



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

Liginullenergiahoonete uurimisrühm

**EHITISREGISTRI ANDMETE ALUSEL ELAMUPIIRKONNA
ENERGIATÕHUSUSE HINDAMISE
ALUSED
BASICS OF THE ENERGY EFFICIENCY ASSESMENT OF
RESIDENTIAL AREAS BASED ON THE DATA OF THE
BUILDING REGISTER
MAGISTRITÖÖ**

Üliõpilane: Elisa Iliste

Üliõpilaskood: 177508EAEI

Juhendajad: Targo Kalamees
Ergo Pikas

Tallinn 2022

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.

19. detsember 2022

Autor: Elisa Iliste

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja: Targo Kalamees / allkiri /

Juhendaja: Ergo Pikas / allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees ..Jarek Kurnitski

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Elisa Iliste (sünnikuupäev: 11.07.98)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Ehitisregistri andmete alusel elamupiirkonna energiatõhususe hindamise alused
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Targo Kalamees

(juhendaja nimi)

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.

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

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

TalTech Instituudi nimetus

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Elisa Iliste, 177508EAEI

Õppekava, peeriala: EAEI, Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine

Juhendaja(d): Targo Kalamees

Ergo Pikas

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Ehitisregistri andmete alusel elamupiirkonna energiatõhususe hindamise alused

(inglise keeles) Basics of the energy efficiency assesment of residential areas based on the data of the building register

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hinnata ehitisregistri andmete terviklikust ning usaldusväärsust
2. Luua tüpologia, piirkonna taseme energiatõhususarvutuste sisenditeks
3. Luua tüpologia määramise protsess

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Algandmete kogumine ja meetodite välja töötamine	10.10.2
2.	Andmete statistiline analüüs, tüpologia lahendus	24.11.22
3.	Lõputöö vormistamine	19.12.22

Töö keel: ...eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: ".19".detsember.2022.a

Üliõpilane:Elisa Iliste..... ".19".detsember.2022.a
/allkiri/

Juhendaja:Targo Kalamees.. ".19".detsember.2022.a
/allkiri/

Juhendaja:Ergo Pikas..... ".19".detsember.2022.a
/allkiri/

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

Sisukord

1	Eessõna	7
2	Lühendite ja tähiste loetelu	8
	Sissejuhatus	9
	Meetodite kirjeldus	10
3	Kirjanduse ülevaade	11
3.1	Renoveerimise olulisus	11
3.2	Renoveerimine ja renoveerimise strateegiad	11
3.2.1	Üksikrenoveerimine ja piirkonna tasemel renoveerimine	11
3.2.2	Renoveerimisstrateegiate kontseptsioonid ja näited	12
3.2.3	Renoveerimisstrateegia tööriist	15
3.3	Eesti hoonefondi ülevaade	16
3.4	Eesti tehiskivi korterelamute kirjandusanalüüs välispiiretele ja konstruktsioonidele	18
3.4.1	Välisseinte konstruktsioonid ning soojuslähivused	18
3.4.2	Katuste konstruktsioonid	19
3.4.3	Põranda ja sokli konstruktsioonid	20
3.4.4	Vahelae konstruktsioonid	20
3.4.5	Loždad ja rõdud	20
3.4.6	Avatäited	20
3.4.7	Välispiirete liitekohtade joonsoojuslähivused	21
3.5	Kirjandus analüüsi tulemused	21
4	Meetodid ja andmeallikad	23
4.1	Sisendite allikate määramine	23
4.2	Valimite põhine EHR`i analüüs	25
4.2.1	VALIM 1: Andmete analüüs EHR`i 2011 a. väljavõtte alusel	26
4.2.2	VALIM 2: Andmete analüüs 417 hoone EHR`i väljavõtte alusel	27
4.2.3	VALIM 3: Analüüs 417 hoone parandatud andmete alusel	27
4.3	Hoonete kirjeldus 3. valimi alusel	29
4.3.1	Välisseinte konstruktsioonid ning soojuslähivused	29
4.3.2	Katusekonstruktsioonid	31
4.3.3	Põrandakonstruktsioonid ja sokkel	32
4.3.4	Vahelae	33
4.3.5	Lodžad ja rõdud	33
4.3.6	Avatäited	34
4.3.7	Geomeetria analüüs	37
4.4	Kontrollrühma hoonete kirjeldus (4. valim)	38
4.5	Tüpoloogiate loomine	40
4.5.1	Hoonete jagunemine geomeetria alusel	41
4.5.2	Hoonete jagunemine ehitusfüüsikaliste näitajate alusel	41
4.6	Tüpoloogia hindamine	41
5	Tulemused	43
5.1	EHR andmete kvaliteet	43
5.1.1	Valim 1: Andmete analüüs EHR`i 2011 a. väljavõtte alusel	43
5.1.2	Valim 2: Andmete analüüs 417 hoone EHR`i väljavõtte alusel	43
5.1.3	Valim 3: Andmete analüüs 417 hoone parandatud valimi alusel	46
5.2	Korterelamute tüpoloogia loomine	47
5.2.1	Välisseinte jaotus	47
5.2.2	Tüpoloogia geomeetrilised näitajad	48
5.2.3	Tüpoloogia konstruktsioonide ja ehitusfüüsikaga seotud näitajad	51
5.2.4	Avatäidete pindalade väärtused	53
5.3	Tüpoloogia otsustuspuu tuletamine	55
5.3.1	Välisseina liigi määramine	56
5.4	Tüpoloogia hinnang kontrollrühma alusel	58

6	Tulemuste hindamine ja järeldused	59
7	Kasutatud kirjandus	63
	Lisad	66
	Lisa 1 Ehisregistri arvutustel põhineva energiamärgise lähteandmete tabel	67
	Lisa 2.1 Energiatõhusus arvutuse sisendite allikate jagunemine	68
	Lisa 2.2 Energiatõhusus arvutuse sisendite allikate jagunemine	69
	Lisa 3 Tüpoloogia tabel	70
	Lisa 4.1 Tüpoloogia otsustuspuu	71
	Lisa 4.2 Tüpoloogia otsustuspuu	72

1 Eessõna

Käesolev lõputöö koostati Targa Linna Tippkeskuse renoveerimise strateegia tööriista (RESTO) piloot projekti raames. Töö käigus loodi tüpologia RESTO projekti arvutuste sisendiks.

Lõputöös kasutatavad hoonete andmed saadi RESTO projekti raames tehtud väljavõtetest. 417 hoone valimi andmeid aitasid korrastada ning parandada juhendaja Ergo Pikas ning RESTO projekti liige Siim Lomp.

2 Lühendite ja tähiste loetelu

Ai	piirdetarindi pindala, m ²
B	Konstruksiooni paksus, mm
EHR	Ehitisregister, www.ehr.ee
ETA	Energiatõhusus arv
GIS	Geinfosüsteem
l _j	piirdetarindite liitekoha pikkus, m
KEK	Kaalutud energiakasutus, kWh/(m ² a)
LOD	Detailsuse tase (Level of detail)
N _p	lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude arv, tk
R	Soojustakistus, m ² K/W
RESTO	Renoveerimis strateegia tööriist (REnovaion Strategy TOol)
SNP	Suletud netopindala, m ²
U	Piirdetarindi soojusläbivus, W/(m ² K)
V _{inf}	infiltratsiooni õhuvooluhulk, m ³ /s
WHO	(World Health Organisation)
Ψ _j	piirdetarindite liitekoha joonsoojusläbivus, W/(m·K)
χ _p	lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude punktsoojusläbivus, W/K

Sissejuhatus

Euroopa Liit on seadnud eesmärgiks saavutada aastaks 2050 kliimanetraalne hoonefond. Hoonete energiatarbimine moodustab kogu Euroopa energiatarbimisest 40% ning 39% energiakasutusega kaasnevatest CO₂ emissioonidest [1]. Elamute energiatarve moodustas 2018. aastal 26 % euroopa koguenegiatarbest, suurema osakaaluga oli vaid transpordiga seotud tarbimine [8]. Seetõttu on elamute renoveerimine kliimanetraalsuse eesmärkide täitmiseks olulise tähtsusega.

Eesti „Hoonete rekonstrueerimise pikaajalises strateegias“ on välja toodud, et 2050. aasta eesmärkideni jõudmiseks peaks iga-aastane renoveerimismaht 5 korda suurenema [2]. Seoses suurenenud renoveerimismahuga on vaja uudseid lähenemisi. Üks võimalik lahendus oleks renoveerimine piirkondlikul tasemel, mis tähendab, et üksiku hoone renoveerimise käsitlemise asemel arvestatakse terve piirkonna vajadusi ning eesmärke.

Piirkonna renoveerimisstrateegiate loomiseks on erinevates riikides läbi viidud uuringuid ning arendatud välja tööriistu, mis planeerimist lihtsustavad. Nende tööriistade toimimise aluseks on teadmised olemasoleva olukorra kohta. Piirkonna hoonestuse seisukorra tuvastamiseks on üks levinum lahendus ehitiste tüpoloogia koostamine statistiliselt keskmistatud andmetega. Hoonete tüpoloogia on funktsiooni või vormi poolest sarnaste hoonete kogumi uurimine ja dokumenteerimine [5]. Erinevate kliimavööndite, arhitektuursete lahenduste ning algandmete kättesaadavuse tõttu pole hoonetüübid eri riikide vahel sageli ülekantavad. Eestis ei ole hoonete renoveerimist piirkondlikul tasemel vaadeldud ning seetõttu ühtne tüpoloogia puudub.

Ehituse ja arhitektuuri instituut koostöös Targa Linna Tippkeskusega töötab välja renoveerimisstrateegia tööriista (RESTO), mis aitab kinnisvara suuromanikel ja kohalikel omavalitsustel luua piirkondlikke renoveerimisstrateegiaid [7]. RESTO projekti eesmärk on luua tööriist, mis minimaalse kasutaja sekkumisega suudab arvutada piirkonna hoonete olemasoleva olukorra energiatarbimist, genereerida renoveerimise meetmeid ja hinnata nende mõju hoonestusele. Tööriista toimimiseks on vaja teada piirkonna hoonete ehitusfüüsikalisi näitajaid ning geomeetriat. RESTO peamine andmeallikas on ehitisregister ning ehitisregistri digikaksik. Kahjuks pole antud allikates kõiki vajalikke andmeid energiatarbimise arvutamiseks, mistõttu on vaja luua hoonete tüpoloogia, mille alusel saaks määrata arvutusteks vajalikud samas registrites puuduolevad andmed.

Eesti eluruumidest moodustavad suure osa enne 2000. aastat ehitatud tehiskivi korterelamud [9], mille tüüpne energiamärgis ehitisregistri (EHR) alusel on F [10]. Suure elupindade puuduse tõttu sai pärast teist II maailmasõda alguse korterelamu ehituse industrialiseerimine. Ehitus protsesside kiirendamise eesmärgil ehitati sellel ajal eelkõige tüüpprojektide alusel ning alguse sai betoonitoodete tootmine tehastes. Üle Eestiliselt ehitati põhiliselt paari tüüpprojekti alusel. Tüüpprojektide standardsed lahendused soodustavad ajastu hoonete tüüpidesse jagamist [11], [12].

Käesoleva lõputöö eesmärk on töötada välja tehiskividest Eesti korterelamute tüpoloogia energiatõhususarvutusteks vajalike sisendiandmete määramiseks. Lõputöö tulemusena valmib tüpoloogia otsustuspuu ja kivikonstruktsiooniga korterelamute tüüphoonete andmebaas. Eesmärgi täitmiseks otsitakse lõputöö käigus vastuseid järgmistele küsimustele:

- 1) Milline peab olema kivikonstruktsioonidega hoonete tüpoloogia ülesehitus ja millest osades peab see koosnema?
- 2) Milliste omaduste alusel saab jaotada tehiskivikonstruktsioonid tüüpidesse?
- 3) Milliseid näitajaid peab tüpoloogias kirjeldama energiatõhususe arvutuste tegemiseks?
- 4) Mis on loodud tüpoloogia kasu, eeldatav täpsus ja piirangud?

Meetodite kirjeldus

Lõputöö koosneb järgnevatest põhiosadest:

- 1) Kirjanduse ülevaade
- 2) Ehitisregistri (EHR) andmete analüüs valimite põhjal
- 3) Tüpoloogiate loomine
- 4) Loodud tüpologia hindamine

Esiteks teostati lõputöö raames kirjanduse põhine ülevaade eelnevatest renoveerimisstrateegiaid käsitlevatest töödest eesmärgiga saada ülevaade teiste riikide lähenemistest strateegiate loomisele. Seejärel teostati Eesti hoonete kirjanduse põhine analüüs, et tuvastada konstruktsioonide tüüpeid lahendusi.

Seejärel teostati EHR`i andmete kvaliteedi ning kättesaadavuse analüüs. Selleks võrreldi EHR`i andmete kvaliteeti kolme valimi alusel: 2011 aasta EHR`i väljavõte, 417 korterelamu EHR`i väljavõte ning 417 hoone EHR`i väljavõte parandatud andmetega. Kahe esimese valimi alusel leiti olemasolevate ja puuduolevate andmete osakaalud, et hinnata andmete terviklikust. Viimase kahe valimi põhjal hinnati ka näitajate sisu. Selleks parandati 417 hoone EHR`i väljavõtte andmed ning võrreldi neid originaal väljavõtte väärtustega.

417 hoone parandatud välja võtet kasutati, et anda valimi põhine ülevaade Eesti hoonetest. Lisaks kasutati seda, et valideerida kirjanduse analüüsi käigus leitud konstruktsioonide lahendusi ning nende esindatust.

Tüpoloogiate jaotused valiti vastavalt kirjanduse analüüsile ning 417 hoone valimile. Geomeetria osa tüpoloogias põhines 417 hoone statistilistel keskmistel näitajatel. Hoonete üldised geomeetrilised näitajad (kogu hoonepikkus, kogulaius) pole üldiselt kirjanduses välja toodud, statistiline lähenemine lubas detailsemat tüüpide jaotust kui kirjanduse põhjal oleks olnud võimalik luua.

Ehitusfüüsikaliste näitajate osas lähtuti tüpologia näitajate suuruste valikul eelkõige kirjanduse põhisest analüüsist. Esinduslike välisseinu kirjeldavate näitajate leidmiseks kasutati ka 417 hoone välisseinte kirjeldusi.

Avatäidete pindalade leidmiseks töötati kirjanduse ning valimi põhise analüüsi põhjal välja 5 erinevat arvutusmeetodit. Loodud meetodite põhjal leiti avatäidete pindalad 417 korterelamu valimi hoonetele ning võrreldi neid energiamärgistes leiduvate avatäidete pindaladega.

Loodud tüpologia hindamiseks kasutati jooksvalt standardhälbeid ning variatsioonikordajaid. Geomeetria ning avatäidete osade hindamisel kasutati juhusliku valimi meetodit. Eesmärgiks oli hinnata kuidas loodud tüpologia kajastab väiksemat valimit.

Tüpologia üldise täpsuse hindamiseks kasutati kontrollrühma hooneid, millele leiti nii projektide kui tüpologia järgsed väärtused. Omavahel võrreldi piirdetarindite pindalaid, soojuslähivusi ning soojuskadusid.

Detailsemalt on kasutatud meetodikad kirjeldatud peatükis 4.

3 Kirjanduse ülevaade

Kirjanduse ülevaates kirjeldatakse, miks on renoveerimine vajalik, mida kujutab endast piirkonnatasemel renoveerimine ning mis on selle potentsiaal. Kirjeldatakse eelnevaid uuringuid renoveerimisstrateegiast ning seejärel antakse ülevaade tüüpsetest tehiskivi korterelamute konstruktsioonidest ning omadustest. Tüüpkonstruktsioonide analüüs on vajalik et esiteks teha otsuseid tüpologia jagunemise kohta ning seejärel et määrata tüpologia näitajatele väärtused.

3.1 Renoveerimise olulisus

„Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia“ seab eesmärgiks enne 2000. aastat ehitatud hoonete tervikliku rekonstrueerimise aastaks 2050. „Tervikliku rekonstrueerimise sügavust väljendab olulise rekonstrueerimise energiatõhususe miinimumnõue, mis praegusel hetkel vastab Eesti hoonete energiatõhususe regulatsioonis energiatõhususarvu klassile C [1].“

„Energiatõhususarv (ETA), kirjeldab hoone summaarset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. Energiatõhususarv on arvutuslik summaarne tarnitud energiate kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiate kaalutud erikasutus[2].“

Lisaks Euroopa Liidu suunitlustele on renoveerimise vajaduse järsu tõusu põhjustanud viimaste aastate energiahindade ülemaailmne tõus. Eestis tõusid 2021. aastal energiahinnad võrreldes eelneva aastaga 181 % [3], energiavaesusest on saamas globaalne probleem. Energiavaesust kirjeldab olukord, kus „taskukohaste kulutustega ei suudeta piisavalt kodu kütta või energiateenuseid tarbida“ [4].

Aastal 2021 Inglismaal läbi viidud uuringust selgus, et ligikaudu 13 % Inglismaa leibkondadest on energiavaesed [5] ning, et igal aasta sureb Suurbritannias 3000 inimest, sest nad ei saa kütet lubada [6]. Surmajuhtumid on ekstreemsed näited, kuid eluruumide minimaalsel temperatuuril hoidmine võib põhjustada mitmeid probleeme nii inimeste tervislikule seisundile, kui ka hoonetele. Madalad temperatuurid ja niiskus suurendavad hallituse riski, mis omakorda mõjutab inimeste tervist. Sisetemperatuuriga, mis on madalam kui 18 °C, seostatakse kõrget vererõhku, hingamisteede probleeme, suurenenud põletikku ning depressiooni riski [7].

Muutuv kliima toob kaasa ekstreemseid olusid, kui eelnevalt on renoveerimise eesmärk olnud eelkõige vähendada kütteenergia vajadust talvel, siis viimastel aastatel on kasvanud ka hoonete suvine jahutusvajadus. Samuti, kui liigselt madal temperatuur ohustab elanike tervist, on ka liialt kõrged sisetemperatuurid suvel ohtlikud. WHO (*World Health Organisation*) soovitude järgi on maksimaalne soovitatav sisetemperatuur 26 kraadi, sellest suurem temperatuur võib põhjustada suurenenud hingamisteede haiguste ning halvenenud vaimse tervise riski [8]. Seega on hoonete renoveerimine oluline nii kliima eesmärkide täitmise, kui inimeste elukeskkonna kvaliteedi tõstmiseks.

3.2 Renoveerimine ja renoveerimise strateegiad

3.2.1 Üksikrenoveerimine ja piirkonna tasemel renoveerimine

Traditsiooniliselt planeeritakse korraga üksiku hoone renoveerimist, ümbruses olevaid hooned ega linnaplaneeringut arvesse ei võeta. Lisaks puudub kinnisvara omanikel teadlikus vajalikest meetmetest. Renoveerimisel otsustatakse pigem odavamate lahenduste kasuks, teadmata kuidas valikud mõjutavad hoone toimimist pikema aja jooksul [1].

Piirkonna renoveerimise strateegiate loomisel võetakse arvesse hoonete kogumike, mis lubab töid plaanida terve piirkonna vajadusi arvestades. Tänu sellele paraneb lisaks energiakasutusele ka elukeskkonna kvaliteet [9]. Lähenemine lubaks näiteks tarkade võrgulahenduste integreerimiseks, mis suurendaks veelgi energia kokkuhoiu potentsiaali [9].

Kui piirkonda jääb muinsuskaitse all olevaid hooneid, siis raskendab see eesmärkideni jõudmist. Muinsuskaitse hoonetele kehtivad erinõuded. Sellest tulenevalt energiatõhususe nõudeid neile ei rakendata [10]. Kui vaadelda piirkonda tervikuna, siis saaks hoonete renoveerimist planeerida nii, et sellised hooned mõjutaksid ala keskmist minimaalselt. Liginullenergia tasemele on võimalik renoveerida suuremad korterelamud, mille potentsiaalne energia kokkuhoid on suurem ning renoveerimislahendused lihtsamad ja odavamad. Selle võrra võiks lihtsustusena piirkonna renoveerimis strateegiate tegemise osas arvestada muinsuskaitse all olevate hoonetele väiksema mõjuga renoveerimislahendusi, mis hoone üldist ilmet ei mõjuta, kütte- ning ventilatsiooni süsteemi rekonstrueerimist või taastuenergiaallikate lahenduste integreerimist. Lihtsustus on vajalik arvutuste automatiseerituse tõttu, muinsuskaitse hooned vajavad iga hoone individuaalset lähenemist, mistõttu ei ole tööriist võimaline eripäradega arvestama.

3.2.2 Renoveerimisstrateegiate kontseptsioonid ja näited

Piirkonna renoveerimisstrateegiate loomise eelduseks on olemasoleva olukorra kirjeldus, energiatõhususe poolest on üks olulisemaid näitajaid hoonete energiatarbimine. Eeldades, et puudub ligipääs iga hoone dokumentatsioonile või tarbimisandmetele, peab olukorra määramiseks kasutama teisi meetmeid. Järgnevalt tuuakse välja piirkonna renoveerimise strateegia loomise loogikaid, mis pakuvad erinevaid viise hoonete energiatarbimise määramiseks.

Tööriistade toimimise põhimõtted võib jaotada kaheks: ülalt alla „*top down*“ ja alt üles „*bottom up*“ meetoditeks. Esimese puhul tuletatakse energiakasutus majanduslikest teguritest ning ei arvestata individuaalsete hoonete energiakasutust. Lahendus sobib paremini üleriigiliste üldistatud strateegiate koostamiseks. Sellise lähenemise täpsus pole konkreetse hoone energiatõhususe leidmiseks piisav [11]. Teise puhul tuletatakse piirkonna energiakasutus üksikute hoonete tarbimismudelitest. Alt üles meetodi võib jagada kaheks: statistikal põhinev ning insenertehnilistel arvutustel põhinevad meetodid. Statistilise lähenemise puhul on sisendiks varasemad energiatarbimise andmed. Arvutustel põhinev meetod on ainus, mille toimimiseks pole vaja tarbimisandmeid, tulemusteni jõutakse tüpoloogiat kasutades [12]. RESTO projekti lähenemine põhineb alt üles meetoditel, seega järgnevalt ülalt alla lähenemisi ei kajastata.

Statistilise lähenemise näitena võib tuua Itaalias loodud GIS platvormi alusel toimiva tööriista, mille eesmärk oli tekitada andmebaas olemasolevate hoonete energiatarbimisega. Uuringus kasutati nii statistilisi kui arvutuslike lähenemisi. Hoonete energiatõhususe määramiseks tehti referentshoonete valimile lihtsustatud energiaauditid. Hoonete arvutustes kasutati vastavalt ehitusperioodile eeldatud väärtusi, mitte projekti suurusi. Tulemused kanti üle ülejäänud ala hoonetele vastavalt hoone vanusele ja kompaktsusele. Kompaktsus arvutati vastavalt hoone kõrgusele ja katusepindalale [13].

Järgnevalt kirjeldatakse erinevaid tüpologia alusel üles ehitatud piirkonna renoveerimisstrateegia mudeleid. Tüpologia on asjade ja/või sündmuste, tüüpide õpetus või asjade ja/või sündmuste liigitamine tüüpideks ühiste omaduste alusel. Hoonete tüpologia on funktsiooni või vormi poolest sarnase hoonete kogumi uurimine ja dokumenteerimine [5]. Klassifitseerimiseks kasutatakse erinevaid hoonet kirjeldavaid näitajaid olenevalt tüpologia kasutusotstarbest. Olenevalt eesmärgist võivad liigitamise aluseks olla näiteks hoone ehitusaasta, arhitektuurne vorm ja/või

kasutusotstarve. Antud lõputöö raames keskendutakse tüpoloogiatele, mille väljundid on olulised hoonete energiatarbimise määramiseks.

Hispaanias töötati välja rakendus piirkonna energia mudeldamiseks mitmel tasandil. Mudeli eesmärk on toetada renoveerimise strateegiate loomist nii energiatõhususe kui finantseeringute osas [14]. Rakenduse arvutustes võeti hoonete jaotuse aluseks GTR 2011. aasta raportis välja pakutud tüpoloogia. Tüpoloogias toodi välja kümme tüüphoonet, mis tuvastati vastavalt ehitusaastale, korruselisusele, elanike arvule ning ümbritseva ala asustatusele [15].

Hollandi uuringus arendati tehaselise renoveerimise lahenduste kavandamise eesmärgil välja tüpoloogia maatriks [16]. Maatriksi tegemisel võeti aluseks Tabula tüpoloogia. Tabula on tööriist, kus on hooned jaotatud vastavalt päritoluriigile, ehitusaastale ning hoone suurusele. Iga tüübile on määratud referentshoone, mille alusel määratakse vajalik kütteenergia. Igal referentshoonel on määratud tüüpsed konstruktsioonid kolmes olukorras: originaal konstruktsioon, tüüpiline osaline renoveerimislahendus ja täisrenoveerimislahendus [17].

Välja toodud strateegia loomis meetodite ühise näitajana võib välja tuua, et hoone energiakasutus leitakse kas tüüpse referentshoone järgi või vajab tööriist toimimiseks ligipääsu projektidokumentatsioonile ja tarbimisandmetele. Hoone geomeetria võetakse üldiselt arvesse kompaktsusena, LOD1 (detailsuse tase 1) geomeetria või referentshoone abil. LOD1 on olemuselt risttahukas, mis saadakse LOD0 taseme pinna ekstruudimisel vastavalt hoone kõrgusele [18]. Eesti eeliseks ülejäänud riikide ees on juba olemasolev LOD1 ja LOD2 (detailsuse tase 2) mudelitega digikaksik. LOD2 on detailsem mudel, kui LOD1, tavalise risttahuka asemel on eristatav näiteks katuse ja välisseina eenduvad osad [18]. Detailsuse tasemed on illustreeritud Joonis 3.1.



Joonis 3.1 Hoonete detailsuse tasemed[18]

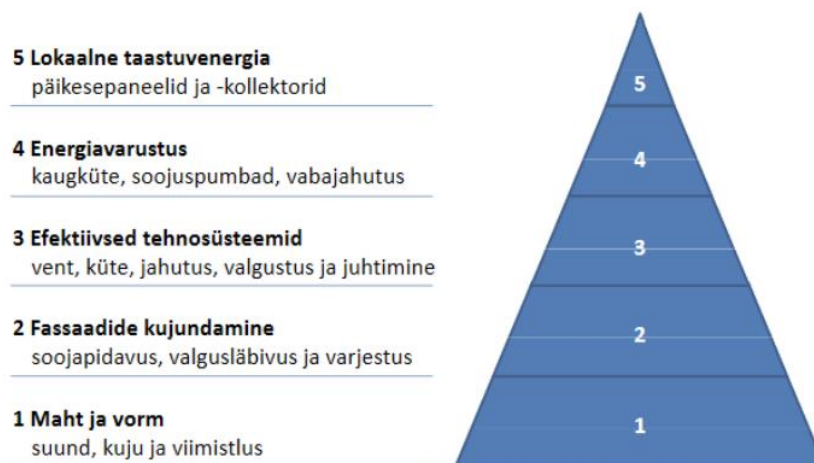
2020. aastal läbi viidud uuringus koostati nimekiri energiatõhusust mõjutavatest parameetritest ning järjestati need prioriteetsuse alusel. Tulemuseks oli tabel renoveerimise poolest prioriteetsete parameetritega (Tabel 3.1)[19]. Tabelis on olulisuse järjekorras kõige tähtsamatena välja toodud soojaveeallika tüüp, konstruktsiooni tüüp, soojustuse materjal, soojusmass, konstruktsioonide soojuslähivused ning küttesüsteem.

