatuur	$\leq 0, > 0$	Eeldused KUI temperatuur ≤ 0 JA KUI tuul on tugev VÕI KUI tee on libe
tuul	tugev, nõrk	
tee	libe, mitte libe	
ilm	külm, jahe, soe, kuum	Järeldus SIIS ilm on külm

2.2.4 Konfigureerimissüsteem

Konfigureerimissüsteem on ekspertsüsteemi alamtüüp, mis aitab üksikkomponendid mingi konkreetse eesmärgi järgi ja ekspertteadmisi kasutades tervikuks kokku panna. Komponentide kokkupanemine toimub seejuures samm-sammult, kus igal sammul langetatakse mingi otsus või tehakse eeldus, mis lõpptulemust mõjutab. Sobiva konfiguratsiooni leidmine võib nõuda mitmeid heuristilistel teadmistel põhinevaid otsuseid. [34]

Konfigureerimissüsteemide ehk konfiguraatorite kontseptsioon on välja kasvanud tööstusrevolutsioonist. 20nda sajandi alguses tutvustas Henry Ford uut automudelit Ford T ja võttis esimeste seas kasutusele masstootmise (*Mass Production*) kontseptsiooni, mis võimaldab tõhusalt toota suurt hulka samasuguseid tooteid. 20nda sajandi lõpuks oli aga identsete toodete toomise ärimudel kaotanud oma kunagise tähtsuse, kuna järjest olulisemaks muutusid kliendi individuaalsed vajadused ja nõuded. [28]

Selle tulemusel tekkis masskohandamise (*Mass Customization*) kontseptsioon, mille põhiidee on luua kliendilt-kliendile varieeruvaid mitmekesiste omadustega tooteid masstootmisele kohase tõhususe ja lõpphinna juures. Masskohandamise rakendamine tööstuslikes ärimudelites tõi endaga kaasa olulised tehnoloogilised väljakutsed, mille üheks lahendajaks olid konfigureerimise tehnoloogiad. [28]

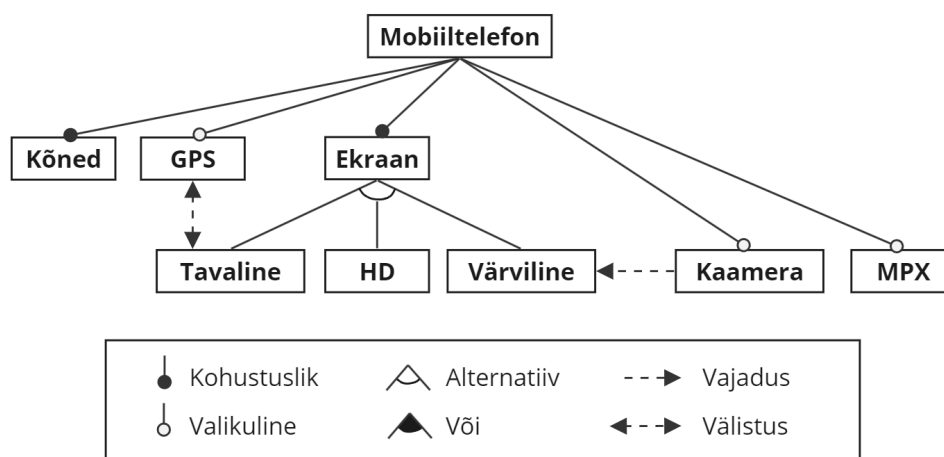
Konfigureerimist kui protsessi saab Sabini ja Weigeli [35] kohaselt defineerida kui disainiprotsessi erijuhtu, kus konfigureeritav toode on kokku pandud konkreetset määratletud komponentitüüpide valimist, mida saab vastavalt etteantud piirangutele kombineerida. Komponentitüüpe iseloomustavad lisaks atribuudid ja need võivad sisaldada omakorda alamkomponentitüüpe. Piirangute all on mõeldud reegleid, mis näiteks keelavad konkreetsete komponentide koos kasutamise. [28]

Konfigureerimissüsteemide kontekstis saab teadmusbaasi teadmisi jagada kolmeks tüübiks: üldteadmised, probleemspetsiifilised teadmised ja probleemi lahendavad teadmised. **Üldteadmised** on valdkonna kohta käivad staatilised faktid ja omadused, mis kehtivad ühe süsteemi iga konfigureerimisülesande lahendamisel, sõltumata olukorrast. Sellised teadmised on näiteks füüsikaseadused, konkreetsete toodete omadused, regulatiivsed nõuded, seadused, määrused ja standardid. [34]

Probleemspetsiifilised teadmised kehtivad vaid konkreetse konfigureerimisülesande lahendamisel. Need teadmised on dünaamilised ja need kogutakse konkreetse probleemi lahendamise käigus. Nii üldteadmised kui ka probleemspetsiifilised teadmised piiravad konfigureerimisülesande lahendite hulka. [34]

Probleemi lahendavad teadmised käivad konfigureerimisülesande lahendamise protsessi kohta. Need teadmised määravad näiteks otsuste langetamise järjekorra, strateegia ja meetodika ning need võivad olla nii probleemspetsiifilised kui ka probleemist sõltumatud nagu üldteadmised. Kuigi need on kontseptuaalselt eristatavad, on sellised teadmised tihti kirjeldatud esimese kahe teadmiste tüübina. [34]

Konfigureerimismudel (*Configuration Model*, vt **Joonis 8**) on komponenditüüpide ja piirangute kogum, mida on vaja väga suure võimaliku hulga erinevate konfiguratsioonikombinatsioonide pärast, sest kõikide erinevate võimalike konfiguratsioonide hoidmine ja muutmine andmebaasides on väga kulukas. Konfiguratsioonimudel moodustab koos kliendi määratletud individuaalsete vajaduste ja nõudmistega konfigureerimisülesande (*Configuration Task*), mis on sisendiks konfigureerimissüsteemile ehk konfiguraatorile, ja mille väljundiks on omakorda konkreetne konfiguratsioon. [28]



Joonis 8. Lihtsa konfigureerimismudeli näite graafiline representatsioon. [28]

Viimane [28] räägib konfiguraatorist kui teadmussüsteemide järelmootorist ning on toonud konfigureerimismudeli ja kliendi vajadused välja eraldi. Teadmussüsteemide kontekstis on konfigureerimismudel kui süsteemi teadmusbasi üldteadmised ning kliendi antud informatsioon on teadmusbasi probleemspetsiifilised teadmised [34].

Konfigureerimise kontseptsioon ei ole uus nähtus ning üks esimestest konfiguraatoritest oli R1/XCON – tänase Hewlett-Packard grupi eelkäija DEC-i arvutite komplekteerimise reeglitepõhine ekspertsüsteem. XCON lõi vastavalt kliendi vajadusele sobiva arvuti konfiguratsiooni ning näitas kasutajale kõiki ruumilisi ja loogilisi seoseid erinevate arvutikomponentide vahel. XCON-i loetakse väga suureks reeglitepõhiseks süsteemiks, sest see sisaldas enam kui 6200 reeglit ja umbes 20000 komponenti. Hinnanguliselt muutusid iga aasta umbes pooled neist reeglitest, mis muutis konfiguraatori haldamise väga kulukaks tegevuseks. [34]

Tänapäeval kasutatakse konfigureerimissüsteeme valdkondadeüleselt palju, alates lihtsatest teenustest ja tootekonfiguraatoritest lõpetades keerukate tööstuslike protsesside automatiseerimisega. Näiteks Siemens on loonud konfiguraatori raudteede blokeeringusüsteemidele rongide liikluse reguleerimiseks. Tacton on loonud konfigureerimissüsteemi FLSmithi tsemenditehasele, et keerukate tootmis- ja materjalipiirangutega toime tulla ning see on edukalt integreeritud teiste süsteemiga nagu SolidWorks 3D CAD, SmartPlant 3D, Mathcad [28]. Lihtsamad konfiguraatorid on näiteks IKEA köögiplaneerija [36] ja Ferrari konfiguraator [37].

Ehitusvaldkonna konfigureerimissüsteemide eripära on, et üksikkomponentide kombineerimisel on rõhk rohkem konfiguratsiooni kui terviku vormil ja komponentide ruumilisel kokkusobivusel ning vähem üksikkomponentide valikul. Ka kirjanduses on keskendutud rohkem teadmussüsteemidele, mis ruumilist kavandamist toetavad ja automatiseerivad. Rõhuasetusest tulenevalt ei pruugi olla esmapilgul selge, millised väljatöötatud süsteemidest vastavad konfigureerimissüsteemide omadustele. [34]

Eestis on näiteks loodud kohandamistöõriist, millega on näitlikustatud erinevaid korterelamutüübi 1-464 renoveerimise võimalusi [38]. Tööriistaga on hoone kohandamise valikutepuu esitletud inimestele interaktiivse 3D mudelina, mistõttu on tegemist konfigureerimissüsteemiga. See tööriist keskendub korterelamu funktsionaalsele renoveerimisele, mis tähendab hoone arhitektuuri, korterite ruumiplaneeringu, rõdude, terrasside ja muude ruumiliste vormide kohandamist. Süsteem on loodud magistritöö raames, mille eesmärk on Eesti elukeskkonna kaasajastamine ning hoonete välisilme ja linnapildi mõjutamine. Süsteem ei kajasta hoone tehnilist toimivust. [39]

Ehitusvaldkonna konfigureerimissüsteemide teine näide on ALL-RISE – tööriist hoonete kandekonstruktsioonide kavandamiseks. Selle süsteemi sisendiks on kolme-mõõtmelised andmed hoone arhitektuurse ja ruumilise plaani kohta ning erinevad konstruktiivsed piirangud. ALL-RISE-i väljund on sobivuse järgi järjestatud kogum erinevatest kandekonstruktsioonide süsteemidest, kandeskeemidest ja materjalidest, mis arhitektuurse kavandi elluviimiseks sobivad. ALL-RISE on konfigureerimissüsteem oma domeeniteadmiste formaliseerimise viisi ja ulatuslike piirangute rakendamise pärast. [34]

Konfigureerimissüsteemidega väga sarnased süsteemid on **soovitussüsteemid**, mille eesmärk on toetada kasutajat konkreetse toote väljavalimisel etteantud valimi seast. Soovitussüsteemid on näiteks filmide, raamatute ja laulude platvormid või veebipoe keskkonnad. Soovitussüsteemide eesmärk on konfigureerimissüsteemidega sarnane, kuid peamine erinevus kahe vahel on teadmiste esitamise viis: konfiguraatorid põhinevad konfigureerimismudelil ja teadmusbaasil (vt **Joonis 8**) ning soovitussüsteemidel on andmebaas etteantud valmis toodetest. Kuna mõlema süsteemi eesmärk on kasutaja toetamine mingi lõpptulemi valimisel, siis on võimalik süsteeme riskasutada, näiteks funktsioonide soovitamisel mingile konfiguratsioonile. [28]

2.3 Kirjanduse analüüsi tulemuste süntees

Selleks, et Euroopa roheleppe seatud eesmärgid täita, peab lähiaastatel Eesti hoonete renoveerimise maht mitmekordistuma. Enne 2050. aastat on vaja renoveerida umbes 14000 korterelamut ning valdav osa neist on teadaoleva tüpoloogiaga tehiskivist korterelamud, mis on projekteeritud ja ehitatud nõukogudeaegsete tüüpprojektide järgi. Renoveerimislaine edukaks elluviimiseks on vaja renoveerimisprojekte senisest targemalt ja tõhusamalt kavandada. (vt ptk 2.1.1 ja 2.1.2)

Viimastel kümnenditel on ehitussektorit iseloomustanud ehitiste ja ehitusprotsesside keerukuse kasv, mistõttu on tõusnud ehitise kavandamise proportsionaalne ajakulu terve ehitusprotsessi lõikes. Kavandamise etappi ja teabeprotsesse üldiselt aitaks optimeerida digitaliseerimine, mille üks oluline seostatud kasutegur on efektiivsuse kasv ja ajakulu vähenemine. Ehitusprotsessi kavandamise etapi digitaliseerimine loob eeldused kuluefektiivsemaks ja kvaliteetsemaks projektiks. (vt ptk 2.1.4)

Hoonete renoveerimise peamine osapool on renoveerimise tellija, kes puutub üldjuhul ehitusega kokku harva. Erialavälisel renoveerimise algatajal puuduvad tavaliselt teadmised, et mõista, kuidas projekteeritud lahendused renoveerimise lõpptulemust mõjutavad, ei ole kursis renoveerimistehnoloogiatega ning ei oska seega renoveerimislahendust küsida ja parimat lähteülesannet sõnastada. (vt ptk 2.1.3)

Renoveerimisega seotud väljakutseid on mitmeid (vt **Tabel 1**. Hoonete renoveerimise väljakutsed.) ning tellija rolli, teadmiste ja lähteülesande olulisus nende väljakutsete ületamisel on selge (vt ptk 2.1.4). Toetudes kaardistatud väljakutsetele on renoveerimise algataja vaatevinklist eduka lähteülesande loomise kriteeriumid järgnevad:

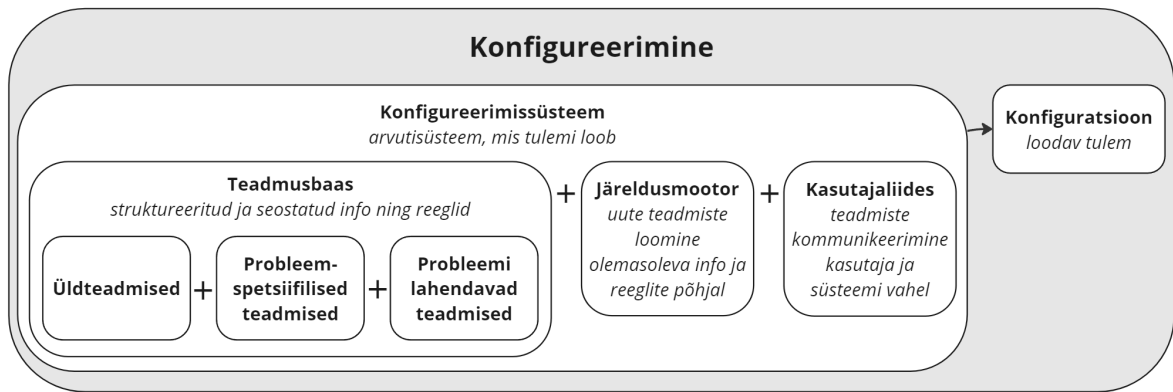
1. Teadmine, miks renoveerimine on oluline
2. Mõistmine, milline renoveerimisprotsess välja näeb
3. Teadmine, millised on tema hoone omadused ja võimalused
4. Teadmine, mis on levinud ja paremad renoveerimislahendused
5. Oskus võrrelda ja analüüsida erinevaid renoveerimislahendusi:
 - a. Maksumuse kontekstis (hind)
 - b. Kvaliteedi kontekstis (kestvus ja remondivajadus)
 - c. Tõhususe kontekstis (mugavus, jooksvad kulud, ETA)
 - d. Keskkonnamõju kontekstis (ETA, KHG)
6. Oskus oma soove ja vajadusi teistele osapooltele väljendada

Kuna renoveerimise algataja puutub suuremahulise ehitusprojekti ja ehitusega kokku harva, siis ei ole otstarbekas teda koolitada ning mitte-professionaalsest tellijast tingitud väljakutsed tuleb lahendada muul moel. (vt ptk 2.1.4)

Mitte-professionaalne renoveerimise tellija vajab mitmekülgset tuge, mida ta saaks iseseisvalt ning omale sobival ajal kasutada, et võimalikult konkreetne ja kvaliteetne lähteülesanne luua. Lahendus peaks aitama vähendada renoveerimise tegelikku ja tunnetatud keerukust ning paremini selgitada renoveerimise protsessi ja leevendada renoveerimisega seotud eelarvamusi ja väärarusaami. (vt ptk 2.1.4)

Roheleppe eesmärkide saavutamine nõuab uuenduslike tehnoloogiate kasutuselevõttu, mis võimaldavad erinevaid renoveerimistsenaariume simuleerida ja lahendusi optimeerida. Selliste lahenduste kasutuselevõtmine võimaldab renoveerimise osapooltel senisest parema täpsusega renoveerimist kavandada ja projekteerida. (vt ptk 2.1.4)

Tuginedes Eesti kasvavale renoveerimisvajadusele ja renoveerimise algataja mitte-professionaalsusega seotud väljakutsetele vajab renoveerimise algataja tarka tööriista renoveerimislahenduse konfigureerimiseks (vt **Joonis 9**). Sobiva lahenduse probleemile pakuvad ekspertsüsteemid (vt ptk 2.2.3), mis tehniliste ekspertide teadmised mitte-ekspertidele kättesaadavamaks muudaks. Erinevaid renoveerimislahendusi ekspertide teadmisi kasutades konfigureerides oleks võimalik renoveerimisprojekte targemalt ja tõhusamalt kavandada. Teadmuspõhine konfigureerimis-ekspertsüsteem (edaspidi TeKES) on tehisaru alamliik, mis aitab üksikkomponendid mingi konkreetse eesmärgi järgi ja ekspertteadmisi kasutades tervikuks kokku panna.



Joonis 9. Konfigureerimisprotsess teaduspõhise ekspertsüsteemi kontekstis.

Hoonete renoveerimislahenduse konfigureerimiseks on vaja vastavat konfigureerimismudelit (vt ptk 2.2.4), mis kirjeldab korterelamu erinevate komponentide vahelisi seoseid ja sõltuvusi (välistusi ja vajadusi). Käesoleva magistr töö raames on loodud enne 1995. aastat ehitatud Eesti kivikonstruktsioonil korterelamute renoveerimise konfigureerimismudel (vt **Lisa 2**).

3. RENOVEERIMISE KONFIGURAATOR

Selles peatükis käsitletakse disainiteaduste meetodika lahenduse kavandamise, arendamise ja demonstreerimise etappi. Peatükk keskendub renoveerimise kavandamisega seotud väljakutsete lahendamisele ja renoveerimise algatajale teadmuspõhise konfigureerimisekspertsüsteemi (TeKES) loomisele. Esimeses alapeatükis määratletakse nõuded loodavale lahendusele, teises alapeatükis pakutakse välja konkreetse lahenduse kontseptsioon, kolmandas alapeatükis viiakse kontseptsioon ellu ja neljandas alapeatükis testitakse loodud lahendust sihtgrupiga.

