

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**MATERJALI VALIKU, PROJEKTI TERVIKLIKKUSE
JA E HITUSTÖÖDE KVALITEEDI MÕJU
KAASAEGSETE PUITHOONETE VÄLISILMELE JA
ELUEA PIKKUSELE**

**THE EFFECT OF MATERIAL SELECTION, DESIGN, AND
CONSTRUCTION QUALITY ON THE APPEARANCE AND
SERVICE LIFE OF A MODERN WOODEN BUILDING**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Jürgen Hiiekivi
Üliõpilaskood: 165300
Juhendaja: Villu Kukk, teadur
Kaasjuhendaja: Targo Kalamees, professor

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.

"22. mai" 22.05.2024

Autor: Jürgen Hiiekivi

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

" 22. mai " 22.05.2024

Juhendaja: Villu Kukk

/ allkiri /

Kaasjuhendaja: Targo Kalamees

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2024 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Jürgen Hiiekivi

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose MATERJALI VALIKU, PROJEKTI TERVIKLIKKUSE JA E HITUSTÖÖDE KVALITEEDI MÕJU KAASAEGETE PUITHOONETE VÄLISILMELE JA ELUEA PIKKUSELE,

mille juhendaja on Villu Kukk ja kaasjuhendaja Targo Kalamees

- 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.
-

22.05.2024

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

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Jürgen Hiiekivi, 165300

Õppekava, peeriala: EAEI Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine

Juhendaja(d): Teadur, Villu Kukk, 6202402

Täisprofessor tenuuris, Targo Kalamees, 6202403

Lõputöö teema:

(eesti keeles) MATERJALI VALIKU, PROJEKTI TERVIKLIKKUSE JA E HITUSTÖÖDE

KVALITEEDI MÕJU KAASAEGSETE PUITHOONETE VÄLISILMELE JA ELUEA PIKKUSELE

(inglise keeles) THE EFFECT OF MATERIAL SELECTION, DESIGN, AND CONSTRUCTION ON THE SERVICE LIFE AND APPEARANCE OF A WOODEN BUILDING

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tänapäeva (8-20 aastat vanade) puithoonete seisukorra hindamine, mis on ehitatud parima arhitektuuri ja insenerlahenduste juures.
2. Hoonete seisukorra võrdlemine arvatud hooldusvajaduse pikkusega.
3. Tuvastada puitehituse ajalist kestvust mõjutavad tegurid ja lahendused.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Objektide nimekirja koostamine, nende vaatlus ja visuaalne hindamine ning ankeetide koostamine pildimaterjali põhjal.	10.09.23
2.	Visuaalse hindamistulemuste kategoriseerimine.	15.10.23
3.	Andmete analüüs ja tulemuste väljakirjutamine.	01.05.24

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: 22.05.2024a

Üliõpilane: Jürgen Hiiekivi " 22. mai " 22.05.2024
/allkiri/

Juhendaja: Villu Kukk " 22. mai " 22.05.2024
/allkiri/

Kaasjuhendaja: Targo Kalamees " 22. mai " 22.05.2024
/allkiri/

Programmijuht: Irene Lill..... ".....".....2024a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÖNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu.....	7
1. SISSEJUHATUS.....	8
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	10
2.1 Hoone peamised piirdetarindi lahendused tagamaks pikka kasutusiga	10
2.2 Puitkatused	12
2.3 Hoone eluea määramine	12
2.4 Puithoonete seisukorra hindamine.....	14
2.5 Puitfassaadikatete pinnakatted	15
2.6 Hoonete hooldus ja hooldussagedus.....	16
2.7 Puit ja selle kasutamine väliskeskkonnas	19
2.8 Tänapäevane puitarhitektuur.....	21
3. METOODIKA.....	23
3.1 Hoonete valimi kirjeldus	23
3.2 Ehitiste vaatlus.....	25
3.3 Puitfassaadide pinnakatete hooldussageduse arvutamine	25
3.4 Kahjustuste kategoriseerimine.....	27
3.5 Küsitluse meetodika	29
4. TULEMUSED	32
4.1 Hoonete fassaadi pinnakattematerjalide seisukord	33
4.2 Pinnakatete ajas muutuse hinnang läbi näidete.	36
4.3 Kahjustuste tüübid.....	52
4.4 Kahjustuste tüüpide klassifitseerimine ISO 15686-8:2006 tegurite järgi	63
4.5 Küsitluse tulemused	65
5. TULEMUSTE KOKKUVÕTE JA DISKUSSIOON	70
6. JÄRELDUSED.....	77
KOKKUVÕTE	80
SUMMARY.....	82
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	84
LISAD	87
GRAAFILINE OSA.....	89

EESSÕNA

Käesoleva uurimustöö sisuks on süvitsi minna materjalivaliku, projekteerimisprotsessi ja ehituskvaliteedi aspektidesse, mõtestamaks lahti nende mõju meie aja puithoonete kestvusele ja välimusele. Eriti oluline on selle konteksti paigutamine Eesti jätkusuutlikkuse ja traditsiooniliste puitfassaadide pärandi valguses. Töö metodoloogia hõlmab endas nii objektide külastamist, töö raames tehtud pildimaterjali visuaalset analüüsi kui ka ehitusjärgsete fotodega võrdlemist. Lisaks insenertehniliste lahenduste hindamist, milles on rõhku asetatud niiskuse juhtimisele ja kahjustuste liigitamisele.

Tänu Targo Kalamehe algatusele sõnastati käesoleva lõputöö teema, mis keskendub kaasaegsete puithoonete pikaajalisele püsimisele ja välistele omadustele. Andmete kogumine toimus üle kogu Eesti, hooned valikus olid 8-20 aastat vanad ning olid osalenud Aasta Puitehitise konkursil. Töö valmimisele aitasid kaasa juhendajad Villu Kukk ja Targo Kalamees, kelle asjatundlikud nõuanded ja juhised osutusid hindamatuks.

Võtmesõnad

Hoone tehniline seisukord, kaasaegsed puithooned, materjali valik, projekti terviklikkus, ehitustööde kvaliteet, välisilme, pinnakate, fassaadid, puit, hoone eluiga, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

Byggforskserien-SINTEF-i poolt Norras koostatud juhendikogu mis käsitleb hoone ehituse planeerimist, ehituslike sõlmi ja hoonete hooldust. Paljudel juhtudel juhendid kirjeldavad miinimumnõudeid, et täita TEK17 standardit. SINTEF on Norra sõltumatu uurimisorganisatsioon

SERVOWOOD-on Euroopa liidu poolt rahastatud projekt, mis arendab välja ennustatava tööea meetodikat mida saaks lisada Euroopa standardisse puitfassaadide pinnakatete juurde.

UV- ultraviolettkiirguse kiiritustihedus, ühikuta

SLP-(service life prediction),tööea arvutus

WoodLCC (life cycle costing)- projekti eesmärk on uudsetel mudelitel põhinevate sisenditega hinnata detailselt puitkomponentide ja hoonete kasutusiga.

ISO 15686 terminid:

Tööiga (service life)-aja periood mille jooksul hoone või selle osad vastavad või ületavad toimivus nõudeid.

Referents tööiga (reference service life)- hoone või hoone osa teada olev kasutusiga kindlas asukohas ja teada olevate füüsikaliste tingimustega.

Arvutuslik tööiga (estimated service life)-tööiga mida võib eeldada teatud tingimustel, arvutatakse referentsi baasil, arvestades materjale, projekti, väliskliimat, kasutust ja hooldust.

Ennustatav tööiga (predicted service life)- tööiga mis põhineb eelnevatel tulemustel.

1. SISSEJUHATUS

Selle lõputöö raames käsitletav hoonete kasutusea teema on pälvinud tähelepanu mitte üksnes Eesti kontekstis, vaid ka laiemalt seoses kliimamuutustega ja jätkusuutliku ehitamise poole püüdlemisega. Euroopa Komisjoni "Fit for 55" algatuse kaudu, mis on osa suuremast kliimapoliitika kujundamisest ja mille raames vaadati 2021. aastal üle hoonete energiatõhususe direktiiv (EPBD), on võetud eesmärgiks drastiliselt vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid ja seeläbi saavutada saastevaba ning täielikult süsinikdioksiidivaba(CO₂) hoonefond aastaks 2050. [1]

Ehitussektoris, mis on üks peamisi süsinikuheite allikaid, on puidust ehitatud hoonete keskmine CO₂ heide võrreldes teiste materjalidega (teras, betoon, kivi) märgatavalt madalam, ning seetõttu on pilgud suunatud puitkonstruktsioonidele kui jätkusuutlikumale alternatiivile [2]. Puidu kasutamine ehituses on pärast Eesti iseseisvuse taastamist märgatavalt suurenenud, osalt tänu meie pikaajalisele puidust ehitamise traditsioonile. Puit, olles taastuv ressurss, pakub mitte ainult keskkonnasäästlikkust, vaid ka vastupidavust ja esteetilist väärtust, mis peegeldub hoonete pikas kasutuseas ja nende välimuses [3].

Antud lõputöös uuritakse materjali valiku, projekti läbimõelduse ja ehitustööde teostamise kvaliteedi mõju kaasaegsete puithoonete välisilme muutustele ajas ning kasutusea pikkusele. Töö põhieesmärk on tuvastada puithoonete ajalist kestvust mõjutavad tegurid ning kaardistada enam levinud kahjustused. Töö käigus tehti kindlaks mõjutegurid, mis tagavad hoonete kestvuse ajas ja tuvastati tegurid, mida võiks vältida, et vähendada hooldustööde sagedust ja nendega kaasnevaid kulutusi. Töö eesmärk oli hinnata kaasaegseid projekteerimispraktikaid, mis hõlmavad erinevaid ebatraditsioonilisi lahendusi ja detaile ning analüüsida nende mõju puitfassaadidele. Keskenduti eelkõige sellele, kuidas kaasaegsed projekteerimis- ja arhitektuuritavad mõjutavad puithoonete kasutusiga. Selles valdkonnas igapäevaselt töötades puutun pidevalt kokku väljakutsetega tagada puitfassaadide ja elementide kestvust.

Uurimisalused hooned valiti aasta puitehitise konkurssidel osalenud hoonete seast, eeldusel, et need on ehitatud parimate ehitustavade järgi. Hooned valiti selle järgi, et need hakkaksid jõudma esimese hoolduse ikka, milleks on umbes 10 aastat. Aasta puitehtis valiti esimest korda aastal 2003. Konkursil osalesid 1997-2003 ehitatud hooned. Vanim hoone valikus on ehitatud 2003 aastal. Selle järgi tuligi hoonete vanuseline jaotus 8-20 aastat. Hoonete kohta koguti infot nende asukoha kohta ning fotomaterjali ehitusajast, et võrrelda küllastamise aegse olukorraga.

Peale väliuuringute programmi koostamist toimus valitud objektide külastamine. Külastuse käigus teostati fotodokumentatsioon ning hinnati toimivaid ja mittetoimivaid insenertehnilisi/arhitektuurseid lahendusi niiskustehnilise toimivuse seisukohalt. Mittetoimivate lahenduste korral määrati kahjustuste tüüp, põhjus, suurus ja ulatus, mis kõigi vaadeldud objektide peale kategoriseeriti. Lisaks saadeti külastatud objektide kasutajatele ankeet küsimustega, mis hõlmavad hooldustegevust ja rahulolu objekti välimusega. Ankeedis on ka välja toodud antud objekti ehitusjärgsed pildid ja võrdluseks praegune olukord. Käesoleva töö raames on kasutatud mitmeid arvuti tarkvarasid, sealhulgas Microsoft Word, Excel, Silkipix, RStudio, Lightroom, ning veebirakendust Google Forms küsitluse läbiviimiseks.

Uuringus käsitletakse mitmeid asjakohaseid küsimusi: 1) kuidas mõjutab materjali valik kaasaegse puithoone välisilme eluiga ja hooldusvajadust; 2) mis on peamised tegurid projekti läbimõelduses ja terviklikkuses, mis määravad puithoone kasutusea pikkuse ja hooldusvajaduse sageduse; 3) kui suurel määral on hoone esialgne kasutusiga vähenenud ehitusvigade tõttu.

Uuringus püstitatakse järgmised hüpoteesid:

- pinnakatte vale valik võib oluliselt lühendada puithoone fassaadi eluiga ja suurendada hooldusvajadust
- hoone projekti läbimõeldusel(projektil) on suurim mõju kasutusea pikkusele ja vajalikule hooldussagedusele

Lõputöös formuleeritud hüpoteesid ja tulemustest tulenevad soovitused võimaldavad paremini mõista kaasaegsete puithoonete projekteerimis- ja ehituspraktikate mõju nende kestvusele ja hooldusvajadusele.