Tabel 3.1 Valitud renoveerimise meetmete kirjeldused järjestatuna prioriteetsuse järgi [19]

Renoveerimis lahendused	Kirjeldus	Renoveerimise tüüp	Prioriteetsus
Tarbevee soojendamise	Sooja vee allika tüüp	Tarbevee soojendamine	1
Konstruktsioon	Konstruktsiooni tüüp	Materjal	2
Soojustuse tüüp	Soojustuse tüüp	Materjal	3
Soojusmahtuvus kategooria	Soojusmahtuvus	Materjal	4
Seina lisasoojustamine	Seina soojuslähivus	Materjal	5
Katuse lisasoojustamine	Katuse soojuslähivus	Materjal	6
U-arv Pörand	Pörandi soojuslähivus	Materjal	7
U-arv Aken	Akna soojuslähivus	Materjal	8
Küttesüsteemi efektiivsuse parandamine	Küttesüsteemi efektiivsus	Küttesüsteem	9
Soojustuse paksus	Soojustuse paksus	Materjal	-
Põhiline küttesüsteem	Küttesüsteem	Küttesüsteem	-
Ventilatsiooni lahendus	Ventilatsiooni lahendus	Küttesüsteem	-
Soojavee süsteem	Soojavee süsteemi efektiivsus	Küttesüsteem	-
Valgustuse lahendus	Madala energiakasutusega valgustus	Valgustus	-
Sooja vee süsteem	Päikeseenergia	Taastuvenergia	-
Päikesepaneelid	Päikeseenergia	Taastuvenergia	-

Samale tulemusele jõuti 2022. aastal ilmunud artiklis, kus hinnati parameetrite mõju eri tüüphoonete lõikes. Artiklis oli neli geomeetria malli, kahekordne väikeelamu, ühekordne väikeelamu, ridaelamu ning kortermaja. Viimane oli taandatud korteri peale, eristati hoone keskel paiknevat korterit ning viimase korruse korterit. Kõikide näitajate lõikes olid piirdetarindite soojuslähivused rohkem mõjutavate näitajate seas [20].

Energiatõhususe arvutused käsitlevad samuti hoonet eelkõige vastavalt piirdetarindite omadustele, hoone geomeetria ja küttesüsteemile [21]. Kredexi „Liginullenergia eluhoonete“ juhendis on välja toodud uusehitise planeerimisel energiatõhususe kavandamise protsessi valikute järjekord ning mõju, valikud ning nende mõju on visualiseeritud Joonis 3.2. Olemasolevatel korterelamutel on joonisel välja toodud valikud juba projekteerimisel tehtud. Algolukorda saab vaid rekonstrueerimise kaudu modifitseerida. Siiski annab Joonis 3.2 hea ülevaate, millised näitajad on energiatõhususe jaoks suurema mõjuga ning seeläbi tüpologia jaoks olulisemad [2].



Joonis 3.2 *hoone kavandamisel ja projekteerimisel tehtavate valikute eelistatavat järjekorda ning mõju energiatõhususele*

Eesti baasil pole piirkonnatasemel strateegiate loomist katsetatud, kuid Tehnikaülikooli ja Kredexi koostöös viidi läbi uuring „Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“, kus käsitleti suurpaneel eramuid [22], telliselamuid [23] ning puitkorterelamuid [24]. Kolm raportit kirjeldavad hoonetüüpide seisukorda, tüüpilisi probleeme ning pakuvad renoveerimisemeid.

Väikeelamuid on käsitletud näiteks Ats Allikmaa lõputöös [25], kus on antud statistiline ülevaade Eesti elamutest üldiselt ning toodud välja vastavalt ajastule tüüpilisi hooned. Spetsiifiliselt maakohtades asuvate väikeelamute kohta teostati uurimustöö, kus käsitleti eramute ehitusfüüsikalist toimivust ning sisekliimat [26].

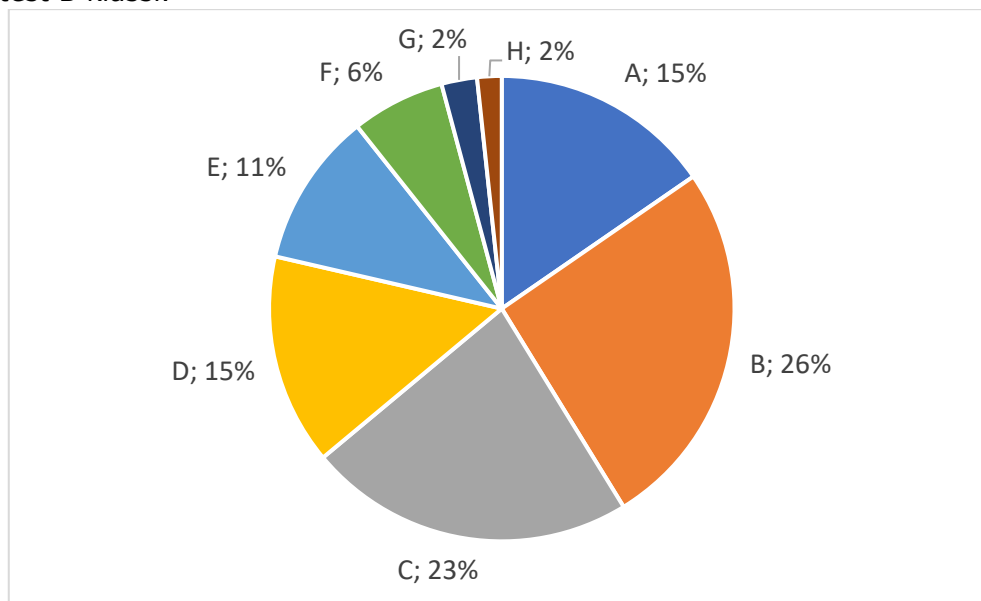
3.2.3 Renoveerimisstrateegia tööriist

Ehituse ja arhitektuuri instituut ja Targa Linna Tippkeskus loovad tööriista piirkonna renoveerimisstrateegiate loomiseks. „RESTO piloodi eesmärgiks on välja arendada innovatiivne digitaalne platvorm omavalitsustele ja kinnisvara suurhaldajatele, et olla valmis meid ees ootava renoveerimislaine väljakutseteks. Tööriist kombineerib rohepöörde ja digipöörde lahendused, et optimeerida vajalikke investeeringuid nende hoonetesse.[27]“ Tööriista toimimise aluseks on ehitisregister (EHR) ning ehitisregistri digikaksik. „Ehitisregister on riiklik andmekogu, mille kaudu saab esitada ja menetleda ehitamisega seotud dokumente omavalitsustele töökeskkonnaks ehitusega seotud dokumentide menetlemisel.[28]“ Digikaksikut kirjeldatakse järgmiselt: „3D kaksik on ehitatud keskkonna 3D mudeli visualiseerimiskenduse, mis võimaldab kasutajal vaadata ehitisi ja ehitiste andmeid ümbritseva keskkonnaga seostatult, ka ajalisel mõõtmel ehk erinevatel aegadel fikseeritud ja salvestatud seis (ajalugu) [29].“

Digitaliseeritud hoonete andmed võimaldavad automatiseeritud hoonete arvutusi läbi viia, kuid andmeallikana ei ole eelnevalt kontrollitud nende kvaliteeti ega terviklikkust. Et ehitisregistri andmeid saaks arvutustes kasutada, peab teadma kui usaldusväärsete andmeallikatega on tegu. Ehitisregistri põhimäärusega on määratud andmete õigsuse tagamise kord: „Registrisse kantavate andmete õigsuse eest vastutab andmeandja. Vastutav töötaja ei ole kohustatud kontrollima esitatud andmete sisulist õigsust[30].“ Andmeandjaks võib olla ka ehitusega mitte seotud isik, kellel pole pädevust kvaliteetse info sisestamiseks. Seega pole andmete kvaliteet garanteeritud.

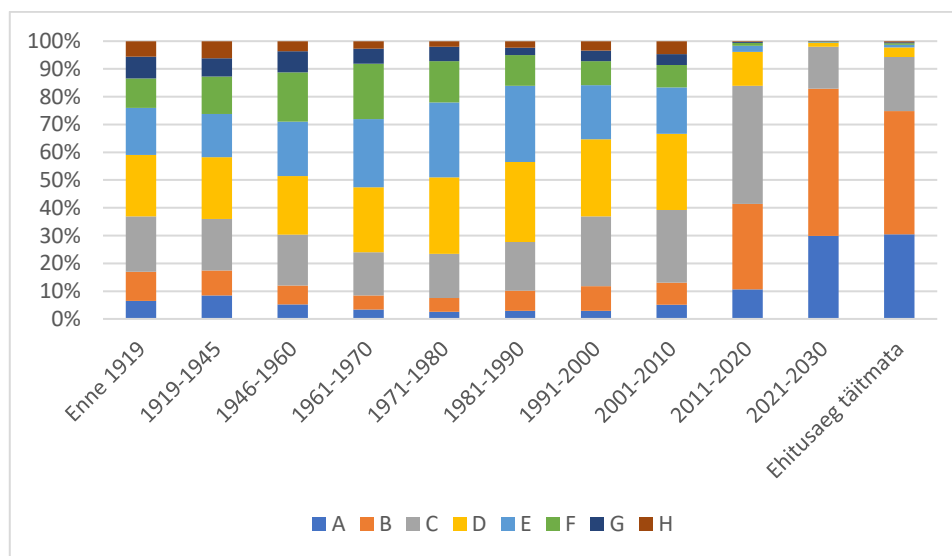
3.3 Eesti hoonefondi ülevaade

Ehitisregistri andmetel on Eestis 1 687 185 hoonet, millest 44 205 hoonel on ehitisregistris määratud energiamärgis. Vastavalt *Joonis 3.3* kuulub suurim osa hoonetest B klassi.



Joonis 3.3 Hoonete jagunemine vastavalt energiatõhususarvu klassidesse

Joonis 3.4 on näha, et keskmine B klass kehtib vaid uemate hoonete puhul. Enne 2000. aastat ehitatud hoonete hulgas on esindatuim klass D.

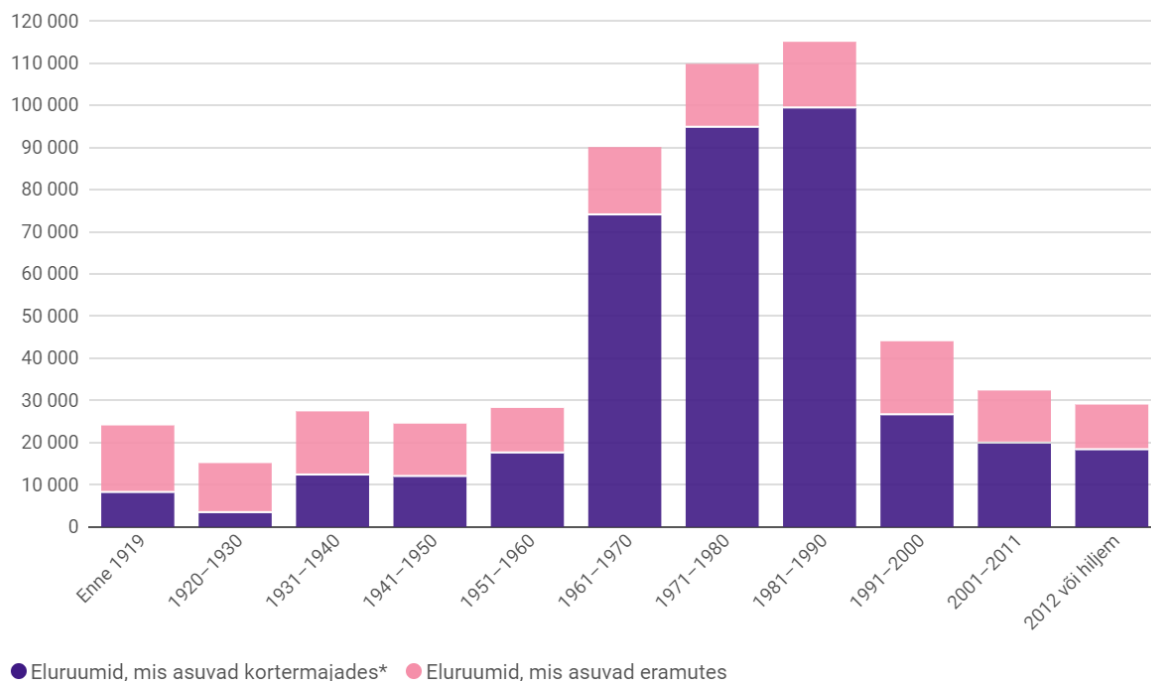


Joonis 3.4 Hoonete jagunemine energiatõhususarvu klassidesse vastavalt ehitusaastale

Vastavalt Euroopa eesmärkidele peaks Eesti suutma 27 aastaga renoveerida ligikaudu 141 000 hoonet (~100 000 üksikelamut kogupindalaga 14 mln m², ~14 000 korterelamut kogupindalaga 18 mln m² ja ~27 000 mitteeluhoonet kogupindalaga 22

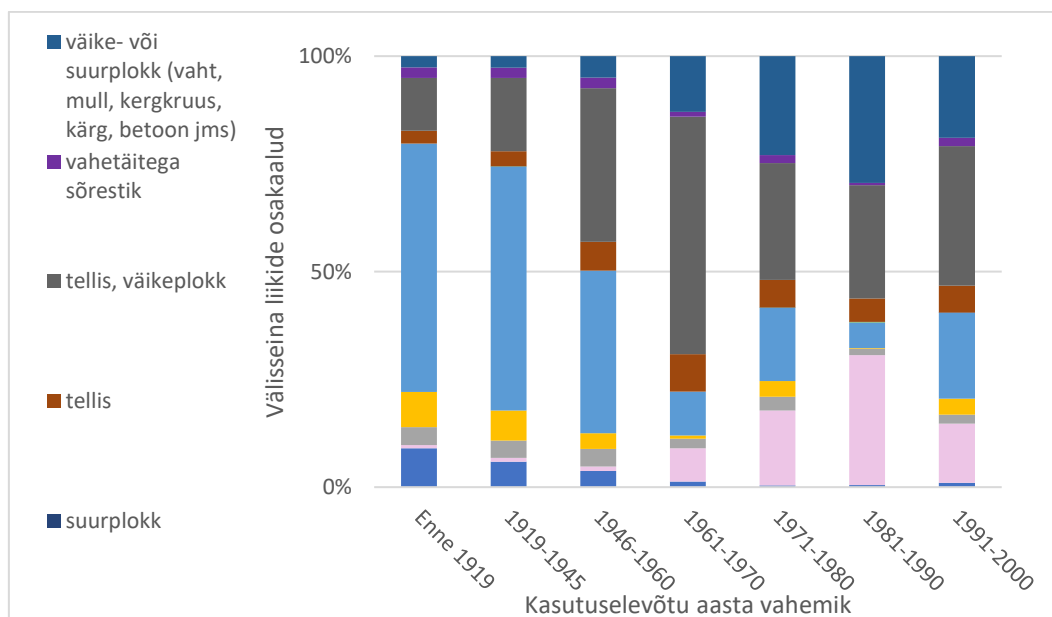
mln m²), mis on kokku 54 mln m². Eesti „Hoonete rekonstrueerimise pikaajalises strateegias“ on välja toodud, et 2050. aasta eesmärkideni jõudmiseks peaks iga-aastane renoveerimisvõime 5 korda suurem [1]. Seega peab renoveerimisprotsess Eestis muutuma.

Vastavalt 2022. aasta rahvaloenduse asub suurim osa Eesti Elamufondi eluruumidest 1961-1990 aastatel ehitatud korterelamutes (Joonis 3.5). 2050ks aastaks on kõikidel selle ajastu hoonetel projekteeritud eluiga ületatud.



Joonis 3.5 Asustatud tavaeluruumide jaotumine hoone tüübi ja ehitusaja järgi [31]

EHR`i alusel on 63 % selle perioodi jooksul ehitatud korterelamutel tehiskivist ehitatud välisseinad (raudbetoon, tellis ning kergbetoon tooted) (Joonis 3.6)[28].



Joonis 3.6 Graafik ehitisregistri andmete alusel: Eesti hoonefondi korterelamute jagunemine ehitusaasta ning välisseina tüübi alusel

3.4 Eesti tehiskivi korterelamute kirjandusanalüüs välispiiretele ja konstruktsioonidele

Tehiskivi korterelamute tüpologia koostamiseks teostatakse antud alampeatükis välispiirete ja konstruktsioonide kirjandusanalüüs. Eesmärk oli teha otsuseid tüpologia jaotuse kohta, ning määrata klassidele hoonefondi korrektselt esindavad väärtused.

3.4.1 Välisseinte konstruktsioonid ning soojuslähivused

Korterelamute puhul on seinte pindala välispiiretest üldiselt suurim, mis tõttu on seina arvelt ka potentsiaalne soojuskadude vähendamine kõige suurem. RESTO projekti pilootala hoone näitel on välisseinte pindala 56% välispiirete pindaladest. Elamufondi uuringutes on keskendatud eelkõige seinakonstruktsioonidele ning vastavalt seina tüübile määratud ülejäänud välispiirete soojuslähivused [22], [23].

Suurim osa Eesti korterelamute hoonefondist on ehitatud 1960-1990. Selles vahemikus ehitati eelkõige tüüpprojektide alusel. Tüüpprojektid võib välisseinte konstruktsiooni alusel jagada kolmeks. 1-317 tüüpprojekti järgi ehitati tellis või suurplokk välisseintega hooneid. 1-464,121 ning 84 tüüpprojektide järgi ehitati ainult raudbetoon suurpaneel välisseintega hooneid. 111-133 ja 111-66 projektide alusel ehitati hooneid, mille külge seinad olid gaasbetoon paneelidest, otsaseinad aga raudbetoonpaneelidest. 111-133 tüüpprojekti ehitati ka variandina, kus kõik seinad olid raudbetoonpaneelidest. (Tabel 3.2) [22], [23].

Tabel 3.2 Välisseina konstruktsioonid tüüpprojekti alusel

Tüüpprojekti seeria	Seina konstruktsioon	Kommentaari
1-317	Tellis ja suurplokk seinad	1960-1980
1-464	Raudbetoon suurpaneel	Mustamägi
121	Raudbetoon suurpaneel	Lasnamäe, Õismäe
111-133	Suurpaneel, gaasbetoonpaneel	Tartu, Pärnu
111-66	Gaasbetoonpaneel	Venemaa tüüp
84	Raudbetoon suurpaneel	Venemaa tüüp

Kirjanduse põhjal moodustati Tabel 3.3 tüüpsete välisseina konstruktsioonidega. Korterelamud on tabelis jaotad vastavalt välisseina kandekonstruktsiooni materjalile neljaks kategooriaks: telliskorterelamud, raudbetoon suurpaneel korterelamud, suur- ja väikeplokk korterelamud ning puitkorterelamud. Igale kategooria kohta on välja toodud tüüpsete välisseina lahendused. Telliskorterelamud jaotati neljaks: täismassiivseinad, massiivseinad õhuvahega, soojustatud massiivseinad ja täidisseinad [32]–[34]. Raudbetoon suurpaneel korterelamud jaotuvad 3-kihilisteks raudbetoon elamuteks, 3-kihilisteks Tartule tüüpseteks eenduvate osadega välisseinteks ning gaasbetoon paneel elamuteks, millel on tüüpiliselt gaasbetoonpaneelidest külge seinad ning raudbetoonpaneelidest otsaseinad [22]. Väike- ja suurplokkelamud jaotati vastavalt materjalile ja plokisuurusele silikalt suurplokk seinteks, gaasbetoon väikeplokkiideks ning gaasbetoon suurplokkiideks [35], [38-39]. Tabelis on näidatud iga alamtüübi levik vastavalt ajastule ning vastavalt tüübile on märgitud juurde ka levik Eestis või tehase asukoht, kui viimasel on oluline mõju levikule.

Tabel 3.3 Kirjanduse põhised keskmised välisseinte soojusläbivused ning paksused

	Keskmised väärtused		Aeg											
	U W/ (m ² K)	B mm												
Tellis korterelamud			-1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	
A Täismassiivseinad	1.3	467	[32]–[34]											
B Massiivseinad õhuvahega	0.93	530	[32]–[34]											
C Soojustatud massiivseinad	0.9	500	[32]–[34]											
D Täidisseinad(Nopsa, Popov)	1.1	472	[32]–[34]											
Paneel korterelamud														
3 kihiga raudbetoonpaneel enne 1980 (va. Seeria 111-133)	1.05	275	[22], [35]											
3 kihiga raudbetoonpaneel pärast 1980 (va. Seeria 111-133)	0.8	275	[22], [35]											
3 kihiga 111-133 seeria raudbetoon paneel	1	275	[22], [35]											
D Gaasbetoonpaneel	0.78	287	[22], [35]											
Suur ja väikeplokk korterelamud														
C Silikaltsiidist suurplokid	0.9	300	[32]–[35], [37]											
B Gaasbetoon väikeplokid	0.82	270	[32]–[35], [37]											
D Gaasbetoon jm kergbetoon suurplokid	0.78	300	[32]–[35], [37]											

3.4.2 Katuste konstruktsioonid

Soojuskadude arvutuse jaoks on vaja teada katuse soojusläbivust. Katusekonstruktsioonid võib jagada kalde alusel: kaldkatuse (kalle >10%) ja lamekatuse (kalle <10%). Katuseid võib jagada ka kas hoonel on pööninguga vahelagi või katuslagi. Vanemate hoonete puhul võib originaalolukorras eeldada pööninguga vahelagi, kuid nõukogude ajal sai standardseks lahenduseks katuslagi [32].

Enne nõukogudeaegsete betoontoodete tehaste avamist olid katusekonstruktsioonid puidust, hiljem muutusid korterelamute ehituses domineerivaks raudbetoontooted. Enne nõukogude aega oli tüüpne lahendus saepurutäidisega pööninguvahelagi soojusläbivusega $U \approx 0,33 \dots 0,41$ W/(m²K), liivakihi puhul 1,20 W/(m²K). Lõputöö raames arvestati pööninguvahelagete soojusjuhtivuseks keskmine 0,8 W/(m²K). 1950-2000 aastatel oli standard tsiviilhoone katuslagi oli 20 cm gaaskukeroon plaatidega soojustusega ($U=0,70-1,0$ W/(m²K)).

Tabel 3.4 on välja toodud soojusläbivused toodud vastavalt ehitusaastale ning välisseina tüübile [37], tabeli alusel on raudbetoon suurpaneel korterelamute soojusläbivus enne 1980. aastat 1.1 W/(m²K) hiljem 0.9 W/(m²K). Telliskorterelamutel on põhiline katuse soojusläbivuse erinevus enne ja pärast 1970. aastat ehitatud hoonetel [37].

Tabel 3.4 Suurpaneel ning telliselamute katuste tüüpsed soojusläbivused [38]

	< 1961	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990
Suurpaneel lamud		1,1	1,1	0,9
Telliskorterelamud	1,1	1,1	0,9	0,7

3.4.3 Põranda ja sokli konstruktsioonid

Põrandate soojuslähivuse arvutuse meetodika valiku määrab, kas hoonel on kelder, alt tuulutatav põrand või põrand pinnasel. Korterelamutel oli levinum lahendus kütmata kelder, pinnasel põranda lahendus oli vahetult vastu pinnast olev betoon. Enne nõukogude aega ehitati keldrite vahelaed puidust. Nõukogude ajal oli keldri vahelaeks betoonpaneel, keskmise paksusega 200 mm, keskmine keldri vahelaee soojuslähivus oli $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [32].

Juhul, kui hoonel on kelder, tuleb arvestada ka sokliseinte soojuslähivustega [38]. Tüüpne sokli- või keldrisein enne nõukogude aega oli 600-700 mm looduskivi ($U=1,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Hiljem kasutati 300-500 mm betoonplokkide, raudbetoon suurpaneel korterelamute keldri seinaks oli enamasti raudbetoonpaneel [22], [32].

3.4.4 Vahelaee konstruktsioonid

Vahelaed ei ole hoone välispiirdeks, seega läbi nende soojuskadusid ei toimu. Energiatõhususe arvutustes kasutatakse aga välispiirete sisemõõte ning vastavaid pindalasi, seega oleks korrektne leida välisseina pindala ruumi sisemõõtude alusel. Ehitisregistri digikaksiku geomeetria annab piirete välispindalad. RESTO projekti raames (artikkel E. Parts 2023) leiti köetava kõrguse leidmiseks järgnev meetod. Hoone kõrguse asemel kasutati tüüpse toa kõrguse ja korruste arvu korrutist

Arvutuste jaoks on vaja vahelaee tüüpset paksust ning ruumi tüüpset kõrgust. Enne nõukogude aega olid kivihoonetes ruumi tüüpne kõrgus üle kolme meetri, nõukogude ajal muutus standard lahenduseks 2,5 meetrit [34], [36].

Enne 50-ndaid, oli tüüpseks lahenduseks puitvahelagi, sellisel juhul määras vahelaee paksuse tala kõrgus. Tüüpne vahelaee paksus oli 180-220 mm kõrgune puittala + laudis mõlemal pool [36]. Nõukogude ajal, koos betoontoodete tehaste avamisega, muutusid populaarseks raudbetoonpaneelidest vahelaed. Paneeli paksus oli 150 ja 300 mm vahel, kõige levinumad olid 220 mm kõrgused paneelid [36].

3.4.5 Lodžad ja rõdud

Elamufondi uuringutes on ühe lähiva probleemina välja toodud rõdude ja lodžade amortiseerimine [22]. Korrastamata rõdud ja lodžad on varisemisohhtlikud, seega strateegiate loomise poolest on tegu lahendamist vajava probleemiga. Energiatõhusust mõjutavad lodžade ja rõdude kinnitustest tulenevad külmasillad.

Eelnevalt oli EHR`'s rõdude pindala hooneosade all parameetrina olemas, uuemas versioonis selline parameeter puudub [28]. Seetõttu ei ole võimalik EHR`'i ega digikaksiku põhjal tuletada rõdude või lodžade olemasolu, ega neist tulenevate külmasillade pikkusi. Tüüpprojektides esines ühe tüüpprojekti raames erinevaid rõdude kui lodžade lahendusi, seega tüüpprojekti põhjal pole võimalik olemasolu tuvastada [39].

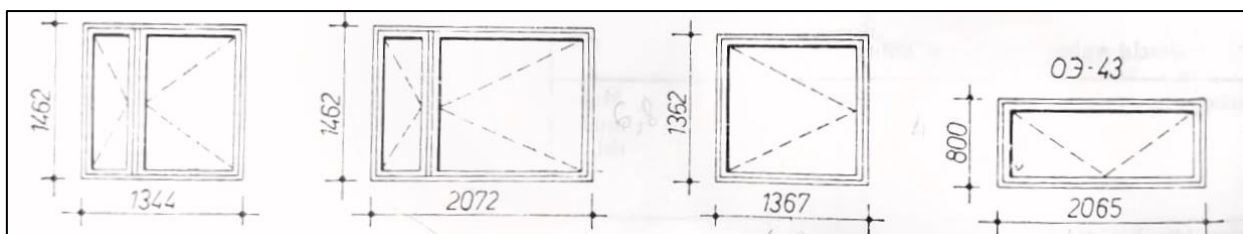
3.4.6 Avatäited

Hoone avatäideteks loetakse aknad ja ukse. Energiatõhususarvutusteks on vaja avatäidete soojuslähivusi, pindalasi, kinnituste pikkusi ning välisseinaga liitumise külmasilla joonsoojuslähivusi. Ehitisregistri digikaksiku detailsem mudel on LOD2 tasemel, seega seal aknad ega ukse ei kajastu [18], [28]. Seega ei ole teada avatäidete kohta mitte ühtegi näitajat.