3.1 Nõuded loodavale lahendusele

Renoveerimisalaste väljakutsete kaardistamise järel (ptk 2.3) oli, et „mitte-professionaalne renoveerimise tellija vajab igakülgset tuge, mida ta saaks iseseisvalt ning omale sobival ajal kasutada“, et võimalikult konkreetne ja kvaliteetne lähteülesanne luua. Probleemi lahendamisel keskendutakse Eesti 1960-2000. aastatel ehitatud kivikonstruktsioonil korterelamutele, kuna (1) nendes hoonetes on Eestis elupinda kõige rohkem; (2) need hooned on ületanud või ületamas oma projekteeritud kasutusiga ja vajavad lähiaastatel renoveerimist ning (3) need hooned on ehitatud valdavalt tüüpprojektide järgi ja nende tüpologia koos statistiliste keskmiste omadustega on teada [1].

Toetudes peatükile 2.3 peab loodav lahendus aitama vähendada renoveerimise tegelikku ja tunnetatud keerukust ning leevendada renoveerimisega seotud eelarvamusi ja väärarusaami. Lahendus peab ühel või teisel moel loetletud teadmised mitte-professionaalsele kasutajale andma või ise nende teadmiste põhjal asjakohased otsused langetama. Eeldusel, et renoveerimise algatajale on need teadmised abistava tööriista kujul kättesaadavad, peab lahendus aitama tal ka nende teadmiste põhjal otsuseid langetada.

Korterelamute renoveerimise kontekstis peab lahendus looma konkreetsete renoveerimislahenduste kogumi, mis soovitatavat renoveerimise tulemust võimalikult selgelt ja konkreetset kirjeldaks ning mis vastaks kõikidele hoonele seatavatele olulistele tehnilistele, juriidilistele ja sotsiaalsetele nõuetele (sh nt energiatõhususe miinimumnõuetele ja KredEx rahastustingimustele). Arvestades kõikide nende oluliste nõuete suurt hulka ja nende muutuvat iseloomu, ei ole neid tehnilisi, juriidilisi ja sotsiaalseid nõudeid käesoleva uurimistöökäigus eraldi kaardistatud. Renoveerimislahendused hõlmavad kõiki olulisi hoone renoveeritavaid tarindeid,

süsteeme ja muid osi. Renoveerimislahendused on konkreetsete renoveeritud tarinditüübid, süsteemid või muud olulised hoone osad.

Loodav lahendus peab täitma käesoleva uurimistö eesmärgi, rahuldama renoveerimisprojektide algatajate vajadusi ja täiendama olemasolevaid akadeemilisi teadmisi. Lahendusele sätestatavad nõuded on määratud FURPS-i meetodit kasutades. FURPS on tarkvaraarenduses kasutatav raamistik, mis kategoriseerib süsteemi nõuded viieks erinevaks kategooriaks: funktsionaalsus (*functionality*), kasutatavus (*usability*), töökindlus (*reliability*), jõudlus (*performance*) ja toetatavus (*supportability*), millest esimene (F) kirjeldab funktsionaalseid nõudeid ja ülejäänud neli (URPS) mittefunktsionaalseid nõudeid. [6]

Toetudes konkreetsetele varasemalt määratud uurimistö eesmärkidele ja renoveerimise algataja vajadustele, on loodavale lahendusele seatud järgnevad **funktsionaalsed nõuded (F)**:

1. Süsteem peab tuvastama olemasoleva hoone tüübi, geomeetria ja statistilised parameetrid
2. Süsteem peab tuvastama olemasolevale hoonele sobivad renoveerimislahendused
3. Süsteem peab võimaldama erinevate renoveerimislahenduste vahel valida ja kirjeldama erinevate valikute eeliseid ning puudusi
4. Süsteem peab tuvastama, kas valitud renoveerimislahendused vastavad olulistele hoonele seatud nõuetele (energiatõhusus, KredEx jt)
5. Süsteem peab hindama valitud renoveerimislahenduste mõju hoonele kui tervikule:
 - a. Arvutama hinnangulise ehitusmaksumuse
 - b. Arvutama renoveeritud hoone energiatõhususarvu (ETA)
 - c. Arvutama hoone renoveerimise kasvuhoonegaaside heitkoguse (KHG)
6. Süsteem peab valikute põhjal genereerima kokkuvõtva ja jagatava konfiguratsiooni kirjeldava dokumendi

Mittefunktsionaalsed nõuded on olulised loodava süsteemi kasutatavuse, usaldusväarsuse, jõudluse ja toetatavuse seisukohast. Need tagavad, et süsteem oleks lisaks sisulisele poolele ka kasutajasõbralik, kohandatav erinevate kasutajate vajadustele, töötaks kiiresti ja tõhusalt, oleks ühildatav teiste olemasolevate tehnoloogiliste platvormidega ning omaks võimalikult täpset ja värsket teadmist lahendatava probleemi kohta. Mittefunktsionaalsed nõuded aitavad hinnata süsteemi kvaliteeti nii selle arendaja kui ka lõppkasutaja vaatepunktist. Need nõuded võimaldavad süsteemil vastata kasutaja vajadustele ja ootustele ning sellest tingitud

positiivne kasutajakogemus aitab kõige enam renoveerimisega seotud eelarvamusi ja väärarusaami leevendada. Loodavale lahendusele on seatud järgmised **mittefunktsionaalsed nõuded (URPS)**:

Tabel 3. Lahendusele seatavad mittefunktsionaalsed nõuded.

	NÕUE	KIRJELDUS
Kasutatavus (U)	lihtsus	Süsteem peab olema kasutajasõbralik ja väikse õpiköveraga.
	kohandatavus	Süsteem peab töötama erinevate kasutajate veebilehitsejates, sh töötama erinevate, suurustega ekraanidel, nii arvutis kui nutitelefonis
	selgus	Info edasiandmise viis peab olema lihtsasti hoomatav ja mõistetav.
Töökindlus (R)	stabiilsus	Süsteem peab olema järjepidevalt ja ühtlaselt toimiv ega tohi kokku joosta.
	täpsus ja usaldusväärsus	Andmed, nii lähteandmed kui väljundandmed, peavad olema kontrollitud ja piisavalt täpsed, et eesmärgipäraseid otsuseid langetada.
Jõudlus (p)	kiirus	Süsteem peab arvutused tegema mõistliku ajaga, et kasutaja ei peaks süsteemi järele ootama.
	tõhusus	Kood peab olema optimeeritud ja tegema arvutused võimalikult tõhusal ja ressursisäästlikul moel.
Toetatavus (s)	uuendatavus	Süsteem peab olema lihtsasti hooldatav ja uuendatav, et jooksvaid parandusi sisse viia ja funktsionaalsust laiendada.
	integreeritavus	Süsteemi peab olema võimalik integreerida teiste olemasolevate tehnoloogiliste platvormide ja teenustega.
	kasutajatugi	Süsteem peab pakkuma kasutajatele soovitusi ja juhiseid.

3.2 Konfiguraatori arhitektuur ja disain

Renoveerimise algataja vajadused rahuldaks ning lahendusele seatud funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded täidaks teadmuspõhine ekspertsüsteem renoveerimislahenduse konfigureerimiseks, mis tehniliste ekspertide teadmised mitte-ekspertidele kättesaadavamaks muudaks. Teadmuspõhine konfigureerimis-ekspertsüsteem (TeKES) on tehisaru alamliik, mis aitab üksikkomponendid mingi konkreetse eesmärgi järgi ja ekspertteadmisi kasutades tervikuks kokku panna. Selline korterelamute konfiguraator aitaks renoveerimise algatajal erinevaid renoveerimise võimalusi läbi mängida ja paremini mõista erinevate lahenduste mõju tulemile. Seeläbi

saaks ta tõhusamalt sobivaima renoveerimislahenduste komplekti välja valida ja renoveerimise projekteerimiseks konkreetsema ning kvaliteetsema lähteülesande luua.

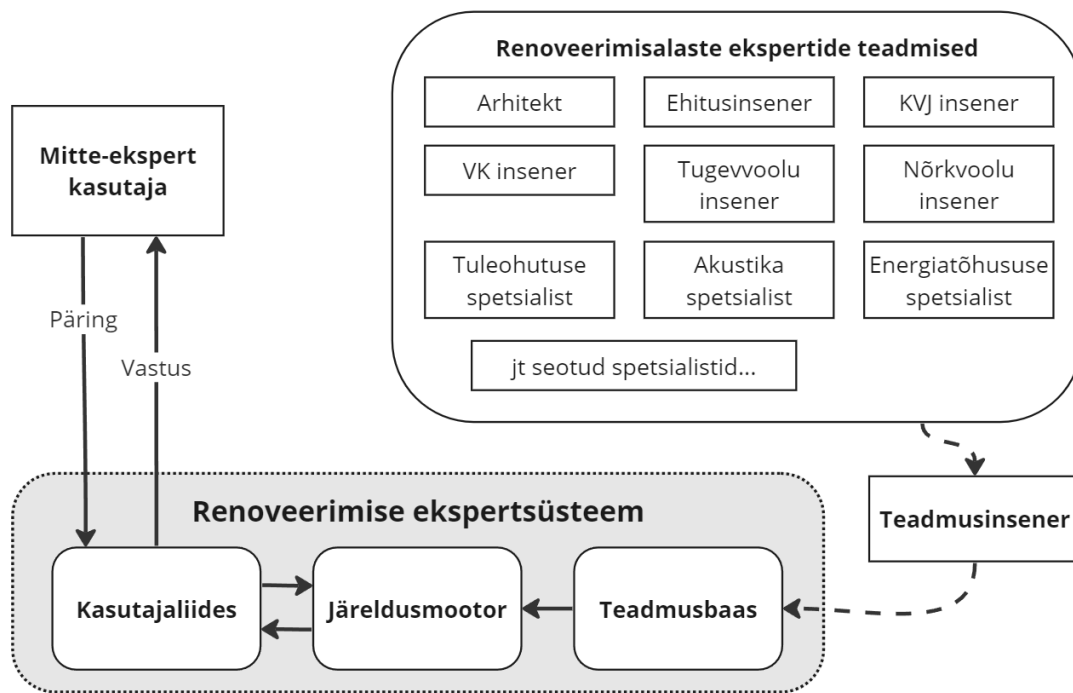
Loodav lahendus on süntees ekspertsüsteemist, teadmussüsteemist ja konfigureerimissüsteemist (vt ptk 2.2). Kirjanduses on need süsteemid väga sarnased ja tihti kattuvate omadustega, ent igal süsteemi liigil on oma olemuslik eripära, mis on käesoleva süsteemi loomisel asjakohane, mistõttu kasutatakse käesolevas magistritöös katusmõistet TeKES.

Kontseptuaalne renoveerimise tööriist on **ekspertsüsteem** (vt ptk 2.2.3), sest see ühendab arvuti võimalused ja renoveerimisalaste ekspertide teadmised sellises vormis, et süsteem suudab anda mõistlikku renoveerimisalast nõu ja realiseerida lahenduse, luues lähteülesande hoone renoveerimiseks. Mitte-ekspertide arvuti kasutajad saavad formaliseeritud ekspertteadmist vastavalt vajadusele kasutada, kusjuures arvuti teeb järeldusi ja annab soovitusi samamoodi nagu inimesest spetsialist seda teeks.

Arhitektuurilt on kontseptuaalne renoveerimise tööriist **teadmussüsteem** (vt ptk 2.2.2), sest ta kasutab ja loob uusi teadmisi juba olemasolevatest andmetest, infost ja teadmistest. Suure hulga erinevate spetsialistide teadmiste rakendamise tõttu on tarvilik süsteemi kaasata ka teadmusinsener – antud juhul uurimistöo autor – kes oleks lüli valdkonna ekspertide ja arvutisüsteemi vahel, kes spetsialistidelt ja teistest teadmusallikatest saadud teadmised süsteemi teadmusbaasina formaliseerib. Arhitektuuri eduka rakendamise aluseks on teadmusinseneri võime formaliseerida tehnilised nõuded, teadmised ja reeglid terviklikuks ning toimivaks süsteemiks.

Kontseptuaalne renoveerimise tööriist on **konfigureerimissüsteem** (vt ptk 2.2.4), sest renoveeritud hoone on olemuselt kui toode, mis on eesmärgipäraselt kokku pandud mitmetest teadaolevatest üksikkomponentidest. Neid üksikkomponente kombineeritakse vastavalt etteantud hoone eripäradele ja valitakse välja sobivaim lahenduste kombinatsioon.

Kontseptuaalse TeKES-i arhitektuur põhineb kirjanduses laialdaselt levinud teadmuspõhiste ekspertsüsteemide arhitektuuril (vt **Joonis 7**. Ekspertsüsteem.) ja on visualiseeritud alljärgneval joonisel (vt **Joonis 10**), kus ekspertsüsteemi osi on täpsustatud renoveerimisalase konteksti ja teadmusinseneri rolliga.



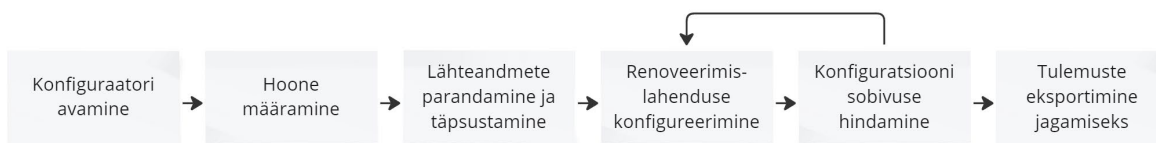
Joonis 10. Renoveerimise teadmuspõhine configureerimisekspertsüsteem ehk TeKES

Vastavalt teadmussüsteemi arhitektuurile on selle arendusprotsessis keskne roll teadmuspõhisel lähenemisel. Järgnevad alapeatükid – kasutajaliides, järeldusmootor ning teadmusbaas – keskenduvad teadmuspõhise süsteemi kolmele põhikomponendile, millest igaüks täidab süsteemi toimimises olulist rolli. **Teadmusbaasis** on struktureeritud kujul renoveerimiseks vajalikud andmed ja teadmised, **järeldusmootor** rakendab nendele teadmistele reegleid ja loob uusi teadmisi ning **kasutajaliides** võimaldab kasutajal süsteemiga suhelda ning renoveerimiseks olulised teadmised kasutajale edasi anda. Süsteemi eri osade konkreetne piiritlemine võimaldab seda jooksvalt täiustada vastavalt uutele teadmistele ja kasutajate tagasisidele.

3.2.1 Kasutajaliides

Kontseptuaalne TeKES-i kasutajaliides on oluline, et muuta tehiskivist korterelamute renoveerimisprotsess kasutajasõbralikumaks ja et lahendus vastaks sellele seatud funktsionaalsetele ja mittefunktsionaalsetele nõuetele ning eduka lähteülesande loomise kriteeriumitele (vt ptk 3.1). Kasutajaliides peab mitte-professionaalset kasutajat juhendama läbi süsteemi erinevate etappide, pakkudes samal ajal piisavalt informatsiooni ja valikuvõimalusi, et kasutaja saaks teha pädevaid otsuseid. TeKES-i kasutaja vaatevinklist on configureerimisprotsess jaotatud kuueks erinevaks etapiks: (1) konfiguraatori avamine, (2) renoveeritava hoone määramine, (3) hoone kohta käivate andmete parandamine ja täpsustamine, (4) renoveerimislahenduste

konfiguratsiooni loomine, (5) konfiguratsiooni sobivuse hindamine ja (6) tulemuste eksportimine jagamiseks (vt **Joonis 11**).



Joonis 11. Konfigureerimisprotsessi etapid TeKES-i kasutaja vaatevinklist.

Esimene etapp (1) on kasutaja esimene kokkupuude TeKES-iga. Kasutaja jõuab süsteemi avalehele, mis tutvustab kasutajale lühidalt ja arusaadavalt süsteemi eesmärki ja võimekust. Avaleht peaks kasutajat julgustama renoveerimisprotsessi algatama ning maandama hirme, mis kasutajal uudse süsteemi ees olla võivad. Järgmises etapis (2) peab kasutaja määrama renoveeritava hoone, misjärel tuvastab süsteem automaatselt valitud hoone asukoha, muud avaandmed, hoone tüübi ja selle statistilised parameetrid, tuginedes Eesti tehiskivi korterelamute tüpoloogiale [1]. Süsteemi sissejuhatus ja hoone määramine tehakse samas aknas.

Lähteandmete täpsustamise etapis (3) peab kasutajal olema võimalus parandada ja lisada hoone kohta käivaid andmeid. Täpsustusetapp on vajalik, kuna EhR-i andmed ei ole alati usaldusväärsed või on puudulikud (vt ptk 2.1.4) ning neid peab kontrollima. Lisaks peab kasutaja andma infot juba teostatud renoveerimistööde ja hoone tegeliku seisukorra kohta, mis aitab süsteemil pakkuda täpsemat võrdlust olemasoleva olukorra ja kavandatava olukorra vahel. Kasutajaliides võimaldab seda informatsiooni sisestada interaktiivsete rippmenüüde ja tekstiväljade abil.

Konfiguratsiooni loomise etapis (4) pakub süsteem kasutajale sobivaid renoveerimislahendusi, vastavalt teadaolevale infole hoone kohta. Kasutajaliides kuvab iga lahenduse kohta selgitust, mis kirjeldaks lühidalt valitud lahenduse eelseid ja puudusi, sealhulgas eeldatavat mõju hoone energiatõhususele, renoveerimise maksumusele ja keskkonnale (funktsionaalne nõue nr 5). Kasutajal on võimalus võrrelda erinevaid lahendusi, vaadelda nende plusse ja miinuseid ning teha informeeritud valik.