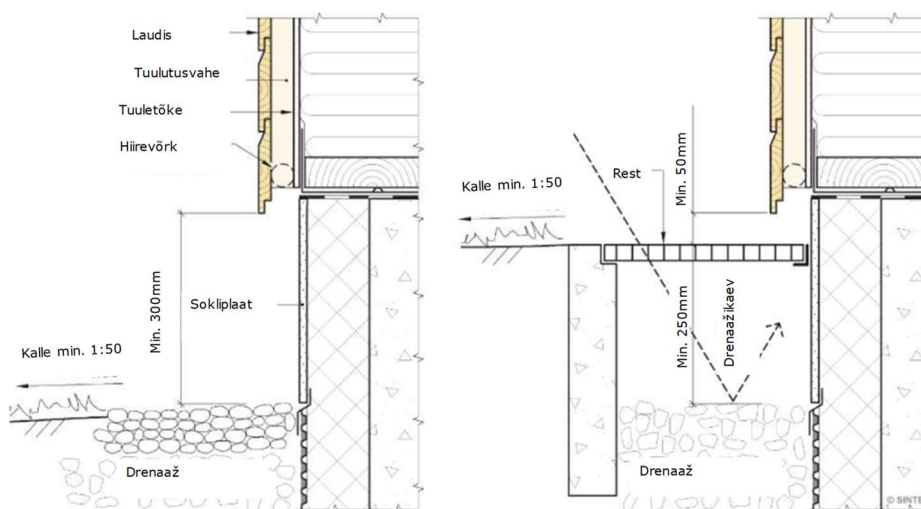
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Kirjanduse ülevaade käsitleb peamiseid piirdetarindite lahendusi, mis aitavad tagada pikemat tööiga. Ülevaade toob välja soovituslikud lahendused soklitele ja räästastele ning hoone seisukorra ja kasutusea määramise põhimõtted. Lisaks käsitletakse soovitusi puitkatuste tööea pikendamiseks ja uuringus käsitletud pinnaktete tüüpe. Samuti käsitletakse hoone tööea hindamist ISO 15686 standardi järgi.

2.1 Hoone peamised piirdetarindi lahendused tagamaks pikka kasutusiga

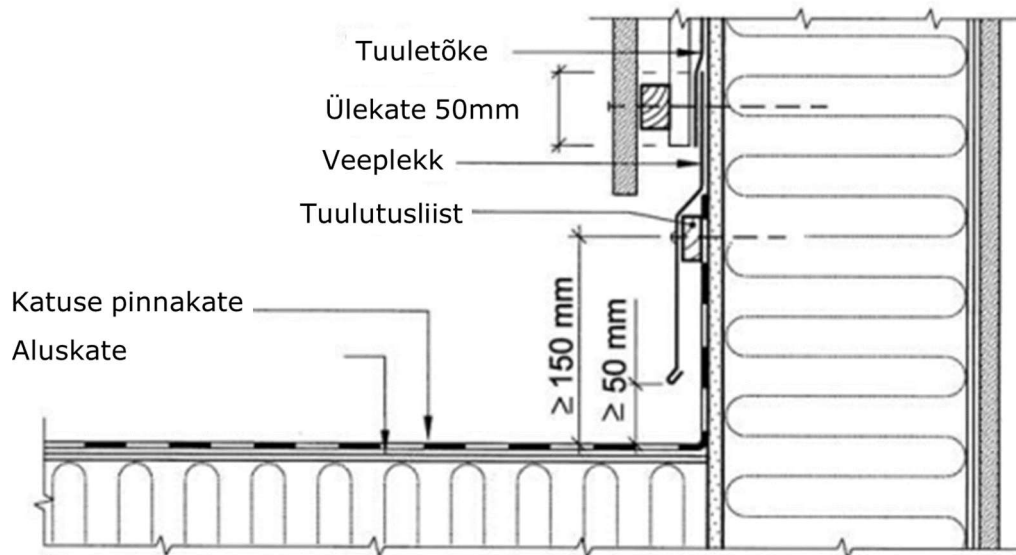
Puithoonete kasutus- ja eluea pikendamisel on tähtis roll arhitektuuri- ja projekteerimisotsustel: arhitektuuri poole pealt materjali ja pinnakatte valik ning sokli ja räästa olemasolu ning laiused. Projekteerimise poole pealt sõlmede lahendused, vee äravoolu lahendused ning täpsed kinnituste ja materjalide valikud.

Sokli sõlme lahendusel on suur mõju fassaadi kestvusele, kuna soklis on suur niiskuskoormus. Seetõttu peab sokli sõlme lahendus tagama, vee eemale juhtimise, välistades seeläbi püsiva niiskuse kogunemise ning vähendades kahjustuste teket.



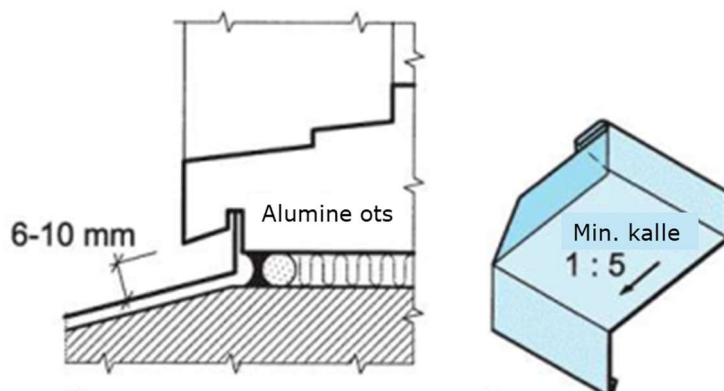
Joonis 1. *Byggforskserien* välja toodud minimaalsed sokli kõrgused

Soovituslik sokli kõrgus *Byggforskserieni* järgi on 300mm ja sokli alla on soovituslik teha ka drenaaži äravool. Üks võimalus vähendada sokli kõrgust visuaalselt on toodud välja Joonis 1. kus laudisest minimaalselt 50mm allpool on drenaaži rest, mis katab minimaalselt 250mm sügavust drenaaži kaevikut. See lahendus vähendab märkimisväärselt niiskuskoormusest laudise alumisele osale samas jättes alles visuaalselt madala sokli joone.



Joonis 2. Byggforskserien välisseina külje ja katuse ühendus sõlm

Joonis 2. sõlme puhul on välja toodud, et laudise kaugus katusepinnast peab jääma vähemalt 150mm kaugusele. Lisaks on vajalik piisava laiusega 40mm (rist tuulutuse puhul) tuulutusvahe ning veepleki piisav ülekate(>40mm) nii välisseinale üleskeeratud katusekatte kui ka tuuletõkkega. Vajalik on ka veepleki ja tuuletõkkekanga ülekatted teipida.



Joonis 3. Byggforskserien välja toodud minimaalsed akna pleki kalded.

Akende puhul peab kindlasti olema veeplekk mille minimaalne kalle on 1:5, vastavalt Joonis 3. Lisaks soovitatakse tungivalt kõigi horisontaalsete puitelementide katmist plekiga.

Räästaste laiusteks soovitatakse enamasti üle 500mm. Puitfassaad, olenemata pinnaviimistluse kvaliteedist, on eriti tundlik niiskuse suhtes, mille äärmuslikumad väljendused on kaldvihm ja maapinnalt ülesse pritsiv vesi. Puidukoja juhendite järgi peaks puitfassaadi pikema eluea tagamiseks olema sokli kõrgus >300mm ning räästa laius >600mm. [4]

Puuinfo juhendi järgi räästad kaitsevad välisvoodrit vihmavee eest tõhusalt, selleks peaks aga nende laius olema vähemalt 600mm, viilu otstes 400mm. [5]

WoodExteri projektis [6] toodi välja viis põhimõtet puitfassaadi kasutusea pikendamiseks.

1. Sokli kõrgus olgu vähemalt 300mm
2. Puitmaterjalide otsad tuleb kaitsta kas korkimise, hermeetikuga või sõlme lahenduste kaudu
3. Puitpinnad tuleb projekteerida selliselt, et oleks tagatud nende ventilatsioon ja kiire kuivamine
4. Tuleb valida sellised pinnakatted, milliseid saab korrapäraselt hooldada vastavalt nende hooldusvajadusele
5. Materjali ristlõike valimisel tuleks vältida teravaid servi, mis võivad kahjustuda kergelt kas värvi koorumise või mehhaaniliste kahjustuste tõttu.

2.2 Puitkatused

Puitkatuste eluiga Muinsuskaitseameti juhendi järgi on eeldatavalt 40-60 aastat. Traditsiooniliselt on puitkatuseid tõrvatud, soovituslik hooldussagedus on 4-5 aastat. [7]. Norra *Byggeforskerien* järgi on puidust sindelkatuste eeldatav kasutusiga vähemalt 30 aastat, kui kasutatakse survetöödeldud puitu või muid hästi vastupidavaid puitmaterjale. Sõltumata puidu tüübist, muutuvad puidust katused lõpuks halliks. Puidust katusematerjale saab kasutada ainult kalkkatustel. Katuse kalle peaks olema vähemalt 22°. Puidust katusesindleid ja laudu toodetakse tavaliselt männipuidu südamikust või survetöödeldud puidust. Termo- või keemiliselt muudetud puit omab samuti head vastupidavust. [8] Tähtis on puitkatuseid järjepidevalt puhastada lehtedest ja okstest, et vetikad ja samblikud ei saaks katustel hakata kasvama ning niiskus kogunema. Peale puhastamist on soovituslik töödelda katuse pinda naatriumperkarbonaadi ja vee lahusega, et takistada taimiku taastumist. Kaitsmaks edasise kahju eest oleks vaja katus katta õlibaasil kattega näiteks vasknaftenaat metallis sisaldusega 3-4% ja vasktoaat metallisisaldusega 1-2%. Samuti peab laudise tagune konstruktsioon olema piisava tuulutusega [9].

2.3 Hoone eluea määramine

Hoonete indikatiivne projekteeritav eluiga EVS EN 1990:2002 järgi on 50 aastat, kui pole määratud teisiti. See käsitleb endas ennekõike kandekonstruktsioone, aga ka katuseid ning fassaade, mis kaitsevad kandekonstruktsioone. Katuste ja fassaadide puhul ei kehti see pinnakatetele. Kandekonstruktsioone kaitseb väliskeskkonna eest fassaad, eriti tähtis on see puithoonete puhul, kus fassaadi taga peitub kohe kas

puitkarkass või liimpuit postid, mis on arvestatud sisekeskkonda ning pole eritöölusega. Puitkarkass hoonete puhul võivad niiskusest tulenevad kahjustused kiiresti kahjustada kandvat osa. Sellest tulenevalt peab fassaadi eluiga koos hoolduse või väljavahetamisega olema sama pikk. Terasel ja betoonil on arvestatud pinnakatte vähenemine aastas vastavalt keskkonnaklassile. Puidul on kasutusklassid vastavalt väliskeskkonnale, kus seda kasutatakse, (EN ISO 12944-5:2019 (EN 335:2013)). Ilmastikutingimustele avatud puidu kaitsekiht, ehk pinnakate ja selle vajalik paksus määratakse kasutusklassidele ka välisilme ja keskkonna klassifikatsioonide alusel (EN 927-1:2013, EN 927-2:2022). Näiteks valitakse betoonkaitsekiht sarruse kaitsmiseks korrosiooni eest vastavalt keskkonnaklassidele (EN 13369:2018). Pinnakatte kasutusega on võrdsustatud hooldussagedusega, ehk kuni pinnakate vajab hooldust [10]. Vastavalt standardile ISO 15686-8:2008 tuleb kasutusea määramisel arvestada mitmete tegurite mõjuga, nagu materjali valik (pinnakate), projekti terviklikkus, teostuse kvaliteet, sise- ja väliskliima tingimused, kasutustingimused ja hooldus.

Üheks viisiks hinnata hoone välisosa eluiga on faktormeetod, ISO 15686 standardi järgi. Selle meetodi järgi saab anda esialgse kasutusea hinnangu kindlale komponendile, põhinedes referents kasutuseal, mis on kindlalt defineeritud element, mille kasutusega on testitud katsetega. Referents kasutusega korrutatakse faktoritega läbi, et saada teada komponendi kasutusega. Faktorid kätkevad endas väliskeskkonda, milles komponent asub, pinnakatet ning puidu liiki ja selle kaitstust välismõjude eest. Tabel 1 on välja toodud arvutuses käsitletavat tegurid. Standard ISO 15686 pakub meetodikaid eluea hindamiseks, mis aitab teha teadlikke otsuseid hoolduse, renoveerimise või asendamise kohta, et tagada hoonete jätkuv vastavus kasutajate vajadustele ja regulatiivsetele nõuetele.