Elamufondi uuringutes on ukse soojuslähivuseks toodud $2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [22], [23] [24]. Kirjanduses on tsiviilhoonete välisuste kõrguseks on toodud 210 või 240 cm, ühe tiiva laius on minimaalselt 90 cm [36]. Energiatõhususarvutustes on uste mõju tulemustele võrreldes akendega niivõrd väike, et ligikaudsetes arvutustes jäetakse tihti nende mõju arvestamata. Tüüpse korterelamu välisused moodustavad välispiirete kogupindalast alla 1%. Näitena võib tuua RESTO projekti pilootalas oleva hoone energiamärgise

arvutuse, kus uste pindala moodustab 0,3 % välispiirete pindalast ning 0,9 % välispiirete soojuskaost [40].

Elamufondi uuringutes on vanade akende soojuslähivuseks, toodud 2,9 W/(M²·K) [22]–[24]. 1983. aastal välja antud raamatus „Hooned“ toodi välja, et akna minimaalne suurus on määratud ava ja ruumi põranda pindala suhtega, mis peab olema vahemikus 1:8...1:4.5 [36]. Aknaraamide minimaalse laiusena oli välja toodud 60 cm ja maksimaalse laiusena 120 cm. Raamatus oli välja toodud tüüpsed kataloogi aknad (Joonis 3.7) [36]. Keskmine eluruumi akna pindala Joonis 3.7 alusel oleks 2,27 m², trepikoja akna pindala oleks 1,65 m²[36].



Joonis 3.7 Tsiviilhoonete tüüpaknaid [36]

3.4.7 Välispiirete liitekohtade joonsoojuslähivused

Lisaks piirdetarindite soojuslähivustele tuleb soojuskadude arvutustes arvestada liitekohtade lisa joonsoojuslähivustega. „Joonsoojuslähivus on piirdetarindite liitekoht või külmasild, mida iseloomustab ühel kolmest ristteljest ühtlane ristlõige ehk külmasild, mille ristlõige on tarindi pinnas suunas jätkuvalt samasugune“ [2].

Joonsoojuslähivuse väärtused olenevad liitekohtade geomeetriast. Piirkonna renoveerimise strateegiaid luues ligipääs projektlaheendustele puudub, seega täpsete joonsoojuslähivuste leidmine võimalik ei ole. Lõputöö raames määratakse joonsoojuslähivused vastavalt eelnevatele uuringutele [22], [23].

Joonsoojuslähivusi võib arvesse võtta ka protsendina summaarsetest soojuskadudest. Kõrge soojuslähivusega piirdetarinditega hoone külmasillad moodustavad tüüpiliselt soojuskadudest 5% [32]. Soojustatud hoonetel on see osakaal suurem [2].

3.5 Kirjandus analüüsi tulemused

Kirjanduse analüüsis anti ülevaade renoveerimise olulisusest, hoonete tüpoloogiaid käsitlevatest varasematest uuringutest, Eesti elamufondist, ning korterelamute tüüpsematest konstruktsioonidest.

Tulenevalt Euroopa Liidu direktiividest, energiakriisist ning hoonete amortiseerumisest peab Eesti muutma renoveerimisprotsessi efektiivsemaks. Piirkonna tasemel renoveerimine võimaldaks renoveerimis protsesse kiirendada ning arvesse võtta kogu piirkonna vajadusi.

Terve Eesti elamufondi käsitlemine on ühe uurimistöo jaoks liigselt mahukas, seetõttu tuleb elamud juba enne tüpoloogiate loomist klassifitseerida. Suure osa Eesti elamufondist moodustavad enne 2000. aastat ehitatud korterelamud, millest enamik on ehitatud tüüpprojektide alusel. Tänu sellele on enne 2000. aastat ehitatud hooned tüpoloogiate loomise mõttes kõige optimaalsemad.

Kirjandus analüüsis välja toodud hoonete tüpoloogiaid käsitletud uuringud on liigitamisel aluseks võtnud eelkõige hoone vanuse, kasutusotstarbe ning asukoha. Piirdetarindite omadused määratakse üldiselt referentshoone alusel. Juhul kui tüpoloogia määrab ajastu, siis ajastu hooned on kõik ühiste näitajatega. Samas on uuringud olulisemate hoone energiatõhusust mõjutavate näitajatena välja toonud piirdetarindite soojuslähivused ning geomeetria.

Kirjandusanalüüsi alusel, ehitati Eestis 1950-2000 aastal paralleelselt kolme erineva välisseina konstruktsiooni materjaliga tehiskivi korterelamuid. EHR`is on samuti olemas hooneid kirjeldav välisseina liigi parameeter.

Eelnevalt välja toodud põhjustel keskendutakse lõputöö raames enne 2000. aastat ehitatud tehiskivi korterelamutele ning tüpologia määramisel lähtutakse eelkõige välisseina konstruktsioonist.

4 Meetodid ja andmeallikad

Järgnevalt antakse ülevaade lõputöö käigus kasutatud meetoditest ning andmeallikatest tüpologia koostamiseks. Lõputöö eesmärkideni jõudmiseks teostati kõigepealt kirjandusepõhine ülevaade konstruktsioonidest. Seejärel kasutati statistilist lähenemist. Statistilise analüüsi eesmärk oli esiteks saada ülevaade ehitisregistri andmete kvaliteedist. Teiseks, et valideerida kirjanduse põhjal leitud informatsioon. Kolmandaks, et määrata tüpologia jagunemine. Statistika põhines ehitisregistrist tehtud andmete väljavõtetel:

- 1) 2011. aastal teostatud EHR`i väljavõte (valim nr 1)
- 2) 417 hoone väljavõte töötlemata andmetega (valim nr 2)
- 3) 417 hoone töödeldud andmetega väljavõte (valim nr 3)
- 4) Kontrollrühma hoonete väljavõte (valim nr 4)

Andmete töötlemiseks kasutati *Microsoft Excelit*.

4.1 Sisendite allikate määramine

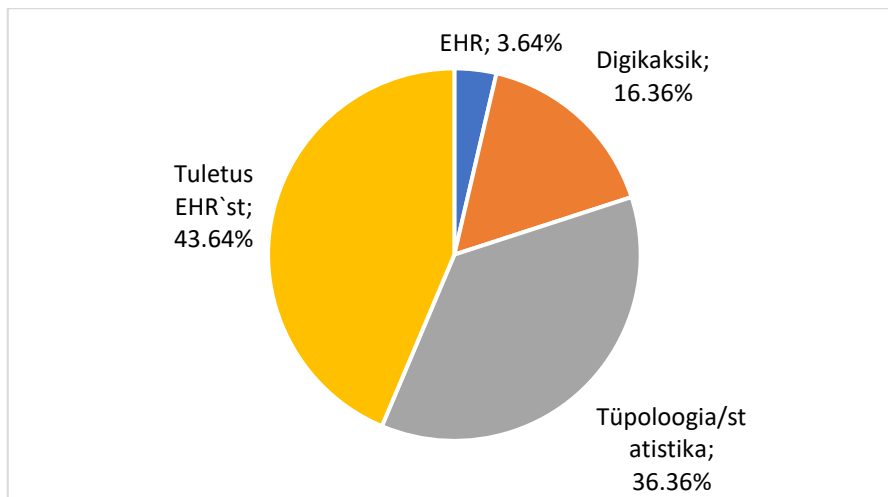
Ehitisregistris on olemasoleva hoone energiaarvutuste lähteandmete tabel (Lisa 1). Vastavalt antud tabelile leiti, et üksiku hoone energiatõhusus arvutusteks on vaja 55 sisendit, mis jagunesid järgmisteks alamkategoriateks:

- Lähteandmed hoone kohta
- Piirdetarindite ja nende liitekohtade informatsioon
 - Geomeetria (pindala ja pikkus)
 - Soojuslähivus ja joonsoojuslähivus
- Õhulekke informatsioon
- Ventilatsiooni süsteem
- Küttesüsteem
- Jahutussüsteem
- Vabasoojused

Andmeallikate kategooriad valiti järgmised:

- EHR- parameeter tuleb EHR`st
- Digikaksik – info tuleb digikaksikust
- Tüpologia – parameetri väärtus määratakse tüpologiaga
- Tuletus– parameeter tuletatakse EHR`i või teiste andmeallikate põhjal

Sisendite jagunemine allikate alusel on väljatoodud tabelina Lisas 2 . Enamus sisenditest (44%) vajavad tuletusprotsessi, kuid on EHR`i alusel leitavad (*Joonis 4.1 Energiatõhusus arvutuse sisendite jaotus*).



Joonis 4.1 Energiatõhusus arvutuse sisendite jaotus andmeallikate alusel

Osade näitajate definitsioonid, mis on EHR`'s parameetrina olemas, ei kattu energiatarbimise arvutuste kalkulaatorites olevate definitsioonidega, seega tuleb antud näitajatele välja töötada tuletusprotsess. Lisaks on arvutusteks vajalikke näitajaid, mis määratakse määruste alusel. Need võivad olla konstandid või näitajad, mille väärtus leitakse EHR`'i teiste näitajate alusel. Tuletatavate sisendite tuletusprotsess arendatakse välja RESTO projekti edasistes etappides.

Sisendid, mida pole võimalik otse, digikaksikust, ega tuletamisega leida, on järgmised:

- Piirdetarindite soojusläbivus;
- Avatäidete informatsioon (pindala, soojusläbivus)
- Õhulekkearv;
- Informatsioon rõdude ning lodžade olemasolu kohta külmasildade määramise eesmärgil;

Lõputöö raames otsustati keskenduda hoone soojuskadude osale energiatarbimisarvutustes. Piirdetarindite soojuserikadu köetava pinna kohta leitakse vastavalt 1. valemile. Lõputöös käsitleti piirdetarindite soojuskadusid ning liitekohtade joonsoojusläbivusi.

$$\frac{\sum H}{A_{k\ddot{o}etav}} = \frac{\sum U_i * A_i + \sum \psi_j * l_j + \sum \chi_p * n_p + p_a * c_a * V_{inf}}{A_{k\ddot{o}etav}}$$

(1)

U_i	tarindi soojusläbivus, W/(m ² ·K);
A_i	piirdetarindi pindala, m ²
Ψ_j	piirdetarindite liitekohta joonsoojusläbivus, W/(m·K)
l_j	piirdetarindite liitekohta pikkus, m
χ_p	lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude punktsoojusläbivus, W/K
N_p	lokaalsete soojustuse katkestuste ja läbiviikude arv, tk
V_{inf}	infiltratsiooni õhuvooluhulk, m ³ /s
	Lõputöö raames käsitletav osa valemist

4.2 Valimite põhine EHR`i analüüs

Lõputöö raames kontrolliti energiatõhususarvutuste jaoks oluliste EHR`i andmete kättesaadavust ja kvaliteeti. EHR`i andmete analüüs teostati kolme valimi alusel:

- 1) **VALIM 1:** 2011. aastal teostatud EHR`i väljavõte, kus on esindatud 32 359 elamut, mis vastavad kasutusotstarvetele: 11210, 11221, 11222.
- 2) **VALIM 2:** RESTO projekti raames tehti 417 Kredexi poolt toetatud hoone väljavõte töötlemata andmetega, hooned vastasid valdavalt kasutusotstarvetele: 11222.
- 3) **VALIM 3:** samad 417 hoonet, kuid valideeritud ja parandatud andmetega. Andmete õigsust kontrolliti Google tänavapiltide ja renoveerimise ehitusprojektide alusel.

Esimese ja teise valimi põhjal kontrolliti eelkõige andmete terviklikust ja kättesaadavust, kolmanda valimi alusel teabe õigsust. Vastavalt kirjanduse analüüsile määrati energiatõhususeks olulised parameetrid. Valitud näitajad ning valikute põhjendused on välja toodud Tabel 4.1.

Tabel 4.1 EHR`i näitajate nimekiri.

nr	EHR`i näitaja	Näitajate kirjeldused vastavalt EHR`le	Valiku põhjendus
1	Esmane kasutuselevõtu aasta	Ehitise valmimise aasta või ehitise esimese kasutusteatisest või kasutusloa ehtisregistrisse kandmise aasta	Enamustes elamute tüpoloogiate põhjal tehtud uuringutes on üks tüüpne näitaja ehitusaasta (viide minu sissejuhatusel), lähim vaste EHR`st on esmane kasutuselevõtu aasta
2	Peamine kasutusotstarve	Ehitise suurima pindalaga kasutamise otstarve	Lõputöö raames loodi korterelamute tüpoloogia. Kasutusotstarve määrab, kas tegemist on korterelamuga või mitte
3	Hoone köetav pindala	Ehitise kõikide nende ruumide suletud netopindala, mille õhutemperatuuri reageerimist välisõhu temperatuuri muutustele me võimalusel väldime	Energiatõhususarvutustes kasutatav parameeter [21]
4	Hoone suletud netopindala (SNP)	Kõigi põrandapindade summa ruutmeetrites	Köetava pinna puudumisel on see lähim näitaja, mille alusel köetavat pinda tuletada
5	Maa-aluste korruste arv	Hoones asuvate maa-aluste horisontaalsete tasapindade arv, tingimusel, et maa-alune tasapindala asub vähemalt pool ruumi kõrgust maapinnast allpool ja selle kohal asuv tasapindala ei ole kõrgemal kui 2.5 meetrit hoonet ümbritsevast keskmisest maapinnast või katendist	Keldri olemasolu mõjutab energiatõhususarvutustes põranda soojuslähivuse arvutust [38]

Tabel 4.2 EHR`i näitajate nimekiri järg

nr	EHR`i näitaja	EHR`i näitaja kirjeldus	Valiku põhjendus
6	Maapealsete korruste arv	Hoones asuvate maapealsete horisontaalsete tasapindade arv tingimusel, et iga järgnev tasapindala asub alumisest vähemalt 1.5 m kõrgemal	Korruste arv on seotud hoone kõrgusega, mis omakorda mõjutab külmasildade pikkusi ning piirdetarindite pindalasi
7	Hoone kõrgus	Vahemaa vahetult ehitist ümbritseva maapinna või katendi keskmisest kõrgusest ehitise kõrgeima punktini	Hoone kõrgus mõjutab piirdetarindite pindalasi ning külmasildade pikkusi
8	Hoone pikkus	Ristkülikukujulise ehitise pikim külg. Kui hoone ei ole ristkülik, siis moodustatakse välispiirete ümber mõtteline ristkülik ja mõõdetakse selle pikimat külge	Hoone pikkus mõjutab piirdetarindite pindalasi ning külmasildade pikkusi
9	Hoone laius	Ristkülikukujulise ehitise lühim külg. Kui hoone ei ole ristkülik, siis moodustatakse välispiirete ümber mõtteline ristkülik ja mõõdetakse selle lühimat külge	Hoone laius mõjutab piirdetarindite pindalasi ning külmasildade pikkusi
10	Välisseina liik		Välisseina konstruktsioon määrab seina soojusläbivuse [41]
11	Kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjali liik		Tüpoloogia loomise eesmärgil on vaja tuvastada seinakonstruktsioonid, üks tuvastamise võimalustest on antud parameeter
12	Välisseina välisviimistluse materjali liik		Osadel seinatüüpidel on viimistluse abil võimalik kõige tõenäolisemalid materjalikihte tuvastada Kirjelda seda kuskil ja viita
13	Katusekatte materjali liik		Katusekatte materjal on üks kahest katust kirjeldavast EHR`i parameetrist, mille alusel teha eeldusi katuse kohta
14	Soojusvarustuse liik		Energiatõhususe arvutustes sõltub hoone energiakasutus küttest

4.2.1 VALIM 1: Andmete analüüs EHR`i 2011 a. väljavõtte alusel

2011. aasta EHR`i andmete väljavõtte oli tehtud RESTO projektiga mitte seotud põhjustel, seega väljavõttes ei kajastunud kõik näitajad, mis olid valitud 417 hoone väljavõttesse. Tabelis olid kajastatud 32 359 hoone andmed. Näitajatest olid antud tabelis olemas näitajad numbriga 1,2, 4, 6, 7, 11, 12, 13, 14 (Tabel 4.1).

Valitud näitajatele leiti iga hoone kohta, kas antud näitaja on puudu, või olemas. Puudevaks loeti iga andmetüübi juures olukorda, kus lahter oli tühi. Numbriliste näitajate puhul loeti puudevaks juhul, kui lahtri väärtus oli 0. Teksti sisaldavate näitajate puhul loeti puudevaks ka lahtrid, mille väärtus oli „muu“ , „info puudub“ või „puudub“. Lisaks loeti tekst väärtus määramatuks, kui lahtris oli rohkem kui kaks väärtust. Suurema hulga väärtuste pealt on keeruline õiget väärtust tuletada.

Olemasolevaid hoonete näitajaid kontrolliti ka omavaheliste seoste alusel. Vaadeldi näitajaid, mille väärtust oli võimalik kaudselt, ilma projekti, tänavapilti (näiteks *Google Streetview*) või EHR`i avamata hinnata. Samuti kontrolliti hoone kasutusotstarbe õigsust. Lõputöö raames luuakse korterelamute tüpoloogia, seetõttu on kasutusotstarbe usaldusväärsus oluline näitaja. Samuti moodustatakse tüpoloogia korterelamutele ja eramutele eraldi, seega on vaja usaldusväärset alust kahe kasutusotstarbe

eristamiseks. Kasutusotstarbe alusel kuuluvad kõik valimi hooned korterelamu alla, seega teostati kontroll korterite arvu põhjal. Kui korterite arv oli väiksem kui kaks, eeldati, et kasutusotstarve on vale.

4.2.2 VALIM 2: Andmete analüüs 417 hoone EHR`i väljavõtte alusel

Valim 2 koosnes 417 pärast 2016 aastat renoveeritud hoonest. Pärast 2016 aastat täielikult renoveeritud hoonetel on seadusest tulenevalt EHR`is olemas nii ehitusprojekt kui energiamärgis. Antud dokumentide olemasolu võimaldas detailsema andmete kontrolli läbiviimist.

417 hoone väljavõtte alusel kontrolliti näitajate terviklikust samal meetodil, kui 2011 aasta väljavõttel. Lisaks vaadeldi ka olemasolevate köetavate pindalade ja SNP korrektsust. Eeldati, et hoone köetav pindala ei saa olla suurem hoone suletud netopinnast. Kontroll teostati hoonetele, mille kasutusotstarve korterite alusel oli õigesti määratud. Suletud netopinnast lahutati köetav pindala ning leiti negatiivsete tulemuste osakaal.

Teksti sisaldavate näitajate kontrollina tuvastati kui paljudel hoonetel on ühel näitajal mitu väärtust. Mitme väärtuse pealt on ilma kasutaja sekkumiseta keeruline tuvastada kõige õigemal varianti. Mitme variandi arvesse võtmisel on pole võimalik tuvastada, kas mõlemad väärtused kehtivad või milline on erilahenduste proportsioon. Näitena võib tuua Tallinna tüüpi korterelamu, kus välisseinad on trepikoja osas kivist ülejäänud osas aga palgist [42]. Sellise hoone EHR`i välisseina liigina võib olla märgitud nii puit kui kivi. Ilma projektita ei ole võimalik aga tuvastada, kui suur on ühe või teise materjali osakaal. Kontrolli käigus eeldati, et ühte väärtust sisaldab lahter juhul kui:

- 1) Tabeli lahtris on üks väärtus
- 2) Tabeli lahtris on kaks väärtust, millest üks on „muu“.

4.2.3 VALIM 3: Analüüs 417 hoone parandatud andmete alusel

Võimalikult kvaliteetsete tüpoloogias sisendallikate ning parameetrite kontrolli eesmärgil parandati 417 hoone tabelis olevad andmed. Selleks käidi üle kõikide hoonete EHR`i parameetrid, arvutustel põhinevad energiamärgised ning vastavalt vajadusele projekti dokumentatsioon. Andmete kvaliteedi hindamiseks võrreldi esialgse ja parandatud tabeli väärtuseid.

Kõigepealt võrreldi numbrilisi väärtusi, välja jäeti geomeetrisel näitajad: pikkus, laius ja kõrgus. Antud näitajad lisati puudumisel juurde ehitisregistri digikaksiku alusel, kuid väärtusi ei võrreldud projekti andmetega. Seda tehakse RESTO projekti teise töö skoobis. Seetõttu ei saa geomeetrisel parameetrite osas olemasoleva info kvaliteeti hinnata. Maa-aluste korruste kontrollil võrdsustati puuduv väärtus 0 maa-aluse korrusega.

Kõikidele tabeli hoonetele lisati õige välisseina konstruktsiooni tüüp. Visuaalse hinnangu alusel tuvastati hoonete seas 7 seinatüüpi: raudbetoon suurpaneel (va. seeria 111-133)-, tellis-, väike- ja suurplokk, puit-, raudbetoon suurpaneel (seeria 111-133)- ning gaasbetoon paneel lamu. Visuaalselt tuvastatud hoonetüübid on toodud Joonis 4.2.



Raudbetoon suurpaneel seinad (tüüpprojekt 1-464,121)



Tellisseinad



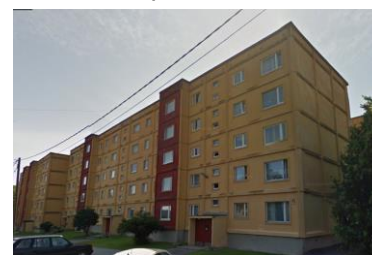
Väikeplokk seinad



Suurplokk seinad



Puit seinad



Raudbetoon suurpaneel seinad (tüüpprojekt 111-133)



Gaasbetoonpaneel seinad

Joonis 4.2 Visuaalselt määratud seinatüübid Google tänavavaatest

Visuaalselt tuvastatud välisseintele leiti ka EHR`i vasted. Välisseina liigid ning neile määratud vasted on toodud Tabel 4.3. Vastete määramisel lähtuti kirjandusanalüüsist ning EHR` s sagedasemini esinenud väärtustest.

Tabel 4.3 EHR`i vasted vastavalt tuvastatud seinatüüpidele.

EHR`i näitaja		Seina tüüp
Välisseina liik	Kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjali liigid	
Mitmekihiline raudbetoonpaneel Betoon	Monteeritav raudbetoon	Raudbetoon suurpaneel seinad (tüüpprojekt 1-464,121)
		Raudbetoon suurpaneel seinad (tüüpprojekt 111-133) Gaasbetoonpaneel
Väike- või suurplokk, näiteks vaht, mull, kergkruus, kärg, betoon	Väike- või suurplokk, näiteks vaht, mull, kergkruus, kärg, betoon	Väikeplokk
		Suurplokk
Tellis	Tellis	Tellis
Vahetäitega sõrestik palk	Puit	Puit

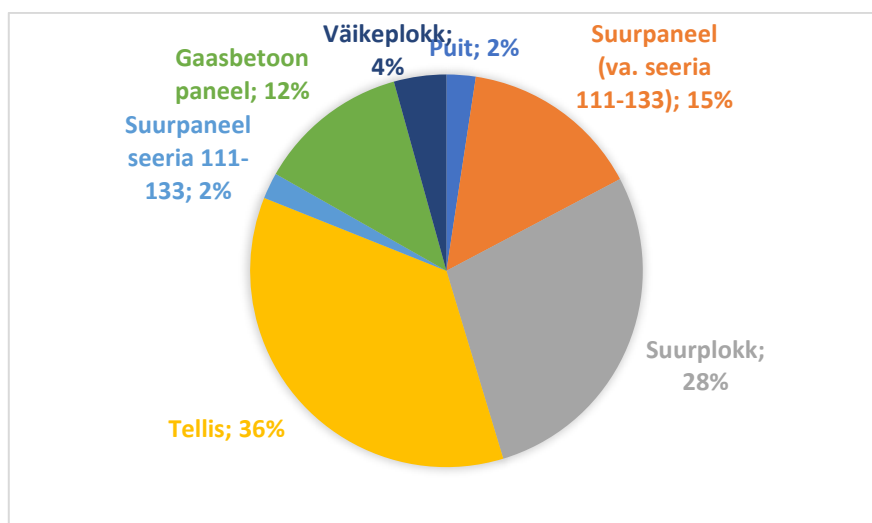
Leiti, kas seinakonstruktsiooni kirjeldab õigemini välisseina liik või kandva ja jäigastava konstruktsiooni materjali liik. Eeldati, et kui välisseina liik või kandva ja jäigastava konstruktsiooni materjali liik sisaldab kontrolli käigus määratud korrektset välisseina, siis näitaja on õigesti sisestatud. Näiteks, kui kontrolli käigus tuvastati, et tegemist on telliskorterelamuga ning hoonel oli välisseina liigiks märgitud: tellis, väike- või suurplokk ja betoon (näitajal on kolm väärtust), siis loeti EHR`i väärtus õigeks. Igale valimi hoonetele märgiti nii välisseina liigi kui kandva- ja jäigastava konstruktsiooni materjali liigi kohta, kas EHR`i väärtus on õige või vale. Mõlema näitaja kohta leiti, õigete ja valede väärtuste protsent, usaldusväärsemaks loeti näitaja, mille valede väärtuste osakaal oli väiksem.

4.3 Hoonete kirjeldus 3. valimi alusel

Parandatud väärtustega 417 hoone valimi põhjal leiti tüüpilised lahendused, et võrrelda kirjanduse analüüsi andmeid reaalse olukorraga.

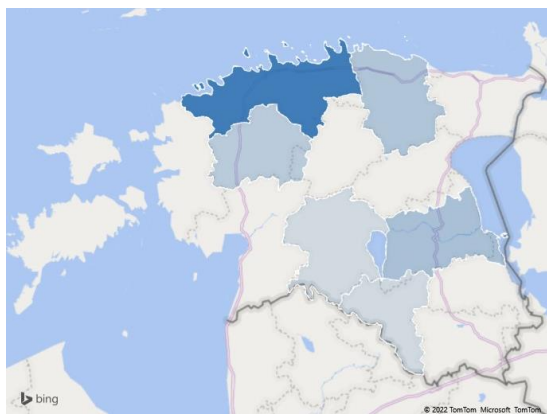
4.3.1 Välisseinte konstruktsioonid ning soojusläbivused

Lõputöö 417 valimi hoonete jaotusid välisseinte visuaalse jaotuse alusel seitsmeks: raudbetoon suurpaneel (va. seeria 111-133), raudbetoon suurpaneel (tüüpiprojekt 111-133), tellis-, väike- ja suurplokk, puit- ning gaasbetoon paneelilamud (Joonis 4.2). Valimis oli kõige suurema esindatusega tellis ja suurplokk välisseintega hooned, vastavalt 36% ja 28%.