Konfiguratsiooni sobivuse analüüsi etapis (5) arvutab süsteem kasutaja poolt valitud konfiguratsiooni kohta konkreetsed tulemusnäitajad, mis vastavad lahendusele seatud funktsionaalsetele nõuetele. Nende näitajate hulka kuuluvad näiteks hoone hinnanguline maksumus, energiatõhususarv, renoveerimise kasvuhoonegaaside heitkogus ja vajadusel muud parameetrid, mis kasutajat renoveerimislahenduse valimisel toetavad. Selles etapis peab kasutaja saama selge arusaamise, kas tema

valitud renoveeritud hoone konfiguratsioon on ehitustehniliselt teostatav ja majanduslikult tasuv. Konfiguratsiooni loomise (4) ja sobivuse analüüsi etapp (5) võiksid toimuda samaaegselt selliselt, et renoveerimislahendust kohandades muutuks vahetult ka analüüsi etapi arvutuste tulemus.

Viimane, tulemuste ekspordi etapp (6), genereerib kasutajale detailse dokumendi, mis sisaldab võimalikult palju vajalikku informatsiooni, et valitud konfiguratsioonile vastav projekteerimise lähteülesanne luua. See dokument sisaldab konfigureerimisprotsessi käigus leitud hoonet iseloomustavaid teadmisi ja valitud lahenduste tehnilisi kirjeldusi, energiatõhususe eesmärke ja muid määratletud üksikasju. Tulemusi jagades on oluline, et dokument ei kirjeldaks konkreetseid tooteid ega materjale, mis tekitaks projekteerimis- ja ehitushangetes ebavõrdseid tingimusi. Funktsionaalse nõude nr 6 täitmiseks peaks dokument olema kujundatud selliselt, et seda oleks võimalik ka pärast ekspordimist kohandada ja täiendada ning et seda oleks lihtne edastada projekteerimismeeskonnale ja ehitajale.

Kasutajaliides peab läbivalt lähtuma kasutajamugavusest ja ligipääsetavusest ning vastama süsteemile seatud mittefunktsionaalsetele nõuetele (vt ptk 3.1). Süsteem peab olema loodud nii, et see oleks intuiitiivselt mõistetav ka ehitusalase hariduseta kasutajatele, kasutades selget keelt ja visuaalseid abivahendeid, nt ikoone ja graafikuid, mis aitavad kasutajal keerulist informatsiooni hoomata. Selleks, et kasutajat informatsiooniga mitte üle küllastada, ei tohi kasutajaliides olla liiga tehniliselt täpne ega detailne ning erinevate lihtsustuste tegemine on hädavajalik. Tehniline täpsus, detailsus ja korrektsus on oluline aga eksporditud tulemuste jagamise dokumendi puhul, mis on aluseks järgmistele renoveerimise etappidele.

Kasutajaliidese arhitektuur on visualiseeritud koos järeldusmootori ja teadmusbaasi arhitektuuriga järgmise peatüki lõpus (vt **Joonis 13**). Kasutajaliidese prototüübi kuvatõmmis on lisatud lõputöö lisadesse (vt **Lisa 3**).

3.2.2 Järeldusmootor

Järeldusmootor on TeKES-i osa, mis rakendab teadaolevatele hoone teadmiste loogilisi reegleid ja järeldab uusi teadmisi konkreetse olukorra kohta. Kontseptuaalsel TeKES-il on päripidi tuletav ehk otsetuletav (*forward chaining*) järeldusmootor (vt ptk 2.2.2). See tähendab, et süsteem järeldab kasutaja valikute põhjal lõpptulemuse omadused (nt konfiguratsiooni põhjal arvutatakse hoone energiaklass). Alternatiivselt, tagurpidi tuletav süsteem oleks selline, kus kasutaja valib soovitud lõpptulemuse omadused ja süsteem aitab kasutajal jõuda konfiguratsioonini, mis soovitud

lõpptulemuse saavutamist võimaldab (nt kasutaja valib hoone energiaklassi ja süsteem leiab ise ühe valitud energiaklassile vastava konfiguratsiooni).

Kontseptuaalsel tasemel oleks korterelamu renoveerimise lähteülesande loomisel tagurpidi tuletamine asjakohasem, sest kasutajale on lõpptulemus olulisem kui viis, kuidas lõpptulemus saavutatakse. Tagurpidi tuletavas süsteemis peaks kasutaja vaid määrama soovitud renoveerimise eesmärgi (nt ehitusmaksumuse või energiaklassi) ning süsteem teeks vastavad valikud ja analüüsi tema eest ära. Pärast eesmärgi defineerimist võiks süsteem pakkuda välja väikse valimi sobivatest eesmärkidele vastavatest konfiguratsioonidest, mille vahel kasutaja valida saaks.

Lähtudes lahendusele seatud nõuetest ja eduka lähteülesande loomise kriteeriumitest on oluline, et kasutaja mõistaks võimalikult hästi, kuidas mingid konkreetset renoveerimislahendused lõpptulemust mõjutavad ja miks ühed lahendused on paremad kui teised. Sellest vaatevinklist on ka vajalik, et kasutaja ise erinevaid lahenduste kombinatsioone läbi mängiks. Valikuprotsessis lähemalt osalemine võimaldab edukamalt kasutajale erinevate lahenduste mõju selgitada.

Tagurpidi järeldamise vastu räägib asjaolu, et hoone kui terviksüsteem on keerukas ning ühe ja sama lõpptulemuse saavutamiseks on väga suur võimalike variantide hulk. Keerukuse vähendamiseks kasutatakse configureerimismudelit, aga tagurpidi tuletamisel peaks ka sellisel juhul süsteem väga suurele hulgale konfiguratsioonidele teostama energiatõhususe ja/või maksumuse arvutuse. Päripidi järeldamine on lineaarne, mis tähendab et iga konfiguratsiooni muudatuse korral tuleb teha arvutus vaid ühe konfiguratsiooni kohta.

Tagurpidi tuletav järeldusmootor oleks seega keerukam ning aja- ja ressursimahukam kui päripidi järeldav järeldusmootor. Seega, kui üldjuhul sobiks renoveerimise teadmussüsteemile tagurpidi tuletav järeldusmootor, siis renoveerimise configureerimissüsteemile sobib paremini päripidi tuletav järeldusmootor.

Kokkuvõttes, kontseptuaalne renoveerimise TeKES kasutab päripidi tuletavat järeldusmootorit, sest see vähendab süsteemi keerukust ja ressursikulu ning võimaldab kasutajatel renoveerimislahenduste valikuprotsessis lähemalt osaleda, aidates paremini mõista erinevate valikute tagajärgi ja mõju lõpptulemusele.

Kontseptuaalse TeKES-i järeldusmootor koosneb kolmest erinevast kontseptuaalselt eristatavast osast: (1) interpreteerimisplakk, (2) lahendusplakk ja (3) selgitusplakk (vt ptk 2.2.3). Interpreteerimisplakk on järeldusmootori osa, mis TeKES-i kasutaja sisestatud andmeid tõlgendab. Lahendusplakis lahendatakse probleem ehk

genereeritakse kõikide teadmiste põhjal renoveeritud hoone konfiguratsioon ja arvutatakse kõik väljundandmed, mida kasutajaliideses esitatakse. Selgitusploki ülesanne on kasutajale probleemi lahendamise sammude selgitamine ja põhjendamine.

Kirjanduses on teadmussüsteemides tihti rakendatud ka õppimisblokki (vt ptk 2.2.3), mille ülesanne oleks TeKES-i teadmusbaasi täiendamine. Kontseptuaalselt võiks TeKES olla võimeline ise uusi teadmisi hankima, kuid seatud eesmärkide põhjal on selle olulisus teisejärguline ning uued teadmised lisab süsteemi teadmusinsener. Peatükis 3.1 seatud funktsionaalsete nõuetele toetudes on interpreteerimisblokk, lahendusblokk ning selgitusblokk olulisemad kui õppimisblokk. Seega pole õppimisblokki käesoleva magistritöös lähemalt käsitletud, kuid selle ploki võiks kontseptsioonile lisada tulevikus.

Interpreteerimisblokk on seotud kasutajaliidese sisendväljadega, mis ühendab iga sisendvälja väärtuse teadmusbaasiga. See blokk täitab funktsionaalsed nõuded nr 1 ja 2, kus tuvastatakse hoone tüüp, geomeetria ja statistilised parameetrid ning tuvastatakse määratud hoonele sobivad renoveerimislahendused. Blokk toetub teadmusbaasis salvestatud andmetele ja reeglitele.

Selgitusblokk on oluline funktsionaalse nõude nr 3 täitmisel, mis sätestab, et lahendus peab kirjeldama erinevate renoveerimisvalikute eeliseid ja puudusi. Selle nõude täitmiseks on teadmusbaasi igal renoveerimislahendusel lühikirjeldus, mida kasutajale kuvatakse. Selgitusplokis visualiseeritakse kasutajale hoone digitaalne kaksik, et näidata kasutajale tema valitud renoveerimisvalikute mõju hoone väljanägemisele.

Lahendusplokis täidetakse funktsionaalsed nõuded nr 4, 5 ja 6:

- 1) Visualiseerimisblokk kuvab kasutajale 3D mudelit renoveeritavast hoonest ja võimaldab erinevate renoveerimislahenduste välimust võrrelda
- 2) KredEx'i plokis tuvastatakse, kas valitud renoveerimislahendused vastavad KredEx'i renoveerimistoetuste saamise nõuetele
- 3) ETA plokis tehakse hoonele ligikaudne energiatõhususarvutus kasutades RESTO tööriista ja tuvastatakse, kas valitud renoveerimislahendused vastavad Eesti määrusejärgsele energiatõhususnõuetele
- 4) KHG plokis arvutatakse hoone renoveerimisel tekkiv kasvuhoonegaaside heitkogus
- 5) Hinnastamisplokis arvutatakse valitud renoveerimislahenduse hinnanguline ehitusmaksumus
- 6) Päikseenergiaplokk aitab leida hoonele rajatava päikseenergiapargi lahenduse
- 7) Tulemuste plokis genereerib süsteem valikute põhjal tervikliku ja kokkuvõtva renoveerimise lähteülesande dokumendi

Kokkuvõttes, kontseptuaalne päripidi tuletav järelsmootor rakendab teadmiste loogilisi reegleid ja loob uusi teadmisi, mis aitab kirjeldada erinevate renoveerimislahenduste mõju lõpptulemusele. Järelsmootor täidab lahendusele seatud funktsionaalsed nõuded. Järelsmootor on üles ehitatud moel, et süsteemi keerukus oleks võimalikult väike ning et kasutaja saaks paremini mõista erinevate renoveerimisvalikute tagajärgi ja mõju lõpptulemusele. Järelsmootori arhitektuur on visualiseeritud koos teadmusbaasi arhitektuuriga järgmise peatüki lõpus (vt **Joonis 13**).

3.2.3 Teadmusbaas

Teadmusbaas formaliseerib ekspertteadmised arvutisüsteemis (vt ptk 2.2.2). See hõlmab kogu asjakohast teavet, mis renoveerimisprotsessi puudutab. See koondab erinevate renoveerimisega seotud teenuste ja spetsialistide valdkonnapõhised teadmised ja reeglid ühte kohta, et nende põhjal oleks võimalik uusi teadmisi järelsmootoril. Eesti tehiskivi korterelamute renoveerimise kontekstis kuuluvad teadmuse hulka näiteks hoonete tüpologia [1], riiklikud avaandmed (EhR, digikaksik, katastriandmed Maa-ametist), renoveerimislahenduste andmebaas, renoveerimisstrateegia tööriist RESTO [40] ja konfigureerimismudel (vt **Lisa 2**). Teadmusbaasi koosseis võib ajas muutuda ja täieneda, kui teadmiste hulk paraneb või laieneb.

Väljapakutava TeKES-i teadmus jaguneb üldteadmisteks, probleemspetsiifilisteks teadmisteks ja probleemi lahendavateks teadmisteks (vt ptk 2.2.4). Üldteadmised on renoveerimise kohta käivad staatilised faktid ja omadused, mis kehtivad iga hoone renoveerimise konfigureerimisel, sõltumata konkreetse hoone eripäradest. Selliste teadmiste hulka kuuluvad näiteks konfigureerimismudel, renoveerimislahenduste andmebaas ja omadused ning regulatiivsed nõuded (nt seadused, määrused ja standardid). Probleemspetsiifilised teadmised on konkreetse hoone kohta käivad teadmised, nt hoone geomeetria ja asukoht, ning kasutaja seatud soovid ja vajadused renoveerimistulemusele. See teadmine kogutakse konkreetse hoone konfigureerimise käigus. Probleemi lahendavad teadmised määravad otsuste langetamise järjekorra, strateegia ja meetodika.

Teadmusbaasi kõige olulisem ja võtmetähtsusega osa on Eesti **avaandmed**. Andmeallikate nagu Ehitisregistri (EhR), digikaksiku ja Maa-ameti andmebaaside kasutamine annab alusinfo hoone kohta. Eesti digikaksikus on LOD0, LOD1 ja LOD2 (*level of detail*) täpsusega hoonete geomeetria ja punktipilvede informatsioon. Maa-ametis on geomeetrilised andmed hoone asukoha, katastripiiride ja trasside kohta koos paljude muude geodeetiliste teadmistega. EhR sisaldab infot hoone kasutuselevõtu

aasta, erinevate pindalade, energiamärgiste ja muude tehniliste andmete, nt hoone materjalide kohta. Kahjuks on EhR-i andmed tihtipeale puudulikud või isegi valed, kuna oluliste andmeväljade täitmine on jäetud hoone omanikule või kasutajale, mitte spetsialistile. Kõige usaldusväärsemad andmeväljad on seotud hoone omandiga ja kinnisvara väärtusega (nt hoone suletud netopindala) [1].

E. Iliste magistritöös on varasemalt loodud tehiskivi korterelamute **tüpoloogia** otsustuspuu [1], mis võimaldab süstemaatiliselt hoone tüübi määrata. Selle tüpoloogia põhjal on kõik Eesti tehiskivi korterelamud klassifitseeritud ning igale tüübile on määratud spetsiifilised statistilised keskmised parameetrid vastavalt nõukogudeaegsetele tüüpkonstruktsioonidele. Iliste magistritöö põhjal on teise väljundina loodud MS Excelis andmestik kõikide EhR-is olevate enne 1995. aastat ehitatud hoonete kohta, kus on määratud hoone tüübi kategooria ja konstruktsioonide materjalid.

Konfigureerimissüsteemi kontekstis on oluline teadmusbbaasi osa korterelamute **konfigureerimismudel** (vt ptk 2.2.4), mis kirjeldab korterelamu erinevate komponentide vahelisi seoseid ja sõltuvusi (välistusi ja vajadusi). See on vajalik, sest korterelamu keerukuse tõttu on erinevate renoveeritud konfiguratsioonide hulk väga suur ja kõikide erinevate kombinatsioonide eraldiseisev kaardistamine on väga ajamahukas (vt ptk 2.3).

Konfigureerimismudeli loomisel on kasutatud UML 2.0 universaalset modelleerimiskeelt, sest see on tarkvaraarenduses kõige levinum standardkeel ja seetõttu ka erinevatele osapooltele paremini mõistetav. Lisaks on seda mugav otse programmeerimiskeelde tõlkida [41]. Mudeli loomisel on hoitud silmas ehitussektori kontekstis laialdaselt kasutusel olevat IFC andmeskeemi [42] ja Eestis juurutatavat CCI-EE klassifikaatorsüsteemi [43]. Konfigureerimismudeli ülesehitamine moel, et see oleks võimalikult sarnane juba olemasolevatele andmestruktuuridele võimaldab tulevikus hõlpsamini platvormidevahelist suhtlust ja edasiarendust.

Konfigureerimismudelis on oluline eristada komponenditüüpe ehk klasse ja konkreetseid komponenditüüpide eksemplare ehk instantse. Komponenditüüp on näiteks sein, mis saab olla kas alamtüübist välissein või sisesein, mille saab omakorda jagada alamtüüpideks näiteks kandva karkassi materjali põhisel. Seinakomponendi atribuudid on näiteks selle tulepüsivusklass, U-arv või akustilised näitajad. Konkreetne eksemplar on komponenditüüpi instants, mille atribuutidele on määratud väärtused ja mis sümboliseerib mingit konkreetset renoveerimislahendust. [41]

Käesoleva magistritöö raames on loodud kontseptuaalne kivikonstruktsioonist korterelamute konfigureerimismudel toetudes uurimistöö autori ja juhendaja teadmistele ning intervjuudele erialaspetsialistidega. Konfigureerimismudel komponenditüüpide täpsusega on lõputöö lisades (vt **Lisa 2**). Mudel annab struktureeritud ülevaate hoone renoveerimist vajavatest osadest, ning määratleb ära, millised on nendele olulised tehnilised parameetreid ja omadused.

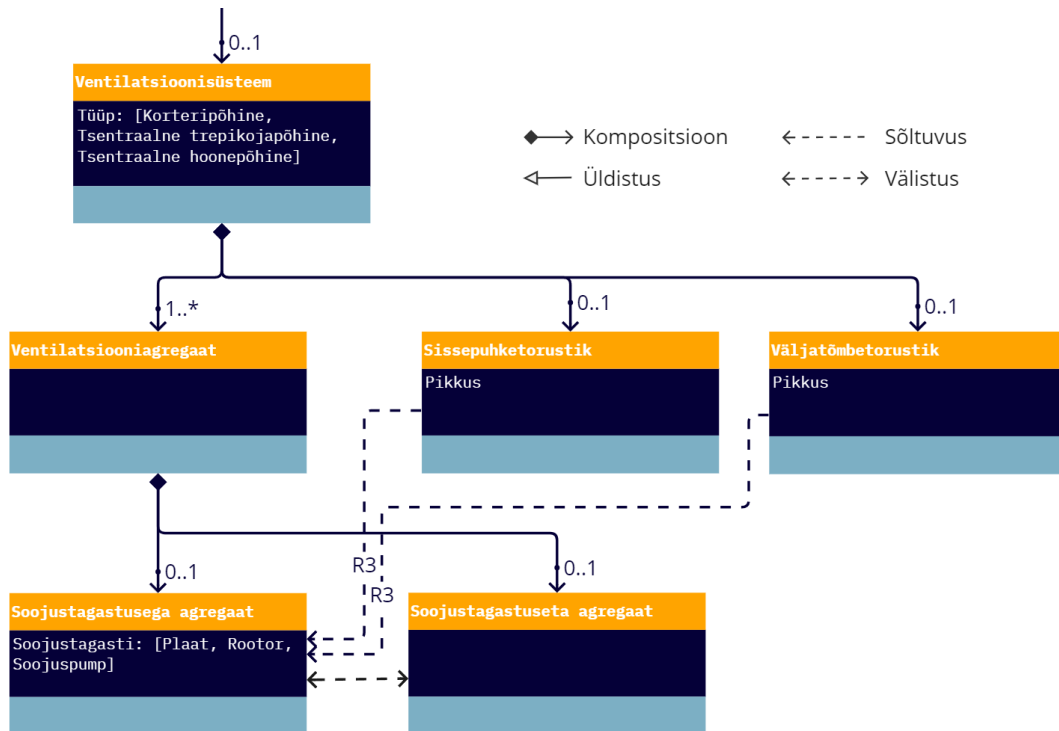
Konfigureerimismudeli ülesanne on formaliseerida näiteks järgnevad renoveerimist mõjutavad reeglid:

- R1: KUI hoone välissein soojustatakse JA hoone aknad vahetatakse, SIIS hoone õhulekkearv väheneb.
- R2: KUI hoone õhulekkearv väheneb, SIIS tuleb hoonesse rajada mehaaniline ventilatsioonisüsteem.
- R3: KUI hoonesse rajada soojustagastusega ventilatsioonisüsteem, SIIS on hoonel vaja nii sissepuhke kui ka väljatõmbe ventilatsioonitorustikku.
- R4: KUI gaasipliidid asendatakse elektripliididega VÕI rajatakse elektriline küttesüsteem, SIIS tuleb kontrollida, kas olemasolevat elektrienergia liitumisvõimsust peab suurendama.
- R5: KUI hoonel on kaldkatus, SIIS hoonetele ei saa rajada lamekatuse tarinditüüpi.