Tabel 1. ISO 15686 tegurid

A*B*C*D*E*F*G		
Tegur	Teguri kategooria	Töös kasutatud tegurid
A	Pinnakate	Materjali valik, pinnakate või aluspind näiteks kaitsmata vineer väliskeskkonnas
B	Disaini tase	Projekti terviklikkus
C	Töö teostamise tase	Ehitusvead
D	Sisekliima	-
E	Väliskliima	Väliskliimast tingitud kahjustused nt. puistu
F	Kasutustingimused	Kasutusest tingitud kahjustused
G	Hooldustase	Piisav hooldussagedus vastavalt vajadusele

2.4 Puithoonete seisukorra hindamine

Eestis on varem uurinud ajalooliste puithoonete seisukorda Paul Klõšeiko, Tõnis Agasilla ja Targo Kalamees. Nende poolt läbi viidud puitkorterelamute tehnilisele seisukorrale ja renoveerimisvajadustele keskendunud uuringus kasutati statistilise uuringu meetodit, mis hõlmas 133 maja neljas linnas. Ulatus tingis välise uuringu lähenemisviisi, mida toetas spetsiaalselt koostatud küsimustik, mis hindas kõikide hoonete väliselt nähtavaid osi. Hiljuti põhjalikult renoveeritud hooned jäeti välja, kuna need poleks andnud piisavalt andmeid. Kahjustusi hinnati 1-5 punkti skaalas: hävinenud/katkine 1 kuni 5 väga heas korras/pole nähtavaid kahjustusi. Hoone hinnatavad osad jaotusid järgnevalt: sokkel, fassaad, vihmavee äravool, korsten. Tulemuste poole pealt leiti, et põhilisi probleeme põhjustavad katkised, valesti ehitatud või hooldamata vihmaveesüsteemid, kokku oli mitte toimivaid vihmaveesüsteeme 72% objektidest. Probleeme oli ka täielikult renoveeritud hoonetel. Lisaks anti soovitusi renoveerimiseks. [11]

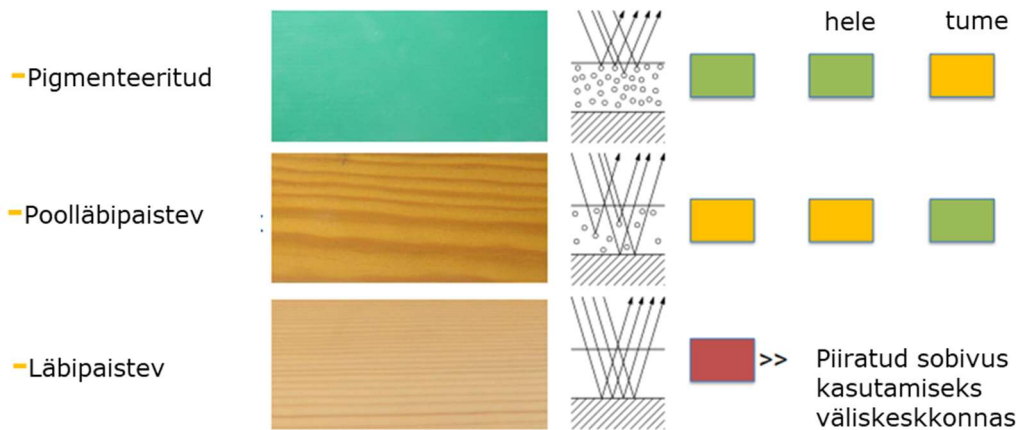
Joshua Rabke magistritöös võrreldi 101 objekti vananemist päristingimustes eluea ennustus mudeli tulemustega, objektid olid üle Euroopa. Kahjustuste ulatust uuriti nuga puidu sisse lüües. Kategoriad, mis pandi objekti kohta kirja jaotusid järgnevalt: Tüüp, asukoht, kaitstus, puu liik, pinnakatted, avatud lõike ots ja tuulutatus. Saadud tulemuste põhjal saadi eeldatav kasutusiga kasutades CLICKdesign tööriista. Tulemusena saadi teada, et tööriist ei suuda veel täpselt hinnata elemendi tegeliku kasutusiga ja tihti hindas kasutusiga üle. [12]

Soomes tehtud uuring, mis käsitles peale 1950 a. ehitatud puitmaju näitas, et 82% hoonetel oli tõsiseid niiskuskahjustusi, mis tulenesid madalatest soklitest, lekkivatest vihmavee süsteemidest ja katusekatte leketest. Tulemused kinnitavad, et konstruktsioonid, mis puutuvad otseselt kokku maapinnaga või asetsevad sellele liialt lähedal, on suuremas ohus. Samuti on kindlaks tehtud, et fassaadi kaitsvad räästad on olulised puitkonstruktsioonide säilimisel. Ebapiisavad ettevalmistused niiskusest tingitud mahu muutusteks, näiteks paisumisel ja kuivamisel tekkivateks lõhedeks, on samuti probleemiks. Lisaks sellele võivad soklis ning põrandas tekkida kapillaarsed veeliikumised ja niisketes piirkondades puudulik hüdroisolatsioon mis põhjustab niiskus kahjustusi. Siiski on säilinud sajanditevanuste puitkonstruktsioonide näol näha, et puit võib säilida töötlemata, kui seda on piisavalt väliskeskkonna mõjude eest kaitstud. [13]

2.5 Puitfassaadikatete pinnakatted

Hooldussagedus

Pinnakatte tüüp



Joonis 4 käsitletud pinnakatete tüübid [14]

Poolläbipaistvad ja läbipaistvad pinnakatted (Joonis 4 keskmine ja alumine pinnakate). Läbipaistvate pinnakatete puhul ei ole ühte kindlat tegurit, mis viiks pinnakatte kahjustumiseni. Põhiliseks teguriks on pinnakatte nakkuvuse kaotamine puiduga, puidu fotodegradatsioon UV kiirguse tõttu. Lisaks on veel muid tegureid nagu sademed. Lisaks võib kahjustuda pinnakate ise kui see on tundlik UV kiirgusele [15]. Joonis 5 on välja toodud poolläbipaistva pinnakatte seisukorrad erinevates hooldus staadiumites: ei vaja hooldust, vajab hooldust, et säilitada algne olukord ning vajab renoveerimist(parandamist) ehk siis vana pinnakatte ja vajadusel puidu pealmine kiht tuleb eemaldada.



Joonis 5 Poolläbipaistva pinnakatte hooldusvajaduse staadiumid [14]

Pigmenteeritud pinnakatted (Joonis 4 ülemine pinnakate). Pigmenteeritud pinnakatete alla liigitati sellised pinnakatted kus puidu pinda ei olnud näha. Pigmenteeritud pinnakatete paksuseks arvestati 30-60um. Värvide toimivus sõltub nende keemilisest koostisest ja füüsikalistest tingimustest kus need paiknevad. Värvid koosnevad erinevatest komponentidest, mida segatakse erinevatel kujudel. Pigment moodustab värvide värvi, tagab hõõrdumiskindluse ja ei lahustu. Sideaine on polümeerne aine ja seob pigmendiosakesed substraadiga. Lahustid muudavad värvid vedelamaks, et neid oleks lihtne peale kanda. Biotsiidid on tavaline lisand värvides ja neid kasutatakse hallituse kasvu vähendamiseks [16].

Immutatud pinnakatted: Peitsid koosnevad samast kolmest peamisest koostisosast nagu värvid(pigmenteeritud pinnakatted): pigment, lahusti ja sideaine, kuid peamisteks koostisosadeks peitsides on pigmendid (või värvaine) ja lahustid, sideainet on peitsides vähe. Puidupeits lisab värvi puidule, kuid jätab aluspinna nähtavaks. Enamasti ei anna peitsid pinnale kelmet ega kilet. Kuna, aga sideained on samast kelmet moodustavate sideainete klassist, mida kasutatakse värvides ja lakkides, siis tekib mõningal määral kelmet pinnale [17]. Sügavimmutus tähendab enamasti puidu töötlemist monomeerse lahusega mis difundeerub puidu rakuseina, millele järgneb polümerisatsioon. Puidu omadused paranevad rakuseina paksenemise tõttu, tehes puidu vastupidavamaks vähendades mahukõikumist ja bioloogiliste kahjustuste esinemist. [18]

Töötlemata puit: puit millel ei olnud näha, et seda oleks millegagi töödeldud. Töötlemata puitfassaad on hooldusvaba, kuna hooldussageduse intervalliks on pinnakatematerjali välja vahetamine. Soovituslik on kasutada südamikupuidust tehtud laudist. Puit muutub niiskusega kokku puutel 3-4 kuu jooksul halliks. [19]

2.6 Hoonete hooldus ja hooldussagedus

Hoonete pikaajalise kestvuse ja esteetilise välimuse säilitamiseks on oluline teada ja rakendada õigeid hooldusstrateegiaid, mis on määratletud vastavalt kasutatud materjalidele ja pinnakatetele. Peatükis käsitletakse hoolduse põhimõtteid, mis on seatud projekteerimisetapis ja mille eesmärk on tagada hoonete vastupidavus ja pikk eluiga. Siin esitatud juhised ja soovitused põhinevad konkreetsetel materjalidel ja pinnakatetel, pakkudes selget ülevaadet nii regulaarse hoolduse kui ka erakorralise sekkumise vajadusest erinevates tingimustes.

Tabel 2. *Byggforskserien* hooldussagedus vastavalt pinnakattele

Hooldusmeetmed	Intervall, aastad
Peitsitud puidu üle peitsimine (koos/või ilma vask immutuseta)	3
Pigmenteeritud peitsi üle peitsimine (koos/või ilma vask immutuseta)	6
Puidu värvimine (koos/või ilma vask immutuseta)	9
Autoklaavis immutatud puidu õlitamine	15

Norra juhendis *Byggforskserien* (Tabel 2) välja toodud hooldusintervall vastavalt puidu pinnakattele. Pigmenteeritud pinnakattele on arvestatud üle värvimine 9a jooksul, peitsi puhul jääb see 3-6 aasta vahele. Kõige pikaajalisema hooldusvälbaga, 15a on autoklaavis õliga immutatud puidu üle õlitamine.

Tabel 3. Fassaadide ja rõdude hooldussagedus Grüll ja Tscherne 2013

Pinnakatte läbipaistvus/paksus	Toon	Kaitstus	Kalle	Hooldussagedus, aastat
Immutus, läbipaistev peits, paksus 0-30 µm	hele	kaitstud	vertikaalne	3
			horisontaalne	2
		kaitsmata	vertikaalne	1-2
			horisontaalne	1
	tume	kaitstud	vertikaalne	3-4
			horisontaalne	2
		kaitsmata	vertikaalne	2
			horisontaalne	1-2
Poolläbipaistev peits, paksus 30-60 µm	hele	kaitstud	vertikaalne	5
			horisontaalne	3
		kaitsmata	vertikaalne	2
			horisontaalne	1
	tume	kaitstud	vertikaalne	7
			horisontaalne	4
		kaitsmata	vertikaalne	3
			horisontaalne	2
Läbipaistmatu/pigmenteeritud pinnakate, paksus 30-60 µm	hele	kaitstud	vertikaalne	kuni 15
			horisontaalne	7
		kaitsmata	vertikaalne	10
			horisontaalne	5
	tume	kaitstud	vertikaalne	12
			horisontaalne	6
		kaitsmata	vertikaalne	8
			horisontaalne	2-4

Fassaadide ja rõdude väliuuringus toodud hooldusintervallide järgi on läbipaistmatu/pigmenteeritud pinnakate tunduvalt pikema kasutuseaga kui poolläbipaistvad ja läbipaistvad peitsid, vaata Tabel 3. Lisaks kestavad mõnevõrra kauem ka heledat tooni pigmenteeritud pinnakatted, kuna temperatuuri muutused päikese käes ei ole nii suured.

Puithoonete ja puidust fassaadide hooldus käib nõrgima lüli järgi. Hooldussageduse sättimine hoone madalaima lävega elemendist on oluline. See võtab kasutusele ennetava lähenemisviisi. Keskendumine konstruktsiooni kõige haavatavamatele osadele osutub ka pikas perspektiivis kulutõhusaks. Sagedasemat hooldust vajavate elementide regulaarne hooldamine hoiab ära väiksemate probleemide eskaleerumise kapitaalremondiks, pikendades seeläbi konstruktsiooni eluiga ja tagades selle toimivuse ja ka esteetilise välimuse.

2.7 Puit ja selle kasutamine väliskeskkonnas

Puidu kasutamine väliskeskkonnas on seotud orgaanilisest materjalist tulenevate väljakutsetega arvestades puidu loomulikku vastuvõtlikkust mitmesugustele keskkonnateguritele nagu niiskus, UV-kiirgus ja bioloogilised kahjustajad, sealhulgas seened ja putukad. Niiskus mõjutab oluliselt puidu toimivust ja eluiga väliskeskkonnas. See tuleneb puidule omasest hügroskoopsusest, puit imab raku seintesse vett kuni 30% puidu kuivkaalust, peale mida salvestub vesi rakkudesse ja nende vahele. Risk bioloogilisteks kahjustusteks hakkab samuti 30% niiskus sisalduse juures [20]

Madalama niiskusega välisõhus hakkab niiskus puidust välja kuivama. Kuna puidu kuivamiskiirus on ebaühtlane võib see hakata põhjustama struktuurseid probleeme, nagu kõverdumine, lõhenemine ning pragunemine.