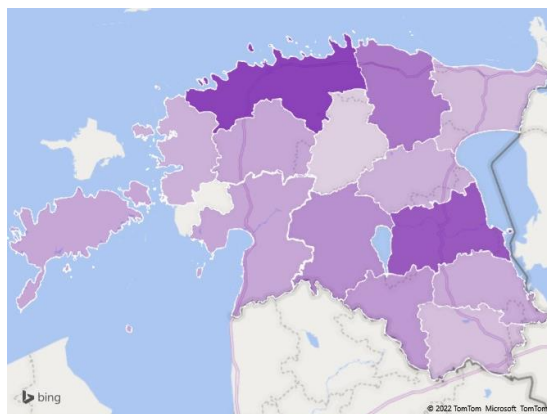


Joonis 4.3 417 hoone jagunemine välisseina alusel

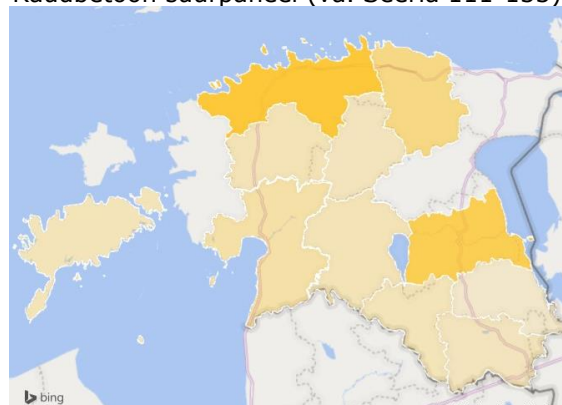
Uuriti ka valimi hoonete jagunemist asukoha järgselt. Väike- ja suurplokk hooned loeti üheks tüübiks, vastavalt EHR`i jaotusele (Tabel 4.3). Selgus, et valimi suurpaneelilamud asusid eelkõige Tallinna ja Harjumaa ümbruses, telliselamud ning väike- ja suurplokkilamud on üle Eesti levinud, gaasbetoonpaneelid eelkõige Ida- ja Kesk-Eestis, 111-133 tüüpiprojekti suurpaneelilamud Lõuna-Eestis, kuid on eelkõige levinud Tartus. Jaotus vastab ka kirjanduse analüüsi käigus määratud levikule. Valimipõhised levikud on illustreeritud Joonis 4.4.



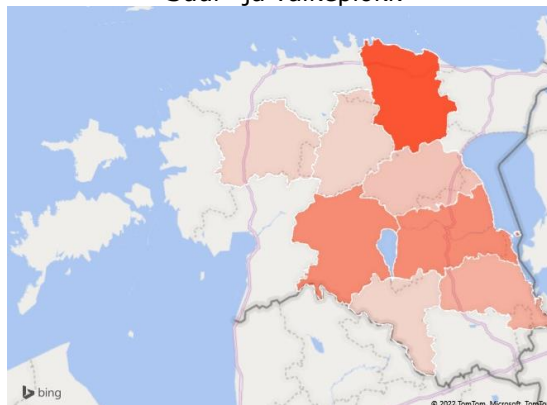
Raudbetoon suurpaneel (va. Seeria 111-133)



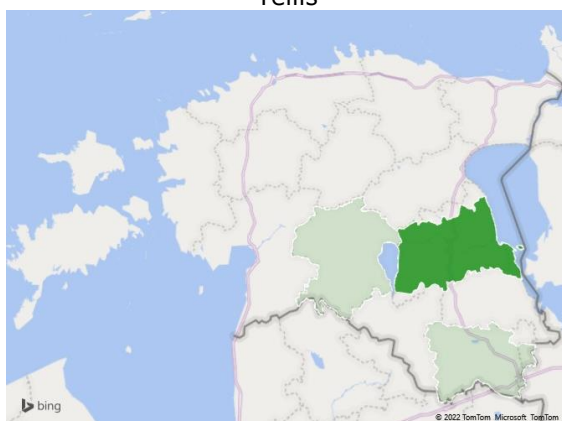
Suur- ja väikeplokk



Tellis



Gaasbetoonpaneel



Tüüpprojekt 111-133 raudbetoon suurpaneel hooned

Joonis 4.4 Hoonetüüpide jagunemine vastavalt asukohale

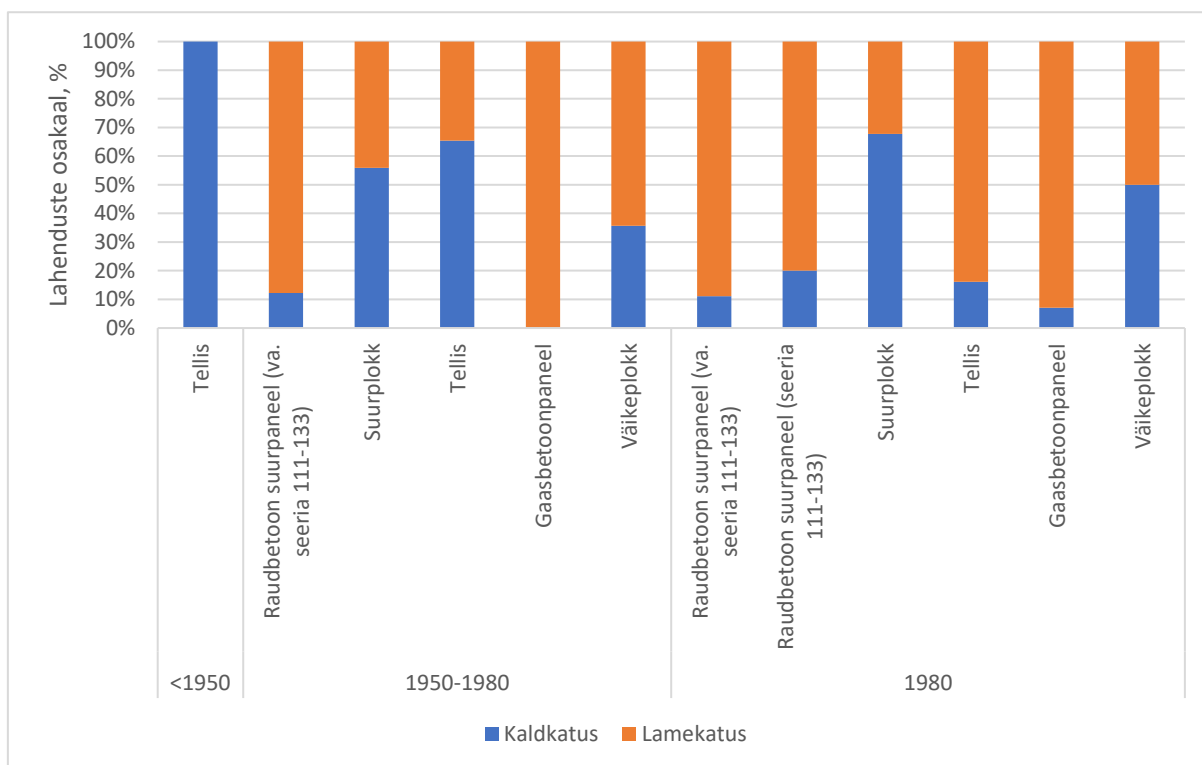
Eesmärgiga võtta arvesse, millised kirjanduse analüüsis välja toodud konstruktsioonid olid levinumalt kasutusel, leiti iga hoonetüübi kohta valimis välisseina paksus. Hoonete projektidest leiti seinte paksused hoonete kohta, mille dokumentides olid välja toodud konkreetsed konstruktsiooni mõõdud ja kihid. Iga hoone tüübi kohta leiti keskmine välisseina paksus, mis on välja toodud Tabel 4.4. Keskmised väärtused leiti ajastuteks jagatuna. Ajastute jaotused valiti vastavalt kirjanduse analüüsile.

Tabel 4.4 417 hoone valimi projektide alusel leitud keskmised välisseina paksused vastavalt ajastule ja seina konstruktsioonile

Välisseina liik ja ehitusperiood	Välisseina keskmine paksus valimis [mm]
Raudbetoon suurpaneel korterelamud (va. Seeria 111-133)	250
1961-1980	250
>1980	250
Suurplokki korterelamud	334
1961-1980	336
>1980	300
Telliskorterelamud	450
<1920	550
1920-1940	500
1941-1960	549
1961-1980	430
>1980	427
Raudbetoon suurpaneel korterelamud (seeria 111-133)	258
>1980	258
Gaasbetoonpaneel korterelamud	315
1961-1980	338
>1980	270
Väikeplokki korterelamud	300
1941-1960	
1961-1980	300
>1980	300

4.3.2 Katusekonstruktsioonid

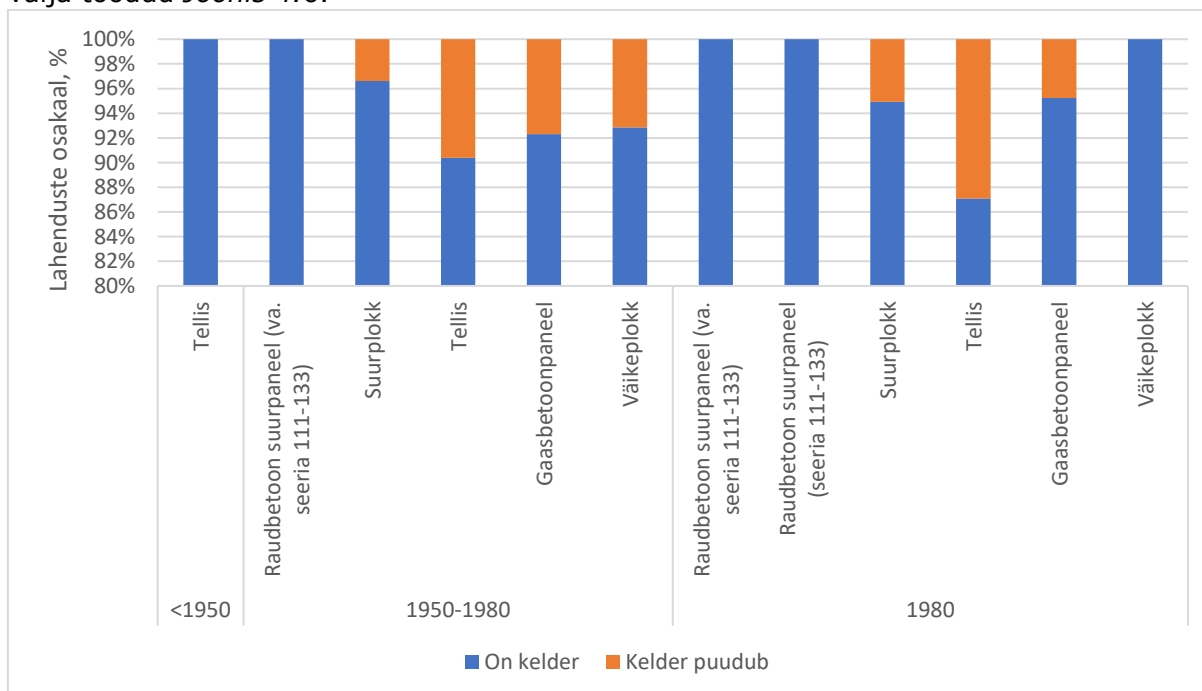
417 hoone valimis leiti iga hoone kohta, kas sellel on kald- või lamekatuse. Lamekatuste ehitus algas 1950. Valimi alusel oli paneelhoonetel algusest peale levinum lamekatuse, telliskorterelamutel esines 1950- 1980 mõlemat varianti. 80-ndatel esines kaldkatuseid eelkõige suur- ja väikeplokki hoonetel. Võimalik seletus on plokkide materjali suurem tundlikkus vee suhtes. Plokkseinte puhul oli seetõttu soovitatav vihma kaitseks ehitada lai räätas [34]. Joonis 4.5 on välja toodud ajastu ja välisseina alusel katuse lahenduste jagunemine.



Joonis 4.5 Katuselahenduste jagunemine vastavalt ehitusaastale ja seinakonstruktsioonile

4.3.3 Põrandakonstruktsioonid ja sokkel

417 hoone valimi hoonetel vaadeldi keldri olemasolu sõltuvust konstruktsiooni tüübist ning esmasest kasutuselevõtu aastast. Selgus, et olenemata ehitusaastast ja seinakonstruktsioonist, oli üle 85 % hoonetest kelder olemas. Lahenduste osakaalud on välja toodud *Joonis 4.6*.



Joonis 4.6 keldri olemasolu vastavalt esmasele kasutuselevõtu aastale ja välisseina konstruktsioonile

4.3.4 Vahelaed

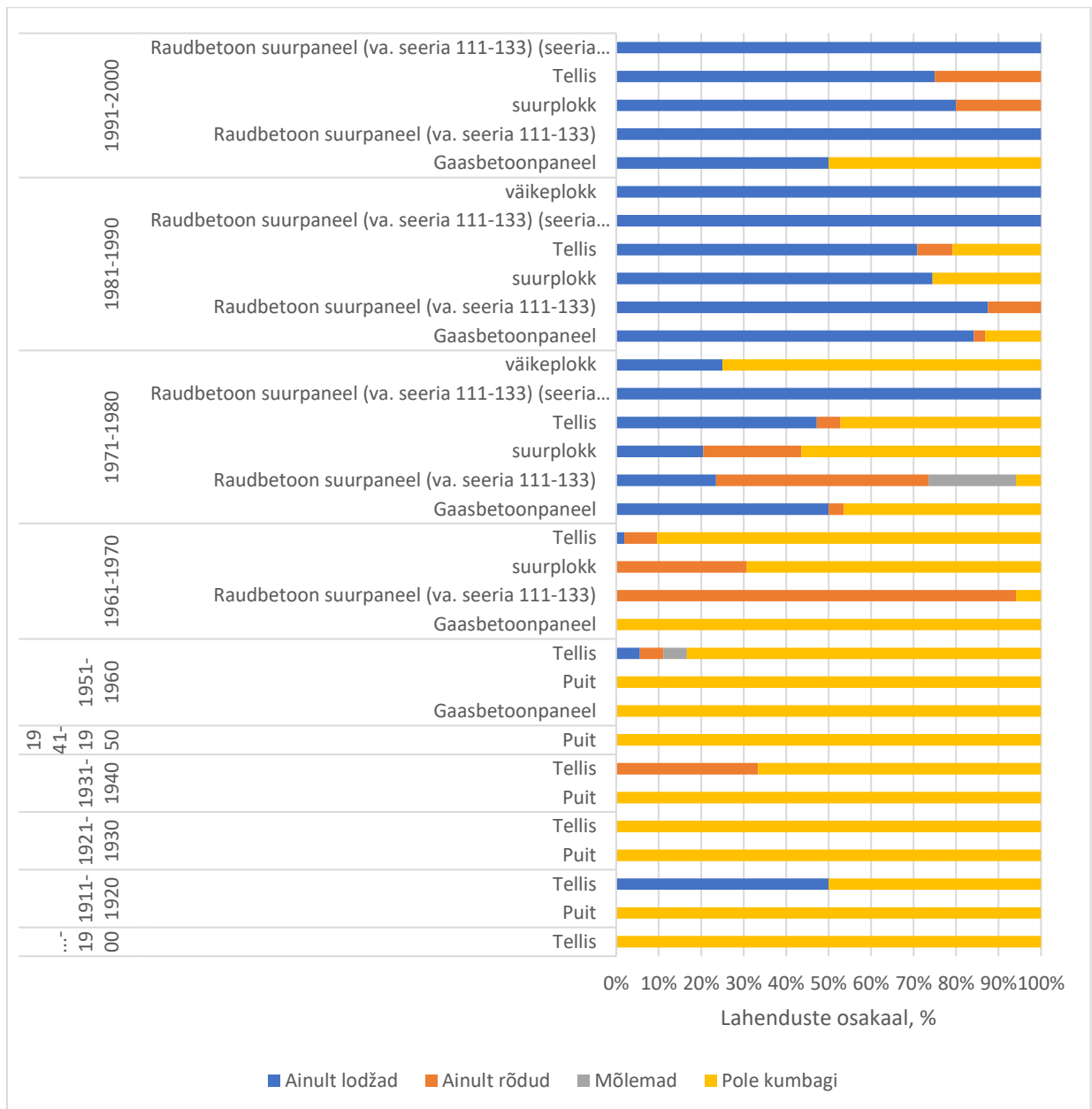
417 hoone valimis leiti korruse kõrgus hoonete projektidest. Mitmetel renoveerimisprojektidel puudusid lõike joonisel mõõtmed, seega ei saanud kõikide projektide toa kõrguseid arvesse võtta. Enne 60-ndaid oli valimi hoonete keskmine kõrgus 3130 mm, pärast 60-ndaid oli toa aritmeetiline keskmine kõrgus 2515 mm, mood kõrgus oli 2500 mm (*Tabel 4.5*). keskmised väärtused leiti vastavalt ajastule. Ajastud määrati vastavalt kirjanduse analüüsile.

Tabel 4.5 Valimi hoonete keskmised toa kõrgused vastavalt ehitusaastale

Ehitusaasta	Ruumi keskmine kõrgus[mm]
<1920	3470
1941-1960	2790
1961-1980	2522
>1980	2507

4.3.5 Lodžad ja rõdud

Lõputöö raames lisati igale hoonele, kas sellel on rõdud, lodžad või mõlemad sõltuvalt välisseina liigist ning esmasest kasutuselevõtu aastast. Esmast kasutuselevõtu aastat võeti arvesse kümnendikena. Selgus, et enne 60-ndaid ei olnud rõdud ega lodžad levinud. 60-ndatel ehitati eelkõige rõdusid ning alates 70-ndatest domineerisid lahendusena lodžad. Enamustel välisseina liikidel ei olnud kindalt eelistatumat lahendust. Suurpaneel hoonetel olid vastavalt ajastule enamustel hoonetel lodžad, rõdud või mõlemad. Lahenduste esinemise osakaalud on toodud *Joonis 4.7*.


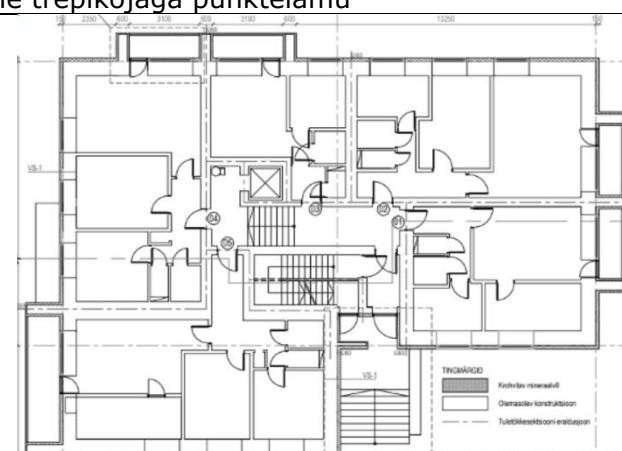
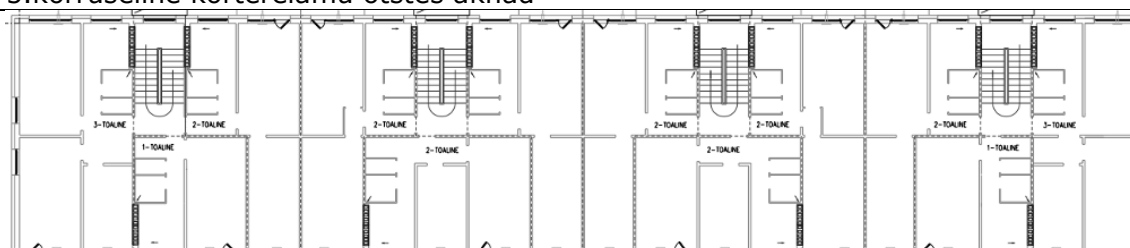


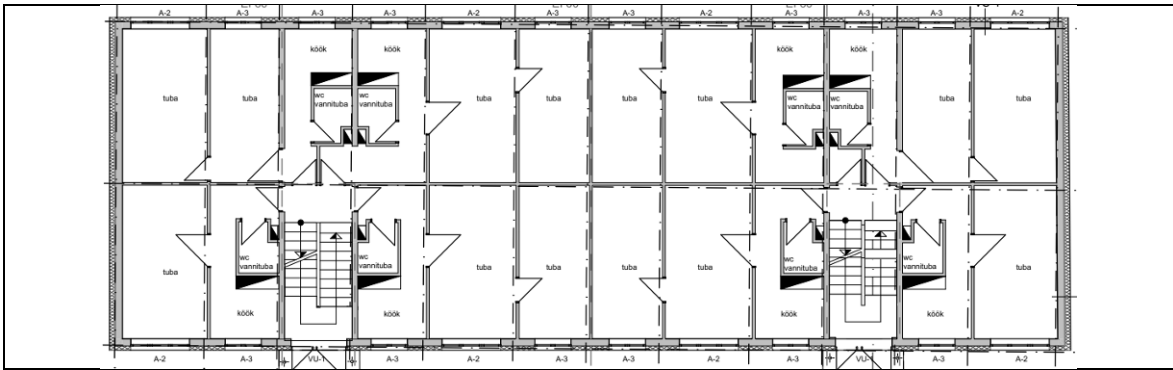
Joonis 4.7 Rõdude ning lodžade olemasolu sõltuvus ehitusaastast ning välisseina konstruktsioonist

4.3.6 Avatäited

Valimi hooned võrreldes leiti, et vastavalt tüüpilisele korruseplaanile on hoone igas toas üks aken. Erinevus hoonete ühe korruse akende arvus tuleneb otsakende olemasolust. EHR` s olemasoleva ruumide arvu parameetri abil (korterit kohta elutoad + köök), teades, kas otsaseintes on aknad või mitte, saab tuletada ligikaudse korruse akende arvu (Tabel 4.6). Tüüpsetel ristküliku kujulistel hoonetel oli otstes üks või kaks akent. Ühe trepikojaga punktalamutel, millel pole võimalik otsseinu otseselt defineerida, kehtis reegel, et korteri akende arv on võrdne ruumide arvuga. Tabel 4.6 on välja toodud erinevate hoonete korruseplaanid ning akende arvud.

Tabel 4.6 Korruse akende arvu sõltuvus tubade arvust

<p>9. korruseline korterelamu, otstes aknad</p> 
<p>Tube korrusel (vastavalt EHR` ile):28 Akende arv otsaseintes:1+1 Trepikodade akende arv:1 Aknaid korrusel kokku:30=tubade arv+trepikodade arv</p>
<p>12. korruseline, ühe trepikojaga punkteldamu</p> 
<p>Tube korrusel (vastavalt EHR` ile):15 Akende arv otsaseintes:- (eristatavaid otsaseinad puuduvad) Trepikodade akende arv:1 Aknaid korrusel kokku:18=tubade arv+trepikodade arv</p>
<p>5.korruseline korterelamu otstes aknad</p> 
<p>Tube korrusel (vastavalt EHR` ile):36 Akende arv otsaseintes:2+3 Trepikodade akende arv:4 Aknaid korrusel kokku:44=tubade arv+trepikodade arv+otsaseinte akende arv (-1) 5.korruseline korterelamu, otstes aknad puuduvad</p>



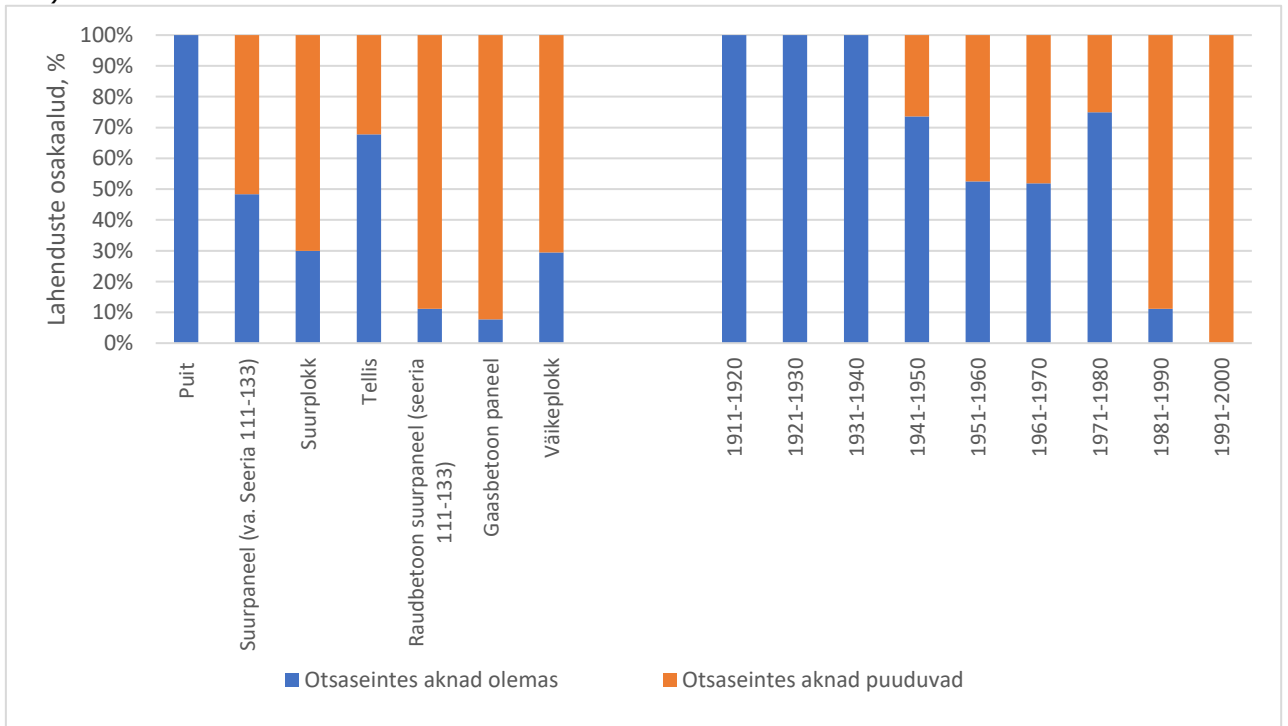
Tube korrusel (vastavalt EHR`ile):22

Akende arv otsaseintes:0+0

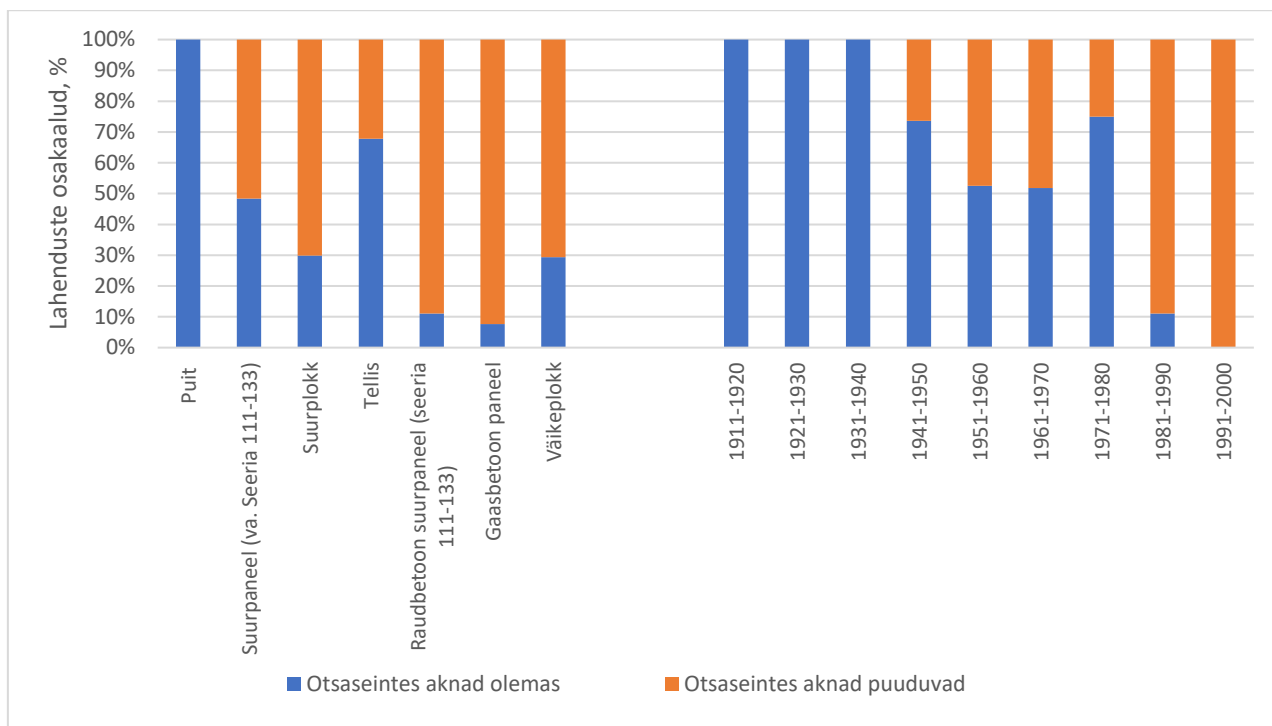
Trepikodade akende arv:2

Aknaid korrusel kokku:24=tubade arv+trepikodade arv+otsaseinte akende arv

417 hoonele lisati igale hoonele parameetrina otsaseinte akende olemasolu, eesmärgiga leida otsaseinte akende olemasolu sõltuvust seinakonstruktsiooni tüübist ning ehitusaastast. Teadmine, kas hoonel on otsaseintes aknad või mitte, võimaldab ruumide arvu põhiselt akende pindala leida. Otsaakende olemasolu teadmine võimaldab jaotada akende pindala fassaadidele, mis lubaks energiatõhususe arvutustes akende suunda arvesse võtta. Vastavalt konstruktsiooni tüübile leiti, et seeria 111-133 raudbetoon suurpaneel ning gaasbetoonpaneel korterelamutel enamasti otsaseintes aknad puuduvad. Ülejäänud seinatüüpidel olid mõlemad variandid esindatud üle 30% (Joonis 4.8)



Vaadeldi ka otsaseinte akende olemasolu sõltuvalt esmasest kasutuselevõtu aastast. Enne 1960. aastat ehitatud valimi hoonetel olid kõigil otsaseintes aknad. Pärast 1960. aastat ehitatud hoonete puhul järeldusi teha ei saa (Joonis 4.8).