Need reeglid ei ole ammendavad, nad võivad ajas muutuda ja nad kirjeldavad üldjuhtu, mis tähendab, et neile võib tegelikkuses esineda erandeid. Reeglite haldamine, muutmine ja uuendamine süsteemis on süsteemi teadmusesineneri ülesanne (vt ptk 2.2.2).

Konfigureerimismudeli sõltuvused ja välistused on eelistatult konkreetsete eksemplaride vahel. Näiteks R3 rakendamisel võiks reegli süsteemis formaliseerida vastavalt konkreetse eksemplari atribuudile, kas valitud ventilatsiooniagregaadil on soojustagasti või mitte. R4 rakendamise jaoks oleks vaja teada hoone olemasoleva elektrisüsteemi võimsust ja muutuse arvulist väärtust, kui palju kavandatava elektrisüsteemi võimsus kasvab. R5 rakendamiseks oleks vaja teada konfigureeritava hoone katuse kaldenurka.

Reeglite formaliseerimise näitlikustamiseks on käesoleva magistritöö raames proovitud reegleid rakendada eksemplaride asemel komponenditüüpide tasemel. Selleks on vaja luua täpsemaid üldistusi ja tüüpide alamtüüpe, mis seda võimaldab. Näiteks R3 rakendamisel saab luua ventilatsioonisüsteemi komponenditüübile soojustagastusega ja soojustagastusega ventilatsioonisüsteemide alamtüübid (vt **Joonis 12**).



Joonis 12. Konfigureerimismudeli sõltuvusseosed komponenditüüpide tasemel ventilatsioonisüsteemi näitel.

Kontseptsiooni elluviimisel on sõltuvused ja välistused eelistatult konkreetsete eksemplaride ehk komponenditüüpide instantside vahel, mitte joonisel kirjeldatud komponenditüüpide vahel.

Komponenditüüpide eksemplarid ehk konkreetsete komponendid on formaliseeritud teadmusbbaasi **renoveerimislahenduste andmebaasi** osas, mille loomine ei kuulu käesoleva uurimistöo mahtu. Kui konfigureerimismudel kirjeldab erinevate komponentide vahelisi seoseid ja sõltuvusi, siis renoveerimislahenduste andmebaas on kogum erinevatest võimalikest konkreetsetest renoveerimise algataja valikutest (nt tarinditüübid, õhulekkearv, kütte- ja ventilatsioonisüsteemide tüübid).

Iga renoveerimislahendus peab omama konkreetseid tehnilisi parameetreid ja omadusi, nt välisseina puhul paksus, soojustälbivus, tulepüsivus, helipidavus, üldine kirjeldus jms. Need on konkreetsete valikud, mille vahel süsteemi kasutaja saab sobivaima lahenduse välja valida.

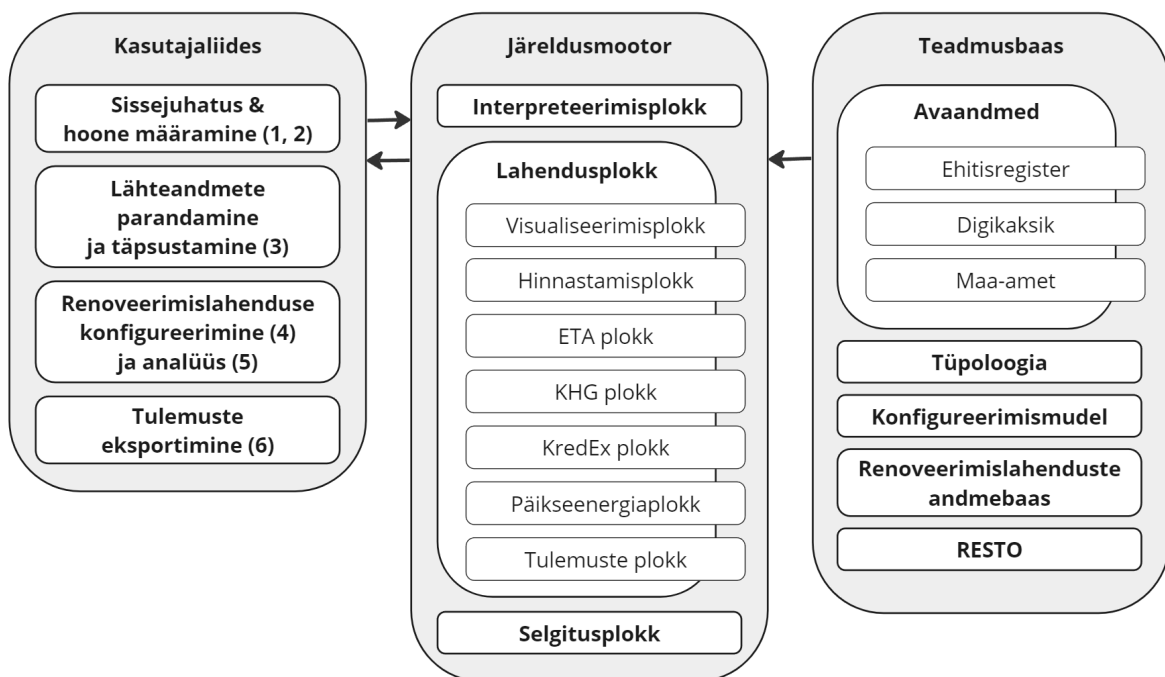
Kuna konkreetsete renoveerimislahenduste väljatöötamine ei ole käesoleva magistr töö fookuses, siis lahenduste andmebaasi loomisel kasutatakse juba olemasolevaid teadmisi: KredEx energiatõhususe kalkulaatori valikud, KredEx lähteülesande mallis sätestatud valikud, koos töö autori, töö juhendaja, teiste ehitusinseneride ja teistes Tallinna Tehnikaülikooli uurimistöodes kogutud teadmistega. Need konkreetsete

kategoriseeritud renoveerimislahendused peavad olema formaliseeritud moel, et teadmusinseneril oleks võimalikult lihtne ja mugav jooksvalt uusi renoveerimislahendusi lisada ja juba eksisteerivaid lahendusi korrigeerida.

Varem mainitud konfigureerimismudel is formaliseeritud välistusi ja sõltuvusi, mis kasutaja valikuvariante piiravad, rakendatakse renoveerimislahendustele järelmootori osas.

Teadmusbaasi kuulub ka renoveerimisstrateegia tööriist **RESTO** [40], kus on juba formaliseeritud ligikaudse energiatõhususarvu arvutamise ja maksumuse arvutamise reeglid. RESTO tööriista eesmärk ei ole küll renoveerimislahenduse konfigureerimine vaid hoopis elumupiirkonna energiatõhususe hindamine ja renoveerimisstrateegiate loomise abistamine, kuid tööriist loob teadmisi, mida saab TeKES-i järelmootori ETA mooduli ja hinnastamismooduli osas ära kasutada. RESTO projektis on ka defineeritud olulised renoveerimisega seotud andmeparameetrid ja nende struktuur.

TeKES-i teadmusbaasi arhitektuur koos järelmootori arhitektuuriga on visualiseeritud alljärgneval joonisel (vt **Joonis 13**).



Joonis 13. TeKES-i arhitektuur.

3.2.4 Sarnased süsteemid

Väljapakutud kontseptsioonile sarnaseid lahendusi on varem loodud lisaks muudele sektoritele ka ehitusvaldkonnas. Näiteks Kamari *et al.* [44] teadustöö esitas hübriidse otsustustoe süsteemi, mille eesmärk oli genereerida terviklikke renoveerimisstsenariume, arvestades energiatarbimist, investeeringute kulusid ja sisekliimat. Süsteem kasutab erinevaid otsustamise meetodeid koos geneetiliste algoritmidega, et leida optimaalseid renoveerimisstsenariumeid. Süsteemi eesmärk oli toetada arhitekte ja insenere projekteerimise algfaasis. Töö järjena on Kamari ja Schulz [45] loonud renoveerimise domeenimudeli ja pakkunud välja renoveerimise kavandamist toetava raamistiku, mis annab projekteerijatele disainist ülevaate koos simulatsiooniga oluliste tulemusnäitajate hindamiseks. Selle süsteemi sihtrühm on erialaspetsialist, mis tähendab, et see pole ekspertsüsteem.

Aga ka ekspertsüsteeme on ehitusvaldkonnas loodud mitmeid. Näiteks 1987. aastal kirjeldatud CONSTRUCTION PLANEX süsteem [46] on ekspertsüsteem ehitusprojektide planeerimiseks, mis aitab luua projekti kulu- ja ajakavasid, sealhulgas määratleda tehtavaid tegevusi, eelnevussõltuvusi ja valida kasutatavaid tehnoloogiaid. Kaasaegsem näide on Nilashi *et al.* kirjeldatud teadmuspõhine ekspertsüsteem [47], mis hindab hoone jätkusuutlikkust, kasutades selleks roheliste hoonete hindamissüsteemide hindamisfaktoreid. Töö tulem oli vastav tööriist, mis analüüsib erinevate faktorite mõju jätkusuutlike hoonete arendamisel, nii majanduslikest, sotsiaalsetest kui ka keskkonnaperspektiividest.

Mõningad muud ehitussektori näited on toodud ka konfigureerimissüsteemide peatükis (vt ptk 2.2.4) ning kõige sarnasem Eesti näide kontseptuaalsele renoveerimise TeKES-ile on Eesti kunstiakadeemias arendatud korterelamutüübi 1-464 kohandamistööriist [38], mille eesmärk on erinevate funktsionaalsete renoveerimisvõimaluste visualiseerimine kasutajale. Süsteem keskendub ühe hoonetüübi ja selle korterite arhitektuursete lahenduste konfigureerimisele ja seega toetab 1-464 tüübi hoonete renoveerimise algatajaid renoveerimise arhitektuurse lahenduse kavandamisel. Töö laiem eesmärk on Eesti elukeskkonna kaasajastamine ning hoonete välisilme ja linnapildi mõjutamine [39]. Näide ei kajasta hoone tehnilist toimivust ning vastab vaid väiksele osale käesoleva töö lahendusele seatud nõuetest.

Selliseid teadmuspõhiseid ekspertsüsteeme, mille sihtrühm on mitte-ekspertid renoveerimise algataja ja mille eesmärgiks on seatud laiemalt renoveerimise algataja toetamine renoveerimise lähteülesande koostamisel, ei ole käesoleva magistritöö käigus tuvastatud.

3.3 Prototüübi arendamine

Töö käigus on välja arendatud veebipõhine renoveerimise TeKES-i prototüüp „Renokratt“. Arendamise etapp hõlmab süsteemi loomise praktilist poolt, mis tugineb eelmistes alapeatükkides kirjeldatud arhitektuurile ning lahendusele sätestatud nõuetele. Prototüüpi arendamine võimaldab järgmises etapis demonstreerida ja testida kontseptuaalse süsteemi toimivust praktikas.

Käesoleva magistritöö käigus tehakse läbi disainiteaduste meetodika (DSR-i) esimene iteratsioon, mistõttu on esmase prototüübi arendamisel peamine fookus funktsionaalsete nõuete täitmisel ja valideerimisel. Mittefunktsionaalseid nõudeid on prototüübi arendamisel järgitud, aga nende täitmine on teisejärguline. Jätkuversioonide arendamisel peab kindlasti ka nendega arvestama.

Prototüüp on arendatud veebiplatvormile VIKTOR.ai [48], mis on võimekas ja tasuta tööriist kasutajasõbralike insenerirakenduste loomiseks. Prototüübi loomiseks kaaluti ka Rhino Grasshopperi keskkonda, ShapeDiver'i teenust, HTML ja JavaScript'il põhinevat tööriista ja MS Excelit. Valituks sai VIKTOR, sest see on *low-code* platvorm, mis võimaldab mugavalt luua kasutajasõbraliku kasutajaliidese ning põhineb töö autorile tuttavatel Python programmeerimiskeelel. Platvorm on tasuta ja veebipõhine, mis tähendab et see on erinevatele kasutajatele kergesti ligipääsetav. Lisaks on VIKTOR põhjalikult dokumenteeritud, sellele on palju õpetusvideoid ja oma tugev kommuun, mis on abiks rakenduse loomisel.

Rakenduse ehitamine Pythonis võimaldab kasutada laia valikut erinevaid teeke, millega mugavalt erinevaid andmeid lugeda, teenuseid kasutada ja hoone andmeid töödelda. Prototüüp arendati Pythoni versioonile 3.11 ning selleks kasutati programmeerimise arenduskeskkonda PyCharm 2023.2.5. Olulisemad rakenduse loomisel kasutatud teegid on *requests*, *pandas* ja *compute-rhino3d*, mida on vastavalt kasutatud andmete kättesaamiseks erinevatest API-dest, andmetöötluseks ja Grasshopperi liidestamiseks. Prototüübi arenduskeskkonna kuvatõmmis on lisatud lõputöö lisadesse (vt **Lisa 4**).

Prototüübi arendamisel on kasutatud ka Rhino 7 ja Grasshopper programme, mille liidestamist VIKTOR toetab. Grasshopperi keskkonnas on tehtud renoveeritava hoone visualiseerimine, mis on Rhino Compute tööriista kasutades kasutajaliidese viidud. Rhino ja Grasshopper on lahendusega liidetud, et näidata võimalikke töövooge, mida kontseptsiooni täieulatuslikul elluviimisel võiks kasutada. Järgmistes iteratsioonides oleks Grasshopperi keskkonnas võimalik ka läbi viia detailne energiatõhususarvutus kasutades Grasshopperi Ladybugi pakke ning konfigurereida renoveerimise arhitektuurset lahendust.

Esimeses iteratsioonis rakendatakse lihtsustatud kujul kõiki teadmusbaasi osasid ja luuakse järelsmootori interpreteerimisplakk, lihtsustatud selgitusplakk ja lahendusploki visualiseerimisplakk, ETA arvutamise plakk ja tulemuste plakk. Hinnastamis-, KHG, KredExi ja päikseenergiaplokki prototüübi mahu kokkuhoidmise tõttu ellu pole viidud, kuid prototüüp on loodud arvestades, et neid oleks võimalik süsteemi hiljem lisada.

TeKES-i teadmusbaasi üldteadmised (teadmiste liigitamine vt ptk 2.2) on osa programmist ja salvestatud staatiliselt taustal erinevates vormides. Probleemspetsiifilised teadmised päritakse automaatselt üle veebi kasutades olemasolevaid rakendusliideseid ehk API-sid. Üldteadmiste hulka kuuluvad hoonete tüpoloogilised teadmised, konfigureerimismudel ja renoveerimislahenduste andmebaas. RESTO energiatõhususe arvutamise tööriista teadmisi päritakse ka API kaudu.

Teadmusbaasi konkreetsed renoveerimislahenduste eksemplarid on salvestatud MS Exceli failis, kuna see on tõhus ja laialdaselt levinud programm, millesse on lihtne ja mugav uusi renoveerimislahendusi lisada. Fail on ülesehitatud moel, et iga Leht (*Sheet*) käib ühe komponenditüübi kohta (st välissein, õhulekkearv, kütteallikas on eraldi lehel).

Igal lehel on omakorda masinloetav tabel, mille esimeses reas on konfigureerimismudelis sätestatud parameetrite nimetused ning iga järgnev rida sümboliseerib üht konkreetset renoveerimislahendust (vt välisseinte renoveerimislahenduste näide **Tabel 4**).

Igale tabelile vastab kasutajaliideses üks rippmenüü, millest ta peab omale sobiva variandi välja valima. Igasse tabelisse on võimalik igal ajal lisada uusi lahendusi (ridu) või parameetreid (tulpasid), nii et need kajastuvad automaatselt ka kasutajaliideses.

Tabel 4. Välisseinte renoveerimislahenduste tabel.