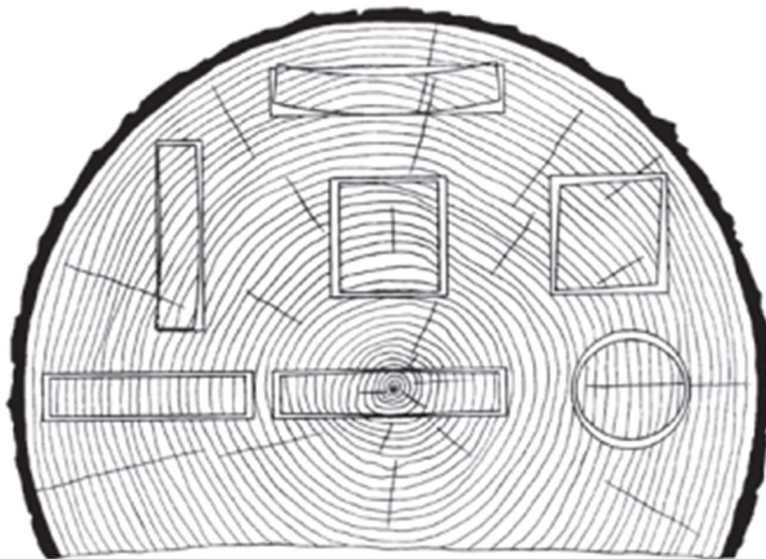
Ajalooliselt on Põhja-Euroopas levinud puidu kasutamine fassaadimaterjalina suuresti tänu selle laialdasele kättesaadavusele. Korrapäraselt hooldatud puitfassaadi pikale elueale annavad tunnistust Norra iidset puitkirikuid ja Bergeni ajaloolised hooned, vaata Foto 1.



Foto 1. 300 aasta vanune puithoone(Bellgården) Bergenis, autor Bahnfreund

Kasvurõngaste orientatsioon puidus on puitfassaadide vastupidavuse ja välimuse seisukohalt oluline, erinevate kasvurõngaste suunade mahumuutused on välja toodud Joonis 6. Vertikaalsete kasvurõngastega veerandsaetud puit pakub paremat stabiilsust, väiksemat kõverdumist ja paremat niiskuskindlust, vaata Joonis 7. Selliselt lõigatud puidul nakkub pinnakate paremini ja seeläbi väheneb pinnakatte pragude tekke, mis on fassaadi elua pikendamiseks oluline [21]. Puidu valimisel väliseks pinnakatteks on

oluline läbi mõelda sobivad pinnakatted ja insenertehnilised lahendused, mis aitaksid vältida niiskusest tingitud kahjustusi ja pikendada puitkonstruktsioonide eluiga.



Tasapinnaliste, ruudukujuliste ja ümmarguste ristlõigete iseloomulik mahukahanemine ja paindumine vastavalt kasvurõngaste suunale. Tangentsiaalne mahukahanemine on kaks korda suurem kui radiaalne.

Joonis 6. Puidu mahumuutuste näide vastavalt kasvurõngaste suunale saagimisel [21]



Joonis 7. Radiaalselt (vasakpoolne) ja tangentsiaalselt (parempoolne) saetud puitlaudis pärast 33-kuud väliskeskkonnas [22]

2.8 Tänapäevane puitarhitektuur

Kaasaegses arhitektuuris kasutatavad lahendused võivad mõnikord ohustada puitfassaadide pikaealisust ja terviklikkust. Mõned konkreetset arhitektuursed valikud, mis võivad puitfassaade negatiivselt mõjutada:

Liiga lühikesed räästad ei kaitse fassaadi piisavalt vihma ja lume eest. Selline kaitse puudumine võib põhjustada suurenenud kokkupuudet niiskusega, mis on puidu lagunemise, hallituse kasvu ja puitfassaadi üldise halvenemise peamine tegur. Tänapäeval on mõnel poole levinud küüni moodi majad „barn house style“ mis enamasti on puit fassaadiga ja ilma räästata, näidisenä Foto 2.



Foto 2. „Barn house“ stiilis hoone [23]

Madal sokkel ei pruugi puitfassaadi piisavalt maapinnast kõrgemale tõsta, muutes selle vastuvõtlikumaks pritsiva vihma, lume kogunemise ja maapinna niiskuse suhtes. See võib põhjustada fassaadi alumise osa niiskuse suurenemist, kiirendades puidu mädanikku ja seente kasvu. Antud objektil (Foto 3) on nii maani sokkel kui ka naturaalne töötlemata puit katus kus lisaks on horisontaalne pind mis saab eriti palju niiskuskooormust. Niiskuskooormust lisab ka ketiga vihmavee äravoolu süsteem.



Foto 3. Töötlemata puitkatuse ja fassaadiga elumaja Leedus [24]

Kaasaegsed konstruktsioonid, mis ei võta piisavalt arvesse vihmavee ärajuhtimist, võivad põhjustada fassaadi liigset märgumist. Korralikult projekteeritud ja hooldatud vihmaveerennid ja vihmaveetorud on vee hoonest eemale juhtimisel üliolulised. Ebapiisav drenaaž võib põhjustada pikaajalist kokkupuudet niiskusega, põhjustades veekahjustusi.



Foto 4. Ilma räästata ja soklita puhkemaja Venemaal [25]

Foto 4 oleva näite puhul on ilma räästata katus ja maani fassaad. Lisaks on otse fassaadi vastas taimestik, mis pikendab fassaadi kuivamisele kuluvat aega märkimisväärselt ning koos puistult tuleneva bioloogilise materjaliga on hea alus vetikate, sambliku ja lõpuks mädaniku kasvuks.

Kaasaegsed esteetilised eelistused võivad kalduda loodusliku või minimaalselt töödeldud puidu poole, mis on ilmastikumõjude, UV-kahjustuste ja bioloogilise lagunemise suhtes tundlik. Antud objekti puhul (Foto 5) on fassaadiks hele, täiesti töötlemata laudis, lisaks pole akendel ega ustel veeplekke, mille tõttu on nende ümbruse eluiga piiratud. Hoonel puudub ka sokkel ja räästas.



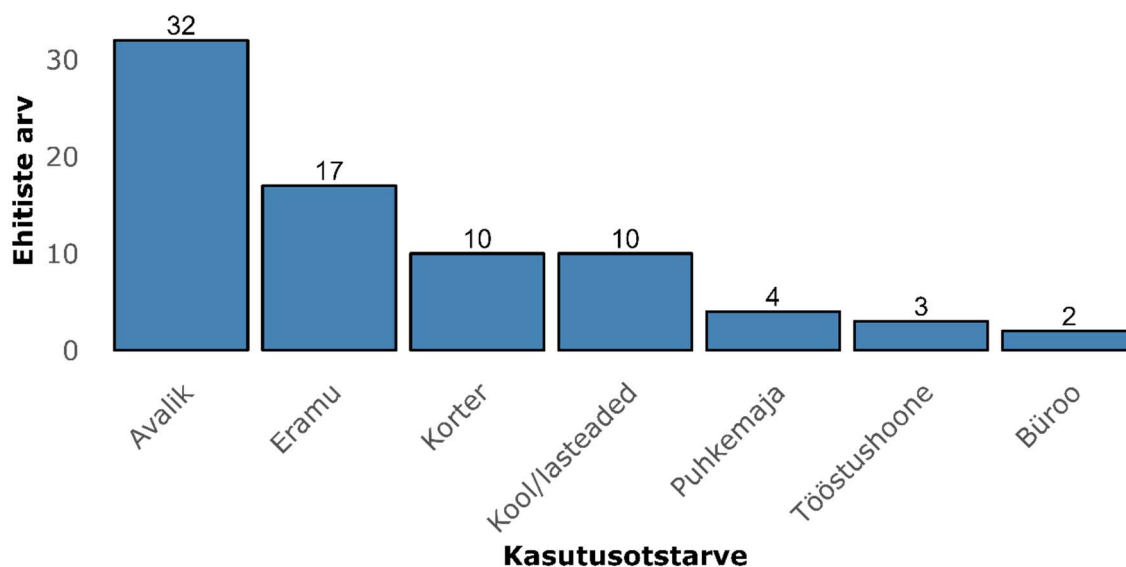
Foto 5. Töötlemata puitfassaadiga puhkemaja Tšehhis [26]

3. METOODIKA

Lõputöö selles osas on välja toodud uurimistöö metoodika. Valitud hooneid külastati fotomaterjali saamiseks. Saadud materjali põhjal hinnati nii mitte töötavaid, kui ka toimivaid arhitektuurseid ja insenertehnilisi lahendusi, keskendudes eelkõige niiskustehnilisele toimivusele. Mittetoimivate lahenduste puhul määrati kindlaks kahjustuste tüüp, põhjus, suurus ja ulatus ning kategoriseeriti need kõigi vaadeldud hoonete lõikes. Lisaks käsitletakse küsimustiku metoodikat, mis saadeti külastatud hoonete kasutajatele, selgitamaks välja nende rahulolu hoonete ajas muutunud välimusega ning samuti teada saada nende hooldusharjumuste ja teadmiste kohta.

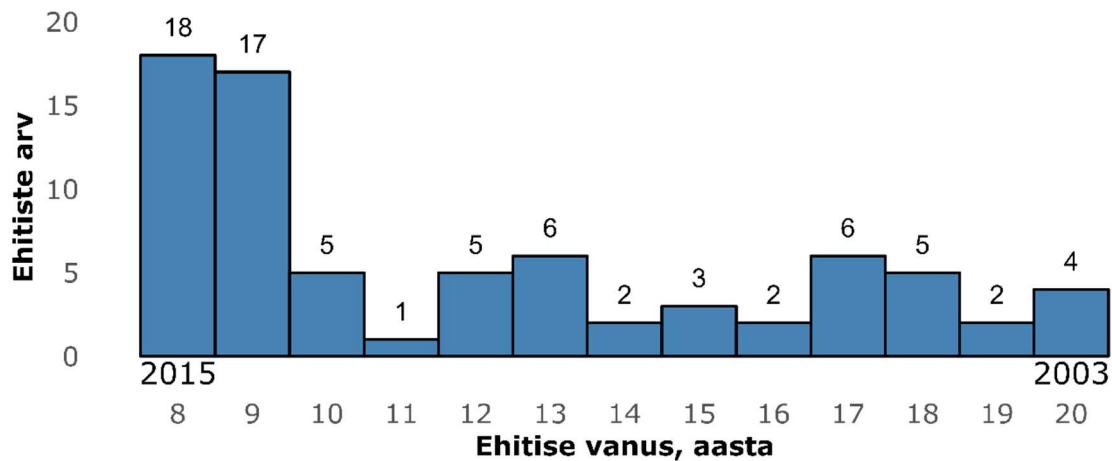
3.1 Hoonete valimi kirjeldus

Külastati 78 objekti. Objektide vormi näide on toodud Lisa 1. Allpool on välja toodud graafikud, mis kirjeldavad hoonete valimit, vastavalt kasutusotstarbele (Joonis 8), vanusele (Joonis 9) ning asukohale (Joonis 10). Enim levinud fassaadikatte tüüp, 44 juhul 78-st, oli puitlaudisega ja pigmenteeritud pinnakattega.



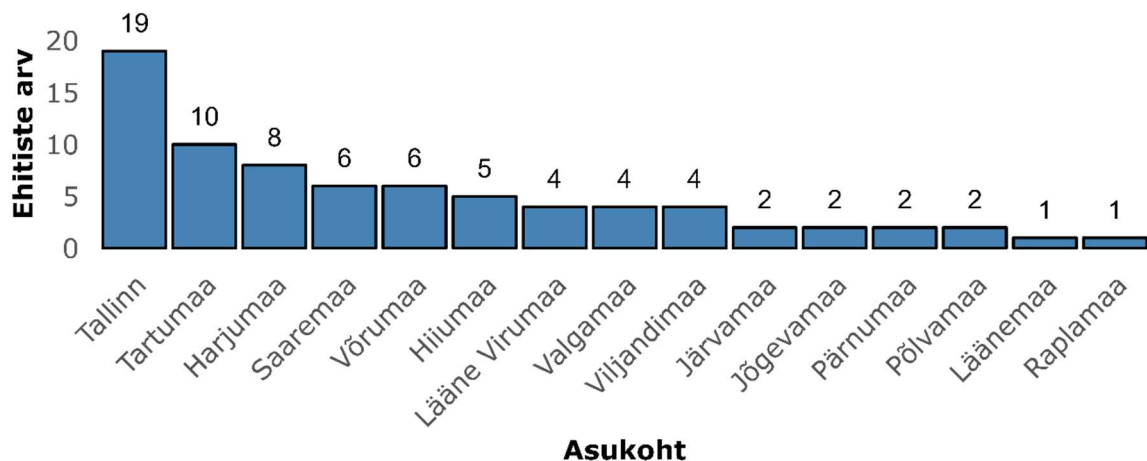
Joonis 8. Ehitiste jaotus kasutusotstarbe järgi

Joonis 8. on toodud hoonete jaotus kasutusotstarbe järgi. Enamus hooneid on avalikus kasutuses (32). Need on erinevad kogukonna keskused, muuseumid, restoranid ja muud avalikud ruumid, mis on külastatavad kõigile huvilistele. Eramuid on 17 ning sinna alla kuuluvad ühepereelamud ja suvilad. Korterelamuid ja haridusasutusi on mõlemaid 10.



Joonis 9. Ehitiste vanuseline jaotus

Joonis 9. illustreerib hoonete vanuse jaotust valimis, vanemate kui 8-aasta vanuste hoonete puhul. Tahtliku valiku tõttu jäeti välja uuemad ehitised, kuna kahjustuste esinemine hakkab kõige rohkem välja paistma just 10a hoonete juures, millest enamusel on siis kätte jõudnud esmane hooldusvajadus. 35 ehk umbes pooled hooned on jõudmas hooldusvajadusele ja 41 on selle ületanud. Kõige levinum vanuserühm on 8-9-aasta vanused hooned (35). Vanusevahemikus 10-20 on hooneid 41, iga aasta kohta on neid vahemikus 1-6.