Joonis 4.8 Otsaseinte akende olemasolu sõltuvalt seinakonstruktsioonist ja esmasest kasutuselevõtu aastast

Akende osakaalu saab kirjeldada ka fassaadi pindala ja akende pindalade suhte läbi. Suhte leidmiseks kasutati lõputöös sisemist fassaadi pindala. Fassaadi pindala leiti liites hoonete arvutuslike energiamärgiste akende ja seinte pindalad. 417 hoone väljavõttes oli keskmine korterelamu akna ja seina pindalade suhe 0,23, standardhälbega 0,068 (variatsiooni kordaja 30 %) (Tabel 4.7). Kõige suurem akna ja fassaadi suhte standardhälve oli suurplokk korterelamutel, kõige väiksem aga raudbetoon suurpaneel (seeria 111-133) välisseintega hoonetel.

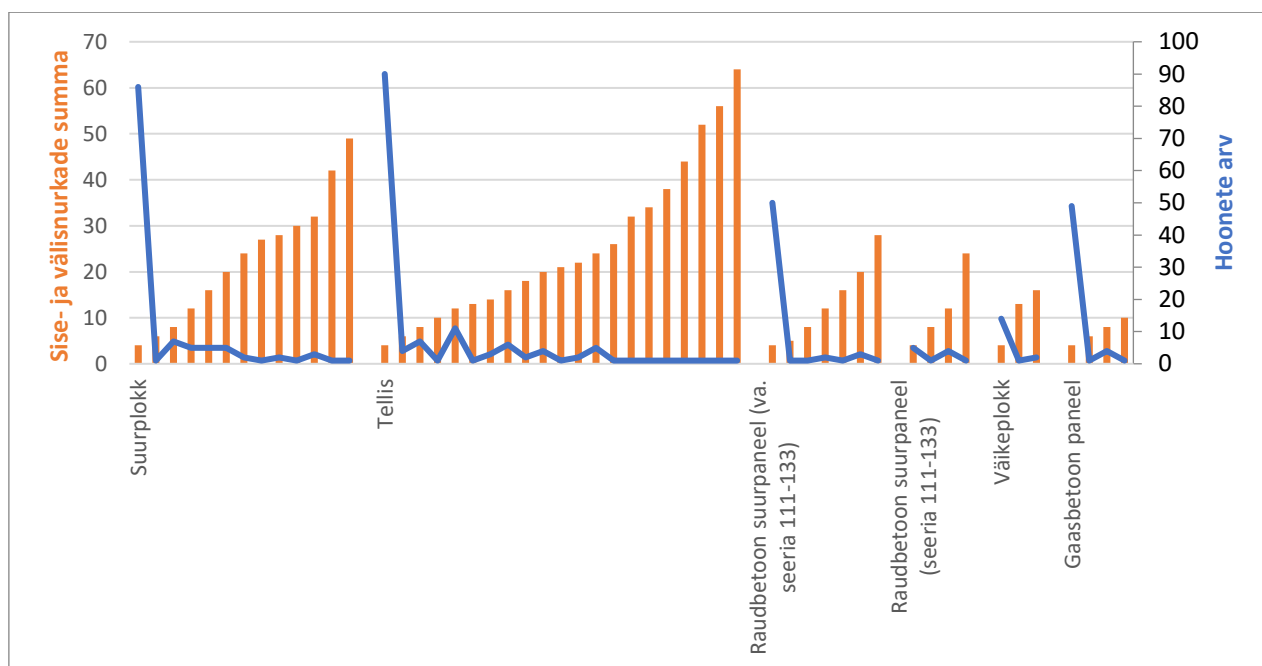
Tabel 4.7 Fassaadi ja aknapindala suhe vastavalt välisseina konstruktsioonile

	Keskmine fassaadi ja akna suhe	Fassaadi ja akna suhte standardhälve
Raudbetoon suurpaneel (va. seeria 111-133)	0,25	0,04
Suurplokk	0,23	0,09
Tellis	0,23	0,05
Väikeplokk	0,21	0,04
Raudbetoon suurpaneel (seeria 111-133)	0,18	0,02
Gaasbetoonpaneel	0,25	0,04
Valimi keskmine	0,23	0,07

4.3.7 Geomeetria analüüs

417 hoone parandatud valimi alusel võrreldi hoonete geomeetrisi näitajaid. Geomeetria keerulisuse kirjeldamiseks lisati hoonetele välis- ning sisenurkade arv, mille põhjal arvutati summaarne nurkade arv. Ristküliku kujulisel hoonel on neli välisnurka, sisenurgad puuduvad. Seega saab nurkade arvu alusel hinnata hoone geomeetria keerukust. Mida rohkem on nurkasid, seda keerulisem on hoone geomeetria.

Nurkade arvu alusel olid kõige keerukama geometriaga telliskorterelamud. Joonis 4.9 on toodud hoonete summaarsed nurkade arvud koos esinemissagedusega



Joonis 4.9 Sise- ja välisnurkade summa vastavalt välisseina liigile

Eesmärgiga võrrelda hoonete pikkuseid, jagati need trepikodade arvuga. Põhiline erinevus korruseplaanis ning seetõttu ka geometrias tekkis kõrgetel ühe trepikojaga hoonetel, millel oli vaid üks trepikoda. Madalamad silikaltsiit ning kergbetoon ühe trepikojaga hooned sarnanesid üksikule mitme trepikojaga hoone trepikoja üksusele. Üksiku trepikojaga hoone pikkus oli keskmiselt 18 m, mitme trepikojaga hoone ühe trepikoja pikkus oli 17 m (Tabel 4.8), Telliskorterelamutel sarnast mustrit ei leitud.

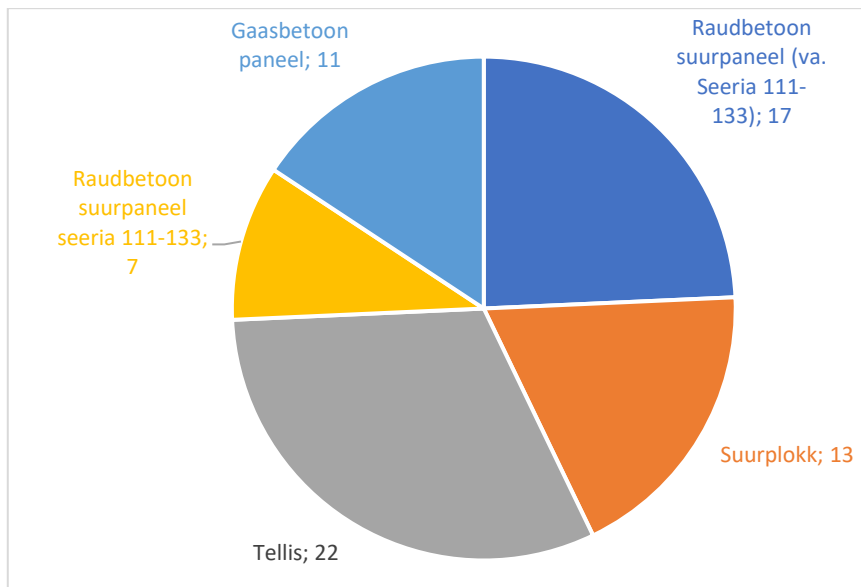
Tabel 4.8 Trepikodade pikkused vastavalt välisseina tüübile, korruste ning trepikodade arvule

Välisseina tüüp	Korruse arv	Trepikodade arv [m]	Keskmine trepikoja pikkus [m]	Trepikoja pikkuse standardhälve
Silikaltsiit ja kergbetoon	2-5	1	18	2.4
		2+	17	2.1
Raudbetoon suurpaneel	2-5	2+	15	3.2
	6-9	2+	22	1.3
Tellis	2-5	1	21	2.8
		2+	17	2.6
	6-9	2+	22	4.1
		9+	1	23

4.4 Kontrollrühma hoonete kirjeldus (4. valim)

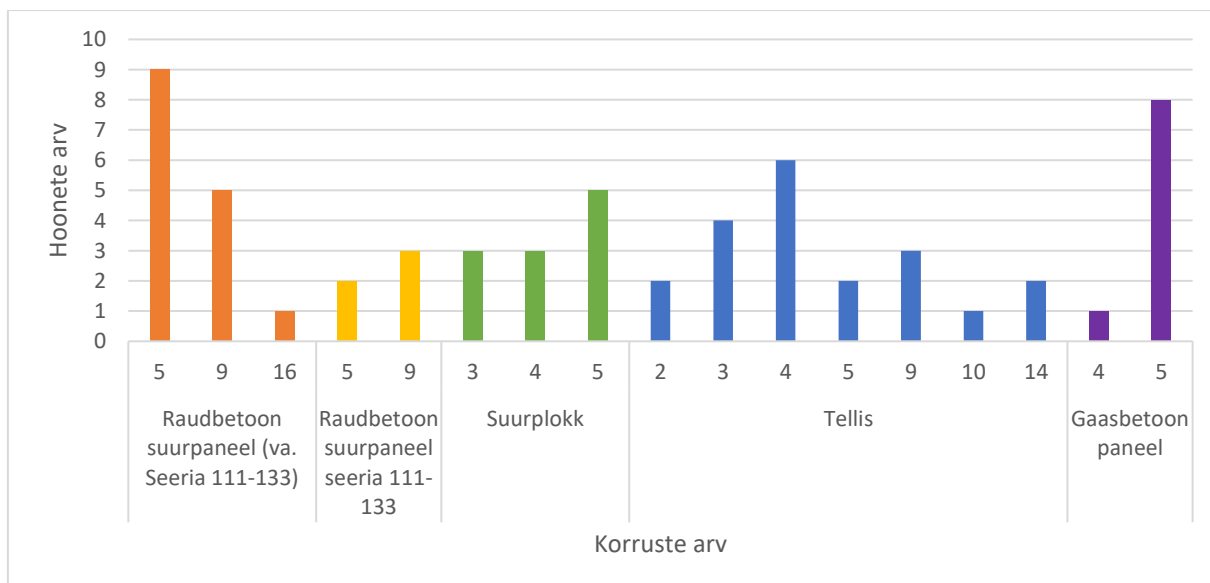
Tulemuste hindamise eesmärgil tehti EHR`i väljavõtte 70-le hoonele. Google streetview alusel valiti sellised hooned, mille välisseina tüüp oli visuaalselt määratav. Mitmekesise valimi eesmärgil valiti hooned erinevatest Eesti linnadest nii, et iga kivihoonetele

tüüpne välisseina liik oli esindatud. Väikeplokk hoonete välisseinad on enamasti krohvitud, seega polnud nende tuvastamine seina tüübi visuaalse hinnangu alusel võimalik. Seetõttu jäid väikeplokk seintega korterelamud valimist välja. Valimi jagunemine vastavalt välisseina liigile on toodud *Joonis 4.10*.



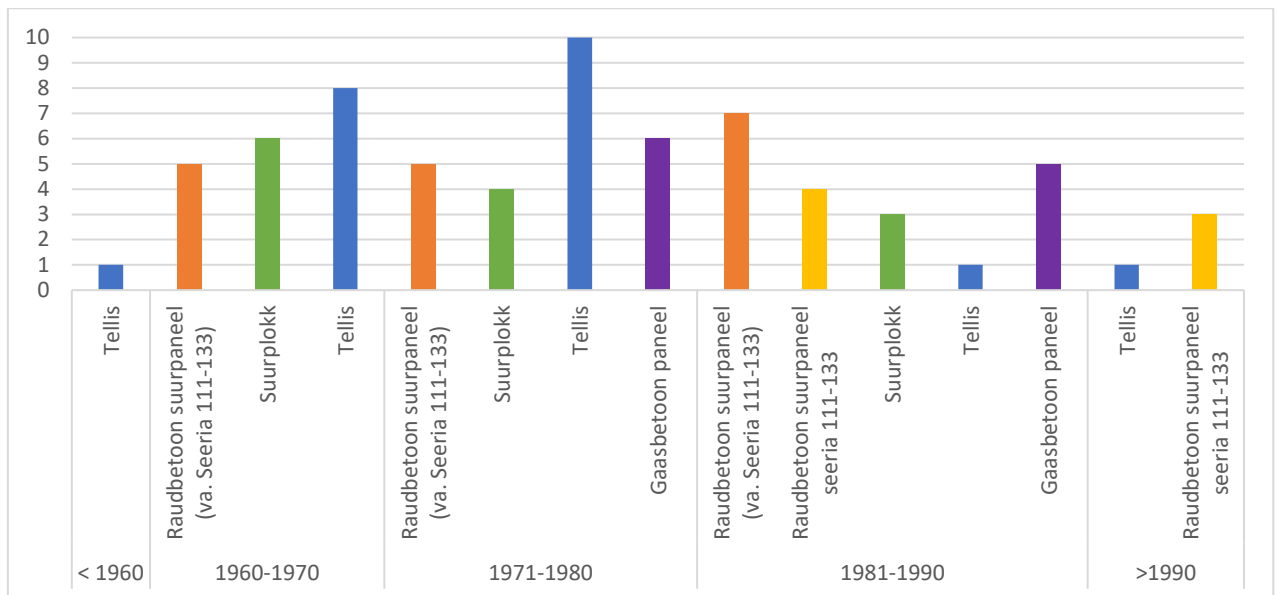
Joonis 4.10 Kontrollrühma (4. valim) jagunemine välisseinte alusel

Hoonete korruseline jagunemine välisseina liigi alusel on toodud *Joonis 4.11*. Valimi keskmine korruste arv oli 5.8, kõige rohkem erinevaid korruse arve oli telliskorterelamutel, kõige madalam telliskorterelamu valimis oli 14 korruseline, kõige madalam kahe korruseline. Korruste arvud vastavalt välisseinale on toodud *Joonis 4.11*.



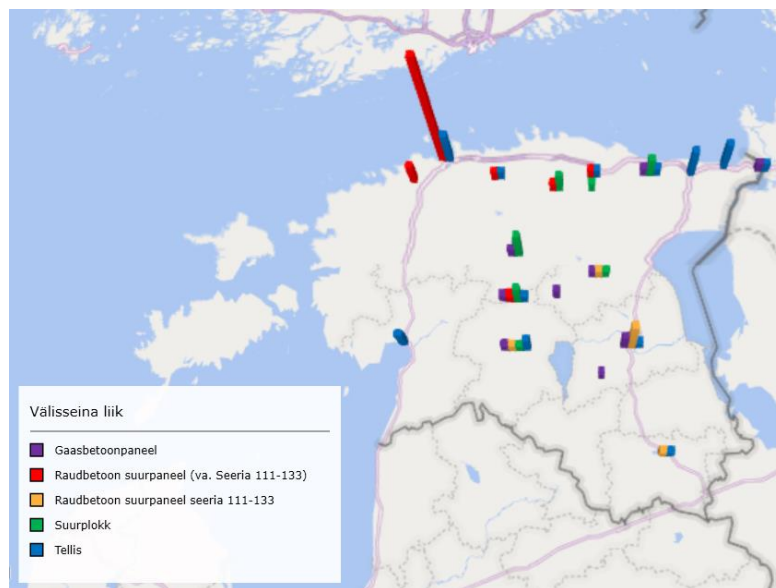
Joonis 4.11 Kontrollvalimi hoonete (4. valim) jagunemine korruste arvu alusel

Kontrollvalimi hoonete jagunemine ajastute vahel oli ühtlane ning kattus ka kirjanduse põhise hoonete jagunemisega. Näiteks seeria 111-133 raudbetoonpaneel hooned on alates 1980. aastast esindatud. Valimi jaotus kasutuselevõtu aastate ning välisseinte alusel on toodud *Joonis 4.12*.



Joonis 4.12 Kontrollvalimi hoonete (4. valim) jagunemine esmase kasutuselevõtu aasta alusel

Valimis on esindatud korterelamud enamusest Eesti suurematest linnadest. Valimi välisseina liikide levik kattub ka 417 hoone valimi jaotuse ning kirjanduspõhise levikuga. Hoonete levik on visualiseeritud *Joonis 4.13*.



Joonis 4.13 Kontrollrühma hoonete (4. valim) jagunemine asukoha põhiselt

4.5 Tüpoloogiate loomine

Lõputöö põhiline eesmärk oli tüpoloogia loomine tehiskivi välisseina konstruktsiooniga korterelamutele. Tüpoloogiate loomine jagati etappideks:

- 1) Tüpoloogia loomine
 - a. Põhiliste tüpoloogiat määravate näitajate valik
 - b. Hoonete jagunemine geomeetria alusel
 - c. Hoonete jagunemine ehitusfüüsikaliste näitajate alusel
- 2) Tüübi määramise loogika

Tüpoloogiat määravad näitajad valiti EHR`i analüüsi ning 417 hoone parandatud valimite alusel.

4.5.1 Hoonete jagunemine geomeetria alusel

Geomeetria osa tüpoloogiast loodi 417 hoone parandatud (3. valim) andmete statistika alusel. Hooned jaotati klassidesse ning seejärel leiti *Exceli Pivot table`i* funktsiooniga tüübi näitajate keskmised väärtused.

Geomeetria osas uuriti, kas gaasbetoonpaneel välisseintega hooned võib ka geomeetriliselt liigitada silikaltsiit ning kergbetoon tüübi alla. Selleks kontrolliti standardhälvete sõltuvust gaasbetoon seinte liigitusest. Leiti geomeetriliste näitajate standardhälbed juhul kui gaasbetoonpaneelid on liigitatud koos raudbetoon suurpaneel tüüpidega ning kui need on liigitatud koos suur- ja väikeplokki hoonetega. Seejärel, et tulemused oleks võrreldavad, leiti igale näitajale standardhälbe protsent keskmistest näitajast. Võrreldi, kui palju kasvas või langes geomeetriliste näitajate keskmine standardhälve protsent muutes gaasbetoonpaneeli liigitust.

Eesmärgiga hinnata, kui hästi loodud geomeetria tüpoloogia kirjeldab väiksemat hoonete valimit, tehti kontroll juhuslikustatud valimiga eksperimentaaluuringu meetodil. 417 hoone valim jagati juhusliku valimi alusel kaheksaks grupiks, leiti iga grupi lõikes tüüpide iga näitaja kohta keskmine väärtus. Väiksema valimi alusel leitud keskmisi väärtusi võrreldi loodud tüpoloogia väärtustega.

4.5.2 Hoonete jagunemine ehitusfüüsikaliste näitajate alusel

Hoonete ehitusfüüsikalised näitajad määrati eelkõige kirjanduse analüüsi põhjal. Kirjanduse analüüsi käigus leitud välisseina tüüpseid konstruktsioone võrreldi 417 hoone valimi välisseinte paksustega, et saada teada, milline välisseina konstruktsioon oli levinuim. Ülejäänud näitajate väärtused võeti kirjanduse analüüsist.

4.6 Tüpoloogia hindamine

Loodud tüpoloogia täpsuse hindamise eesmärgil leiti kontrollrühma (4. valim) hoonetest iga välisseina liigi kohta hooned, millel olid EHR`is olemas nii energiaarvutustel põhinev energiamärgise teatis kui ka ehitusteatis. Selliseid hooned leiti 13 tükki, kolm suurplokki, gaasbetoonpaneel, raudbetoonpaneel (seeria 111-133) ning telliskorterelamut, kaks suurpaneel (va. Seeria 111-133) korterelamut. Antud dokumendid on vajalikud, et tuvastada piirdetarindite pindalad ning soojustamata piirdetarindite soojusläbivused. Energiaarvutustel põhinevast energiamärgisest kirjutati iga valitud hoone kohta välja välispiirete pindalad. Energiamärgised on väljastatud renoveeritud hoone andmete alusel. Seetõttu ei saa energiamärgisest algolukorra piirdetarindite soojusläbivusi, selleks pidi kasutama hoonete projekte. Osadel hoonetel oli projektides välja toodud algolukorra soojusläbivused.

Soojusläbivuste puudumisel arvutati tarindite soojusläbivused vastavalt projekti informatsiooni detailsusele:

- 1) Kui oli tarindi kihtide kohta projektis info olemas, siis arvutati soojusläbivus vastavalt valem 2.

$$U = \frac{1}{R} \cdot \frac{W}{m^2K}$$
$$R = R_{si} + \frac{d}{\lambda} + R_{se}, \frac{m^2K}{W}$$

(2)

U Piirdetarindi soojusjuhtivus, W/(m²K)

R Piirdetarindi soojustakistus, m²K/W

R_{si}	Piirdetarindi sisemispinnatakistus, m^2K/W
R_{ei}	Piirdetarindi välispinnatakistus, m^2K/W
d	kihi paksus, m
λ	Materjali soojuseri juhtivus, $W/(mK)$

- 2) Keldrilae soojuslähivus leiti vastavalt kütmata keldrilae soojuslähivuse arvutusmetoodikale
- 3) Kui tarindi kihte polnud detailselt välja toodud arvutati soojustatud tarindi soojustakistusest maha soojustuse kihi soojustakistus (3).

$$R_{\text{soojustatud sein}} = 1/U_{\text{soojustatud sein}}, W/(m^2K)$$

$$R_{\text{algotukord}} = R_{\text{soojustatud sein}} - R_{\text{soojustuse kiht}}, W/(m^2K)$$

$$U_{\text{algotukord}} = 1/R_{\text{algotukord}}, W/(m^2K)$$

(3)

U	Piirdetarindi soojusjuhtivus, $W/(m^2K)$
R	Piirdetarindi soojustakistus, m^2K/W

Selgus, et vanade avatäidete soojuslähivusi enamustes projektides välja toodud ei olnud. Seetõttu ei saanud tüpologia ja projekti võrdluses akende ja uste soojuskadudega arvestada. Samuti polnud võimalik leida projektijärgseid algotukorra piirdetarindite liitekohtade joonsoojuslähivusi.

Igale hoonele teostati lihtsustatud piirdetarindite soojuskadude arvutus. Selleks määrati valitud hoonetele lõputöö raames loodud tüpologia alusel tüüp ning tehti tabel, kus arvutati hoone soojuskaod projekti järgsete arvude ning tüpologia alusel määratud näitajatega.

Eelnevalt välja toodud põhjustel võrreldi projektist ja tüpologiast tulevate piirdetarindite pindalaid, piirdetarindite soojuslähivusi (va. aknad ja ukse) ja välisseina, katuse ning põranda summaarseid soojuskadusid.

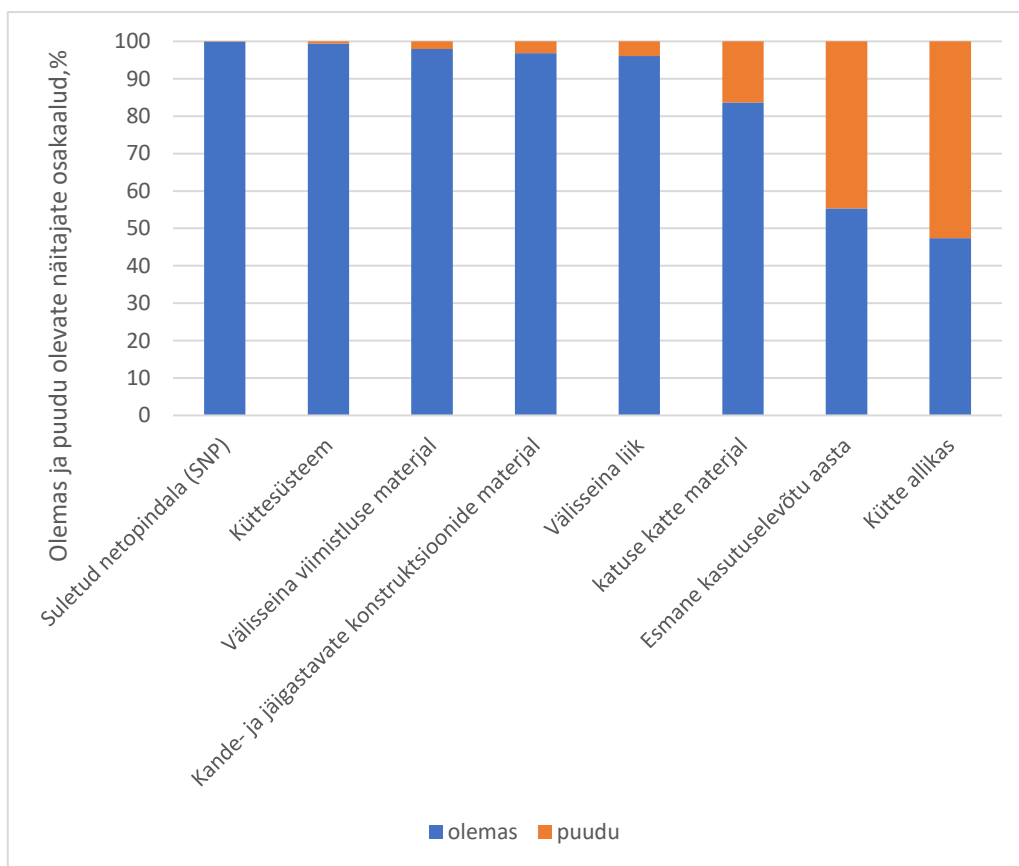
5 Tulemused

5.1 EHR andmete kvaliteet

Lõputöö raames analüüsiti EHR`i andmeid kolme valimi põhjal. Eesmärgiks oli saada ülevaade sisendandmete kvaliteedist. Milliseid andmeid võib tüpologia sisendina kasutada oleneb sellest, kui suurel osal hoonetest näitaja olemas on ning kas näitaja sisestatud väärtus on õige.