Nimetus	U-arv	Paksus	Müra- indeks	Kaal	Hind	GWP	Lühikirjeldus
Muutmata	-	-	-	-	0	0	<i>Välisseina ei muudeta ja selle tehnilised omadused ei muutu.</i>
SILS 200mm	0,13	210	58	5	70	50	<i>Traditsioonilisem ja odavam fassaadisüsteem, mis ehitatakse objektile. Tulemus sõltub ehitajast ja ilmast.</i>
Tehaseline paneel 180mm	0,13	266	58	31,1	99	39,7	<i>Tehases toodetud puitpaneel. Õhem paneel laseb rohkem soojust välja, kuid on materjalikulu poolest odavam. Toodetud kontrollitud keskkonnas, mis annab kvaliteetsema tulemuse. Kiire paigaldus, kuid kõrgem hind.</i>
Tehaseline paneel 280mm	0,11	371	58	35,7	135	43,2	<i>Tehases toodetud puitpaneel. Paksem paneel laseb vähem soojust välja ja selle sisse on võimalik vajadusel paigaldada ka tehnosüsteemide torustikke. Toodetud kontrollitud keskkonnas, mis annab kvaliteetsema tulemuse. Kiire paigaldus, kuid kõrgem hind.</i>
Utopia	0,07	120	70	10	1000	100	<i>Ebarealistlik variant, millega saad Sa näha kui palju üldse välissein võib hoone energiatõhusust mõjutada.</i>

Renoveerimislahenduste valikud on konkreetsed ja teostatavad variandid, mida on võimalik määratud hoone puhul kasutada. Renoveerimislahenduste konkreetsed parameetrid annavad pidepunkti, mis näitab kasutajale, millise tulemuseni valitud lahendusega tõenäoliselt jõutakse.

Kuigi iga variandi parameetrid ja omadused põhinevad päriselt väljaehitatud lahendustel ja konkreetsetel toodetel, siis TeKES ei sunni kasutajat lähteülesandesse identset lahendust sisse kirjutama ja neid samu tooteid kasutama. Kasutaja valikuga määratakse vaid põhimõtteline lahendus ning konstruktsioonide või toodete sihitavad tehnilised omadused.

TeKES-i kasutajaliides ja järelalusmootor on üles ehitatud vastavalt VIKTOR-i platvormi [48] võimalustele. Süsteem loob taustal renoveeritavast hoonest kolm erinevat andmekogumit:

1. Hoone andmed vahetult pärast selle ehitamist, kus hoonele on määratud selle tüpoloogiast tulenevad omadused.
2. Hoone tänast olukorda kirjeldavad andmed, kus tüpoloogiast tulenevad algandmed on kasutaja poolt kontrollitud, täpsustatud ja üle kirjutatud.

3. Kavandatava hoone konfiguratsiooni andmed, kus tänast olukorda kirjeldavad andmed on üle kirjutatud kasutaja valitud renoveerimislahendusi kirjeldavate andmetega.

Need kolm andmekogumit on prototüübi jooksvas mälus salvestatud Python'i *pandas* DataFrame objektidena, millega on mugav teha järgmisi andmeoperatsioone. Näiteks leitakse prototüübis igale andmekogumile vastav energiatõhususarv kasutades RESTO tööriista (ETA plokk). Vastav arvutus tehakse uuesti igale konfiguratsioonile, st alati kui kasutaja hoonetele mingi uue renoveerimislahenduse valib. Sellisel moel saab kasutaja tõhusalt tänast ja kavandatavat olukorda võrrelda ja selle põhjal informeeritud otsuse langetada.

Magistritöö raames VIKTOR.ai platvormile arendatud prototüüp „Renokratt“ on avalikult kasutatav ja selle lähtekood koos kõikide kasutatud teadmusbasi osadega on avalikult kättesaadav töö autori GitHub'is:

Prototüüp: <https://cloud.viktor.ai/public/renokratt>

Lähtekood: <https://github.com/joosepvi/renokratt>

3.4 Testimine

See peatükk käsitleb disainiteaduste metoodika lahenduse demonstreerimise etapi I iteratsiooni. Peatükk keskendub prototüübi testimisele päris kasutajatega ja tagasiside kogumisele, mis on aluseks loodud kontseptsiooni ja prototüübi hindamisele. Magistritöö raames tehakse läbi ainult disainiteaduste metoodika I esimene iteratsioon.

3.4.1 Testimise metoodika kirjeldus

Testimise etapis demonstreeriti loodud lahendust sihtgrupile ja näidati, kuidas loodud konfiguraator määratletud probleemi lahendab. Testimise etapi peamine eesmärk on loodud lahenduse funktsionaalsete nõuete (vt ptk 3.1) valideerimine. Testimise etapi käigus koguti süstemaatiliselt tagasisidet, et järgmises etapis hinnata, kuidas lahendus magistritöö eesmärkidele vastab. Kuna käesoleva töö raames tehakse läbi vaid lahenduse arendamise esimene iteratsioon, on mittefunktsionaalsete nõuete (nagu kasutajamugavus, ligipääsetavus, turvalisus jms) testimine teisejärguline.

TeKES-i testimiseks korraldati intervjuud erinevate kasutajatega, mille käigus koguti tagasisidet süsteemi kohta. Süstemaatilise tagasiside saamiseks koostati kvalitatiivne küsimustik ning küsimustele vastamiseks kasutati vabavormilise arutelu meetodit. Valitud lähenemine võimaldas näha ja mõista, kuidas erinevad kasutajad süsteemi

funktsionaalsust tajusid ning kuidas lahendus reaalses kontekstis toimib, millised on selle tugevused ja nõrkused ning kuidas seda võiks edasi arendada.

Väljatöötatud prototüüpi testiti kolme tehnilise konsultandiga ja ühe Kliimaministeeriumi esindajaga. Iga kasutajaga tehtud koosolek jaotati kolme etappi: (1) probleemistiku lühitutvustus, (2) lahenduse iseseisev kasutamine ning (3) lahenduse kontseptsiooni täpsem tutvustamine ja arutelu:

Probleemistiku lühitutvustuse etapis (1) tutvustati kasutajale magistritöö tausta, konteksti, probleemistikku, lahenduse sihtgruppi ning lõputöö eesmärki. Etapi eesmärk oli kasutajale selgitamine, mis probleemi näidatav tööriist lahendama peab ning et valideerida erinevate uuringute järeldusi ja lahendatava probleemi asjakohasust (vt ptk 2.1). Etapis rõhutati, et testitav prototüüp on laiemas kontseptsiooni esmane iteratsioon, kus ei ole jõutud täit kontseptsiooni ellu viia. Prototüübi kasutamisel paluti fookus seada funktsionaalsetele nõuetele ehk rakenduse sisule, mitte kasutajamugavusele ja teistele mittefunktsionaalsetele nõuetele.

Lahenduse iseseisva kasutamise etapis (2) lasti kasutajal prototüüpi lõputöö autori jälgimisel kasutada. Vastavalt lahenduse eesmärkidele peab rakendus olema iseseisvalt kasutatav, mistõttu ei abistatud ega juhendatud rakenduse testimise ajal kasutajat. Pärast rakenduse kasutamist küsiti kasutajalt tema arvamust ja mõtteid loodud lahenduse kohta.

Lahenduse kontseptsiooni täpsema tutvustamise etapis (3) tutvustati magistritöö käigus loodud renoveerimise TeKES-i kontseptsiooni ja arhitektuuri (vt ptk 3.2). Kasutajale kirjeldati süsteemi järeldusmootorit, teadmusbasi, nendes sisalduvaid mooduleid ning omavahelisi seoseid. Viimaks tutvustati ja valideeriti loodud lahendusele seatud funktsionaalsed nõuded (vt ptk 3.1).

Testimine käigus otsiti vastuseid järgnevatele küsimustele:

1. Mis on suurimad renoveerimise algatamisega seotud väljakutsed? (Etapp 1)
2. Uuringud on järeldanud, et "renoveerimise algataja vajab lähteülesande loomisel tuge". Kas Sa oled väitega nõus ning missugust tuge vajatakse? (Etapp 1)
3. Kas näidatud lahendusest on Sulle kasu? (Etapp 2)
4. Millised TeKES-i komponendid Sind oma töös kõige rohkem aitaksid? Millele peaks arendamisel esmajärjekorras rõhu seadma? (Etapp 3)
5. Mis on need olulised parameetrid, mille põhjal renoveerimise tellija lõpuks renoveerimisotsuse langetab? (Etapp 3)
6. Kas sõnastatud funktsionaalsed nõuded on eesmärgi täitmiseks asjakohased? (Etapp 3)

7. Kuidas aitaks selline tööriist Sind oma igapäevases töös või renoveerimise ettevõtmisel? (Etapp 3)

Kasutajatega läbiviidud testimiste tulemusel leiti kõikidele püstitatud küsimustele vastused ning saadi loodud prototüübile ja lahenduse kontseptsioonile väärtuslikku tagasisidet. Üldises pildis nõustusid kõik kasutajad, et loodud kontseptsioon oleks selle tervikliku elluviimise korral nende tööprotsesside tõhustamisel kindlasti kasulik.

3.4.2 Probleemistiku lühitutvustuse etapp

Probleemistiku lühitutvustuse etapis vastati küsimustele 1 ja 2. Kõik intervjueeritavad nõustusid, et korterelamute renoveerimisega seotud väljakutsed on tõsised ja vajavad lahendamist. Intervjueeritavad tõid välja paljuski samasugused väljakutsed, mis on ka juba kaardistatud peatükis 2.1.4, kuid täpsustus nende rõhuasetus ja olulisus.

Kõige enam rõhutatud probleem oli, et korteriühistu inimesed ei tea kust renoveerimisega pihta hakata. Korteriühistutele on suur väljakutse üldse jõuda üldkoosolekul nii kaugemale, et kinnitada otsus renoveerimise teekonna ettevõtmiseks.

Puudu on esmane infopakett selgitamaks, mis alusinfot on hoone renoveerimisel vaja, kust seda leida ja kellega renoveerimise ettevõtmisel suhelda. Probleemi leevendamiseks ongi korteriühistutele loodud võimalus palgata tehniline konsultant. Tehnilistele konsultantidele peamine väljakutse on renoveerimise maksumuse hindamine ja selgitustöö tegemine, mida makstava raha eest saadakse.

Korteriühistu tasemel kiiremini renoveerimisotsuseni jõudmiseks on vaja neile juba üldkoosolekul valmis renoveerimispaketti tutvustada, mis kirjeldaks täpselt milliseid renoveerimistöid hoones teha on vaja ja anda kohe ka hinnanguline maksumus.

Hoonete renoveerimise suureks väljakutseks peeti ka olemasolevate andmete õigsust. Paljud EhR-is olevad parameetrid on valed või puudu ning nende kontrollimisele kulub palju aega. Oluline probleem on ka tänaste hoonete energiamärgiste korrektsus. Intervjueeritavate sõnul on tagantjärele kontrollimisel selgunud, et paljude hoonete energiamärgised on arvutatud valesti, mida kinnitab ka TalTechi 2023. aasta Karl-Sander Sempelsoni magistritöö [49]. Seega tuleb hoone kaalutud energiakasutuse arv (KEK) enne selle põhjal otsuste langetamist üle kontrollida.

Hoone energiakasutuse hindamisel mainisid nii tehnilised konsultandid kui ka Kliimaministeeriumi esindaja, et on vajadus saada paremini ligi jooksvatele hoone energiatarbimise andmetele. Sellisel moel saaks paremini võrrelda, mis on tegelikult hoonete püsikulud enne ja pärast renoveerimist. Kliimaministeeriumi seisukohast

võimaldaks selline lähenemine arvutada ka automaatselt hoonete KEK-i, mis leevendaks energiamärgise arvutamise keerukust ja vähendaks valesti määratud energiaklasside hulka.

Intervjuul Kliimaministeeriumi esindajaga leiti, et KredExi toetusega terviklikult renoveerides on tänane suurim probleem see, et „hanked lähevad lõhki, need lastakse põhja ja need tehakse uuesti“ ning et inimestel pole ressursi, et üht maja mitu korda hankesse viia. Öeldi, et probleemi saaks leevendada siis, kui renoveerimise tellija saaks kaalutletumaid otsuseid teha. Lisati ka, et projekteerimise ajal „minnakse hoogu“ ja luuakse ehitusprojekte, mille elluviimiseks on eeldatust mitu korda rohkem raha vaja. Seda saaks ka vältida, kui juba varasemates staadiumites ehitusmaksumuse suurusjärke hinnata.

Toodi välja ka, et renoveerimise algataja on lisaks elanikele tihti ka ärikinnisvarainvestor, kellel on huvi oma portfelli väärtust renoveerimisega tõsta. Lisaks on algataja tihti ka hoone haldur või haldusettevõtte, kellel on parem ülevaade hoone seisukorrast kui elanikel ning kes teavad, et üksikute kohtade lappimise asemel on mõistlikum hoone terviklikult ja ühe korraga rekonstrueerida.

3.4.3 Lahenduse iseseisva katsetamise etapp

Lahenduse katsetamisel paluti kasutajatel panna end olukorda kui neil endal oleks korterelamu, mille renoveerimisest nad oleks huvitatud. Seejärel kasutasid nad iseseisvalt loodud prototüüpi, ilma töö autori poolse juhendamiseta.

Esiolgu tekkis kõikidel intervjuueeritavatel palju kommentaare rakenduse funktsionaalse toimivuse asemel selle mittefunktsionaalsete omaduste kohta (vt ptk 3.1). Kuigi mittefunktsionaalsed nõuded polnud testimise fookuses, on need kommentaarid lühidalt kokku võetud käesoleva alapeatüki lõpus.

Kõige olulisem tagasiside funktsionaalsete nõuete kohta oli seoses renoveerimisvõimaluse kommunikatsiooniga. Kõik kasutajad arvasid, et prototüübis olevad küsimuste väljad on arusaamatud, segadust tekitavad ja et tavaline inimene ei oska nendele vastata. Näiteks välisseina tüüptarindi valimisel ei saanud ükski kasutaja täpselt aru, mida ja miks ta valib. Vaid pooled kasutajatest märkasid, et valiku alla ilmus lühikirjeldus valitud lahendusest ja ükski kasutajatest ei osanud vaadata, kuidas muutus süsteemi analüüsiaknas konfiguratsiooni kohta käiv ETA arvutustulemus. Kui ka lühikirjeldust märgati, siis peeti kirjeldust liiga üldiseks. Arvati, et valikuvariandid peavad olema paremad ja nende selgitus peab olema tunduvalt kasutajasõbralikum.

Hoone tänase olukorra kirjeldamise etapis öeldi, et teostatud tegevuste kirjeldamisel on oluline ka nende tegemise aeg. Teostatud tööde aja põhjal võiks süsteem kasutajale soovitada, mis on teostatud tööde eeldatav eluiga ja millal tulevikus tuleks vastavad renoveerimistööd uuesti ette võtta.

Prototüübi tänase olukorra kirjeldamise etapi valikuvariandid olid loodud KredEx renoveerimise lähteülesande malli põhjal ning intervjuude käigus tõdeti korduvalt, et kasutatud KredEx-i mall pole korralikult läbi mõeldud.

Kasutajatele meeldis süsteemi võime automaatselt hoone kohta käivad andmed ühte kohta kokku koguda. Täna on andmete kogumine renoveerimise kavandamise etapi töömahukas osa, sest andmed on killustatud erinevate avaliku sektori ja erasektori allikate vahel.

Kuigi testimise fookuses olid funktsionaalsed nõuded, tehti mitmeid tähelepanekuid ka rakenduse kasutajamugavuse osas:

1. Prototüübis tuvastatakse hoone andmed selle EhR koodi põhjal, aga kasutaja ei tea oma hoone EhR-koodi. Hoone peaks saama valida aadressi põhjal või otse kaardile klõpsates.
2. Hoone valimisel ei uuenenud kaardiaken automaatselt ning vale koodi sisestamisel ja andnud programm veateadet, tekitades kasutajas segadust.
3. Kasutajad tahtsid klõpsata etapi pealkirjale, mitte „Edasi“ nupule. Süsteem ei suutnud kasutajaid õigesti suunata ja kasutaja töövoog ei olnud iseenesestmõistetav.
4. Kasutaja ei saanud aru, mis etapis ta on või mis on konkreetse etapi eesmärk, kuigi selgitus oli etapi alguses olemas.
5. Ilma hiireta oli rakenduse kasutamine tülikas ja veebilehel navigeerimine raske.
6. Parempoolseid analüüsi tulemuste aknaid ei märganud ega avatud, seega oluline osa prototüübi funktsionaalsusest jäi iseseisvalt avastamata.

Kõik intervjueeritud tehnilised konsultandid olid nõus, et selline tööriist säästaks kindlasti nende aega ja muudaks tellijaga kokkuleppe leidmise lihtsamaks. Eriti rõhutati korteriühistutega suhtlemise ja neile lahenduste selgitamise olulisust. Tehniliste konsultantide murekoht on, et tavaline korteri elanik ei saa aru, kuhu tema raha renoveerimisel läheb, miks see nii palju maksab ja mis ta selle eest saab. Tööriist, mis võimaldab jooksvalt koos hoone elanike ja ühistu esindajatega erinevaid renoveerimislahendusi tutvustada, selgitada ja ka mõju renoveerimistulemusele kirjeldada aitaks oluliselt efektiivsemalt konsensusliku otsuseni jõuda.

3.4.4 Lahenduse kontseptsiooni tutvustamise etapp

Lahenduse kontseptsiooni tutvustamise etapis tutvustati katsetatud prototüübi laiemat ülesehitust ja arhitektuuri (vt ptk 3.2) ning süsteemile seatud funktsionaalseid nõudeid (vt ptk 3.1). Etapi käigus vastati küsimustele 4 kuni 7.

Intervjueeritavad pidasid kõiki kirjeldatud TeKES-i komponente oluliseks, kuid olid ka ühel meelel, et kõige rohkem aitaks neid oma töös just kontseptuaalne hinnastamismoodul, mida prototüübi käigus luua ei jõutud (küsimus nr 4).

Kõik intervjueeritavad olid ühel meelel, et renoveerimise hind on ka kõige olulisem parameeter renoveerimisotsuse langetamisel. Tavakasutaja seisukohast peeti oluliseks ka hoone arhitektuurset ilmet ja funktsionaalset toimivust. Oluliseks peeti ka saavutatavat energiamärgise klassi, kuna märgis mõjutab kinnisvara väärtust. Hoone tehnilist toimivust ja energiatõhususarvu nii oluliseks ei peetud, kuna tavakasutaja jaoks on need liiga keerulised (küsimus nr 5).