Joonis 10. Hoonete jaotus maakonniti

Enamus objekte on Tallinnas (19), Tartus (10) ja Harjumaal (8), sest enamus uusi hooneid on ehitatud nendes haldusüksustes. Saaremaal ja Hiiumaal on 11 objekti. Elamutest ehitati ajavahemikus 2017-2023 umbes 70% Harjumaale. Mitteelamutest ehitati Harjumaale 25-30%. [27]

3.2 Ehitiste vaatlus

Uuringu eesmärkide saavutamiseks viidi läbi puitehitiste vaatlus. Vaatluseks valiti „Aasta Puitehitise“ konkursil osalenud hooned, mis on ehitatud enne 2015. aastat, eeldades, et need on projekteeritud ja ehitatud parimaid tavasid järgides ning neil on hästi dokumenteeritud ehitusjärgsed tingimused. Antud valiku põhjendus seisneb selles, et hiljem kui 2015 aastal ehitatud hooned ei ole eelduste kohaselt jõudnud esmase hooldusvajaduse ikka ja seepärast ei täida antud töö eesmärki: välisilme muutuse hindamist ajas. Teiselt poolt piirdus valik sellega, et „Aasta Puitehitise“ esimene konkurss toimus aastal 2003. Konkursile olid kaasatud 1997-2002 aastal ehitatud hooned. Valikus oli 94 objekti, millest külastati 78 objekti, mis olid vanuses 9-21 aastat, vanim külastatud hoone on ehitatud aastal 2002.

Külastustest saadud infot kasutati puithoonete ehitamise ja hooldamise parimate tavade hindamisel. Selle uuringu meetoodilises raamistikus oli oluline aspekt ehitusjärgsete ja selle uurimuse tarbeks tehtud fotode võrdlev analüüs, et illustreerida vananemist ja kahjustuste progresseerumist aja jooksul. Külastusaegse seisukorra võrdlemiseks varasemaga koguti vaadeldavatest hoonetest ehitusaegset fotomaterjali internetist ja arhitektidelt. Eesmärk oli pildistada üles kahjustused ja üldvaade ning võrrelda praegust seisukorda valmimisjärgse seisukorraga. Pärast külastust koostati iga hoone kohta üksikasjalik kirjeldus ja igale hoonele vastavad vormid, mis saadeti koos küsitlustega hoonete omanikele või kasutajatele. See lähenemine aitas võrrelda hoonete vananemist aja jooksul ja pakkuda küsitlusele vastajatele võrdlevat perspektiivi. Pildistati Fujifilm X-A2 kaameraga, kaugvaadete puhul kasutati statiivi, osade objektide puhul kasutati halli värvikaarti. Pildid tehti RAW formaadis ja pärast töödeldi „Silkypix“ tarkvara abil.

3.3 Puitfassaadide pinnakatete hooldussageduse arvutamine

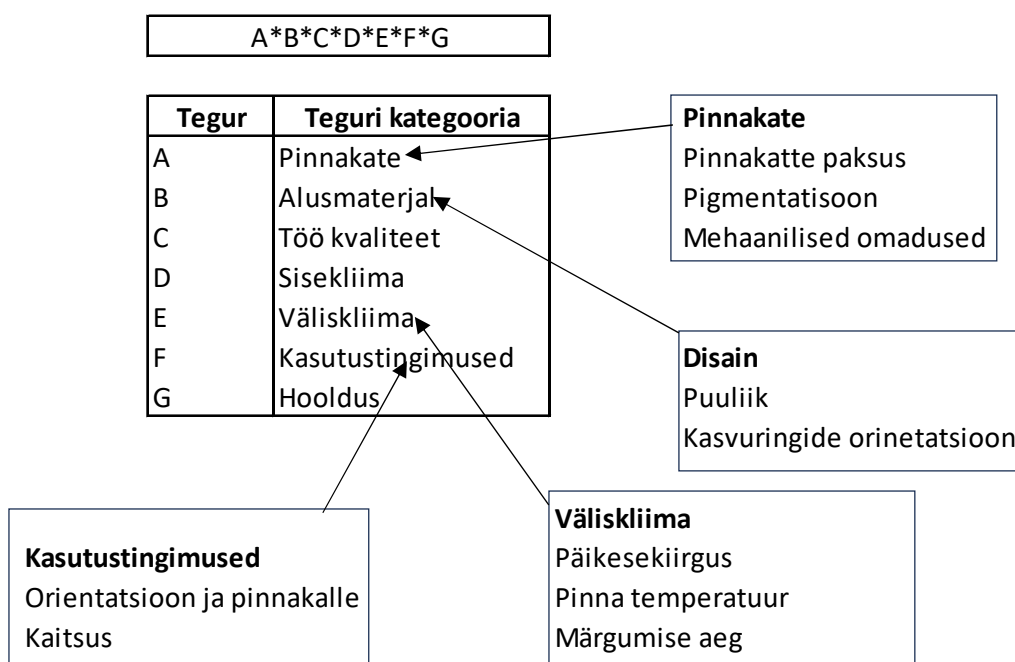
Eesmärk oli täiendada külastatud puithoonete visuaalset hindamist arvutuslike hooldussagedustega ja võrrelda tulemusi tegeliku pinnakatete seisukorraga vastavalt hoonete vanusele. Töös kasutati SERVOWOOD-SLP lähenemist (Holzforshung, Austria). Modelleerimise kaudu, mille tulemusel leiti hooldusvajadus (intervall), väljavahetuse ja lagunemise aeg. Leitud parameetrid ja neile vastavad kordajad on välja toodud Joonis 11

Osa SERVOWOOD projektist, mille eesmärgiks oli anda ligikaudne hinnang töödeldud puitfassaadide elueale. Eluea piiriks arvestatakse aega, mille jooksul tuleb kanda peale uus pinnakate. Katsetati 52 erinevat pinnakatet kahe erineva pinnakatte paksusega,

mis kanti 5 erineva Euroopas enima kasutatava okas- ja lehtpuu peale. Neid näidiseid katsetati 5 erineval testimis kohal üle Euroopa, lisaks testiti ka laboritingimustes kunstlikult vanandades [10]. Kasutati ISO 15686-8 meetodit, kus teguritele antud kindlad parameetrid on välja toodud Joonis 12.

Parameeter	Väärtus	Kordaja
Pinnakatte paksus	~50µm	1
	~30µm	0.83
Pigmendi sisaldus	Ja	1
	Ei	0.67
Puu liik	Kuusk	1
	Mänd	0.93
Kasvurõnga suund	45°	1
	0°	0.57
	90°	0.78
Päikesekiirguse intensiivsus	0.6 W/m ²	1
	1.2 W/m ²	0.84
Ilmakaare suund	Põhi	1
	Lõuna	0.75
Pinnakatte kalle	90°	1
	45°	0.71
	0°	0.84
Kaitstus	Kaitstud	1
	Kaitsmata	0.85

Joonis 11. Servowoodi projektis leitud tegurid



Joonis 12. ISO 15686 tegurid ja nende kasutamine Servowoodi projektis hooldussageduse leidmisel

3.4 Kahjustuste kategoriseerimine

Kategoriseerimise protsessis kirjeldati külastatud ehitisi, neil tuvastatud kahjustusi, nende põhjusi, ulatust ja suurust. Samuti kirjeldati ehitistel tuvastatud toimivaid lahendusi. Kirjeldus toimus süsteemselt tabelit täites, kus kõik kirjeldatud parameetrid olid toodud eraldi tulpadesse, mida oli võimalik hiljem andmetöötluse tarkvaras R üheks suureks andmebaasiks luua. Süsteemse andmebaasi põhjal toimus andmeanalüüs, mille kaudu leiti enim esinenud kahjustuse tüüp, kahjustuste suurused ning korrelatsioon vanuse, pinnakatte tüübi, esinemise asukoha vahel. Põhilised kategooriad on ära toodud Tabel 4. Täielik kategoriseerimise tabel on toodud ära Lisa 2. Kategoriseerimistabel.

Tabel 4. Kategooriakriteeriumide kirjeldus

Kategoriseeritav parameeter:	Parameetri kirjeldus:
Nimi	Objekti nimetus
Kahjustuse tüüp	Kahjustuste tüübid, mis leiti antud hoonete valimis: hallitus, liigniiskus, pinnakatte koorumine, pinnakatte pragunemine, puidu pehkimine, puidu pragunemine, sambliku kasv, vananemine, veepleki söövitamine, vetikate kasv. Iga kahjustusetüüp on spetsiifiline ja viitab teatud kahjustusele, ühel hoonel ja elemendil võib neid olla mitu.
Kahjustuse põhjus	Antud kategoorias tuuakse välja arvatavad põhjused, mis on täheldatud kahjustuste tüüpide põhjusteks. Näiteks: katuselt voolav vesi, veepritsmed, keemilised reaktsioonid, UV-kiirgus, kaitsmata horisontaalsed pinnad ja ebapiisav hooldus. See aitab mõista kahju tekitavaid tegureid.
Kahjustuse asukoht	Määratakse ära, kus hoonel kahjustus asub, näiteks fassaadil, soklil, räätal või aknaraamil.
Kahjustuse ulatus	Hinnatakse antud kahjustuse tüübi ulatust ühel pinnal, mis on kvantifitseeritud protsentides kogu elemendi pinnast, näiteks vetikate kasvu on 20% posti või põhja poolse fassaadi kogupinnast. See lähenemisviis võimaldab hinnata kahjustunud pinna osakaalu kogu fassaadist.
Kahjustuse suurus	See on kahjustuse kvalitatiivne hinnang, liigitades selle järgmiselt, kas kahjustatud on ainult pinnakate, puit, või mõlemad ning puit ja pinnakate kahjustuseta.
Ehitusaasta ja vanus	Tuuakse välja hoone ehitusaasta ja vanus.

Asukoht	Märgitakse iga hoone asukoht maakonna järgi.
Räästa pikkus	See kategooria hindab hoonete räästa mõõtmeid jagatuna kolme kategooriasse lai (üle 600mm), kitsas (<600mm) ning puudub. Räästa pikkus võib olla määravaks teguriks hoone fassaadi kaitsmisel erinevate ilmastikutingimuste, eriti vihmavee eest.
Sokli kõrgus	Sisaldab kategoriseerimisel kolme võimalust: puudub, madal(<300mm) ja kõrge(>300mm). Sokli kõrguse liigitamine on oluline, et mõista, kui hästi on hoone kaitstud maapinnalt tuleneva niiskuse ja veega seotud probleemide eest. Puuduva sokli puhul puutub fassaad otse maapinnaga kokku, see toob kaasa suurema niiskuskooormuse fassaadi alumisele osale. Lisaks tähendab puuduv sokkel ka väiksemat kaitset pritsmevee eest.
Fassaadikatte tüüp	See hõlmab hoone fassaadi materjali tüüpi, näiteks vertikaal-, diagonaallaudis ja roovitus, mis arvestati kokku laudisena, ning siis eraldi mitte laudisest fassaadikatted, milleks olid: liimpuit, vineerplaadid, CLT plaadid, palgid ning sindlid.
Pinnakattematerjal	Määratleti vaatluse teel puidust fassaadikatet kattev pinnakattematerjal. Valikus olid järgnevad variandid: immutatud pinnad on need, kus peal ei ole pinnakatte kilet ning on ainult puitu imbunud kaitsekiht, sinna alla läksid peitsitud ja raudsulfaadiga töödeldud pinnad. Läbipaistva ning poolläbipaistva materjali puhul on pinnakatte kelme olemas, aga puidu pind paistab läbi. Pigmenteeritud pinnakatte puhul ei paista puidu pinda läbi ja eeldatakse, et see on paksusega 30-60 µm. Viimaseks oli pinnakatte puudumine.
Vihmavee süsteemi olemasolu	Kas hoonel on vihmavee süsteem või see puudub.
Probleemid vihmaveesüsteemiga	See kategooria hõlmab hoone vihmaveesüsteemiga seotud probleeme, milleks on ummistused või lekked.