5.1.1 Valim 1: Andmete analüüs EHR`i 2011 a. väljavõtte alusel

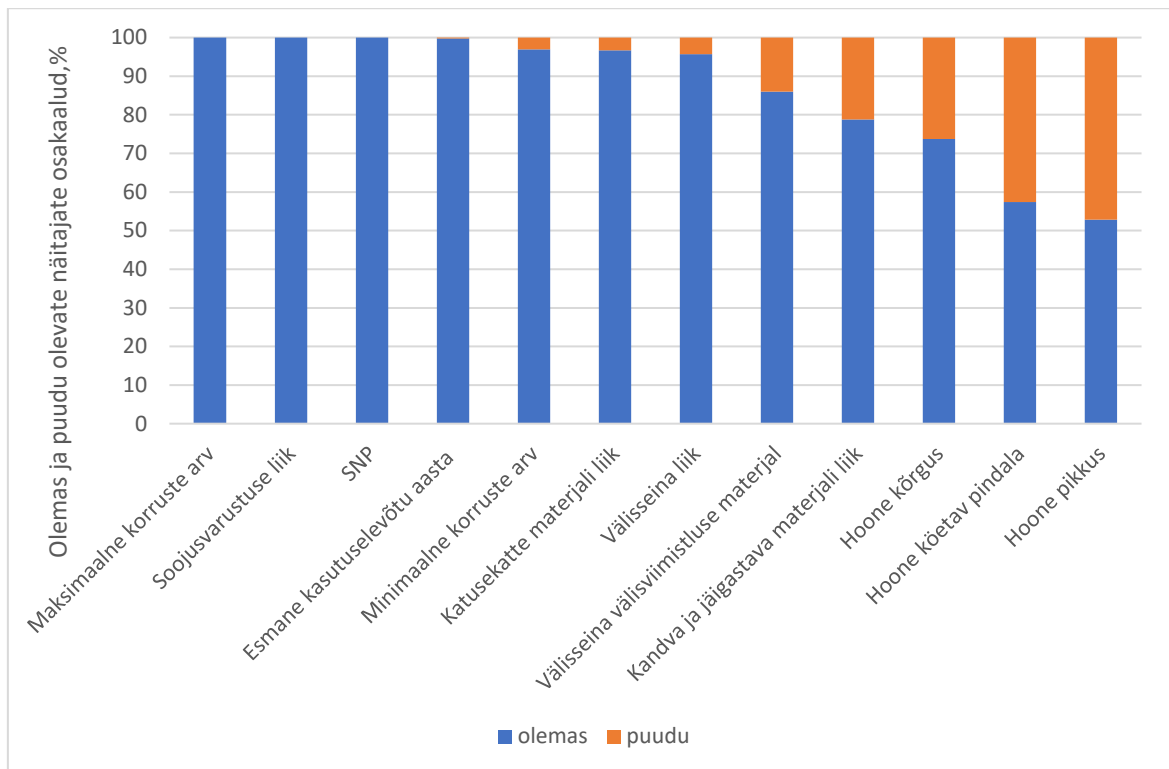
2011 aasta väljavõtte alusel uuriti EHR`i andmete terviklikust. Selgus, et kõige suurema puuduolevate andmete protsendiga näitaja on kütte allikas, mis on puudu 53 % hoonetest. Sellele järgneb esmane kasutuselevõtu aasta, mis on puudu 45 %. Katusekatte parameeter on puudu 17 %, ülejäänud näitajad on rohkem kui 95 % hoonetel olemas (Joonis 5.1).



Joonis 5.1 2011 a. väljavõtte (1. valim) valimi puudu- ja olemasolevad näitajad

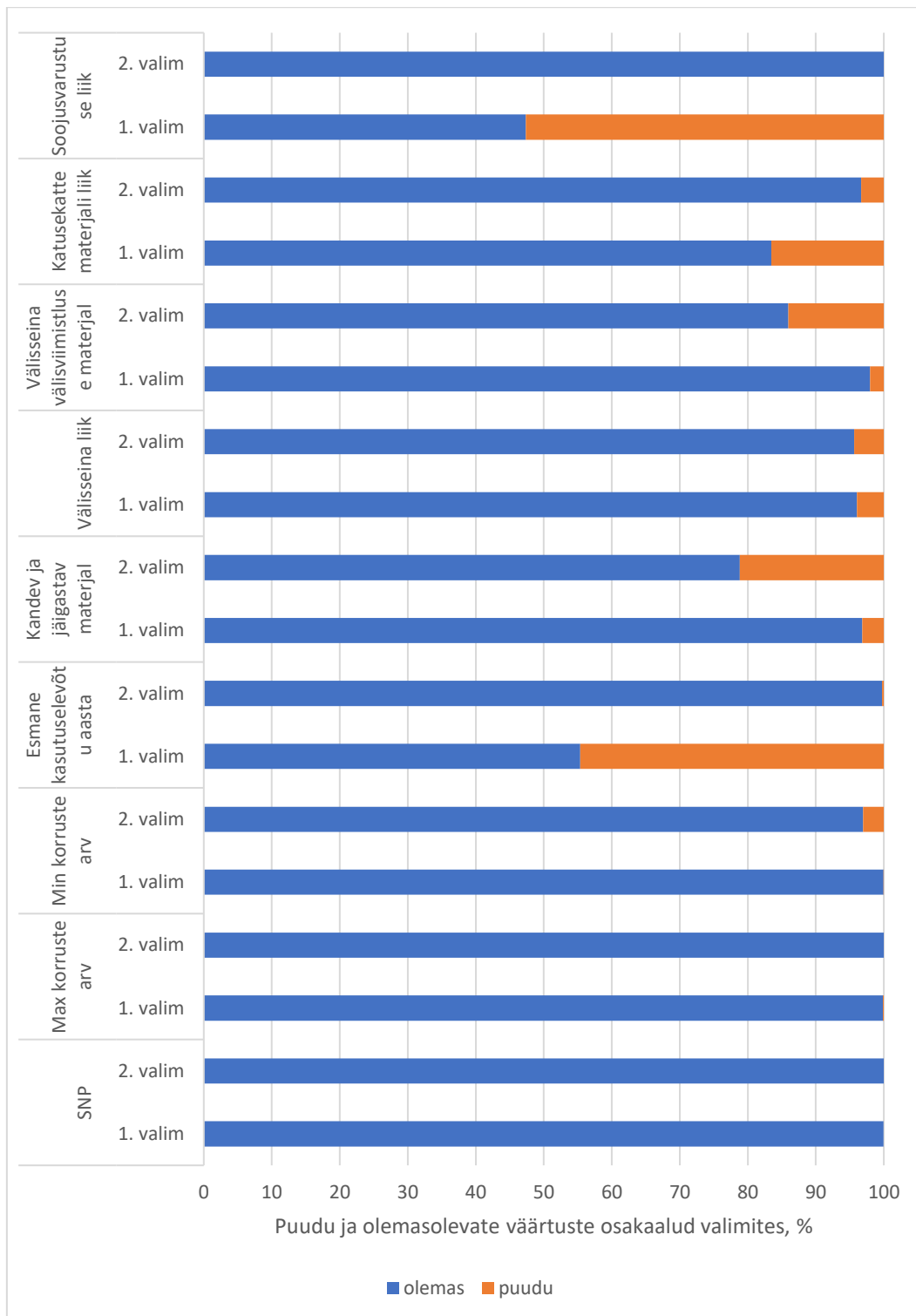
5.1.2 Valim 2: Andmete analüüs 417 hoone EHR`i väljavõtte alusel

417 hoone parandamata valimi alusel uuriti kõigepealt andmete terviklikust. Selgus, et kõige tihedamini on puudu hoone geomeetriselised andmed: pikkus (47 % puudu) ja laius (47 % puudu). Energiaarvutuste jaoks oluline parameeter köetav pindala on puudu 43 % hoonetest. Hoone kõrgus on puudu 26 % ning välisseina konstruktsiooni kirjeldavad parameetrid välisseina viimistluse materjal ning kande ja jäigastava konstruktsiooni materjali liik on puudu vastavalt 14 % ja 21 % hoonetel. Ülejäänud näitajad on üle 95 % hoonetel olemas (Joonis 5.2).



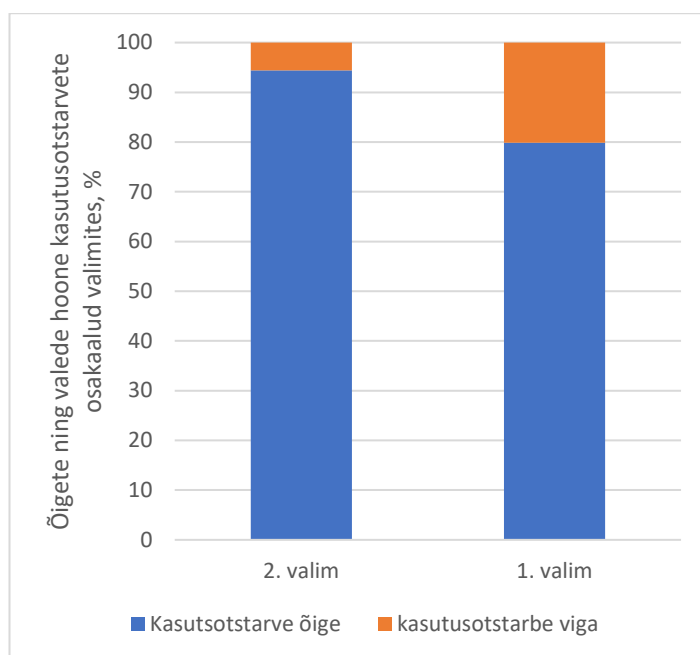
Joonis 5.2 417 hoone parandamata (2.valim) valimi puudu- ja olemasolevad näitajad

Võrreldes 2011. aasta EHR väljavõtte andemetega on ehitusaasta 417 hoone valimil puudu vaid 0,3 % hoonetest (Joonis 5.3). RESTO projekti raames läbi viidud koosolekust EHR`i esindajatega selgus, et viimaste aastate jooksul on tegeletud registri andmete korrastusega. Üks esimesi korrastatud parameetreid, oli ehitusaasta, seega peaks esmase kasutuselevõtu aasta olema üks usaldusväärsemaid näitajaid. Võrreldes 2011. aastal väljastatud tabeliga oli kande ja jäigastava konstruktsiooni materjal puudu 21 % (2011. aasta väljavõttes oli puudu 3 %) ja välisseina viimistluse materjali liik 14 % (2011. aasta väljavõttes oli puudu 2 %)(Joonis 5.3). Andmete paranemine 2011. aasta ja 2022. aasta vahemikus näitab, et EHR`i andmed on võimalik analüütilistel meetoditel edukalt parandada.



Joonis 5.3 Puudu- ja olemasolevate andmete võrdlus Kogu EHRi (2011 aasta väljavõtte) ja 417 hoone valimi põhjal

Kontrolliti kasutusotstarvet korterite arvu põhjal. Selgus, et võrreldes 2011. aasta väljavõttega on kasutusotstarve vale vaid 6 % hoonetest. Valimite erinevused on toodud Joonis 5.4.

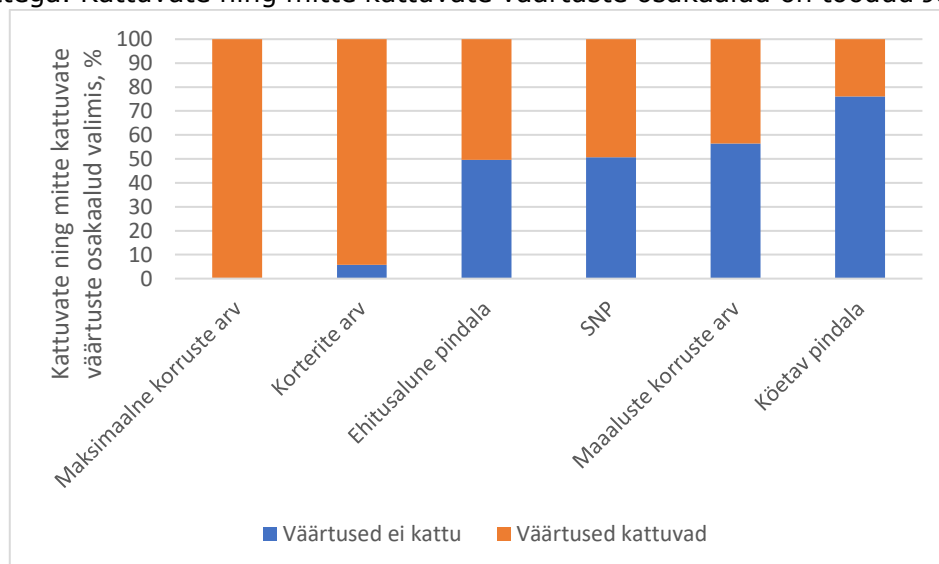


Joonis 5.4 Kasutusotstarvete õigsuse võrdlus 1.(2011 a. valim) ja 2. (417. hoone parandamata valim) valimi põhjal

Selgus, et kõige tihedamalt sisaldab mitut väärtust kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjali liik (18 % hoonetel sisaldab mitut väärtust). Seega on usaldusväärsem näitaja välisseina liik.

5.1.3 Valim 3: Andmete analüüs 417 hoone parandatud valimi alusel

417 hoone parandatud valimi alusel hinnati EHR`i näitajate korrektsust võrreldes algse väljavõttega. Kattuvate ning mitte kattuvate väärtuste osakaalud on toodud Joonis 5.5.



Joonis 5.5 EHRi 2011 andmebaasi (valim 1) ning 417 parandatud andmetega (3. valimi) näitajate väärtuste võrdlused

Numbriliste väärtuste hinnangust selgus, et kõige usaldusväärsemad näitajad on korruste arv (99,7 % väärtustest kattusid) ja korterite arv (94 % väärtustest kattusid).

Kõige rohkem mitte kattuvaid väärtusi oli köetaval pinnal (76 % väärtustest ei kattunud) ja maa-aluste korruste arvul (56 % väärtustest ei kattunud)(Joonis 5.5).

Numbriliste väärtuste parandamise käigus pandi tähele, et kui hoonele on väljastatud mitu energiamärgist, siis köetav pindala varieerub märgiste lõikes, seega võib ühel hoonel ilma hoone geomeetria muutumiseta olla registri erinevatesse dokumentidesse märgitud erinevad köetavad pindalad.

Kontrolliti ka välisseina liigi ja kandvate- ja jäigastavate konstruktsioonide materjali liikide väärtuseid. Välisseina liik oli valesti märgitud 18 % hoonetest. Kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjali liik oli valesti märgitud 19 % hoonetest, lisaks oli rohkematel hoonetel selle alla mitu väärtust märgitud (18 %). Seega on usaldusväärsem näitaja välisseina liik.

Kontrolli käigus selgus, et kõige tihedamini valesti sisestatud tüüpkonstruktsioon oli gaasbetoonpaneel välisseintega hoone, mis oli 33 % hoonetest vale. Seinatüüp on välimuselt sarnane suurplokile (aknad ei paikne paneeli sees), enamusel hoonetest oli välisseina liigina määratud raudbetoon paneel, mis tõttu liigitati seinatüüp esialgu ühte gruppi raudbetoonpaneel elamutega. Suurplokk korterelamutest oli 25% hoonetest välisseina liik valesti märgitud.

5.2 Kortere lamute tüpologia loomine

Lõputöö põhieesmärk oli luua tüpologia, mille alusel saab määrata energiatõhususarvutusteks vajalikud sisendid. Kortere lamute tüpologia alusel leitavateks näitajateks on vastavalt sisendite analüüsile. EHR`i analüüsist selgus, et tihti on hoonete näitajad puudu (peatükk 5.1), mis tõttu on vajalik, et tüpologia kirjeldaks ka hoone põhilisi geomeetrilisi näitajaid, keskmistatud väärtuste alusel.

Kortere lamute tüpologia loomise protsess jagati etappideks:

- 1) Tüpologia tabeli väärtused
 - a. Välisseinte tüüpide määramine
 - b. Geomeetria
 - c. Piirdetarindid ja konstruktsioonid
- 2) Avatäidete tüpologia

Geomeetrilisi ja piirdetarindite näitajaid esitletakse lõputöö raames tabelivormis. Eesmärgiga lihtsustada tüpologia kasutamist määrati igale tüübile kood, mille abil saab Microsoft Excelis vajalike väärtusi leida kasutades *vlookup* funktsiooni. Akende pindalade leidmiseks luuakse arvutus valem, seetõttu on avatäited eraldi etapina välja toodud. Täielik tehiskivi kortere lamute tüpologia tabel, kus on koondatud geomeetriliste ning ehitusfüüsikaliste näitajate tüübid, on toodud lisas 3.

Tüpologia aluseks oleva keskse näitajana valiti lõputöö raames seinakonstruktsioon. Olulisemad väljundid on piirdetarindite ehitusfüüsikalised omadused ning avade pindalad. Välispiirdetarindite õhulekke arv analüüsitakse omaette uurimistöös (Hallik jt. 2023), mistõttu käesoleva lõputöö raames neid ei käsitleta. Tüpologiasse lisati veel piirdetarindi paksus, et vastavalt vajadusele oleks võimalik välismõõtmest sisemõõtmel arvutada.

5.2.1 Välisseinte jaotus

Välisseina konstruktsioon valiti lõputöö raames põhiliseks tüpoloogiat määravaks näitajaks. Seetõttu otsustati esimese sammuna valida välisseinte jaotus ning selle alusel tehta edasised otsused tüpologia jagunemise kohta. Vastavalt peatükk 3.4.1 jaotuvad tüüpsed seinakonstruktsioonid vastavalt kandvale materjalile, ajastule ning asukohale. EHR`i analüüsist selgus aga, et kandva konstruktsiooni leidmine ainult EHR`i sisestatud andmete põhjal pole alati võimalik puudu olevate ning valesti sisestatud andmete tõttu või hoone mitme kandekonstruktsiooni kombinatsiooni tõttu.

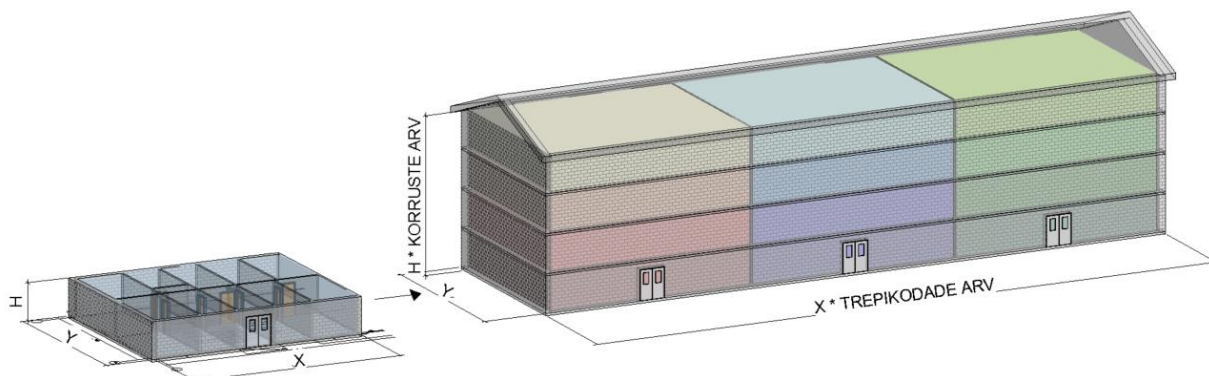
Eelnevates peatükkides on seinakonstruktsioonide jagunemine olnud vastavalt Tabel 4.3 sisule. Tabelis on gaasbetoonpaneelid kokku arvestatud mitmekihilise raudbetoonsuurpaneel seintega. Gaasbetoonpaneelid on materjali omadustelt ning tüüpse seina kihtide osas sarnasemad väike- ja suurplokki seintele. Kaks 3-kihilise raudbetoon paneeli tüüpi on samuti soojuslähivuse osas üksteisele sarnased. EHR`i põhjal on keeruline tuvastada täpsemaid seinakonstruktsiooni liike kui EHR`i enda jaotused. Välja toodud põhjustel optimeeriti seina tüüpe.

Esiialgu tehti materjali omaduste alusel uus tüüpseinte jaotus. Tellisseinad moodustavad esimese grupi. Sarnaste materjaliomaduste tõttu ühendati gaasbetoonpaneelid suur- ja väikeplokki elamutega ning moodustati uus seina tüüp - silikaltsiit ning kergbetoon seinad, mille soojuslähivuseks võeti erinevate plokktoodetest seinte väärtuste keskmised. Raudbetoon paneelid liideti samuti üheks seinakonstruktsiooni tüübiks.

5.2.2 Tüpoloogia geomeetrisel näitajad

Geomeetria osa tüpoloogiast loodi 417 hoone parandatud (3. valim) andmete statistika alusel. Välisseinad jaotati loodud konstruktsioonide tüpoloogia alusel neljaks: tellisvälisseinad, suurpaneel välisseinad, silikaltsiit ja kergbetoon materjalidest seinad ning puitseinad.

Vastavalt kirjanduse ning valimi analüüsile on teada, et sarnaseid hooneid ehitati eri korruste ja trepikodade arvuga. Seetõttu otsustati tüüpide arvu minimaaliseerimise eesmärgil taandada tüüpgeomeetria ühe trepikoja korruse peale. Realse hoone geomeetria saab korrutades tüpoloogia näitaja korruste ning trepikodade arvuga.



Joonis 5.6 Tüpoloogia alusel hoone geomeetria tuletamine

Sellise lahendusega aga ei kajastata korrektselt ühiselamu tüüpi korterelamuid, millel on üks pikk trepikoda läbi hoone. Seetõttu leiti selliste hoonete üksiku trepikoja geomeetria ehitusaluse pindala, mitte trepikodade alusel. Vastavalt valimile on üksiku trepikoja ehitusalune pindala keskmiselt 200-300 m², seega kui hoone ehitusalune pindala on suurem kui 300 m² siis leitakse hoone trepikodade arv jagades ehitusaluse pindala 250ga.

Viimase geomeetria määrava näitajana valiti esmane kasutuselevõtu aasta, mida võetakse arvesse ajastuna. Valimi ning kirjanduse analüüsist selgus, et olenevalt ajaperiодist ehitati erineva tüüpgeomeetria hooneid. Näiteks gaasbetoon paneel hoonete suurem ehitus algas 1970. See tähendab, et kui eraldada enne 1970 ja pärast 1970 ehitatud silikaltsiit ja kergbetoon hooned eri klassidesse on tulemuseks väiksema standardhälbega tüpoloogia. Eri välisseina klassidele määrati erinev tüüpi määrav ajavahemik vastavalt kirjandusele ning katse-eksitus meetodile. Määravaks sai tulemus, mille standardhälbed kõikide tüüpide näitajate lõikes olid minimaalsed.

Kontrolliti loodud tüpologia standardhälbeid. Tüpoloogia geomeetrised näitajad koos variatsioonikordajatega on toodud *Tabel 5.1*. Selgus, et kõige väiksema variatsiooni kordajaga on suurpaneel tüüpi korterelamud. Kõige suurema variatsiooni kordajaga korterelamud on enne 1950 ehitatud telliskorterelamud. Ülejäänud tüüpide keskmine variatsiooni kordaja jääb alla 20 %.

Tabel 5.1 Tüpoloogia näitajate variatsioonikordajad

Välisseina tüüp	Silikaltsiit ja kergbetoon		Suurpaneel			Tellis					
	2+		2+		2+	1			2+		
Trepikodade arv	2-5		2-5	6-9	2-5	2-5		6+	2-5		6-9
Korruste arv	2-5		2-5	6-9	2-5	2-5		6+	2-5		6-9
Kasutuselevõtu aasta	<1970	>1970	1950-1980	1950-1980	1980+	>1950	<1950	>1950	>1950	<1950	>1950
Hoonete arv valimis	26.0	169.0	41.0	8.0	19.0	9.0	3.0	4.0	116.0	4.0	6.0
Hooneosade arv ühe trepikoja korrusel [%]	20.0	22.5	14.3	0.2	20.0	20.2	36.7	21.4	27.6	12.8	24.2
Ruumide arv vannitoata ühel trepikoja korrusel [%]	23.7	18.2	14.7	3.5	22.2	14.8	45.0	27.0	23.2	17.2	24.7
Korruse kõrgus [%]	12.2	27.7	5.7	5.2	13.4	15.8	11.8	10.2	15.0	18.0	6.0
Hoone laius [%]	7.0	11.0	7.4	1.0	6.6	13.4	27.2	8.1	11.9	29.8	19.7
Trepikoja pikkus [%]	19.3	12.4	24.0	6.1	11.8	10.4	17.8	16.6	19.2	10.3	20.0
Trepikoja ehitusalune pindala [%]	25.4	17.2	19.9	1.8	15.1	14.8	42.2	20.5	23.4	15.3	24.2
Korruse, trepikoja SNP [%]	22.8	14.9	17.7	2.5	10.7	13.1	43.5	16.8	22.0	17.4	18.3
Korruse, trepikoja köetavpindala [%]	22.7	17.5	20.3	4.5	10.4	11.8	43.7	20.8	25.0	10.4	17.6
Keskmine variatsiooni kordaja [%]	19.1	17.7	15.5	3.1	13.8	14.3	33.5	17.7	20.9	16.4	19.3

Uuriti, kuidas muutuvad tüüpide standardhälbed olenevalt gaasbetoon paneelidega hoonete liigitusest. Selgus, et silikaltsiit ning kergbetoon tüüpi hoonete keskmine standardhälvete protsent langes maksimaalselt 11 % võrra, kui gaasbetoonpaneelid liigitada raudbetoon suurpaneeli alla. Suurpaneel tüüpi hoonete standardhälve kasvas aga 13 % võrra (*Tabel 5.2*). Selle alusel leiti, et gaasbetoonpaneel hoonete liigitamine silikaltsiit ning kergbetoon tüüpi alla on õigustatud.