Korteriühistu üldkoosolekul otsuste tegemiseks oleks suureks abiks, kui oleks juba koosolekul võimalik näha eeldatavat renoveerimise maksumust. Hoone kasutajatele ja korteriühistu liikmetele on renoveerimisotsuse langetamisel oluline rahaline sääst ja kui palju muutuvad nende igakuised kulud. Tavaliselt on enne hoone renoveerimist elanikel periooditi väga suured energiakulud ja remondifondi kulud. Pärast renoveerimisist kommunaalkulud vähenevad, kuid lisanduvad laenumaksed ja hoolduskulud. Näiteks tulevad juurde püsivad ventilatsioonisüsteemi hoolduskulud. Süsteem võiks kasutajale anda automaatse hinnangu, kuidas need igakuised maksed kokkuvõttes tõusevad või langevad ja mis elanikud selle muutuse eest vastu saavad.

Süsteem võiks selle hinnangu anda kas rahaühikutes või protsentuaalse muutusena ning seda ühe tüüpsuurusega (nt 1-toaline, 2-toaline) korteri kohta, mitte hoone kui terviku või ruutmeetri kohta. Arvestama peab ka, et korteriühistu kulusid arvutatakse korteriomandite kasuliku pindala järgi, mitte hoone suletud netopinna järgi. See tähendab, et kogu hoone netopindala järgi ruutmeetrihinna arvutamise korral on risk, et hoone elanik arvestab oma korteri kulusid valesti. Hoone kulude arvutamisel tuleb suletud netopinnast välja arvata üldkasutatavad pinnad, tehнопinnad ja muud KÜ jagatavad pinnad.

Kokkuvõttes, nii küsimuse nr 4 kui ka nr 5 vastamisel keskendusid kõik intervjueeritavad just renoveerimise majanduslikele poolele. Renoveerimise maksumus ja elanike saavutatav sääst on kõige olulisemad parameetrid, mille põhjal renoveerimise

tellija lõpuks renoveerimisotsuse langetab ja ka TeKES-i kontseptsiooni elluviimisel peaks esmajärjekorras vastavale moodulile keskenduma.

Pärast lahenduse kasutamist ja kontseptsiooni tutvustamist olid kõik intervjueeritavad nõus, et sõnastatud funktsionaalsed nõuded (vt ptk 3.1) on asjakohased ja vajadust nende ümbersõnastamiseks ei nähtud (küsimus nr 6). Kaks intervjueeritavat pakkusid välja, et funktsionaalseid nõudeid võiks täiendada „Uue Euroopa Bauhausi“ põhimõtetega [50]. See tähendab, et süsteem võiks hinnata ka hoone kvaliteeti, väljanägemist ja esteetikat, hoone kestlikkust ja kaasavust. Küsimusele, et kuidas nendele põhimõtetele vastavust hinnata või seda mõõta, vastati, et see peaks selguma arhitektuurse lahenduse konfigureerimise käigus.

Ühel korral kommenteeriti, et funktsionaalsed nõuded võiks selgemini rõhutada, et süsteem peab oskama hoone tänast olukorda täpsustada ja hoone kohta käivaid andmeid korrigeerida. Kuigi süsteemi prototüüp juba vastab sellele nõudele, siis tuleb järgmises iteratsioonis see nõue ka süsteemi funktsionaalsete nõuete nimekirja lisada.

Kasutaja teekonna osas pakuti välja läheneda renoveerimisele eesmärgipäraselt – lasta kasutajal määrata soovitud hoone energiaklass ja sihid ning nende põhjal automaatselt pakkuda välja vastav renoveerimise konfiguratsioon. Eesmärgipärane lähenemine eeldaks päripidi tuletava järelusmootori asemel tagurpidi tuletava järelusmootori kasutamist. Pakutud lähenemist on varasemalt kaalutud ning sellekohane analüüs on teostatud peatükis 3.2.2.

Üks intervjueeritav arvas, et renoveerimise projekteerimise lähteülesande loomisel võiks sellesse lisada maksimaalselt asju. Sellisel juhul on võimalik juba varastes faasides tõstatada olulised küsimused detailide kohta ja on väiksem risk, et hiljem unustatud ridade pärast kulusid juurde tekib. Sellisel juhul on ka hilisemates etappides võimalik kulude kokkuhoiuks renoveeritavaid osasid ära jätta, näiteks edasi lükata trepikoja või keldri kaasajastamine.

Samas rõhutati, et kontseptuaalne tööriist ei saa ega tohi minna liiga täpseks, kuna see teeb süsteemi kasutajale liiga keeruliseks. Näiteks ei ole mõistlik renoveerimise nii varases etapis langetada otsuseid teemadel nagu aknasulgurid või lapselukud. Sellised detailsed otsused selgitatakse välja järgmises, projekteerimise etapis.

3.4.5 Edasiarenduste ettepanekud ja muud lahendused

Testimise käigus tekkisid kõikidel intervjuueeritavatel mõtted, millega käesoleva magistritöö käigus loodav TeKES-i kontseptsioon sarnaneb, millega see võiks sarnaneda või milliste muude arendustega paralleelselt seda ellu viia.

Testimise käigus tehti järgnevad ettepanekud, mida süsteem veel teha võiks:

1. Süsteem võiks konfiguratsiooni sisendite ja tulemuste põhjal automaatselt täita Eesti Vabariigi määruse nr 58 „Energiaarvutuse arvutamise meetoodika“ LISA 2 energiaarvutuse lähteandmete esitamise dokumendi [51].
2. Valikuvariantide kõrval võiks olla illustreeriv pilt. Näiteks tarinditüübi kõrval võiks olla foto välisviimistlusest või lõige konstruktsioonikihtidest.
3. Lisada hinnastamismooduli külge ka laenukalkulaator või link laenukalkulaatorile.
4. Lisada süsteemi ka võimalus arhitektuursete lahenduste läbimängimiseks, sh korterite ruumiplaneeringu muutmine, rõdude laiendamine, lisakorruse ehitamine, lifti rajamine. Näiteks võiks süsteemi integreerida korterelamutüübi 1-464 kohandamistöörüista [39].
5. Graafikud võiks teha selgemaks, informatiivsemaks ja ilusamaks. Energiaarvutuse graafikule võiks lisada näiteks energiaklasside piirväärtused.
6. Süsteemile võiks lisada kogemuslugusid renoveeritud hoonetest.
7. Süsteemis võiks teadmusbasi osas rakendada avalikult kättesaadavaid KredExi esialgsete toetuste määrasid. Neid saab võrrelda pärast hoone renoveerimist tehtava energiamärgisega.
8. Süsteemi võiks integreerida Maa-ameti katastrikaardi koos kitsendustega ning Maa-ameti aerofotod.

Korterelamute renoveerimisele spetsialiseerunud ettevõttel Invento OÜ on oma majasiseselt arendatud sarnane MS Exceli põhine tööriist, mille eesmärk on hoone kohta käivate lähteandmete kogumine. Nemad kasutavad seda tööriista oma majasiseste protsesside tõhustamiseks ja see võimaldab neil efektiivselt, kuni eelprojekti täpsusega, renoveerimisprojekt luua. Tööriist on seotud nende ettevõttesiseste andmebaasidega, mis võimaldab kavandatud lahendusi varem teostatud lahendustega võrrelda. Nende tööriist on praktiline ja turu nõuetele vastav, kuid samal ajal keerukas ning sobib vaid majasiseseks kasutamiseks.

Renoveerimise digitaliseerimine on ka kliimaministeriumi strateegiline eesmärk. Nende eesmärk täna on nn renoveerimispassi loomine, mis toetuks EhR veebiplatvormile. Hoone renoveerimispass on dokument, mis sisaldab samm-sammulist teekaarti 15-20 aasta perspektiivis konkreetse hoone renoveerimiseks ning on loodud kajastamaks

hoone muutuvat olukorda. Kliimaministeeriumis loodetakse luua sarnane lahendus Belgias arendatava digitaalse eluasemepassiga [52], mis koondab kogu asjakohase teabe hoone kohta ühte platvormi. Perspektiivne lahendus võimaldaks tarbimisandmete põhjal automaatset energiaklassi määramist ning annaks hoone omanikele teekaardi, kuidas oma hoonet renoveerida. Pikas perspektiivis võiks renoveerimispass asendada hoone energiamärgist.

Kliimaministeeriumi hinnangul on ebaõnnestunud hangete vähendamiseks vaja ehitusmaksumust varasemates faasides paremini hinnata, mille aluseks on masinloetavate hinnapakumiste kasutuselevõtt. Selle jaoks on omakorda vaja masinloetavat klassifitseerimisstandardit. Nende arvates on kõikide renoveerimisalaste digitaalsete tööriistade toimimiseks tarvis ajakohastatud hinnainfot masinloetaval kujul, mida oleks võimalik tegevusliikide kaupa ja anonüümselt pärida.

Kliimaministeeriumi esindajad tõdesid, et renoveerimisega seotud väljakutsete lahendamiseks oleks rohkem vaja motiveerida erasektorit ning et riigi roll peaks olema tugisüsteemide loomine ja nende usaldusväärseuse tagamine, mitte täiemahuliste toodete ja platvormide ehitamine. Riigil ei ole piisavalt ressursse, et nõutud kiirusega renoveerimise digitaliseerimisega edasi minna.

4. HINDAMINE

Käesolev peatükk on DSR metoodika viies etapp, kus analüüsitakse, kui hästi loodud lahendus peatükis 2 määratletud probleemi lahendab ja kuidas see vastab peatükis 3.1 seatud lahenduse funktsionaalsetele nõuetele. Etapis kirjeldatakse ka laiemalt, kuidas vastab loodud lahendus uurimistöö eesmärkidele ja missugune uudne akadeemiline teadmine protsessi käigus loodi.

Magistritöö käigus töötati välja renoveerimise teadmuspõhise konfigureerimiseksperitsüsteemi (TeKES-i) infotehnoloogiline kontseptsioon ja arhitektuur. Kontseptsioonist loodi lihtsustatud prototüüp Eesti 1961-1990. aastatel ehitatud kivikonstruktsioonist korterelamute renoveerimise lähteülesande loomise toetamiseks. Prototüübi edasiarendamine nõuab täiendavaid investeeringuid ja IKT-alast oskust.

Testimise etapis saadud tagasiside põhjal saab järeldada, et loodud kontseptsioon selle täiemahulisel elluviimisel oleks väga asjakohane renoveerimise algatamisega seotud väljakutsete lahendamiseks. Kuigi töö käigus tehti läbi vaid disainiteaduste metoodika esimene iteratsioon ja loodud prototüübiga viidi ellu vaid väike osa terviklikust lahendusest, siis see täitis oma eesmärgi renoveerimise TeKES-i kontseptsiooni näitlikustamisel ja selle funktsionaalsete nõuete valideerimisel.

Testimise käigus valideeriti edukalt renoveerimise algatamise probleemistik ja veenduti peatükis 2.1.4 kaardistatud väljakutsete asjakohasuses. Testimise käigus veenduti ka teadmuspõhise konfigureerimiseksperitsüsteemi sobilikkuses nende renoveerimise väljakutsete lahendamisel ning eduka lähteülesande kriteeriumite täitmise toetamisel (vt ptk 2.3).

4.1 Eesmärkidele ja nõuetele vastavus

Väljatöötatud prototüüp vastas süsteemile seatud nõuetele osaliselt. Kuna lõputöö käigus jõuti läbi teha vaid disainiteaduste metoodika esimene iteratsioon, siis mittefunktsionaalsetele nõuetele tähelepanu ei pööratud.

Prototüübi loomise käigus viidi täielikult ellu funktsionaalsed nõuded 1–3 ja 5b ning ülejäänud vaid kontseptsiooni teostatavust tõestaval moel. Vastavalt testimise tulemustele olid loodavale lahendusele seatud funktsionaalsed nõuded sobilikud seatud eesmärkide täitmiseks. Sellegipoolest tuleks vastavalt testimise tulemusele peatükis 3.1 sõnastatud süsteemi funktsionaalseid nõuded täiendada järgmiste nõuetega:

- Süsteem peab võimaldama kasutajal olemasolevaid hoone teadmisi kontrollida, täpsustada ja lisada.

- Süsteem peab tuvastama, kas renoveerimislahendused vastavad „Uus Euroopa Bauhausi“ [50] põhimõtetele (kestlik, kaunis, kaasav).

„Uue Euroopa Bauhausi“ põhimõtetele vastavuse tuvastamine käib seejuures renoveeritava hoone arhitektuurse, mitte tehnilise lahenduse konfigureerimise kohta. Vastavalt tehtud ettepanekutele on DSR meetodika teise iteratsiooni (käesoleva magistritöö mahu väline) funktsionaalsed nõuded loodavale lahendusele korrigeeritud järgnevalt:

1. Süsteem peab tuvastama olemasoleva hoone tüübi, geomeetria ja statistilised parameetrid
2. Süsteem peab võimaldama kasutajal olemasolevaid hoone teadmisi kontrollida, täpsustada ja lisada
3. Süsteem peab tuvastama olemasolevale hoonele sobivad renoveerimislahendused
4. Süsteem peab võimaldama erinevate renoveerimislahenduste vahel valida ja kirjeldama erinevate valikute eeliseid ning puudusi
5. Süsteem peab tuvastama, kas valitud renoveerimislahendused vastavad olulistele hoonele seatud nõuetele ja põhimõtetele (energiatõhususe miinimumnõuded, KredEx-i toetuse tingimused, „Uus Euroopa Bauhaus“ põhimõtted jt)
6. Süsteem peab hindama valitud renoveerimislahenduste mõju hoonele kui tervikule:
 - a. Arvutama hinnangulise ehituse kogumaksumuse ja elanike jooksvate kulude muutuse
 - b. Arvutama renoveeritud hoone energiatõhususarvu (ETA)
 - c. Arvutama hoone renoveerimise kasvuhoonegaaside heitkoguse (KHG)
7. Süsteem peab valikute põhjal genereerima kokkuvõtva ja jagatava konfiguratsiooni kirjeldava dokumendi

Testimise tulemusel selgus, et TeKES-i renoveerimislahenduste andmebaas ja selgitusmoodul on arvatust isegi olulisemad süsteemi komponendid. Kontseptuaalne lahendus on kasutajale kasulik vaid siis, kui selles rakendatakse terviklikku, filtreeritavat, masinloetavat ja pidevalt uuendatavat renoveerimislahenduste andmebaasi. Selle loomine ei olnud käesoleva magistritöö fookuses, aga toimiva lahenduse arendamisel on renoveerimislahenduste andmebaas ja selgitusmoodul kriitilise tähtsusega.

Renoveerimise lähteülesande loomisel on väga oluline lähteandmete täpsustamise etapp (vt ptk 3.2.1). Hoone tänase olukorra detailne kirjeldamine on vajalik, et välja

selgitada, mis töid on hoonel üldse vaja teha ja see mõjutab kõige enam korterelamu renoveerimise kogumaksumust. Testimise käigus selgus, et KredEx-i lähteülesande malli küsimuste kasutamine TeKES-i prototüübis ei täitnud süsteemile seatud nõudeid ja need tuleb järgmises iteratsioonis ümber mõelda.

Kokkuvõttes, loodud prototüüp oli edukas TeKES-i kontseptsiooni näitlikustamisel ning tõi eriti edukalt esile Eesti kivikonstruktsioonist korterelamute renoveerimise lähteülesande loomise valukohad. Testimine tööriista sihtgrupiga näitas selgelt, et hea renoveerimislahenduse leidmiseks on vaja kvaliteetseid sisendandmeid, nii konfigureerimismudeli kui renoveerimislahenduste andmebaasi näol. Kontseptuaalne lahendus on võimeline pakkuma „mitte-professionaalsele renoveerimise tellijale igakülgset tuge, mida ta saaks iseseisvalt ning omale sobival ajal kasutada“, vastavalt renoveerimisalaste väljakutsete kaardistamise peamisele järeldusele (ptk 2.3).

4.2 Piirangud ja edasiarendused

Suurim pudelikael renoveerimise TeKES-i prototüübi edasiarendamises on teadmusbaasi osas. Terviklikult toimiva lahenduse aluseks on usaldusväärsed ja kaasaegsed tugisüsteemid, kust saaks kiiresti ja mugavalt kvaliteetset infot pärida. Täna on palju tugisüsteeme juba olemas (EhR, digikaksik, Maa-amet, RESTO), kuid on ka palju puudusi. Loodud renoveerimise TeKES-i kontseptsiooni elluviimist teeks oluliselt lihtsamaks näiteks renoveerimispassi väljaarendamine ning juba renoveeritud hoonete ajakohastatud hinnainfo masinloetaval kujul, mida oleks võimalik tegevusliikide kaupa ja anonüümselt pärida (vt ptk 3.4.5).

Renoveerimise TeKES-iga ei ole mõtet pakkuda liiga mitmekesiseid ja unikaalseid lahendusi, sest see muudab ekspertsüsteemi raskesti hallatavaks ja aeglaseks (vt ptk 2.2 ja 3.2). Seega, loodud ekspertsüsteem sobib vaid tüüpsete renoveerimislahenduste läbimängimiseks teadaoleva tüpoloogiaga hoonetele, mida on võimalik samasuguselt rakendada mitmete sama tüüpi korterelamute puhul.

Kuigi nõukogude ajal kasutati hästi palju tüüpprojekte, siis oma olemuselt on siiski iga hoone omaette prototüüp, sest hoone geograafiline asukoht, geoloogia, asendiplaan ja kasutusviis on paratamatult erinevad. Teiste unikaalsete ja mitte-tüüpsete hoonete renoveerimise lähteülesande loomisel on ikkagi vaja spetsialisti tuge, et lähteandmeid koguda, renoveerimisvõimalusi kvaliteetselt analüüsida ning neid renoveerimise algatajale selgitada.

Kõige kriitilisem puudus on nn renoveerimislahenduste kataloogist või andmebaasist, mis koondaks kokku kõik kaasaegsed Eestis ja välismaal praktikas kasutusel olevad

renoveerimislahendused. Selline kataloog võiks toetuda Tallinna Tehnikaülikooli teadustöödele ja Eesti projekteerimis- ja ehitusettevõtete kogemustele, sisaldades näiteks erinevaid juba renoveeritud hoonete tüüptarindeid ja sõlmesid ja ehitajate seas levinud konkreetseid tootesüsteeme. Alusandmete hulgas võiks olla ka juba renoveeritud hoonete hinnainfo masinloetaval kujul, mida oleks võimalik tegevusliikide kaupa ja anonüümselt pärida.