Elemendi suund ilmakaarte suhtes	Näitab ära elemendi suuna ilmakaarte suhtes. Hoone erinevad küljed puutuvad kokku erinevate keskkonnatingimustega. Näiteks saavad lõunapoolsed fassaadid rohkem päikesevalgust, mis põhjustab sagedasemad UV-kiirguse kahjustusi, samas kui põhjapoolsed küljed võivad kannatada rohkem niiskuse käes aeglasema kuivamise tõttu. Selle tõttu märgiti ära kindla kahjustuse suund ilmakaarte suhtes.
ISO tegurid	Iga kahjustuse tüüp klassifitseeritakse ISO 15686-8 standardis toodud tegurite järgi. Nendeks teguriteks on: A- materjali valik, B- projekteerimine, projekti terviklikkus, C- ehitustöö kvaliteet, D- sisekliima mõju, E- väliskliima mõju, F- kasutustingimused ja G- hooldus.
Hoone kasutusotstarve	Määratakse hoone kasutusotsarve, leiti järgmised tüübid: Avalikus kasutuses hoone, eramu, korter, kool/lasteaed, puhkemaja, tööstushoone ning büroo

Andmed kategoriseeriti struktureeritud vormingus, kasutades selleks Microsoft Excelit. Kategoriseeritud andmeid kasutati RStudios analüüsi tegemiseks ning vastavalt rakendati kategoriseerimise rolli uurimistulemustes. Andmete visualiseerimine saavutati graafikute loomisega, kasutades R paketti ggplot2. Selline lähenemine võimaldas analüüsida puithoonete seisundit, kombineerides kvalitatiivseid hinnanguid kvantitatiivse andmeanalüüsi ja visuaalse esitusega, andes ülevaate puithoonete kahjustustest. Objektide kahjustuste tabelis toodi välja kahjustused iga objekti kohta ning nende kirjeldus, näide on toodud Lisa 4.

3.5 Küsitluse meetodika

Küsitluse eesmärgiks oli koguda hoone elanikelt ja kasutajatelt vahetut teavet hoone fassaadide hoolduse kohta. Küsitlusega koos saadeti ka objektide ankeet koos võrdluspiltidega, välja toodu näide Lisa 5. Küsitluse vorm on välja toodud Lisa 3. Alustuseks koguti andmeid hoone aadressi kohta, nendes hoonetes elamise või töötamise kestuse kohta. Seejärel uuriti elanike rahulolu fassaadi seisukorraga ja fassaadi hooldusjuhendi olemasolu, et teada saada kas hoone kasutajad on üldse teadlikud hoone hooldussagedusest. Küsitluses uuriti ka teostatud hoolduste tüüpe, nende sagedust ja kas on üldse hoonet väljast hooldatud. Lisaks hinnati kasutajate rahulolu fassaadi vananemisega skaalal 1-5 ehk siis 1 vastab sellele, et kasutaja pole üldse rahul ning 5, et kasutajad on väga rahul. Edasi uuris küsimustik hoolduse praktilisi aspekte, paludes vastajatel täpsustada tehtud hooldustööde liike ja nende sagedust.

Tulevasi hooldusplaane uuriti, et hinnata kas hooldustöid tehakse vastavalt vajadusele või hooldusjuhendi järgi.

Et mõista arusaamu ja tegelikkust, küsiti, kuidas tegelik hoolduse sagedus vastab vastajate ootustele. Lisaks paluti vastajatel jagada oma tähelepanekuid fassaadi vananemisprotsessi kohta ja tuvastada vastupidavusprobleemide võimalikud põhjused. Lisaks küsiti arvamust mis põhjusel on hoone fassaadiga probleeme. Küsimustik lõppes valikulise küsimusega võimalike tehniliste täiustuste kohta fassaadi pikaealisuse suurendamiseks. Küsitluse koostamisel sain abi WoodLCC küsimuste baasist.

1. Hoone aadress

2. Kui kaua te olete hoones elanud/töötanud/kasutanud? Valiku vastused: <2 aastat, 2-5 aastat, 6-10 aastat, 11-15 aastat, 16-20 aastat.

3. Kui rahul te olete fassaadi praeguse tehnilise seisukorraga (laguneb/ei lagune)? Vastamine skaalal 1 (Ei ole rahul) kuni 5 (Väga rahul).

4. Kas hoone fassaadil on hooldusjuhend? Valikus oli: jah, ei, ei tea.

5. Milliseid hooldustöid te olete fassaadil teostanud? Valikus vastused: ei ole teostanud hooldustöid, fassaadi värvinud, parandanud, välja vahetanud detaile, vihmavee süsteemi puhastanud.

6. Kui tihti te olete teostanud fassaadi hooldustöid? (eelmisses küsimuses valitud hooldustöö sagedus, kui valisite mitu, siis lisada lühim) Valiku vastused: 2-3 aasta tagant, 4-5 aasta, 10 aasta, harvemini, üldse ei ole.

7. Millal te plaanite (uuesti) fassaadi hooldada? Valiku vastused: 1 aasta pärast, 2-3 aasta pärast, 4-5 aasta pärast, ei ole plaanis.

8. Kas hooldustöid olete teostanud vastavalt vajadusele või plaanipäraselt? Valiku vastused: Vastavalt vajadusele, plaanipäraselt(vastavalt hooldusjuhendile), plaanipäraselt(vastavalt oma äranägemisel).

9. Kuidas vastab fassaadi hooldamise vajaduse sagedus teie ootustele? Valiku vastused: liiga sage, eelduste kohane, harvemini kui eeldatud.

10. Milliseid tooteid olete kasutanud hoolduseks/värvimiseks (kui olete varem hooldanud)? Valiku vastused: ei tea, sarnane algsele lahendusele, kasutasin erinevat lahendust

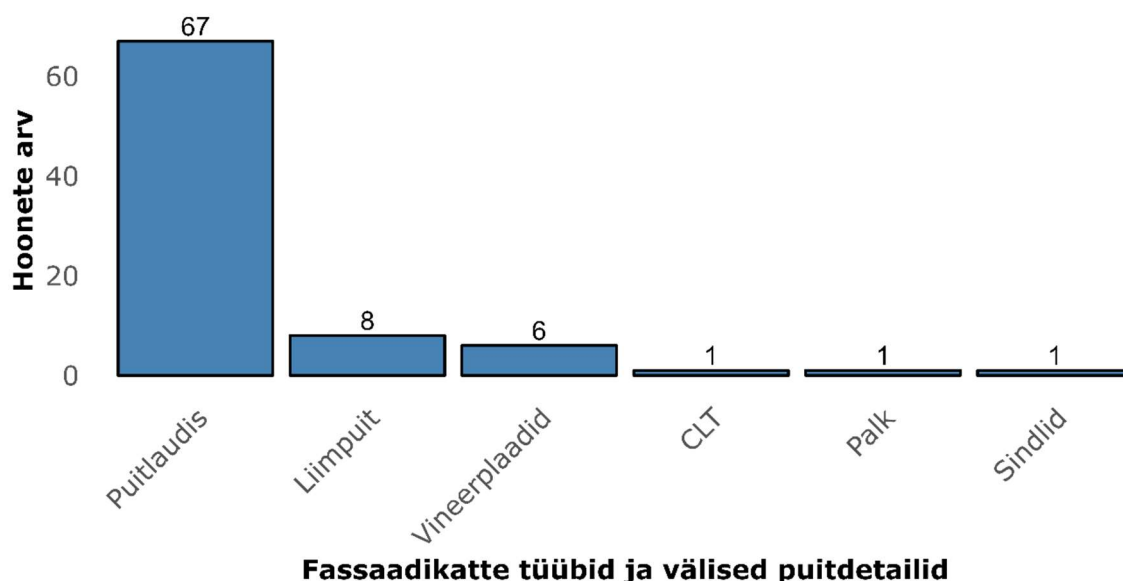
11. Kuidas hindate fassaadi muutust ajas? (Arvestades vananemisega) Valiku vastused: olen rahul praeguse olukorraga, häirib fassaadi ilme muutus ajas, esinevad nähtavad välised kahjustused.

12. Kui teie hoone fassaadi kestvusega on probleeme, siis mis põhjusel? Valiku vastused: arhitektuur, materjal, viimistlus, tehniline lahendus, ehitustööde teostus, väliskliima mõju, ebapiisav hooldus.

13. Kas fassaadi tehnilisel lahendusel on võimalik midagi muuta, et selle ajaline kestvus pikeneks? (valikuline)

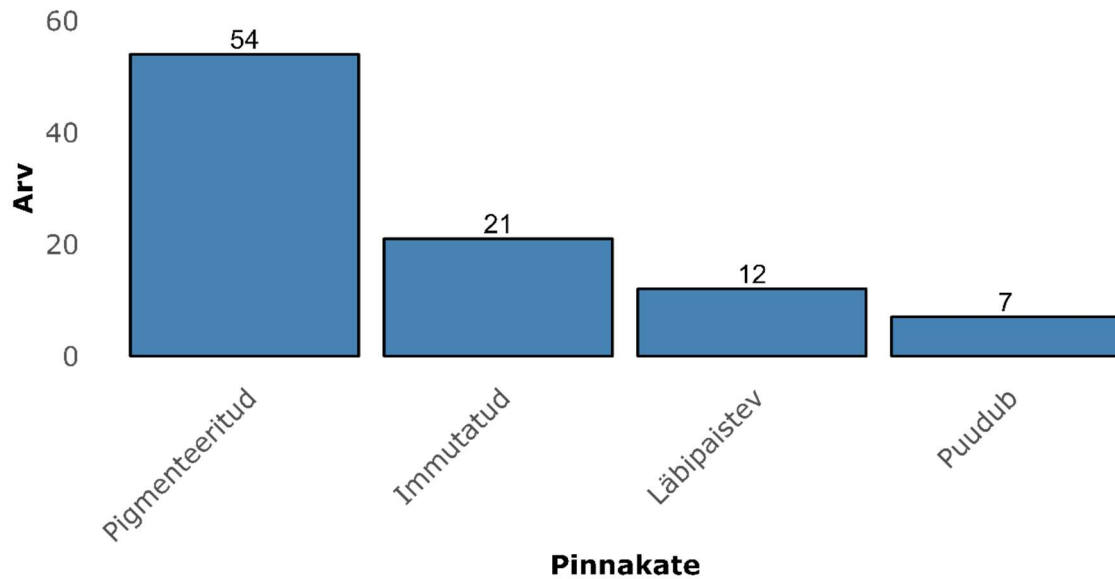
4. TULEMUSED

Tulemuste osas esitatakse tulemused 78 külastatud hoone kohta, keskendudes peamiselt fassaadidele ja nende seisukorrale ning samuti välistele puitdetailidele nagu ilmastikule avatud postid ja talad, puidust aknaraamid ja katusekatted. 78-st külastatud hoonest enamusel, 67 hoonel, oli fassaadikattematerjaliks puitlaudis, vaata Joonis 13. Viies hoones esinesid kombinatsioonid mitmest fassaadikattematerjalidest, nagu näiteks vineerplaadid või liimpuitdetailid, mis esinesid koos puitlaudisega. Kolmel hoonel, kus ei olnud fassaad kaetud täielikult puidust kattematerjaliga, esinesid puitelemendid, mille seisukorda hinnati. Puitlaudist esines enamasti vertikaalse laudise kujul, kuid oli ka diagonaal ning horisontaallaudist. Liimpuitfassaade oli 8 hoonel, kus liimpuit esines kandvate postide ning taladena välisfassaadil. Ülejäänud viiel külastatud puithoonel olid fassaadikatteks sindlid (1 hoone), katmata palkseinad (1 hoone), vineerplaadid (4 hoonet) või kombinatsioon laudisest, vineerplaatidest ja liimpuitdetailidest (2 hoonet). Puidust katusekate esines 5 hoonel, millest kolmel oli puitlaudkatus, ühel sindelkatus ja ühel puitplaatkatus.



Joonis 13. Fassaadikatted ja välised puitdetailid

Puidust fassaadikatted, aknaraamid ja välised puitdetailid olid enamasti kaitstud (puidu)pinnakaitsevahendiga ehk pinnakattega. Sellest tulenevalt tuli enamusel juhtudel hoonete seisukorra ja ajas muutuse hindamisel keskenduda pinnakatete seisukorra hindamisele. Külastatud hoonetel esines kolme tüüpi pinnakatteid: pigmenteeritud, läbipaistev või poolläbipaistev ja immutatud puit. Edasine analüüs keskendub eelkõige nende pinnakatete hooldussagedusele ja neil tekkinud kahjustustele. Pinnakatete seisukorra hindamisel võeti võrdluseks iga tüübi hooldussagedused, mis on toodud kirjanduse ülevaates peatükis 2.6 Hoonete hooldus ja hooldussagedus, ja hoonete vanus külastuse ajal.



Joonis 14. Pinnakatete esinemissagedus

Pinnakatetest esines enim pigmenteeritud pinnakatet, mida oli 54 hoonel, vaata Joonis 14. Immutatud puidust fassaadikatteid või väliseid puitdetailide tuvastati 21 hoonel. Immutatud pinnakatetest olid enamasti peitsitud pinnad ning kahel korral oli fassaad raudsulfaadiga töödeldud. Läbipaistva või poolläbipaistva pinnakattega välised puitpinnad esinesid 11 hoonel. Seitsmel hoonel olid fassaadikatte või välised puitdetailid pinnakatteta. 14 hoonel esines mitut tüüpi pinnakateteid, enamasti olid puidust aknaraamid või välised liimpuidust detailid läbipaistva või immutuse tüüpi pinnakattega ja puidust fassaadikattematerjalil pigmenteeritud pinnakattega.

4.1 Hoonete fassaadi pinnakattematerjalide seisukord

Külalastatud hoonete puitfassaadide seisukorda hinnati peamiselt arvutuslike hooldussagedustega võrdlemisega mis on toodud Tabel 5

SLP (Service Life Prediction) meetodika on tööriist, mida kasutatakse ehituskomponentide hooldusvajaduste ja kasutusea prognoosimiseks. See ei peegelda otseselt tegelikke tingimusi, kuid annab väärtuslikke viiteid. Silmapaistvad näited on läbipaistva kattega puitkatused ja aknad, samuti kooruma hakanud fassaadivärv.