Tabel 5.2 Geomeetriliste näitajate standardhälvete erinevus sõltuvalt gaasbetoonpaneel korterelamute liigitusest

	Välisseina liik	silikaltsiit ja kergbetoon		suurpaneel		
	trepikodade arv	2+		2+		2+
	korruste arv	2-5		2-5	6-9	2-5
	esmane kasutuselevõtu aasta	<1970	>1970	1950-1980	1950-1980	1980+
Gaasbetoonpaneel korterelamud liigitatud silikaltsiit ning kergbetooni alla	Hoonete arv valimis	26	169	41	8	19
	keskmine variatsiooni kordaja	19.1	17.7	15.5	3.1	12.0
Gaasbetoonpaneel korterelamud liigitatud suurpaneeli alla	Hoonete arv valimis	26	126	32	8	53
	keskmine variatsiooni kordaja	16.9	17.0	17.9	3.1	12.7
Erinevus		2.25	0.62	-2.40	0.00	-0.73

Hinnati väiksema valimi alusel leitud tüüpide keskmisi näitajate väärtusi tüpologia keskmiste väärtustega. Võrdluse tulemused on välja toodud Tabel 5.3. Väiksema valimi keskmisest lahutati tüpologia keskmine väärtus ning leiti mitu protsenti kasvas/langes näitaja väärtus. Selgus, et keskmine erinevus tüpologia ja väiksema valimi näitajate vahel on 6 %. Kõige suurema erinevusega oli hooneosade arv, mille keskmine erinevus oli 10,5%. Hooneosade arv trepikojas on tavaliselt kaks kuni neli, seega põhjustab ühe hooneosa erinevus juba suure protsentuaalse muutuse.

Tabel 5.3 Väiksemate valimite ja tüpologia alusel määratud näitajate protsentuaalne erinevus

Näitajad	Grupid								Kokkuvõte		
	Grupp 1	Grupp 2	Grupp 3	Grupp 4	Grupp 5	Grupp 6	Grupp 7	Grupp 8	miini mum	maksi mum	Keskmine
Hoonete arv valimis	53	48.0	48.0	49.0	50.0	49.0	56.0	52.0			
Hooneosade arv ühe trepikojaga korrusel [%]	15.1	14.9	21.9	18.5	27.5	16.7	17.0	10.4	10.4	27.5	17.8
Ruumide arv vannitoata ühel trepikojaga korrusel [%]	14.4	17.4	20.9	15.9	22.2	18.5	21.9	9.1	9.1	22.2	17.5
Korruse kõrgus [%]	21.2	9.4	8.4	10.2	6.5	10.5	11.9	10.6	6.5	21.2	11.1
Hoone laius [%]	5.1	10.6	10.3	10.5	6.0	4.9	5.9	10.7	4.9	10.7	8.0
Trepikojaga pikkus [%]	13.9	9.3	14.0	7.5	18.6	9.9	10.9	8.8	7.5	18.6	11.6
Trepikojaga ehitusalune pindala [%]	13.7	15.0	18.2	17.8	20.4	13.0	18.7	18.4	13.0	20.4	16.9
Korruse, trepikojaga SNP [%]	13.1	13.4	15.5	16.7	17.8	13.0	12.8	11.3	11.3	17.8	14.2
Korruse, trepikojaga köetavpindala [%]	15.4	15.8	19.0	15.4	20.5	13.7	14.7	11.9	11.9	20.5	15.8
Keskmine variatsiooni kordaja [%]	14.0	13.2	16.0	14.1	17.4	12.5	14.2	11.4	11.4	17.4	14.1

5.2.3 Tüpoloogia konstruktsioonide ja ehitusfüüsikaga seotud näitajad

Kõigepealt loodi tabel tüpoloogiaks vajalike näitajatega. Olulisemad näitajad jagati nelja kategooriasse: piirdetarindite soojusläbivused, piirdetarindite liitekohtade joonsoojusläbivused ning avatäidete tüüpsed suurused. Juurde lisati ka konstruktsioonide paksused, et vajadusel oleks võimalik leida piirdetarindite sisemõõte. Täpsemad kategooriad on toodud välja Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tüpoloogiaga määratud näitajad

Piirdetarindite soojusläbivused	Välisseina soojusläbivus	W/(m ² K)
	Katuslae soojusläbivus	W/(m ² K)
	Pinnasel põranda soojusläbivus	W/(m ² K)
	Kütmata keldri vahelae soojusläbivus	W/(m ² K)
	Keldriseina U	W/(m ² K)
	Välisuste soojusläbivus	W/(m ² K)
	Akende soojusläbivus	W/(m ² K)
Piirdetarindite liitekohtade joonsoojusläbivused	VS-VS liitekoha joonsoojusläbivus	W/(mK)
	VS-KL liitekoha joonsoojusläbivus	W/(mK)
	VS-PööninguVL liitekoha joonsoojusläbivus	W/(mK)
	VS-PP liitekoha joonsoojusläbivus	W/(mK)
	VS-KeldriVL liitekoha joonsoojusläbivus	W/(mK)
	VS-VL liitekoha joonsoojusläbivus	W/(mK)
	VS-SS liitekoha joonsoojusläbivus	W/(mK)
	Akna- ja ukse seinakinnituse joonsoojusläbivus	W/(mK)
Konstruktsioonide paksused	Välisseina tüüpne paksus	m
	Katuslae tüüpne paksus	m
	Külma pööninguga lae tüüpne paksus	m
	Keldriseina tüüpne paksus	m
	Vahelae tüüpne paksus	m
Avatäidete mõõdud	Ukse tüüpne laius	m
	Ukse tüüpne kõrgus	m
	Akna tüüpne kõrgus	m
	Akna tüüpne laius	m
	Trepikoja akna tüüpne kõrgus	m
	Trepikoja akna tüüpne laius	m

Tüpoloogiasse välisseinte lahenduste valimise eesmärgil moodustati Tabel 5.5. Tabelis on välja toodud välisseina liigid kirjanduse ning 417 hoone valimi baasil leitud keskmiste paksustega.

Tabel 5.5 Valimi hoonete ja kirjanduse põhiste välisseinte paksused vastavalt ajastule ja seina konstruktsioonile

	Välisseina keskmine paksus valimis [mm]	Välisseina keskmine paksus kirjanduses [mm]	Kirjanduseviited
Raudbetoon suurpaneel (va. seeria 111-133)	250	275	[22], [36], [43]
1961-1980	250	275	
>1980	250	275	
Raudbetoon suurpaneel (seeria 111-133)	258	275	[22], [35]
>1980	258	275	
suurplokki korterelamud	334	300	[32], [36], [44]
1961-1980	336	300	
>1980	300	300	
telliskorterelamud	450	489	[23], [32], [33], [36], [43]
<1920	550	467	
1920-1940	500	467,530	
1941-1960	549	530,500	
1961-1980	430	500	
>1980	427	500	
gaasbetoonpaneel korterelamud	315	278	[22], [39]
1961-1980	338	278	
>1980	270	278	
väikeplokki korterelamud	300	270	[34], [36]
1941-1960		270	
1961-1980	300	270	
>1980	300	270	

Silikaltsiit ning kergbetoon seinte soojusläbivuseks arvestati vastavalt kirjanduse analüüsile ning valimi näitajatele keskmine $0,83 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, seinapaksuseks tüüpne paksus 300 mm.

Raudbetoon suurpaneel tüüpi välisseinte paksuseks valiti 275 mm (Tabel 4.4). Soojusläbivuseks arvestatakse enne 1980 ehitatud hoonetel $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, hiljem ehitatud hoonetel $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (peatükk 3.4.1).

Telliskorterelamud jaotati välisseina näitajate poolest nelja gruppi. Enne 1960 ehitatud hoonete välisseina tüübiks eeldati vastavalt kirjandusele ja valimi hoonete väärtustele massiivseinad paksustega 510-640 mm. Soojusläbivuseks arvestatakse vahemiku keskmine $1,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, seinapaksuseks 570 mm (Tabel 4.4). Valimi ja kirjanduse alusel oli pärast 1960 ehitatud hoonete kõige sagedasem välisseina tüüp 430 mm soojustusega massiivsein, soojusläbivusega $1,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, korterelamutele, millel on

üle kuue korruse, arvestatakse sama sein paksema sisemise kandekihi paksusega ($B=560$ mm, $U=1,01$ W/(m²K)).

417 hoone valimi projektide alusel leiti tüüpsed ruumide kõrguse ning võrreldi neid kirjanduses välja toodud suurustega. Valimi hoonete tüüpsed ruumide kõrgused kattusid kirjandusega, seega määrati enne 1960 ehitatud tehiskivi korterelamute ruumi kõrguseks 3,2 m, ülejäänud tüüpidel 2,5 m.

Ülejäänud piirdetarindite soojusläbivused, paksused ning avatäidete tüüpsed suurused (üksiku akna ning üksiku välisukse mõõdud) määrati vastavalt kirjanduse analüüsis toodud suurustele ning on leitavad Lisa 3. Soojusläbivustest lähtudes tekkis vajadus luua telliskivikorterelamutele rohkem tüüpe, kui geomeetriast tulenevalt. Seetõttu lisati tüüpidele, mis geomeetria poolest on võrdväärseid juurde lisa koodi number. Näiteks on sama geomeetria tüübid koodidega 112.1, 112.2, 112.3.

Vastavalt EHR`i andmete kvaliteedist tulenevatele piirangutele pole täpset seina liiki alati võimalik määrata, sellisel juhul leitakse, kas tegu on puit või kivi hoonega. Kui tegemist on kivi hoonega siis määratakse hoonele detailsete tüüpide põhjal arvutatud keskmised väärtused.

5.2.4 Avatäidete pindalade väärtused

Vastavalt EHR`i analüüsile (peatükk 4.1) on teada, et avatäidete informatsioon andmeallikates ei kajastu. Kõige tüüpilisem viis akende pindalade määramiseks on välisseina ja akende suhe. Lõputöö raames pakuti vastavalt kirjanduse ning valimi hoonete analüüsile neli lisa meetodit akende pindalade leidmiseks. Kokku vaadeldi viite akende pindalade määramise varianti:

- 1) pindala leitakse 417 hoone keskmise seinte ja akende pindalade suhte järgi
- 2) pindala leitakse põrandapindala alusel köetava pindala järgi
- 3) pindala leitakse põrandapindala alusel eluruumide pindala järgi
- 4) pindala leitakse korrutades ruumide arvu peatükis pakutud keskmise akna pindalaga
- 5) pindala leitakse teise ja kolmanda variandi kooslusest

417 hoone valimist eemaldati 10 puithoonet, et nende akende ja välisseinte pindalade suhe ei mõjutaks kivihoonete keskmisi väärtusi. Alles jäänud hoonetele rakendati kõiki viite arvutusvarianti.

Kõigepealt leiti igale hoonele akende pindala, korrutades fassaadi pindala leitud keskmise akende ja fassaadi suhtega (0,23).

Seejärel määrati igale hoonele aknapindala põrandapindala alusel. Põranda pindala võrdsustati esimese variandina eluruumide pindalaga ning teise variandina köetava pindalaga. Kirjanduses toodud põranda ja akna pindala suhe kehtis eluruumidele, kuid korterelamute trepikodades on samuti aknad, mistõttu vaadeldi ka köetava pinna alusel arvutatud akende pindala. Pindalad leiti suhtele 1/6,25, mis on kirjanduses välja toodud vahemiku 1/8...1/4.5 keskmine väärtus.

Kolmanda variandina korrutati hoone ruumide arv 3.4.6 peatükis välja toodud keskmise akna pindalaga (2,27 m²), millele liideti iga trepikoja ja korruse kohta ühe akna pindala. Vastavalt 417 hoone statistikale olid kõikidel enne 1960. aastat ehitatud hoonetel otsaseintes aknad. Seega leiti enne 1960 aastat ehitatud hoonete akende pindala liites ruumide arvule iga korruse kohta kaks akent ning seejärel tulemust keskmise aknapindalaga korrutades. Pärast 1960. aastat ehitatud ning ühetrepikojaga kõrghoonetele otsaseintesse aknaid ei arvestatud..

Neljanda variandina leiti eluruumide akende pindala vastavalt eluruumide põrandapindalale, millele liideti juurde iga trepikoja kohta tüüpse trepikoja akna pindala korrutis korruste arvuga.

Arvutatud pindalade omavahelise võrdluse eesmärgil jagati kõik arvutuslikud väärtused energiamärgistest leitud akende pindalaga ning võrreldi jagatise. Mida lähemal on väärtus ühele, seda täpsem on arvutuslik akna pindala.

Selgus, et variantidest jõutakse kõige täpsema akende pindalani jagades eluruumide pindala pinna 6,25ga ja liites sellele juurde trepikodade, maapealsete korruste ning tüüpse trepikoja akna pindala korrutise (Tabel 5.6). Täpsuselt järgmine on köetava pinna jagamine 6,25.

Tabel 5.6 Arvutatud akende pindalade ja energiamärgiste akende pindalade jagatiste aritmeetilised keskmised ning standardhälbed

Arvutusvariant	Variandi kirjeldus	Aritmeetiline keskmine	Standardhälve
$A_{a,s}/A_{a,m}$	$A_{a,s}$ -Akende pindala vastavalt keskmisele akna ja seina pindala suhtele	0,94	0,21
	$A_{a,m}$ - Akende pindala energiamärgise lähteandmetest		
$A_{a,k}/A_{a,m}$	$A_{a,k}$ - Akende pindala köetava pindala alusel	0,91	0,20
$A_{a,e}/A_{a,m}$	$A_{a,e}$ - Akende pindala vastavalt eluruumide pindalale	0,78	0,17
$A_{a,r}/A_{a,m}$	$A_{a,r}$ - Akende pindala vastavalt ruumide arvule	1,07	0,27
$A_{a,e,r}/A_{a,m}$	$A_{a,e,r}$ - Akende pindala vastavalt eluruumide põranda pindalale ning trepikodade arvule	0,98	0,21

Vähendades köetava pinna jagajat 5,8ni tõusis jagatiste aritmeetiline keskmine 1,01ni, standardhälbe protsent langes 0,20ni (20%) (Tabel 5.7).

Et kontrollida, kuidas arvutusvariandid kirjeldavad väiksemat valimit, tehti kontroll juhuslikustatud valimiga eksperimentaaluuringu meetodil. 417 hoone valim jagati juhusliku valimi alusel kaheksaks, leiti variantide keskmised väärtused ning standardhälbed (Tabel 5.7).

Selgus, et ka väiksemat valimit kirjeldab kõige paremini vastavalt eluruumide põranda pindalale ning trepikodade arvule leitud akende pindala. Antud loogika järgi leitud akende pindala ning energiamärgistest võetud akende pindalade suhe ligines ühele (0,99), keskmine standardhälve oli suurem, kui ainult tubade arvu ja eluruumide pindalade järgi arvutuslikul akende pindaladel, kuid valimite miinimum ja maksimum standardhälbe vahe oli väiksem.

Tabel 5.7 Arvutatud akende pindalade ja energiamärgiste akende pindalade jagatiste aritmeetilised keskmised ning standardhälbed

Mee- tod	Näitaja	Rühm 1	Rühm 2	Rühm 3	Rühm 4	Rühm 5	Rühm 6	Rühm 7	Rühm 8	Kokkuv õte	maksi mum	miini mum
Aa,k/Aa,m	Keskmin e	1.00	1.00	1.02	1.02	1.00	1.08	0.99	0.99	1.01		
	Standard hälve	0.20	0.19	0.19	0.23	0.16	0.22	0.23	0.24	0.21	0.24	0.16
Aa,e/Aa,m	Keskmin e	0.91	0.88	0.95	0.89	0.90	0.95	0.87	0.89	0.90		
	Standard hälve	0.19	0.20	0.20	0.22	0.18	0.19	0.18	0.20	0.20	0.22	0.18
Aa,r/Aa,m	Keskmin e	0.89	0.88	0.90	0.89	0.91	0.93	0.86	0.90	0.89		
	Standard hälve	0.17	0.18	0.19	0.19	0.14	0.18	0.28	0.18	0.19	0.28	0.14
Aa,s/Aa,m	Keskmin e	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	1.06	1.09	1.06	1.07		
	Standard hälve	0.22	0.26	0.34	0.22	0.27	0.20	0.35	0.28	0.27	0.35	0.20
Aa,e,r/Aa,m	Keskmin e	1.00	0.97	1.04	0.97	0.98	1.03	0.96	0.97	0.99		
	Standard hälve	0.20	0.21	0.21	0.24	0.19	0.20	0.20	0.22	0.21	0.24	0.19

5.3 Tüpoloogia otsustuspuu tuletamine

Hoonele loodud konstruktsioonide ja geomeetria tüpoloogia alusel tüübi määramiseks on vaja teada välisseina liiki, maapealsete korruste arvu, trepikodade arvu ning hoone kasutuselevõtu aastat. Maapealsete korruste arv on EHR`i analüüsi alusel otse EHR`st tulev näitaja. Välisseina liik on EHR`i näitajana olemas, kuid tüpoloogia raames määratakse üldisem välisseina tüüp. Trepikodade arv on tuletatav väärtus, maapealsete korruste arv ja kasutuselevõtu aasta võetakse EHR`st.

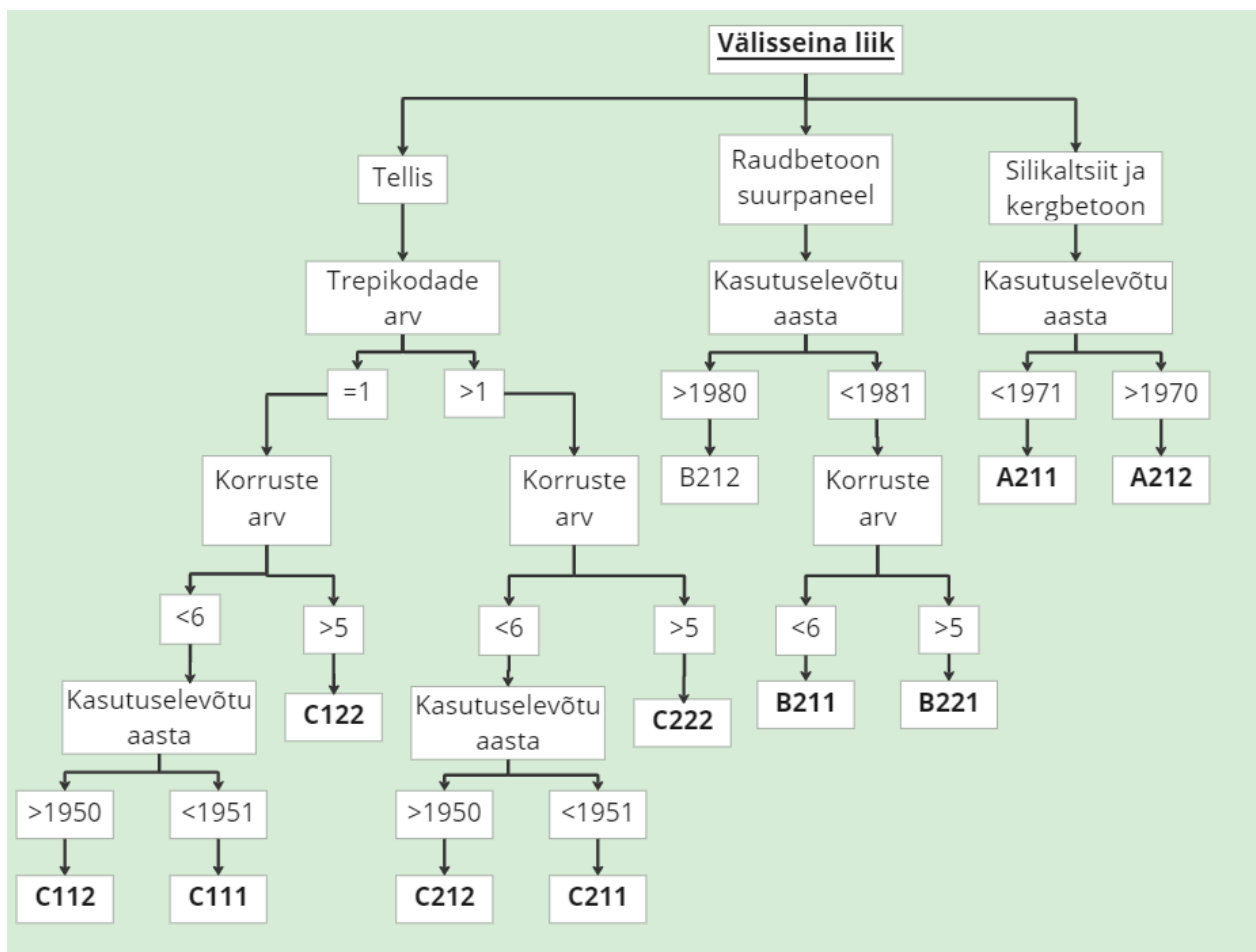
Tüpoloogia määramise etapid üldiselt:

- 1) Välisseina liigi määramine
 - a. Võimalusel täpne välisseina liik
 - b. Ebakvaliteetsete või puuduvate andmete korral määratakse, kas tegu on puit või kivi hoonega
- 2) Trepikodade arvu määramine
- 3) Maapealsete korruste arvu määramine

Trepikodade arv leitakse hoone teise korruse korterite numbrite alusel. Tüüpiliselt on ühe trepikoja korterite numbrid järjestiku (näiteks esimese korruse korterite numbrid on: 1,2,3; teise korruse korterite arvud on: 4,5,6 jne). Seega kui korruse lõikes korterite numbrid pole ühes järjekorras on tegu mitme trepikojaga. Esimesel korrusel võib olla lisaks korteritele üldkasutatavaid ruume või äripindasid, seega tuleb kasutada teist korruse EHR`i analüüsist selgus, et EHR`i andmed ei ole alati usaldusväärsed. Seega peab tüübi määramise protsessis kasutama kontrolli, et jõuda võimalikult õige

tulemuseni. Lõputöö raames pakutakse välja analüütilised kontrollid ja protsessid, mis tagavad võimalikult õige tüübi valiku.

Tüübi määramiseprotsess ilma välisseina liigi tuletamiseta on visualiseeritud Joonis 5.7. Jooniselt on näha eri välisseina tüüpide jagunemised vastavalt trepikodade arvule, kasutuselevõtu aastale ning korruselisusele.



Joonis 5.7 Välisseina liigi määramisele järgnevad tüübi tuletamise sammud

5.3.1 Välisseina liigi määramine

Hoonele klassifitseerimisel on vaja esiteks määrata õige seinatüüp. Lõputöö raames arendati välja seinatüübi määramise loogika, mis on kirjeldatud otsustuspuuna (Lisa 4). Kirjanduse ning valimi hoonete analüüsi põhjal määrati sammud õige seinatüübi tuvastamiseks.

Esiteks kontrollitakse, kas välisseina liigil on üks või mitu väärtust vastavalt peatükis 4.2 väljatoodud meetoditele. EHR`i andmete analüüsist selgus, et välisseina liik ei ole alati korrektne, seetõttu lisati tüübi tuletusprotsessi ka vahekontrollid. Juhul, kui näitajal on üksik väärtus sooritatakse kontrollid vastavalt EHR`is olevale välisseina liigile. Tabel 5.8. on välja toodud vahekontrollid, mille alusel saab hinnata välisseina liigi väärtuse korrektsust. Näiteks esimesed raudbetoon suurpaneel kortermajad ehitati 1960ndatel. Seega kui EHR`is on hoone esmane kasutuselevõtu aasta 1945 ja välisseina liigiks on määratud mitmekihiline raudbetoon paneel loetakse EHR`i sisestatud näitaja valeks ning tüpologia välisseinaks määratakse tellis.

Tabel 5.8 Välisseina tüübi määramise kontrollid

EHR`i sisestatud välisseina liik	jrk. nr	Kontroll		Kontrolli põhjendus
Mitme kihiline raudbetoonpaneel	1	Esmane kasutuselevõtu aasta	<1960	Suurpaneelhoonete ehitus algas 1960ndate alguses, seega ei saa enne 1960 ehitatud hoonetel algolukorras raudbetoonpaneel seinu olla
			>1960	
	2	kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjal sisaldab märksõna "suurplokk"	Valimi alusel ei esine tavaliselt kergbetoonist kandvaid seinu hoonetel, mille välisseinad pole samuti kergbetoonist.	
	3	Asukoht	Valimi ning kirjelduse alusel on suurpaneel korterelamud koondunud eelkõige harjumaa ümbrusesse ning Tartu lähedusse. Mujal ehitati eelkõige tellis, suurplokk ning gaasbetoonpaneelidest hooneid.	
Väike- või suurplokk	1	Korruste arv	<=5 korrust	Väikese koormustaluvuse tõttu, ei ehitatud kergbetoon ega silikaltsiit hooneid kõrgemaid kui 5 kordseid
			> korrust	
Tellis või Tellis, väikeplokk	1	kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjal sisaldab märksõna "suurplokk"	Valimi alusel ei esine tavaliselt kergbetoonist kandvaid seinu hoonetel, mille välisseinad pole samuti kergbetoonist.	
Puit	1	Korruste arv	<= 3 korrust	Tuleohutuse tagamiseks ei ehitatud puitkorterelamuid kõrgemaks kui 3 korrust.
			> 3 korrust	

Juhul kui välisseina liigil on mitu väärtust, kontrollitakse ka kandva ja jäigastava materjali liiki. Esiteks kontrollitakse, kas näitajal on üks või mitu väärtust. Mitme väärtuse korral kontrollitakse, kas sisaldab sõna „suurplokk“, kui sisaldab, siis loetakse välisseina tüübiks silikaltsiit ja kergbetoon vastasel juhul eeldusi teha ei saa ning hoonetele ei määrata detailset seinatüüpi. Kui näitajal on üksik väärtus, tehakse eeldused vastavalt **Tõrge! Ei leia viiteallikat..** Kui hoonele pole välisseina liigi ega kande ja jäigastavate konstruktsioonide materjali alusel võimalik täpset seinatüüpi määrata, määratakse tüübiks kas kivi või puit.

EHR`i sisestatud kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjal	Välisseina tüüp
Monoliitne raudbetoon Monteeritav raudbetoon	Eeldusi pole võimalik teha laialdase kasutuse tõttu kõikide seinatüüpide lõikes
Väike- või suurplokk	Silikaltsiit ja kergbetoon
Tellis	Tellis
Tellis, väikeplokk	
Puit	Puit

Välisseina määramise loogika arendati 417 hoone parandatud (3. valimi) andmete alusel. Igale hoonele määrati otsustuspuu alusel seinatüüp, mida võrreldi eelnevalt lisatud korrektse välisseina tüübiga. Pakutud protsessi kasutades jõuti 80 % valimi

hoonetest õige välisseina tüübini. 20 % vea sisse loeti ka hooned, mille välisseina liiki polnud võimalik tuvastada täpsemalt kui kivi või puithoone.

Lõputöö raames loodud tüpologia kirjeldab tehiskivi hooneid, seega on oluline määrata korrektselt, kas tegemist on puit või kivihoonega. Puit hoonetele loodud tüpologia väärtusi rakendada ei saa. Seetõttu leiti igale valimi hoonele, kas tegemist on puit või kivi hoonega, kasutades pakutud loogikat. 417st hoonest kahel (0,005 %) määrati otsustuspuu alusel puit või kivi valesti.

Välisseina tuletamise loogikat katsetati ka kontrollrühma (4. valim) alusel. Igale kontrollrühma hoonele määrati seinatüüp. Pakutud loogika alusel jõuti vale seinatüübi väärtuseni 10% valimi hoonetest.

Kõige rohkem valesti määratud väärtuseid oli silikaltsiit ja kergbetoon seinatüübil. Otsustades, kas tegemist on kivi-või puithoonega, jõuti kontrollrühmas vale väärtuseni 0 hoonel.