Arvestades tüüpsete nõukogudeaegsete korterelamute suurt hulka Eesti elupindade seas, oleks kasulik ka digitaliseerida selliste levinud hoonete geomeetrilised mallid koos muude tüüpsete omaduste ja parameetritega. Tüüpsete hoonete andmete detailsem digitaliseerimine võimaldaks neid tõhusamalt digitaalsetes töövoogudes rakendada.

Tervikliku 1961-1990. aastatel ehitatud kivikonstruktsioonist korterelamute konfigureerimismudeli loomiseks on hädavajalik renoveerimislahenduste andmebaasi olemasolu. Ilma kvaliteetsete valikuvariantideta, mille vahel kasutaja valida saaks, on konfigureerimismudeli sõltuvuste ja välistuste formaliseerimine raskendatud.

Projekteerimise lähteülesande kontekstis võiks lähemalt uurida ka Maa-ameti andmete ja muude GIS lahenduste rakendamist, et hoone projekteerimisel saaks juba eos arvestada hoone ümbruskonna seatud võimaluste ja piirangutega.

Tulevikus võiks uurida ka teiste tüpoloogiate renoveerimise konfigureerimist (puithoonete puhul Tallinna ja Lenderi tüüpi majade) ja eramute renoveerimise konfigureerimise võimalusi, mis võiksid omakorda olla aluseks piirkonna tasemel renoveerimise konfigureerimiseks.

Ideaalne renoveerimise TeKES võiks töötada koos perspektiivse hoonete renoveerimispassiga EhR-i veebiplatvormil. Paraku ei pruugi loodud tervikliku kontseptsiooni elluviimine sellisel kujul olla jätkusuutlik, kuna see on ambitsioonikas ja vajaks arendamiseks ning töös hoidmiseks palju aega ja raha, mida avalikul sektoril täna ei jätku. Lahenduse terviklikuks elluviimiseks on vaja erasektori tuge ja jätkusuutlikku äriplaani.

4.3 Võrdluses teiste töödega

Käesoleva magistritöö peamine uudne akadeemiline panus seisneb tervikliku kontseptuaalse raamistiku loomises, mis ühendab Eesti renoveerimisalase teadmise ühtse teadmuspõhise süsteemina. Teine oluline panus on teadmuspõhise konfigureerimisekspertsüsteemi (TeKES-i) kui erinevate infotehnoloogiliste süsteemide sünteesi loomine Eesti renoveerimisalaste väljakutsete lahendamiseks. Kolmas oluline

panus on Eesti 1961-1990. aastatel ehitatud kivikonstruktsioonist korterelamute konfigureerimismudeli kontseptsiooni loomine, kus on formaliseeritud nende hoonete renoveeritavad osad ning renoveeritavate süsteemide vahelised seosed, vajadused ja välistused (vt **Lisa 2**).

Töö käigus kaardistati mitmeid sarnaseid süsteeme nii Eestis kui ka välismaal, kuid ei tuvastatud ühtegi sellist süsteemi, mille sihtrühm on mitte-eksperdist renoveerimise algataja ja mille eesmärgiks on seatud on laiemalt renoveerimise algataja toetamine renoveerimise lähteülesande koostamisel (vt ptk 3.2.4).

Loodud renoveerimise TeKES-i kontseptsioon erineb teistest lahendustest sellepolest, et see on loodud arvestades Eesti konteksti – meie elamufondi, digitaalseid tugisüsteeme ja seadusandlust. Käesoleva töö käigus loodud lahendus erineb mitmetest teistest akadeemilistest töödest ka sellepolest, et ei loodud ainult teoreetiline kontseptsioon, vaid praktiline tööriist. Töö raames loodi prototüüp, mille tõhusust ja kasulikkust testiti ja valideeriti reaalsetes tingimustes. Töö praktilisele kontekstile keskendumine suurendab ka töö akadeemilist väärtust.

KOKKUVÕTE

Käesolev magistritöö käsitles Eesti korterelamute renoveerimise väljakutseid ning selle eesmärk oli välja töötada teadmuspõhine configureerimisekspertsüsteem (TeKES), mis toetaks renoveerimise mitte-eksperdist algatajat. Töö pakub lahenduse, kuidas tehisaru kasutades renoveerimist paremini kavandada ja seeläbi kasvatada Eesti korterelamute renoveerimise tõhusust ja mahtu.

Töö käigus anti ülevaade tänasest olukorrast Eestis ja maailmas, renoveerimisega seotud strateegiatest, Eesti hoonefondist ja tüpoloogias, korterelamute renoveerimise osapooltest ja olulisematest väljakutsetest. Töös anti ka ülevaade tehisarust, teadmussüsteemidest, ekspertsüsteemidest ja configureerimis-süsteemidest, mis oli aluseks renoveerimise väljakutsete lahendamisel. Töös põhjendati korterelamute renoveerimise TeKES-i loomise vajalikkust, selgitades, kuidas see toetab ja optimeerib renoveerimisprotsessi erinevaid etappe.

Magistritöö eesmärk – töötada välja tööriist renoveerimisprotsessi mitte-eksperdist algatajale, et teda kivikonstruktsioonist korterelamu renoveerimise lähteülesande loomisel toetada – täideti kokkuvõttes edukalt. Uurimistöö raames loodi terviklik renoveerimist toetava TeKES-i kontseptsioon ja arendati välja seda näitlikustav prototüüp. Loodud prototüüp keskendus Eesti 1961-1990. aastatel ehitatud tüüpsete kivikonstruktsioonil korterelamutele renoveerimisele ja seda testiti kvalitatiivsete intervjuudega selle sihtgrupiga. Loodud prototüüp ja selle sihtgrupiga testimise tulemused näitavad, et loodud renoveerimise TeKES-i kontseptsioon suudab edukalt kirjeldatud probleeme leevendada ja renoveerimisprotsessi algatamist toetada. Testimise käigus valideeriti edukalt renoveerimise algatamise probleemistik ja veenduti kaardistatud renoveerimise väljakutsete asjakohasuses.

Käesoleva magistritöö raames jõuti läbi teha vaid disainiteaduste meetoodika (DSR) esimene iteratsioon, mis tähendab, et kontseptsiooni ei viidud ellu selle täies ulatuses. Prototüübi testimise käigus saadud tagasiside põhjal aga järeldati, et loodud kontseptsioon selle täiemahulisel elluviimisel oleks väga asjakohane renoveerimise algatamisega seotud väljakutsete lahendamiseks.

Töö käigus vastati kõikidele uurimisküsimustele. Teoreetilise raamistiku osas kaardistati Eesti suurimad väljakutsed renoveerimisprojektide algatamisel (uurimisküsimus nr 1) ja leiti väljakutsete lahendamiseks sobiva süsteemi arhitektuur (küsimus nr 2). Renoveerimise konfiguraatori peatükis määrati funktsionaalsed nõuded loodavale lahendusele (küsimus nr 3) ja kirjeldati kontseptuaalse lahenduse toimimiseks vajalikku lähteinfot ja teadmisi (küsimus nr 4). Testimise ja hindamise etapis kirjeldati, kuidas

toetab loodud süsteem renoveerimise algatajat kaardistatud väljakutsete ületamisel ja renoveerimisprojekti lähteülesande loomise (küsimus nr 5).

Uurimistöö tõi välja olulisi soovitusi edasisteks arendusteks ja akadeemilisteks uurimusteks (vt ptk 4.2), st nii kontseptuaalse süsteemi enda funktsionaalsuse laiendamist kui ka selle tugisüsteemide ja -teadmiste vallas. Magistritöö lõpetab järeldus, et renoveerimise teadmuspõhine konfigureerimisekspertsüsteem võib oluliselt muuta ja parendada renoveerimisprotsesse Eestis, aidates seeläbi täita nii Eesti ja Euroopa kliimaeesmärke kui ka üleilmseid ÜRO säästva arengu eesmärke.

Magistritöö raames loodud prototüüp „Renokratt“ on avalikult kasutatav VIKTOR.ai platvormil ja selle lähtekood koos kõikide kasutatud teadmusbaasi osadega on avalikult kättesaadav töö autori GitHub'is:

Prototüüp: <https://cloud.viktor.ai/public/renokratt>

Lähtekood: <https://github.com/joosepvi/renokratt>

SUMMARY

This master's thesis addressed the challenges associated with the renovation of apartment buildings in Estonia. A knowledge-based configuration expert system (TeKES) was outlined, that supports non-expert initiators with formulating a design task for building renovations. A web-based prototype to enhance the planning of renovations was then developed, which aims to increase the efficiency and volume of renovating Estonian apartment buildings.

In the first part of the study, an overview of the current situation in Estonia was provided, along with strategies related to renovation, Estonia's residential built environment and typology, the stakeholders in apartment building renovations, and the major challenges involved (see Sect. 2.1). The thesis also gave an overview of artificial intelligence, knowledge-based systems, expert systems, and configuration systems (see Sect. 2.2), which were a basis for the created solution. Then the necessity of creating a knowledge-based configuration expert system for apartment renovations was justified (see Sect. 2.3).

The objective of the thesis was to develop a tool for non-expert initiators of the renovation process, which would assist them in creating a design task for the renovation of stone construction apartment buildings. This objective was met successfully, and a conceptual tool was created, along with an illustrating prototype. The prototype focused on the renovation of typical stone construction apartment buildings in Estonia built between 1961 and 1990 and was tested with qualitative interviews with its target group. The results from testing the prototype and the feedback from its target group show that the conceptual solution could successfully mitigate the described problems and support the initiation of the renovation process. The testing phase successfully validated the issues related to initiating renovations and confirmed the relevance of the mapped renovation challenges.

This master's thesis covered only the first iteration of the Design Science Research (DSR) methodology, which means the concept was not implemented in its full extent. However, based on the feedback obtained during the prototype testing, it was concluded that the full implementation of the developed concept would be relevant for addressing the challenges related to initiating renovations.

All research questions were answered during the study. In the theoretical framework chapter, the major challenges in initiating renovation projects in Estonia were mapped (research question no. 1), and a suitable knowledge-based architecture to address these challenges was identified (question no. 2). The next chapter defined the functional

requirements for the solution (question no. 3), and the necessary preliminary information and knowledge to solve the defined problem were described (question no. 4). In the testing and evaluation phase, it was described how the created system supports the initiator of renovation in overcoming the mapped challenges and in creating the design task for renovation (question no. 5).

The research presented important recommendations for further development and academic research (see Sect. 4.2), including expanding the functionality of the conceptual system itself as well as its support systems and knowledgebase. The thesis concludes that a knowledge-based renovation configuration expert system could significantly change and improve renovation processes in Estonia, thereby helping to meet both Estonian and European climate goals, as well as the UN sustainable development goals.

The created prototype "Renokratt" is publicly available on the VIKTOR.ai platform, and its source code along with all the parts of the knowledge base used is publicly accessible on the author's GitHub page:

Prototype: <https://cloud.viktor.ai/public/renokratt>

Source code: <https://github.com/joosepvi/renokratt>

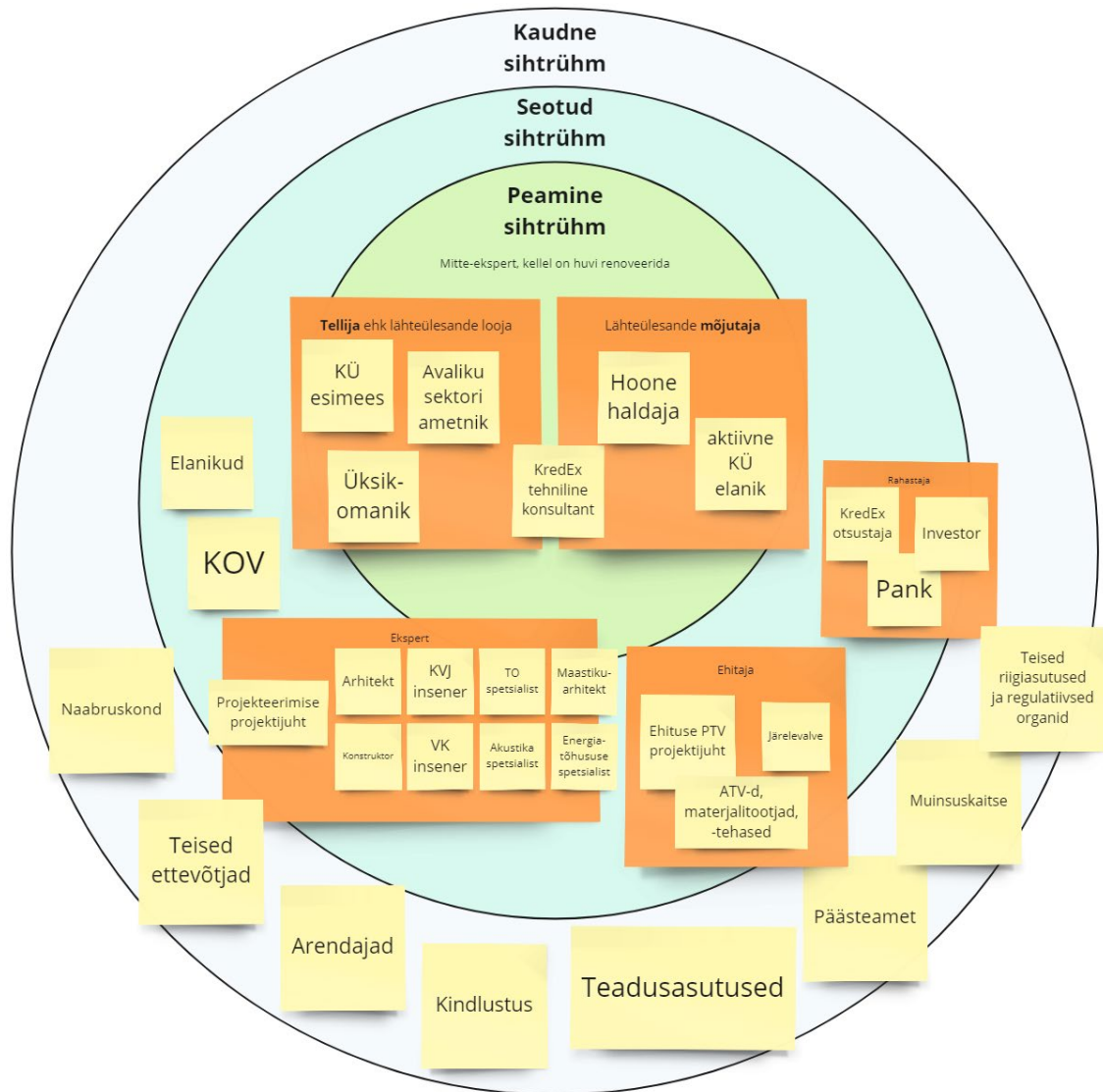
KASUTATUD MATERJAL

- [1] E. Iliste, „Ehitisregistri andmete alusel elamupiirkonna energiatõhususe hindamise alused“, 2023. Vaadatud: 5. september 2023. [Online]. Available at: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/db8623c0-7686-4c0e-9cca-c076543344a6>
- [2] „Avaleht | Statistikaamet“. Vaadatud: 22. jaanuar 2024. [Online]. Available at: <https://www.stat.ee/et>
- [3] MKM, „Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia“. Vaadatud: 18. september 2023. [Online]. Available at: <https://kliimaministeerium.ee/elukeskkond-ringmajandus/elamud-ja-hooned/renoveerimislaiane>
- [4] J. vom Brocke, A. Hevner, ja A. Maedche, „Introduction to Design Science Research“, 2020, lk 1–13. doi: 10.1007/978-3-030-46781-4_1.
- [5] K. Peffers, T. Tuunanen, M. Rothenberger, ja S. Chatterjee, „A design science research methodology for information systems research“, *J. Manag. Inf. Syst.*, kd 24, lk 45–77, jaan 2007.
- [6] A. AL-Badareen, M. Selamat, M. A. Jabar, J. Din, ja S. Turaev, „Software Quality Models: A Comparative Study“, esitatud *Communications in Computer and Information Science*, jaan 2011, lk 46–55. doi: 10.1007/978-3-642-22170-5_4.
- [7] United Nations Department of Economic and Social Affairs, „The Sustainable Development Goals Report 2023: Special Edition“, United Nations, juuli 2023. doi: 10.18356/9789210024914.
- [8] K. Calvin *et al.*, „Climate Change 2023: Synthesis Report“, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), juuli 2023. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- [9] *The European Green Deal*. 2019. Vaadatud: 25. jaanuar 2024. [Online]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
- [10] „Strateegia 'Eesti 2035' | Eesti Vabariigi Valitsus“. Vaadatud: 11. jaanuar 2024. [Online]. Available at: <https://valitsus.ee/strateegia-eesti-2035-arengukavad-ja-planeering/strateegia>
- [11] MKM, „Ehituse pikk vaade 2035“. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Vaadatud: 11. september 2023. [Online]. Available at: <https://mkm.ee/ehitus-ja-elamumajandus/ehitus/ehituse-pikk-vaade>
- [12] „Rohetiigri ehituse teekaart 2040“, EKA, TalTech, apr 2023. Vaadatud: 18. jaanuar 2024. [Online]. Available at: https://ehituseteekaart.rohetiiger.ee/?_gl=1%2Ao919t0%2A_ga%2AMTc1NDcxOTQyNy4xNzA1NTg4MzY1%2A_ga_E76H69P8Q2%2AMTcwNTU4ODM2NS4xLjEuMTcwNTU4ODQxNi45LjAuMA..
- [13] „Eesti kliimaseadus | Kliimaministeerium“. Vaadatud: 22. jaanuar 2024. [Online]. Available at: <https://kliimaministeerium.ee/eesti-kliimaseadus#orienteeruv-ajakava>
- [14] „Statistikaamet. EE01: ARENGUSTRATEEGIA „EESTI 2035“ TEGEVUSKAVA MÕÕDIKUD“. Vaadatud: 12. märts 2024. [Online]. Available at: https://andmed.stat.ee/et/stat/eri-valdkondade-statistika__saastev-areng/EE01/chart/chartViewColumn
- [15] L. Lihtmaa ja T. Kalamees, „Emerging renovation strategies and technical solutions for mass-construction of residential districts built after World War II in Europe“, *Energy Strategy Rev.*, kd 51, lk 101282, jaan 2024, doi: 10.1016/j.esr.2023.101282.
- [16] K. Arrak, M. Helilaid, V. Konov, K. Reiska, A. Schultz, ja R. Vaarik, „Ehitussektori digitaliseerituse uuring“, Civitta Eesti AS, Lõõtsa 8, 11415, Tallinn, Lõpparuanne, märts 2024.
- [17] T. Kalamees, E. Arumägi, A. Just, ja U. Kalla, „Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2011.