Tabel 5 kasutusiga

Pinnakatte paksus	Kalle	Pinnakatte tüüp	Kaitse ilmastiku eest	SLP	referents
30µm, 2 kihti värvi	Vertikaalne	läbipaistev	kaitstud	4	7
			kaitsmata	3	7
		poolläbipaistev	kaitstud	6	7
			kaitsmata	5	7
		pigmenteeritud	kaitstud	10	12
			kaitsmata	8	12
50µm, 3 kihti värvi	Vertikaalne	läbipaistev	kaitstud	5	7
			kaitsmata	4	7
		poolläbipaistev	kaitstud	7	7
			kaitsmata	6	7
		pigmenteeritud	kaitstud	12	12
			kaitsmata	10	12
100µm, aknaraam	Vertikaalne	läbipaistev	kaitstud	8	7
			kaitsmata	7	7
		poolläbipaistev	kaitstud	12	7
			kaitsmata	9	7
		pigmenteeritud	kaitstud	20	12
			kaitsmata	17	12

Referents pigmenteeritud pinnakate 30-60 µm, tume, kaitstud ja vertikaalne, 12 aastat
Referents poolläbipaistev pinnakate 30-60 µm, tume, kaitstud ja vertikaalne, 7 aastat
[28]

Pinnakatte tööeks on arvestatud selle hooldusvajadus. Pigmenteeritud pinnakatete arvutuslik hooldussagedus on 8-12 aasta. Aknaraamid on läbipaistva pinnakatte puhul arvutuslik hooldussagedus 6-9 aastat, pigmenteeritud pinnakatete arvutuslik hooldussagedus aknaraamide puhul pigem ei kehti kuna paksemal pinnakattel tekivad kahjustused puidu mahumuutustest. Läbipaistvatel pinnakatetel on hooldussagedus 3-5 aastat. Antud tulemused langevad kokku ka Tabel 3 välja toodud hooldussagedustega.

Hooneid vanuses 8-9 aastat oli kokku 35. Neist 24 hoonel oli pigmenteeritud pinnakattega fassaadikattematerjal või välised puitdetailid. Pigmenteeritud pinnakatte hooldussagedus on vertikaalse pinna puhul 8-13 aastat vastavalt Tabel 3, ehk nendel hoonetel on esmane hooldusvajadus alles ees või just saabumas. Hoonete küllastamisel aga tuvastati, et nendest omakorda 11 hoonel esines pinnakatte koorumine või pragunemine. See tähendab, et 46% hoonetest, mis alles peaksid jõudma pigmenteeritud pinnakatte esmase hoolduseni, on selle juba enneaegselt ületanud.

Enneaegset pigmenteeritud pinnakatte pragunemist või koorumist võib põhjustada mitu tegurit. Üheks teguriks võib olla liiga õhuke kiht pinnakatet. Pinnakatte kihi paksusest sõltub selle vastupidavuse päikese UV kiirgusele ja ilmastikuoludele üldiselt. Hooldussagedus 8-12 aastat on määratud paksusele 30-60 µm, vaata Tabel 5.

Näiteks immutatud puidul pinnakatte kihi paksusega 0-30 µm on hooldussagedus ainult 1-4 aastat vastavalt Tabel 2. Hooldussagedust võivad mõjutada ka välised tegurid nagu näiteks pindadel lähestikku asuvad horisontaalsed elemendid. Nendeks elementideks võivad olla näiteks veeplekid, mis ebapiisava õhuvähe puhul suurendavad pinnakatte pinna märgumist vee pritsimise tulemusel. Lisaks on horisontaalse laudise puhul niiskuskooormus laua ülemisele servale suurem kui laudise küljele.

Vanuses 10 ja enam aastat oli 30 hoonet 41-st pigmenteeritud pinnakattega. Nendest 17-l esines pinnakatte koorumine või pragunemine. Seega 57% hoonetel on pigmenteeritud pinnakattel tekkinud kahjustus pärast esmase hooldusvajaduse ületamist. 43%-l 10 ja enam aasta vanustel hoonetel ei tuvastatud pinnakatetel kahjustusi. Hooldusvajaduse ületanud hoonete pinnakatete kahjustuse esmaseks võimalikuks põhjuseks võib olla muidugi ebapiisav hooldus. Lisaks sellele ka kombinatsioon eelmainitud põhjustest, nagu liiga õhuke pinnakate või välised tegurid, mis tööiga lühendavad.

Läbipaistvate ja poolläbipaistvate pinnakatete hooldussagedus varieerub 3-7 aasta vahel. See tähendab, et kõikidel külastatud hoonetel, kus fassaadikatematerjal või välised puitdetailid on kaetud läbipaistvate ja poolläbipaistvate pinnakatetega, on hooldusvajadus juba ületatud. Läbipaistvate ja poolläbipaistvate pinnakatetega hooneid oli kokku 11 ja neist 10-l esines pinnakatte koorumine, ehk siis 91% hoonetel esines pinnakattel kahjustusi.

Ainult 5 hoonel, 6% kogu külastatud hoonetest, puudusid kahjustused. Neil kõigil oli vertikaalne laudis ja pinnakatteks oli pigmenteeritud pinnakate.

Hoonete seisukorra hindamisel vaadeldi pinnakatete tüüpe (peitsitud, pigmenteeritud ja läbipaistev ning poolläbipaistev) ka aknaraamid. Hoonetel, kus esines aknaraami pinnakattel kahjustusi, oli 7 hoonel aknaraam läbipaistva või poolläbipaistva ja 6 hoonel pigmenteeritud pinnakattega. Kõikidel hoonetel kus oli läbipaistev või poolläbipaistev pinnakate esines aknaraamid pinnakatte kahjustus.

4.2 Pinnakatete ajas muutuse hinnang läbi näidete.

Pinnakatete ajas muutuse hindamisel tuuakse välja näited erinevate hoonete tüüpidest ja võrdlus piltidest ehitusjärgsest ja pildistamise aegsest seisukorrast. Piltide võrdlus illustreerib üldist muutust ajas ja detailsed pildid leitud kahjustustest annavad võimaluse kahjustuse võimaliku põhjuse tuvastamiseks.

Pigmenteeritud pinnakattega fassaadid:

Valmimisaasta 2011

Pildistamise aeg 2022, hoone vanus 11a.



2022, valge pigmenteeritud pinnakattega fassaadi hooldussagedus on 8-12 aastat.

Läbipaistva pinnakattega fassaadil 3-7 aastat.



Joonis 15. 11 aasta vanune eramu, fassaadil kombinatsioon pigmenteeritud ja läbipaistvast pinnakattest.

Joonis 15. toodud hoonel tuvastati pinnakatte koorumist nii pigmenteeritud kui ka läbipaistva pinnakattega fassaadil. Valge pigmenteeritud pinnakate lõunapoolsel küljel on koorunud suure tõenäosusega päikese UV kiirguse mõjul. Koorunud läbipaistva pinnakattega fassaadil on puit muutunud hallikaks. Hoone on 11 aastat vana ja seega läbipaistva pinnakattega fassaad on hooldusvajaduse ületanud pea 2 kuni 3 kordselt. Valge pigmenteeritud pinnakattega fassaad, aga ainult mõne aasta. Vastavalt

kirjanduses toodule tähendab pinnakatte koorumine pikaajalist hooldusvajaduse ületamist ja pinnakate vajab väljavahetamist või renoveerimist [14]. Valge pigmenteeritud pinnakate ei oleks pidanud nii suures ulatuses kooruma, kuna alles jõudis esmase hooldusvajaduseni, küll aga oli see ootuspärane läbipaistval pinnakattel. Pigmenteeritud pinnakattega fassaadi saab edukalt renoveerida pinnakatte vahetamisega, kuid läbipaistva pinnakattega fassaad tuleb välja vahetada kui on soov esialgne ilme säilitada. Lisaks pinnakatte koorumisele tuvastati ida ilmakaare suunaga fassaadil vetikate kasv.

Valmimisaasta 2015

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 8a.



2023, halli pigmenteeritud pinnakattega fassaadi hooldussagedus on 8-12 aastat.



Joonis 16. 8 aasta vanune kortermaja, fassaad pigmenteeritud pinnakattega.

Arvestades, et Joonis 16 oleva hoone puhul on fassaad olnud kasutuses kaheksa aastat, peaks selle hoolduse aeg alles tulema, milleks on 8-12 aastat. Kuigi distantsilt (hoone pildistamise asukohast) on muutus ajas väike, siis lähedalt vaadates oli märgata kahjustusi. Alumisel vasakpoolsel pildil on näha pinnakatte peaaegu täielikku koorumist laudise ülemiselt servalt, madala nurga all pinnale mõjuva suurenenud niiskuskooormuse mõjul. Alumine parempoolne pilt näitab samuti kahjustusi vee äravoolu pleki juures, kus

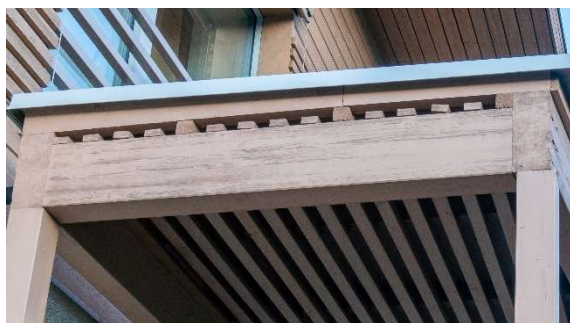
puudub õhuvahe ning sellest tulenevate vee pritsmete tõttu saab sealne laudis palju lisa niiskuskooormust.

Valmimisaasta 2014

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 9a



2023, pigmenteeritud pinnakattega fassaadi hooldussagedus on 8-12 aastat.



Joonis 17. 9 aasta vanune eramu, fassaad pigmenteeritud õhukese pinnakattega

Joonis 17. oleval hoonel on pigmenteeritud horisontaalne puitlaudisega fassaad, mis on praeguseks 9 aastat vana. Eramu piltidelt tuvastati enneaegne koorumine liiga õhukese kihi tõttu, horisontaalne laudis on hõõveldamata mis nõuab paksemat kihti ebaühtlase pinna tõttu. Just lõunapoolsel küljel on selgelt näha, et okste kohas on kate täielikult koorunud, ülejäänud ilmakaarte suhtes on pinnakatte olukord hea. Pinnakatte pragunemist ning koorumise algust on näha liimpuidu pigmenteeritud pinnakatte puhul. Jäi ebaselgeks, kas fassaadi laudise pinnakate oli mõeldud täielikult pigmenteeritud või poolläbipaistvana.

Läbipaistva ja poolläbipaistva pinnakattega fassaadid:

Valmimisaasta 2014

Pildistamise aeg 2022, hoone vanus 8a



2022 poolläbipaistva pinnakattega fassaadi hooldussagedus on 3-7 aastat.



Joonis 18. 8 aasta vanune kortermaja, fassaad poolläbipaistva pinnakattega

Joonis 18 oleval hoonel on aja jooksul hakanud pinnakate lõunapoolsel küljel suurte laikude kaupa kooruma. Pinnakatte koorumine näitab, et poolläbipaistva pinnakatte kasutamisega on ületatud ning kinnitab poolläbipaistva pinnakatte lühikest hooldussagedust. Vaatamata muude nähtavate kahjustuste puudumisele näitab kaitsekihi koorumine, et kate vajab tihedamat hooldust, et kaitsta laudist ja säilitada hoone esteetiline välimus. Lisaks on näha vähesel määral liigniiskust korruste vahelise veeparki juures, kus paistab olevat ebapiisav õhuvahetamine laudise ja korruste vahelise veeparki vahel.

Valmimisaasta 2015

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 8a



2023 immutatud pinnakattega fassaadi hooldussagedus on 1-4 aastat.



Joonis 19. 8 aasta vanune kortermaja, fassaad immutatud

Joonis 19. hoone põhjapoolsel fassaadil on immutatud pinnakate muutunud halliks. Lõunaküljel on muutunud fassaadi värvusest näha, et fassaadi pind on suure tõesäosusega hooldatud. Hoone vanus ja halliks muutumine kinnitab lühikest hooldussagedust. Lisaks tuvastati hoone põhjapoolsel küljel vetikate kasv. Lisaks vetikate kasvu soodustavale ilmakaarele asub samas suunas ka mõnekümne meetri kaugusel jõgi. Trepikojas olev tsementkiudplaat paistab välja selle poolest, et on hästi vastu pidanud.

2023, pigmenteeritud pinnakattega fassaadi hooldussagedus on 8-12 aastat.
Läbipaistva pinnakattega fassaadil 3-7 aastat.

Valmimisaasta 2015

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 8a



Joonis 20. 8 aasta vanune sadama hoone, fassaad immutatud ja seejärel üle värvitud pigmenteeritud pinnakattega

Joonis 20. oleval objektil ei leidunud kahjustusi, kuid võrreldes fassaadi praegust tooni ehitusjärgsega on näha, et algset poolläbipaistva pinnakattega fassaad on üle värvitud pigmenteeritud pinnakattega. Sellise tegevusega väheneb hooldussagedus märkimisväärselt.