5.4 Tüpoloogia hinnang kontrollrühma alusel

Eesmärgiaga hinnata, kui täpselt suudab loodud tüpologia määrata tehiskivi korterelamute näitajaid kasutati kontrollrühma hooneid. Valitud hoonete projekti järgseid väärtusi võrreldi tüpologia alusel leitud suurustega. Tabel 5.9 on toodud piirdetarindite pindalade, piirdetarindite soojusläbivuste ning summaarsete soojuskadude erinevused välisseina põhisel. Selgus, et välispiirete pindalade erinevus oli keskmiselt 7 %, soojusläbivuste erinevus 18 % ning soojuskadude erinevus 11 %. Seega jäid kõik keskmised variatsiooni kordajad alla 20%.

Tabel 5.9 Tüpoloogia põhiste ning projektide põhiste väärtuste erinevused

Välisseina liik	Hoone jrk. nr	Tüpoloogia põhiste ning projektide põhiste väärtuste erinevused		
		Piirdetarindite summaarne pindala pindala	Piirdetarindite soojusläbivused	Summaarsed soojuskadud
Tellis	1	3%	5%	6%
	2	12%	25%	20%
	3	1%	26%	22%
Gaas-betoonpaneel	1	5%	20%	4%
	2	18%	11%	29%
	3	4%	15%	1%
Suur-plokk	1	8%	7%	8%
	2	4%	15%	1%
	3	10%	20%	3%
Raudbetoon paneel va seeria 111-133	1	4%	22%	4%
	2	2%	26%	26%
Raudbetoon suurpaneel seeria 111-133	1	5%	12%	0%
	2	8%	17%	1%
	3	18%	32%	35%
Kokku		7%	18%	11%

6 Tulemuste hindamine ja järeldused

Lõputöö raames loodi energiatõhususarvutuste sisendite leidmise eesmärgil enne 2000. aastat ehitatud tehiskivi korterelamute tüpoloogia. Tüpoloogia põhi otstarve on tagada energiatõhususarvutusteks vajalikud sisendid RESTO projekti raames loodava tööriista jaoks. Tööriista andmeallikateks on ehtisregister, mille kvaliteeti andmeallikana pole eelnevalt uuritud. Seetõttu oli vaja lõputöö raames anda ka ülevaade ehtisregistri andmete usaldusväärsusest ning terviklikkusest.

Ehtisregistri analüüsi käigus tuvastati, et ehtisregistri andmete kvaliteet ei ole ühtlane. Jõuti järeldusele, et kvaliteetsemad on omandiõigusega seotud näitajad, näiteks korterite ruumide arvud ning pindalad. Hoonete üldmõõtmete ning konstruktsioonidega seotud näitajate kvaliteet ei olnud konstantne.

EHR`i analüüsi käigus tuvastati, et automaatselt pole võimalik EHR`st leida hoonete piirdetarindite ehitusfüüsikalisi näitajaid, avatäidete pindalaid ja külmasilla pikkuseid. Puuduolevad näitajad panid paika põhilised tüpoloogias kajastatavad parameetrid. Vastavalt kirjanduse analüüsile on olulisemad energiatõhusust mõjutavaid näitajad hoone välispiirete soojusläbivused ning geomeetria. RESTO projekti raames leitakse hoone geomeetria ehtisregistri digikaksiku alusel, kuid lisa variandina kaasati tüpoloogiasse ka geomeetria näitajad.

Lõputöö raames jõuti järeldusele, et kõige optimaalsema tüüpide jaotuseni jõutakse, kui tehiskivi korterelamuid jaotada välisseina liigi, trepikodade arvu, korruste arvu ning esmase kasutuselevõtu aasta alusel. Välisseina liik määrab eelkõige ehitusfüüsikaliste näitajate suurused ning jaotuse. Korruselisus ning trepikodade arv mõjutavad põhiliselt geomeetrilisi näitajaid. Esmane kasutuselevõtu aasta mõjutab mõlemaid.

Tüpoloogia geomeetriliste näitajate variatsiooni kordaja jäi alla 20 %. Suurim standardhälve esines enne 1950 ehitatud telliskorterelamute puhul. Enne nõukogude aega ehitatud telliskorterelamud on geomeetria poolest vähem tüüpsed ning kõige keerulisemad. Geomeetria tüpoloogiat kasutatakse juhul, kui digikaksiku geomeetria pole saadaval, sellisel juhul on 20 % täpsus lõputöö autori hinnangul piisav.

Tüpoloogia hindamisel kontrollrühma alusel oli geomeetria erinevus projekti järgsest geomeetriast ainult 7%. Kontrollrühma alusel oli projektijärgsete soojusläbivuste erinevus 18 % ning soojuskadude erinevus 11%. Erinevused viitavad sellele, et tekkiv viga väheneb hoonete arvu suurenedes. Seega on piirkonna peale tekkiv viga minimaliseeritud.

Tüpoloogia täpsus sõltub esiteks EHR`i sisend andmete kvaliteedist. Andmetest sõltub, kas hoonetele on võimalik määrata korrektne tüüp. Lõputöö raames jõuti järeldusele, et tüpoloogia otsustuspuu siseste kontrollide ja loogikate lisamisega on võimalik ebakvaliteetsete sisendandmete mõju minimaliseerida ja jõuda õige välisseina tüübini üle 80 % hoonetest. Lõputöö raames loodi tüpoloogia tehiskivi hoonetele, seega on oluline korrektselt tuvastamine, kas tegu on puit või kivi hoonega. Loodud tüpoloogia otsustuspuu alusel suudeti 98 % täpsusega määrata, kas tegemist on puit või kivi korterelamuga.

Ehtisregistris puudub täielikult informatsioon avatäidete (uksed, aknad) kohta. Lõputöö raames pakuti erinevaid akende pindalade leidmise võimalusi. Parima tulemuseni jõuti jagades eluruumide pindala tüüpse eluruumi põranda- ja aknapindala suhtega ning liites juurde iga trepikoja korruse kohta ühe akna pindala.

Lõputöö tulemuste põhiline erinevus varasematest hoonete tüpoloogia uuringutest seisneb välisseina liigi ning detailse geomeetria kaasamises tüpoloogiasse. Eelnevad uuringud on eelkõige põhinenud referentshoonete kasutusel, sellisel juhul määratakse nii välisseina liik kui kõik ülejäänud näitajad ühe esindusliku hoone alusel. Näiteks määratakse lõputöö tüüpide alusel viie korruse, viie trepikojaga ja kolme korruse, kahe trepikojaga hoonete köetavpindala ühesugune. Trepikodade ja korruste arvestamine tüpoloogiasse lubab aga hoone geomeetria võrdlemisi täpset tuletamist ka juhul kui LOD2 geomeetria pole saadaval.

Tüpoloogia põhiline piirang tuleneb EHR`i ebakvaliteetsetest andmetest ning kasutaja sisendi võimaluse puudumisest. Põhiline tüübi määraja välisseina liik on tihti valesti sisestatud. Põhjuseks võivad olla kasutajate puudujäägid teadmistes, kuid ka asjaolu, et EHR`s on konstruktsioonide ja materjalide näitajate kirjeldused jäetud kasutajale interpretatsiooniks. Selliste näitajate sisendi valikud on piiratud ja ei kajasta kõiki võimalike konstruktsiooni tüüpe. Kõige paremini ilmestab seda gaasbetoonpaneel korterelamute EHR`i sisestatud välisseina liik, mis on 60% hoonetel määratud mitmekihiline raudbetoonpaneel, 40% hoonetel aga väike- või suurplokk. Kumbki välisseina liik ei kirjelda tegeliku välisseina ideaalselt. Selleks, et saada kasutajatelt kvaliteetset sisendit, oleks vaja kvaliteetseid kirjeldusi oodatud informatsioonist. Hoone mõõte kirjeldavate näitajate jaoks on EHR`is olemas kirjeldused, sama võiks laiendada ka teksti sisaldavatele parameetritele.

Potentsiaalne erinevus tekib ka keerulisema geomeetriaga hoonete arvutustel. Kui tegemist pole risttahuka kujulise hoonega, siis tüpoloogia alusel määratud geomeetria ei kajasta hooneid korrektset. Sellisel juhul alahindab tüpoloogia välispiirete pindalade suuruseid.

Tüpoloogial on mitmeid võimalike kasutus- ning arendusvõimalusi. RESTO projekti raames peab tüpoloogiat laienema puitkorterelamute ning väikeelamutele. Lisaks peab iga tüübi kohta lisama renoveeritud tarindite näitajad. Kui lisada võimalus kasutaja sisendiks õige hoonetüübi määramisel, näiteks võimalus visuaalselt välisseina tüüp valideerida, suureneks tulemuste täpsus. See võimaldaks tüpoloogiat veelgi detailiseerida ja edasi arendada.

Kokkuvõte

Euroopa liidu eesmärkidest ning hoonete amortiseerumisest tulenevalt on Eesti väljakutse ees renoveerida 28 aastaga 141 000 hoonet. Selline maht nõuab 5 kordset renoveerimistempo kasvu.

Lahendusena arendab Ehituse ja Arhitektuuri Instituut koostöös Targa Linna Tippkeskusega piirkonna renoveerimise tööriista, mis võimaldab teostada hoonete energiaarvutusi piirkonna tasemel renoveerimise kavandamise eesmärgil. Tööriista arvutuste sisendallikateks on hoonete renoveerimiseelne energiakasutus, ehisregister ning ehisregistri digikaksik. Registriandmetes pole kõik energiatõhusus arvutusteks vajalikud andmed kajastatud. Seega on vajalik tekitada andmebaas puuduvate andmetega.

Eesti hoonefondist moodustavad enamuse nõukogude ajal ehitatud korterelamud, mille projekteeritud eluiga hakkab lõppema. Selliste korterelamute kokkuhoiu potentsiaal on samuti suurem, kui hiljem rangemate energiatõhususe nõuete kehtimise ajal ehitatud hoonetel. Enamuse nõukogude ajal ehitatud korterelamutest moodustavad tüüpsete lahendustega tehiskivi korterelamud, seetõttu keskenduti lõputöös enne 2000. aastat ehitatud tehiskivi korterelamutele. Loodi tüpologia, ehk funktsiooni või vormi poolest sarnase hoonete kogumid, mille alusel määrata piirdetarindite ehitusfüüsikalisi näitajaid, hoonete geomeetria ning avatäidete pindalaid.

Lõputöö käigus teostati ehisregistri kui andmeallika analüüs, et hinnata arvutusteks ning tüpologia määramiseks vajalike algandmete kvaliteeti. Selgus, et ehisregistri andmed ei ole konstantse kvaliteediga, kõige kvaliteetsemad on omandiõigusega seotud näitajad, näiteks korterite tubade arvud ning pindalad. Hoonete üldmõõtude ning konstruktsioonidega seotud näitajate kvaliteet ei olnud konstantne.

Korterelamute tüpologia koostamise aluskriteeriumiteks valiti välisseina liik, trepikodade ja korruste arv. Geomeetria kirjeldamiseks leiti tüüpsed näitajad ühe trepikoja korruse kohta. Selleks, et leida terve hoone geomeetria tuleb tüpologia parameetrid korrutada läbi trepikodade ning korruste arvuga. Selline lahendus lubas minimeerida tüüpide arvu, elimineerides erinevatest korruse ja trepikodade arvudest tulenev keskmiste väärtuste varieerumine. Energiamärgise andmetele lähedaseim akende pindala leiti jagades eluruumide pindala tüüpse eluruumi põranda- ja aknapindala suhtega ning liites juurde iga trepikoja korruse kohta ühe akna pindala.

Lõputöö raames loodud tüpologia võimaldab piirkonna tehiskivi korterelamute näitajate määramist alla 20% veaga. Lähenemine on piisava täpsusega, et teha renoveerimis strateegia otsuseid piirkonna tasemel. Tüpologia on loodud eeldusega, et kasutaja sisend hoonete tüüpide määramisel puudub. Lisades juurde võimaluse kasutaja poolseks valideerimiseks annab võimaluse kitsamate tüüpide määramiseks.

Summary

Due to the goals set by European Union and age of existing buildings, Estonia is faced with the challenge of renovating 141,000 buildings in 28 years. Renovation volume of this scale requires an increase in the current renovation rate by 5 times.

As a possible solution a digital platform is being developed in collaboration of the Department of Civil Engineering and Architecture in collaboration with Finest Centre for Smart Cities. Renovation strategy tool would allow to preform energy calculations on a district level. The input sources for the calculations are existing energy use of buildings, Estonian building register and the digital twin of the building register. Not all necessary data for energy efficiency calculations is available in the register. So, it is necessary to create a database for missing data.

The majority of the Estonian building stock consists of apartment buildings built during the Soviet era, many for which the design life has ended and will be in use after 2050. The energy savings potential of such apartment buildings is greater than buildings built later during stricter energy performance requirements. Most of the apartment buildings built during the Soviet era are artificial stone (brick, concrete) apartment buildings with typical series which is why the thesis focuses on artificial stone apartment buildings built before year 2000. As a result of the thesis a typology of Estonian apartment buildings was created. Typology describes groups of buildings similar in function or form.

As a part of the thesis an analysis of building register as a data source was conducted, in order to assess the quality of available data. It turned out that the quality of data is not consistent. Most reliable data is mainly related to ownership: number of rooms and areas of apartments. The quality of the indicators related to the general dimensions and structures of the buildings were not constant.

Exterior wall solution, number of staircases and number of floors were chosen as the main criteria for typology creation. To describe the geometry, typical parameters were found for one floor of the staircase. To find the geometry of the entire building, the typology parameters must be multiplied by the number of staircases and floors. Such a solution allowed to minimize the number of types, eliminating the variation of average values resulting from difference in numbers of floors and stairwells. The area of windows closest to reality was found by dividing the area of the rooms by the ratio of the floor and window area of a typical dwelling and adding the area of one window for each floor of the stairwell.

The created typology allows to determine the indicators of artificial stone apartment buildings in the region with an error of less than 20%. The approach has sufficient precision to make renovation strategy decisions at a district level. The typology is created with the assumption that there is no user input in determination a type of a building. Adding a possibility of user validation would allow for narrower, more precise building types.

7 Kasutatud kirjandus

- [1] „Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia“. Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, juuli 2020.
- [2] R.-J. Kortterelamud, „LIGINULLENERGIA ELUHOONED“, lk 97.
- [3] „Elektrienergia hinnatõusu analüüs 2021“. konkurentsiamet.
- [4] „Energy poverty“. https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-consumer-rights/energy-poverty-eu_en (vaadatud 9. oktoober 2022).
- [5] P. Bolton, S. Kennedy, ja S. Hinson, „Fuel poverty in the UK“, okt 2022, Vaadatud: 2. oktoober 2022. [Online]. Available at: <https://commonslibrary.parliament.uk/research-briefings/cbp-8730/>
- [6] A. Bennadji, M. Seddiki, J. Alabid, R. Laing, ja D. Gray, „Predicting Energy Savings of the UK Housing Stock under a Step-by-Step Energy Retrofit Scenario towards Net-Zero“, *Energies*, kd 15, nr 9, 2022, doi: 10.3390/en15093082.
- [7] *WHO Housing and Health Guidelines*. Geneva: World Health Organization, 2018. Vaadatud: 2. oktoober 2022. [Online]. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535293/>
- [8] S. Tham, R. Thompson, O. Landeg, K. A. Murray, ja T. Waite, „Indoor temperature and health: a global systematic review“, *Public Health*, kd 179, lk 9–17, veebr 2020, doi: 10.1016/j.puhe.2019.09.005.
- [9] „Building renovation at district level – Lessons learned from international case studies | Elsevier Enhanced Reader“, doi: 10.1016/j.scs.2021.103037.
- [10] „Vana maja soojustamisest | Muinsuskaitseamet“. <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/uudised/vana-maja-soojustamisest> (vaadatud 17. november 2022).
- [11] K. Fabbri, V. Tarabusi, ja F. K., „Top-down and Bottom-up Methodologies for Energy Building Performance Evaluation at meso-scale Level – A Literature Review“, *AMERICAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE*, kd 1, lk 283–299, jaan 2014.
- [12] L. G. Swan ja V. I. Ugursal, „Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, kd 13, nr 8, lk 1819–1835, okt 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.09.033.
- [13] G. Dall’o’, A. Galante, ja M. Torri, „A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale“, *Energy and Buildings*, kd 48, lk 211–219, 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.01.034.
- [14] P. Civiero, J. Pascual, J. Arcas Abella, A. Bilbao Figuero, ja J. Salom, „PEDRERA. Positive Energy District Renovation Model for Large Scale Actions“, *Energies*, kd 14, nr 10, Art. nr 10, jaan 2021, doi: 10.3390/en14102833.
- [15] A. Cuchi ja P. Sweatman, „A NATIONAL PERSPECTIVE ON SPAIN’S BUILDINGS SECTOR“, GTR. Vaadatud: 1. oktoober 2022. [Online]. Available at: https://issuu.com/gbce/docs/libro_gtr_engl_postimprenta
- [16] M.-C. Wp, „Housing typology Assessment“, lk 149.
- [17] „Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. Main Results of the TABULA project“, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt / Germany.

- [18] F. Biljecki, H. Ledoux, ja J. Stoter, „An improved LOD specification for 3D building models“, *Computers, Environment and Urban Systems*, kd 59, lk 25–37, sept 2016, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005.
- [19] U. Ali *et al.*, „A data-driven approach to optimize urban scale energy retrofit decisions for residential buildings“, *Applied Energy*, kd 267, lk 114861, juuni 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114861.
- [20] „Accurate identification of influential building parameters through an integration of global sensitivity and feature selection techniques | Elsevier Enhanced Reader“. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0306261922003683?token=F693EAA6B54F7727135CC23D5D4EFDBA7C9EC62405DA58BC4ED28BF927658D361197D4705DFDCA8A75C6C4D06274E4FC&originRegion=eu-west-1&originCreation=20221205080238> (vaadatud 5. detsember 2022).
- [21] „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika–Riigi Teataja“. <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020012> (vaadatud 1. oktoober 2022).
- [22] „Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“, Tallinna Tehnika ülikool.
- [23] „Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“, Tallinna Tehnikaülikool.
- [24] „Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“, Tallinna Tehnikaülikool.
- [25] A. Allikmaa, „Eesti väikeelamute iseloomustus ja energiatõhususe parandamine“.
- [26] Targo Kalamees, Üllar Alev, Endrik Arumägi, Simo Ilomets, Alar Just, ja Urve Kallavus, „Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I“.
- [27] „Targa Linna Tippkeskus alustab kahe uue pilootprojektiga | TalTech“. <https://taltech.ee/uudised/targa-linna-tippkeskus-alustab-kahe-ue-pilootprojektiga> (vaadatud 9. oktoober 2022).
- [28] „Ehitisregister“. <https://livekluster.ehr.ee/ui/ehr/v1/> (vaadatud 9. oktoober 2022).
- [29] „E-ehituse 3D kaksiku arendus“, *e-ehitus*. <https://eehitus.ee/timeline-post/e-ehituse-3d-kaksiku-arendus/> (vaadatud 9. oktoober 2022).
- [30] „Ehitisregistri põhimäärus–Riigi Teataja“. <https://www.riigiteataja.ee/akt/126062015013?leiaKehtiv> (vaadatud 30. oktoober 2022).
- [31] „Eluruumid ja eluruumidega hooned | Statistikaamet“. <https://rahvaloendus.ee/et/tulemused/eluruumid-ja-eluruumidega-hooned> (vaadatud 20. november 2022).
- [32] T. Masso, *Ehitusfüüsika ABC*. 2012.
- [33] Jürgenson, *Elamuehitus I*.
- [34] Tiit Masso, *Vanade väikemajade tarindid*. 2022.
- [35] U. Trumm ja P. Kangur, *Eesti betoonehituse ajalugu*.
- [36] E. Talviste, *Hooned*. 1974.
- [37] K. Kuusk, „Integrated cost-optimal renovation of apartment buildings toward nearly zero-energy buildings“.
- [38] „EVS-EN ISO 13370“. Eesti Standardikeskus, 2017. Vaadatud: 17. november 2022. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=54228&language=EstonianLanguage>

- [39] Gritsenko, „Raudbetoonelamute ajalugu“.
- [40] D. Vasselov, „Tartu 45 energiamärgise lähteandmed“.
- [41] „EVS-EN ISO 13788:2012“, EVS. <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-13788-2012> (vaadatud 17. november 2022).
- [42] M. Sepp ja Tallinna Kultuuriväärtuste Amet, *Tallinna maja : hoonetüübi areng ja säästev uuendamine*.
- [43] E. Jõgioja, H. Lindmaa, R. Huik, U. Vana, ja J. Oidermaa, *Seinte soojatehnilised ja majanduslikud näitajad*.
- [44] *Eesti NSV-s kasutatavate unifitseeritud industriaalsete mullbetoonitoodete ühtne kataloog koos preiskurandhindadega*. Tallinn: Eesti maahitusprojekt, Eesti projekt, Eesti tööstusprojekt, 1979.

Lisad

Lisa 1 Ehitisregistri arvutustel põhineva energiamärgise lähteandmete tabel

Energiarvutuse lähteandmete esitamine

Energiarvutuse lähteandmed											
Arvutussoonide arv											
Küttesüsteemi tüüp											
-soojuse tootmine ja kütus											
-soojuse jaotamine											
Ventilatsioonisüsteemi tüüp											
Jahutussüsteem (on/ei ole)											
Soojuskaod läbi piirdetarindite					Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade		
Piirdetarind	g	$U_{i,i}$	$A_{i,i}$	$H_{\text{ühitus}}$	Külmasild	$\Psi_{i,i}$	$l_{i,i}$	$H_{\text{külmasild}}$	Õmardus	Suurus	
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K			
Välissein 1				0.0	Välissein-välissein			0.0	Õhulekke-arv q_{50}		
Katuslagi				0.0	Katuslagi-välissein			0.0	m ³ /(h·m ²)		
Pööningu vahelagi				0.0	Vahelagi-välissein			0.0	A_{50} (välispiirded), m ²	0.0	
Põrand pinnasel				0.0	Põrand keldri kohal			0.0	Korruste arv (täisarv)		
Põrand keldri kohal				0.0	Rõdu-välissein			0.0	\dot{V}_{inf} , m ³ /s	0.0000	
Põrand välisõhu kohal				0.0	Põrand välisõhu kohal-välissein			0.0			
Välisüksed				0.0	Akna seinakinnitus			0.0			
Lõuna aknad				0.0	Ukse seinakinnitus			0.0			
Ida aknad				0.0							
Lääne aknad				0.0							
Põhja aknad				0.0							
...											
* redutseeritud (väliskeskonna temp on +°C, näiteks vastasmaja sein ja garaaz)											
Kokku:				$H_{\text{ühitus}}$, W/K	0.0	$H_{\text{külmasild}}$, W/K			0.0	$H_{\text{õhulekke}}$, W/K	0.0
Välispiirete summaarne soojuserikadu					$\sum H$, W/K		0.0				
Välispiirete keskmine soojusläbivus					$\sum H / A_{\text{sp}}$		#DIV/0!				
Hoone köetav pind					$A_{\text{köetav}}$, m ²		#DIV/0!				
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta					$\sum H / A_{\text{köetav}}$, W/(m ² ·K)		#DIV/0!				
Ventilatsioonisüsteem	Rõhutõste sissep./väljat.	Ventilaatori kasutegur	Õhuvooluhulk sissep./väljat.	Süsteemi SFP	Soojustagastus temperatuuriväljaviske suhe min. temp. ¹						
	Pa / Pa	% / %	m ³ /s / m ³ /s	kW/(m ³ /s)	%						
SV-1											
Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur	Kütteperioodi ² keskmine soojustegur	Abiseadmete ³ elekter							
	-	-	-	kWh/(m ² a)							
ruumide kütte soe tarbevesi											
...											
² esitatakse soojuspumpsüsteemide puhul											
³ puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus											
Jahutussüsteem	Jahutusperioodi keskmine jahutustegur										
...											
Lokaalse taastuvenergia süsteemid	Päikese-kollektori aktiiv-pindala, m ²	Päikese-paneelide max võimsus, kW	Tuulegeneraatori nimivõimsus, kW								
Vabasoosused	Inimesed	Seadmed	Valgustus	Kasutusaste	Kasutusaeg päeva nädalas tundi päevas						
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	%	d	h					
Kuupäev	Nimi								Allikri		

Lisa 2.1 Energiatõhusus arvutuse sisendite allikate jagunemine

Sisend	Andmeallikas			Tuletus EHR`st
	EHR	Digikaksik	Tüpoloogia/statistika	
Lähteandmed hoone kohta				
Küttesüsteemi tüüp				
-soojuse tootmine ja kütus				x
-soojuse jaotamine				x
Ventilatsioonisüsteemi tüüp				x
Jahutussüsteemi olemasolu				x
Soojuslääbivuste ning külmasildade info				
Geomeetria näitajad				
A (Välissein), m ²		x		
A (Katuslagi), m ²		x		
A (Pööningu vahelagi), m ²		x		
A (Põrand), m ²		x		
A (Välisuks), m ²			x	
A (Aknad), m ²			x	
I Välissein-välissein, m		x		
I Katuslagi-välissein, m		x		
I Vahelagi-välissein, m		x		
I Põrand keldri kohal, m		x		
I Rõdu-välissein, m			x	
I Põrand välisõhu kohal-välissein, m		x		
I Akna seinakinnitus, m			x	
I Ukse seinakinnitus, m			x	
Soojuslääbivused				
U (Välissein) W/(m ² K)			x	
U (Katuslagi) W/(m ² K)			x	
U (Pööningu vahelagi) W/(m ² K)			x	
U (Põrand) W/(m ² K)			x	
U (Välisuks) W/(m ² K)			x	
U (Aknad) W/(m ² K)			x	
Välissein-välissein Ψ, W/(m·K)			x	
Katuslagi-välissein Ψ, W/(m·K)			x	
Vahelagi-välissein Ψ, W/(m·K)			x	
Põrand keldri kohal Ψ, W/(m·K)			x	
Rõdu-välissein Ψ, W/(m·K)			x	
Põrand välisõhu kohal-välissein Ψ, W/(m·K)			x	
Akna seinakinnitus Ψ, W/(m·K)			x	
Ukse seinakinnitus Ψ, W/(m·K)			x	

Lisa 2.2 Energiatõhusus arvutuse sisendite allikate jagunemine

Sisend	Andmeallikas			Tuletus EHR`st
	EHR	Digikaksik	Tüpoloogia/statistika	
Lähteandmed hoone kohta				
Õhulekete informatsioon				
Õhulekke-arv q_{50} ,			x	
Korruste arv (täisarv)	x			
Hoone köetav pindala	x			x
Ventilatsiooni süsteem				
Rõhutõste sissep./väljat.				x
Ventilaatori kasutegur sissep./väljat.				x
Õhuvooluhulk sissep./väljat.				x
Süsteemi SFP				x
Soojustagastus temperatuuri-suhe				x
väljaviske min. temp.1°C				x
Küttesüsteem				
Soojusallika kasutegur				x
Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -				x
Kütteperioodi keskmine soojustegur, -				x
Abiseadmete elekter kWh/(m ² a)				x
Jahutussüsteem				
jahutusperioodi keskmine jahutustegur				x
Lokaalse taastuenergia süsteemid				
Päikese-kollektori aktiiv-pindala, m ²				x
Päikese-paneelide maxvõimsus, kW				x
Tuulegene-raatori nimi-võimsus, kW				x
Vabasoojused				
Inimesed W/m ²				x
Seadmed W/m ²				x
Valgustus W/m ²				x
Kasutusaste %				x
Kasutusaeg d,h				x

Lisa 4.1 Tüpoloogia otsustuspuu