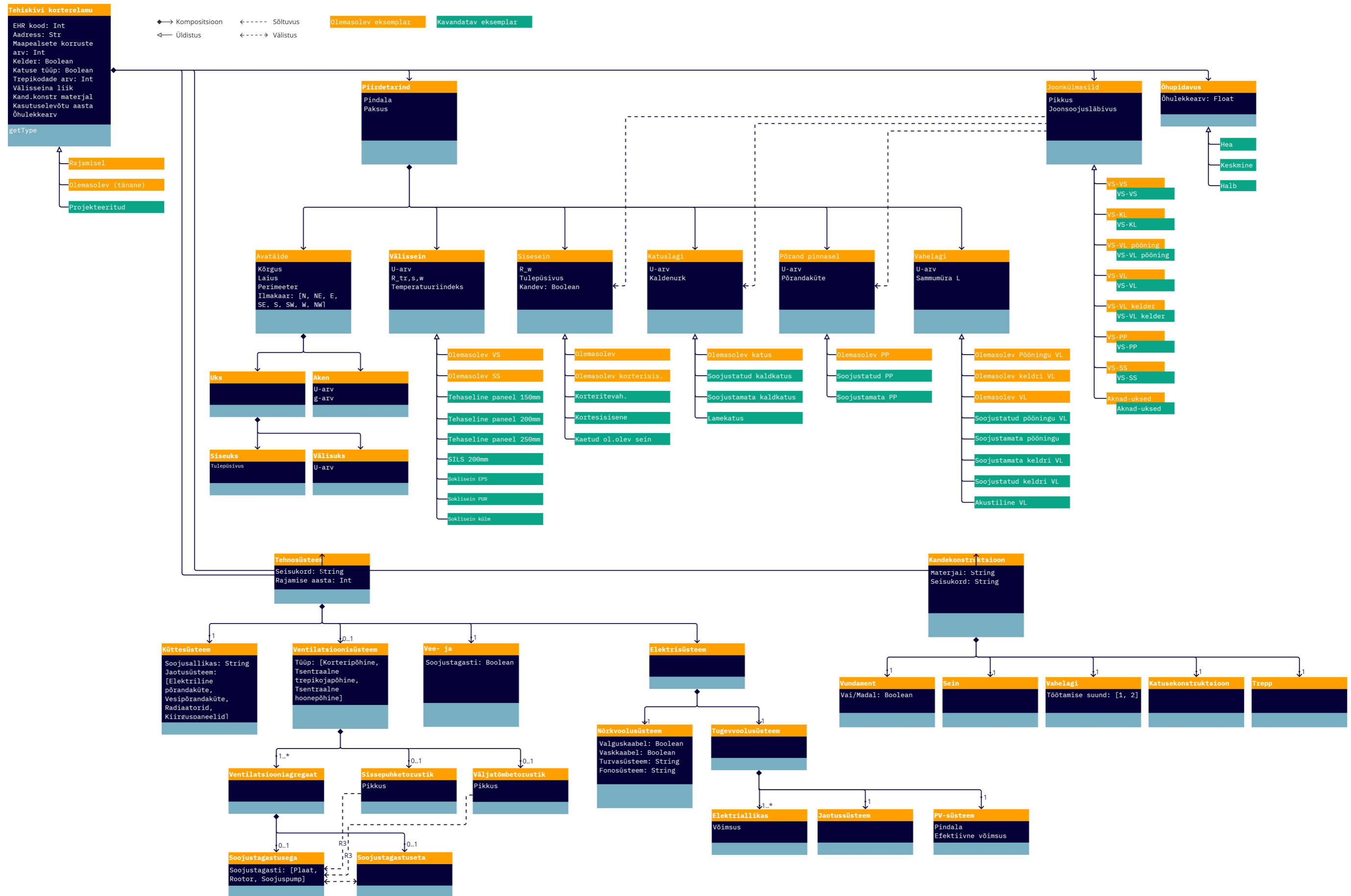
- [18] P. de Wilde, *Building Performance Analysis*, 1st edition. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2018.
- [19] M. Soonik, K. Roots, V. Roots, ja H. M. Viires, „Analüüs ja ettepanekud korterelamute renoveerimise protsesside tõhustamiseks“, märts 2023.
- [20] „Korterelamute energiatõhususe toetuse tingimused–Riigi Teataja“. Vaadatud: 15. jaanuar 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/108032023013>
- [21] „Tehnilise konsultandi roll ja praktilised kogemused“, [Online]. Available at: <https://www.tallinn.ee/et/media/295645>
- [22] E. Pikas, O. Seppänen, L. Koskela, ja A. Peltokorpi, „Challenges in Industrialized Renovation of Apartment Buildings“, *Proceedings of the 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, International Group for Lean Construction (IGLC), juuli 2021, lk 985–994. doi: 10.24928/2021/0155.
- [23] M. Koit ja T. Roosmaa, *Tehisintellekt*. Tartu : Tartu Ülikooli Kirjastus, 2011. Vaadatud: 27. oktoober 2023. [Online]. Available at: <https://dspace.ut.ee/handle/10062/28296>
- [24] R. Mukhamediev *et al.*, „Review of Artificial Intelligence and Machine Learning Technologies: Classification, Restrictions, Opportunities and Challenges“, *Mathematics*, kd 10, lk 2552, juuli 2022, doi: 10.3390/math10152552.
- [25] R. Akerkar ja P. Sajja, *Knowledge-Based Systems*. Jones & Bartlett Learning, 2010.
- [26] Shu-Hsien Liao, „Expert system methodologies and applications—a decade review from 1995 to 2004“, *Expert Syst. Appl.*, kd 28, nr 1, lk 93–103, jaan 2005, doi: 10.1016/j.eswa.2004.08.003.
- [27] S. Russell ja P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach, Global Edition*. Pearson Higher Ed, 2021.
- [28] A. Felfernig, L. Hotz, C. Bagley, ja J. Tiihonen, *Knowledge-Based Configuration: From Research to Business Cases*. Newnes, 2014.
- [29] F. Hayes-Roth, D. A. Waterman, ja D. B. Lenat, *Building Expert Systems*. Addison-Wesley Publishing Company, 1983.
- [30] A. Al-Ajlan, „The Comparison between Forward and Backward Chaining“, *Int. J. Mach. Learn. Comput.*, kd 5, lk 106–113, apr 2015, doi: 10.7763/IJMLC.2015.V5.492.
- [31] C. Grosan ja A. Abraham, *Intelligent Systems: A Modern Approach*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [32] W. Siler ja J. J. Buckley, *Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning*, 1st edition. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2004.
- [33] M. Kriegsman ja R. Barletta, „Building a case-based help desk application“, 1993, Vaadatud: 26. oktoober 2023. [Online]. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/248349>
- [34] B. Neumann, „Configuration Expert Systems: A Case Study And Tutorial“, mai 1998.
- [35] D. Sabin ja R. Weigel, „Product configuration frameworks—a survey“, *IEEE Intell. Syst. Their Appl.*, kd 13, nr 4, lk 42–49, juuli 1998, doi: 10.1109/5254.708432.
- [36] „IKEA köögiplaneerija“. Vaadatud: 11. jaanuar 2024. [Online]. Available at: <https://kitchen.planner.ikea.com/ee/et/>
- [37] „Ferrari Official Car Configurator“. Vaadatud: 11. jaanuar 2024. [Online]. Available at: https://carconfigurator.ferrari.com/en_EN
- [38] T. Lõoke, „Creatomus kustomiseerimistöriist“. Vaadatud: 17. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://configurator.creatomus.com/project/464?tab=generaltab>
- [39] T. Lõoke, „Kuidas kaasajastada paneelmaju? Vahendite raamistik suurpaneelilamute kaasajastamiseks 1-464 tüüpseeria kortermajade näitel“, Master thesis, Eesti kunstiakadeemia, Tallinn, 2016.
- [40] „Renoveerimisstrateegia tööriist (RESTO)“, FinEst Centre. Vaadatud: 7. märts 2024. [Online]. Available at: <https://finestcentre.eu/et/pilootprojektid/renoveerimisstrateegia-toovahend/>

- [41] M. Fowler, *UMLi kontsentraat: objektmodelleerimise standardkeelee UML 2.0 lühijuhend: 3. redaktsioon*.
- [42] „Industry Foundation Classes 4.0.2.1“. oktoober 2017. Vaadatud: 12. märts 2024. [Online]. Available at: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/
- [43] R. Liias *et al.*, „Klassifitseerimissüsteem CCI-EE: Olemus ja kasutamine“. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinna Tehnikakõrgkool, ET Infokeskuse AS, 2021.
- [44] A. Kamari, S. Jensen, M. L. Christensen, S. Petersen, ja P. H. Kirkegaard, „A hybrid Decision Support System for Generation of Holistic Renovation Scenarios—Cases of Energy Consumption, Investment Cost, and Thermal Indoor Comfort“, *Sustainability*, kd 10, nr 4, Art. nr 4, apr 2018, doi: 10.3390/su10041255.
- [45] A. Kamari, C. P. L. Schultz, ja P. H. Kirkegaard, „Constraint-based renovation design support through the renovation domain model“, *Autom. Constr.*, kd 104, lk 265–280, aug 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.023.
- [46] C. Hendrickson, C. Zozaya-Gorostiza, D. Rehak, E. Baracco-Miller, ja P. Lim, „Expert System for Construction Planning“, *J. Comput. Civ. Eng.*, kd 1, nr 4, lk 253–269, okt 1987, doi: 10.1061/(ASCE)0887-3801(1987)1:4(253).
- [47] M. Nilashi *et al.*, „A knowledge-based expert system for assessing the performance level of green buildings“, *Knowl.-Based Syst.*, kd 86, lk 194–209, sept 2015, doi: 10.1016/j.knosys.2015.06.009.
- [48] „VIKTOR documentation“. Vaadatud: 21. märts 2024. [Online]. Available at: <https://docs.viktor.ai/docs/welcome/>
- [49] K.-S. Sempelson, „Kortermajade energiamärgiste kontroll“, 2023. Vaadatud: 13. mai 2024. [Online]. Available at: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/a779625f-2328-4a58-b90c-779450c492a2>
- [50] „New European Bauhaus“. Vaadatud: 29. aprill 2024. [Online]. Available at: https://new-european-bauhaus.europa.eu/about/about-initiative_en
- [51] *Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika*. 2023. Vaadatud: 17. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020012?leiaKehtiv>
- [52] „Publieke welkomspagina“, Liferay DXP. Vaadatud: 17. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://woningpas.vlaanderen.be>

LISA 1. RENOVEERIMISPROTSESSIGA SEOTUD OSAPOOLTE KAARDISTUS



LISA 2. KONTSEPTUAALNE KONFIGUREERIMISMUDEL



LISA 3. KASUTAJALIIDISE KUVATÕMMIS

VIKTOR

Made with VIKTOR [Share](#)

1 Vali hoone — 2 Kontrolli — 3 Konfigureeri — 4 Jaga

Finished

Input

Sissejuhatus

Konfigureerimine

Nüüd saad sa renoveerimislahenduste vahel valida ja erinevaid konfiguratsioone läbi mängida!

Paremal pool ülemises ribas saad näha erinevaid arvutustulemusi, mis Sinu valitud konfiguratsiooni kohta käivad.

Allpool on alajaotised erinevate renoveerimislahenduste valikutega.

EHR kood: 101020350 Hoone tüüp: B213

Piirdetarindid

Tehnosüsteemid

Küttesüsteem

Vali küttesüsteemi tüüp:
Ei muudeta

Vali soojusjaotuse tüüp:
Radiaatorid

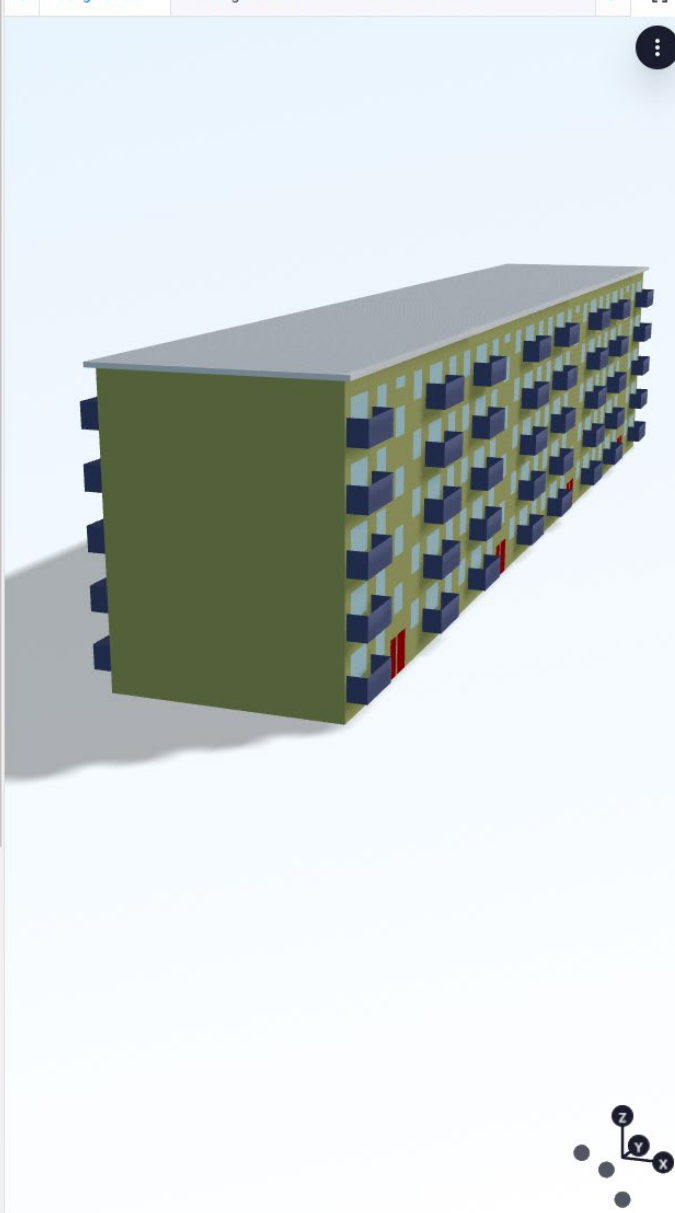
Ventilatsioon

Kas ventilatsioonisüsteem on tsentraalne/trepikojapõhine/korteripõhine, sissepuhe ja/või väljatõmme

Vali ventilatsiooni tüüp:
Loomulik ventilatsioon

Tugev- ja nõrkvool

Konfigureeri



Tagasi Edasi

LISA 4. ARENDUSKESKKONNA KUVATÖMMIS

```
155 et_konf.sec_muu.markusroodu = TextareaField(ui_name='Lisamärkused', flex=100)
156
157 et_konf.sec_muu.selgitus5 = Text("## Hoonevälised tööd")
158 et_konf.sec_muu.markushooneval = TextareaField(ui_name='Lisamärkused', flex=100)
159
160 """Viimane etapp on konfiguratsioonist lähteülesande dokumendi vormistamine."""
161 et_tul = Step('Jaga', views=['get_pdf_view'], previous_label='Tagasi', next_label='...')
162
163
164 ± joovii *
165 class Controller(ViktorController):
166     """Kontrolleris luuakse väljundakende sisu."""
167
168     label = 'My Entity Type'
169     parametrization = Parametrization
170
171 ± joovii
172 @MapView('Kaart', duration_guess=1)
173 def get_map_view(self, params, **kwargs):
174     # Make sure we have the latest data with the correct EHR code
175     building_df = inferenceEngine.infer(params)[0]
176
177     # Get the building location and address
178     viitepunkt_lest = building_df['väärtus']['viitepunktXY']
179     viitepunkt_lonlat = inferenceEngine.convert_coordinates(viitepunkt_lest[1], viitepunkt_lest[0], dirGeoToL
180     aadress = building_df['väärtus']['E3']
181
182     # Create a point on the map
183     markers = [
184         MapPoint(viitepunkt_lonlat['x'], viitepunkt_lonlat['y'], description=aadress),
185     ]
186
187     # Visualize map
188     features = markers
189     return MapResult(features)
190
191 ± joovii
192 @GeometryView('Digikaksik', duration_guess=10, update_label='Genereeri digikaksik', default_shadow=True)
193 def run_grasshopper(self, params, **kwargs):
194     # Create a JSON file from the input parameters
195     input_json = (json.dumps(params.et_intr) + json.dumps(params.et_konf)).replace(_old: "}", _new: ", ")
196
197     # Generate the input files
198     # f1 = f'{input_dir}/DataToKutus(input_json, ut=50)'
199
200 Controller > visualize_data()
201
202 Terminal Local x Local (2) x + v
203
204 Windows PowerShell
205 Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.
206
207 Try the new cross-platform PowerShell https://aka.ms/pscore6
208
209 viktor-cli start
210
211 A newer version of the CLI is available. Use the command 'C:\Users\Joosep\AppData\Local\Viktor\viktor-cli.exe upgrade' to
212 upgrade from v0.33.4 to v0.35.0
213 2024-05-05 16:53:28.483 INFO : _ _ _ _ _
214 2024-05-05 16:53:28.484 INFO : \ \ // | | | / /
215 2024-05-05 16:53:28.484 INFO : \ \ // | | | ' /
216 2024-05-05 16:53:28.484 INFO : \ \ // | | | <
217 2024-05-05 16:53:28.484 INFO : \ / | | | . \
218 2024-05-05 16:53:28.484 INFO : \ / | | | \ \
219 2024-05-05 16:53:28.485 INFO : _ _ _ _ _
220 2024-05-05 16:53:28.485 INFO : | _ _ \ / _ \ | _ _ \
221 2024-05-05 16:53:28.486 INFO : | | | | | | | | | |
222
223 konfiguratuur-app > app.py VCS Initialization 232:48 LF UTF-8 4 spaces Python 3.11 (konfiguratuur-app)
```