Näited läbimõeldud objektidest:

a) Valmimisaasta 2014

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 9a



b) Valmimisaasta 2015

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 8a



Joonis 21. hästi säilinud hooned

Joonis 21a Piltidel olev saare-termopuit on hästi vastu pidanud, kuid märgatavalt kallim tava materjalist. On valitud väga vastupidav puit pinnakattematerjal ilma räästata ja madala sokliga hoone jaoks. Joonis 21b on vertikaalne pigmenteeritud laudis mida on vahepeal hooldatud, vähesel määral oli siiski näha lõunaküljel pinnakatte kahjustumist.

Naturaalse puidu vananemine:

Kaitsmata puitfassaadi eluiga on umbes 20 aastat sõltuvalt puidu liigist ja paksusest. Kaitsmata puitfassaad on hooldusvaba, kuna hooldussageduse intervalliks on pinnakattematerjali välja vahetamine.

Valmimisaasta 2006

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 17a



2023, töötlemata puidu hooldussagedus on väljavahetamiseni.



Joonis 22. 17 aasta vanune muuseumi hoone, fassaadiks töötlemata puitsindlid

Joonis 22. piltidel oleva hoone fassaadiks on töötlemata puitsindlid. Koheselt paistab välja, et hoonel puudub räästas, mis suurendab oluliselt vihmavee niiskuskooormust ning mõju fassaadi elueale. Lisaks põhjustab räästa puudumine vee otsest äravoolu mööda seinu, nagu on näha teise pildi tumedamatel ja niiskunud puitsindlitel. Kahjustustest tuvastati nii vetika kui ka sambliku kasvu, ning suure niiskuskooormusega asukohtades (sokli juures vett pritsimist soodustavates, näiteks terrass või munakivi hunnik) ka puidumädanikku. Hoone projektis toodud eluiga on teadmata, visuaalse hinnangu põhjal on eluiga lõppenud või lõppemas, millele viitab võimalik puidumädanik fassaadil.

Valmimisaasta 2014

Pildistamise aeg 2022, hoone vanus 8a



2022, töötlemata puidu hooldussagedus on väljavahetamiseni.



Joonis 23. 8 aasta vanune kontori hoone, fassaadiks töötlemata puitlaudis

Joonis 23. olev hoone on hea näide heast puidu naturaalsest vananemisest. Hoone fassaad on muutunud hallikaks. Ainsad nähtavad kahjustused on väljaulatuvate akna elementide alumises otsas olevad vetikad. Antud hoonel oleva suure ja kõrge fassaadi välja vahetamine selle lagunemisel on kulukas. Antud objekti puhul ei olnud omanik rahul fassaadi välimuse muutustega ajas ning potentsiaalsete fassaadi väljavahetamise kuludega.

Vineerfassaadide vananemine:

Valmimisaasta 2006



Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 17a



2023 Läbipaistva pinnakattega fassaadil on hooldussageduseks 3-7 aastat.



Joonis 24. 17 aasta vanune haldushoone, fassaadiks poolläbipaistva pinnakattega vineerplaadid
Joonis 24. on täielikult vineerist fassaadiga hoone, mis oli algselt kaetud poolläbipaistva pinnakattega, kuid pinnakate on aja jooksul peaaegu täielikult eemaldunud, vineeri spooni kihid on kohati delamineerunud. Vineeri kahjustuste poole pealt on näha märkimisväärses koguses vetikate kasvu, plaatide kinnituste eemaldumist ja plaatide kõverdumist. Poolläbipaistva pinnakatte eluiga, 3-7a on ületatud juba mõnda aega tagasi. Pinnakatte täieliku eemaldumise tõttu on kahjustunud vineerplaatidest fassaad, mis vajab nüüd täies mahus väljavahetamist.

Valmimisaasta 2006

Pildistamise aeg 2022, hoone vanus 16a



2022 Läbipaistva pinnakattega fassaadil on hooldussageduseks 3-7 aastat.



Joonis 25. 16 aasta vanune kooli hoone, puitosa fassaadiks poolläbipaistva pinnakattega vineerplaadid

Joonis 25. on näha, et kogu fassaad on saanud märkimisväärseid kahjustusi, milleks on hallituse teke, pinnakatte koorumine ja puidu pleekimine. Poolläbipaistva pinnakatte eluiga on ületatud ning sellest tulenevalt on kahjustunud ka all olev vineer. Pinnakatte märkimisväärse kahjustumisel kaob ära vineeri kaitse väliskeskkonna eest ning fassaadi puitmaterjal on avatud niiskusele ja UV kiirgusele ning sellest tulenevatele tagajärgedele, milleks antud juhul on hallitus ja puidu lagunemine.

Puidust katuste võrdluspildid

Puitkatuste seisukord varieerus suuresti ja enamusel oli kahjustuste ulatus suur. Suurimad kahjustused esinesid madala kaldega (<20 kraadi) puitlaudkatustega hoonetel. Madala kaldega puitkatusega hooneid oli kaks, kus ühel näitel oli 12 aasta jooksul puitkatuse vahetatud plekkkatuse vastu ja teisel juhul esines vihmavee lekkeid hoone sisse. Viimasel näitel oli jõudnud katusekate eluea lõppu, ehk vajab väljavahetamist. Suure kaldega puitlaudkatuste seisukorrad varieerusid, esines väljavahetuseni jõudnud katuseid kui ka hästi hooldatud ning suurte kahjustusteta katuseid. Võtmeteguriks paistis olevat hooldus ja laudade valik vastavalt kasvurõnga orientatsioonile (vaata ka peatükk 2.7). Kõikidel külastatud hoonetel, kus oli katusekatte materjaliks puitlaast oli pealne kiht jõudnud väljavahetamise vajaduseni. Vastavalt kirjandusele [7] on laastukatuste eluiga keskmiselt 30 aastat ilma hoolduseta, ühe kihi eluiga on ligikaudu 10 aastat. Sellest tulenevalt ei olnud laastukatused jõudnud eluea lõpuni, küll aga olid tööea lõpuni jõudnud nende pealmised kihid.

a) Valmimisaasta 2014



Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 9a



b) Valmimisaasta 2008



Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 15a



c) Valmimisaasta 2011



Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 12a



d) Valmimisaasta 2010



Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 13a



Joonis 26. Puitkatuste võrdluspildid

Esimese näite puhul Joonis 26a on puitlaudiskatus vähe muutunud, puitu kahjustavaid kahjustusi ei esinenud. Korstna ümber ja räästas leidis vetikate kasvu. Puitlaudis oli kitsas ja sellest tulenevalt deformatsioonid väikesed. Teisel näitel Joonis 26b, 15 aastane hoone, ebakorrapärane laudis katuseks, laiad lauad ja sellest tulenevalt suured deformatsioonid. Osaliselt on katus juba välja vahetatud. Väljavahetatud osale on ka puidukaitsevahend lisatud, originaalkatusel kaitsevahend puudus. Katuse eluiga on vähem kui 15 aastat. Kolmanda näite puhul Joonis 26c 12 aastane väliköök. Algselt madala kaldeline puitlaudiskatus on vahepeal väljavahetatud katusepleki vastu. Eluiga vähem kui 12 aastat. Viimaseks näiteks Joonis 26d laastukatus 13 aasta vanusel hoonel. Distsantsilt on muutus väike, ühtlaselt halliks muutunud. Lähedalt vaadates tuvastati pealmise kihi pehkimine nii harja juures kui ka räästas. Eeldatav eluiga on 30 aastat kirjanduse põhjal, aga osa sindlitest vajab juba väljavahetamist.

a) valmimisaasta 2005

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 18a

2023 töötlemata puitlaudise hooldussagedus on väljavahetamiseni.



b) valmimisaasta 2011

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 12a



Joonis 27. 18 aasta vanune restoran, katuseks töötlemata puitlaudis ja 12 aasta vanune suvila
Joonis 27a toodud 18 aasta vanune puitlaudiskatusega hoonel esinevad puitkatuste tüüpkahjustused. Kuigi hoonel on kõrge kaldega katus, on see märkimisväärselt kahjustunud. Laudis on aja jooksul paindunud ja sellest tulenevalt on välja tulnud kinnitusvahenditeks olevad naelad, lisaks on räästad mõnel pool pehkinud. Laudise peal on ka vetika ning sambliku kasvu. Nähtavalt on pehkinud ka roovitus räästa juures. Joonis 27b välja toodud 12 aasta vanuse suvila madala kaldelisel puitlaudis katusel on märkimisväärsed kahjustused, sambliku kasv ja puidu pehkimine räästa otstes ning vee lekkes läbi korstna läbiviigu ja mööda välisseina.

Liimpuit

Liimpuit avatud väliskeskkonnale oli kõigil külastatud hoonetel kaetud poolläbipaistva või läbipaistva pinnakattega. Kõigil juhtudel esines pinnakatte koorumine ja puidu märkimisväärne vananemine (puidu halliks värvumine) liimpuidul, mis oli täielikult avatud päikesekiirgusele ja sademetele. Otsese päikesekiirguse ja sademete eest kaitstud puidul märkimisväärseid kahjustusi ei esinenud. Mitmete objektide puhul täheldati seda, et liimpuit posti alumine ots ei olnud õhus, vaid allpool terrassi laudist või SBS pinnakatet. Ühe 9 aastase hoone puhul oli liimpuitpost, mis läks allapoole terrassi pinda, täielikult pehkinud (Joonis 35g).

Valmimisaasta 2014



Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 9a



2023 pigmenteeritud horisontaalse elemendi puhul on hooldussagedus 2-5 aastat.
Immutatud pinnakattel on hooldussageduseks 1-4 aastat.



Joonis 28. 9 aasta vanune restoran, fassaadiks pigmenteeritud laudis

Joonis 28. oleva objekti puhul olid vertikaalsed liimpuitelemendid täielikult läbi pehkinud. Lisaks läksid liimpuit postide otsad mitmes kohas ümbritsevast pinnast

allapoole ning alumise serva peale oli keeratud SBS (alumine parem poolne pilt), see loob suure riski puidu mädaniku tekkimisele ebapiisava niiskuse välja kuivamise tõttu.

Valmimisaasta 2008

Pildistamise aeg 2023, hoone vanus 15a



2023 poolläbipaistva elemendi puhul on hooldussagedus 3-7 aastat. Immutatud pinnakattel on hooldussageduseks 1-4 aastat



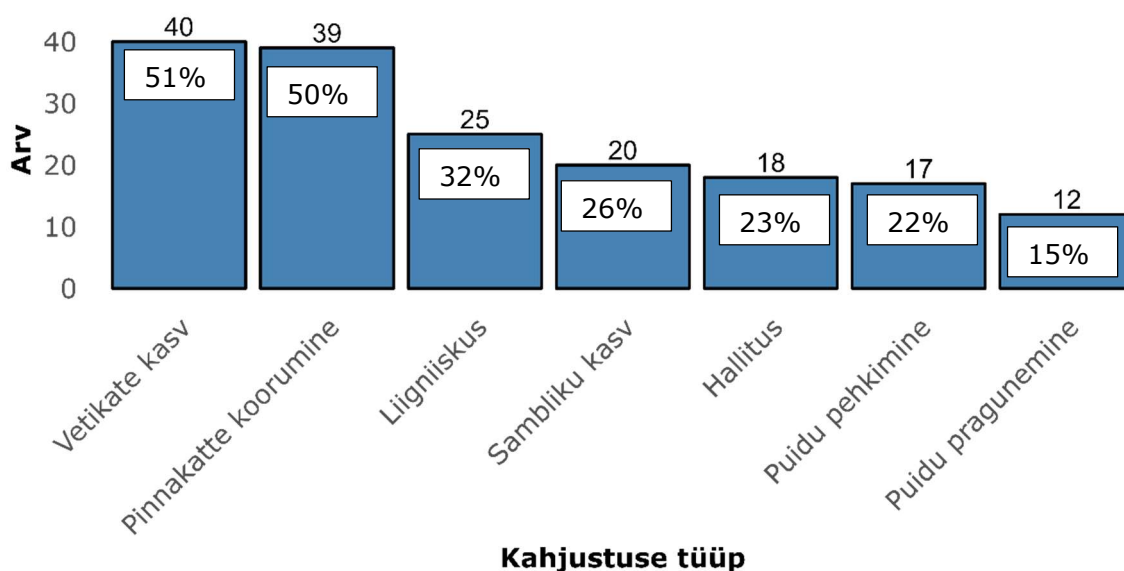
Joonis 29. 15 aasta vanune lasteaed, läbipaistva pinnakattega liimpuitelemendid

Joonis 29 oleva hoone pinnakate on suures ulatuses maha koorunud vähem kaitstud osade pealt, mis saavad suuremat niiskukoormust. Lisaks lähevad liimpuit postid terrassi tasapinnast allapoole, mis suurendab puidumädaniku riski. Liimpuidul oli immutatud või läbipaistev pinnakate, kõigil näidetel esines pinnakatte koorumine ja puidu ebaühtlane halliks muutumine.

4.3 Kahjustuste tüübid

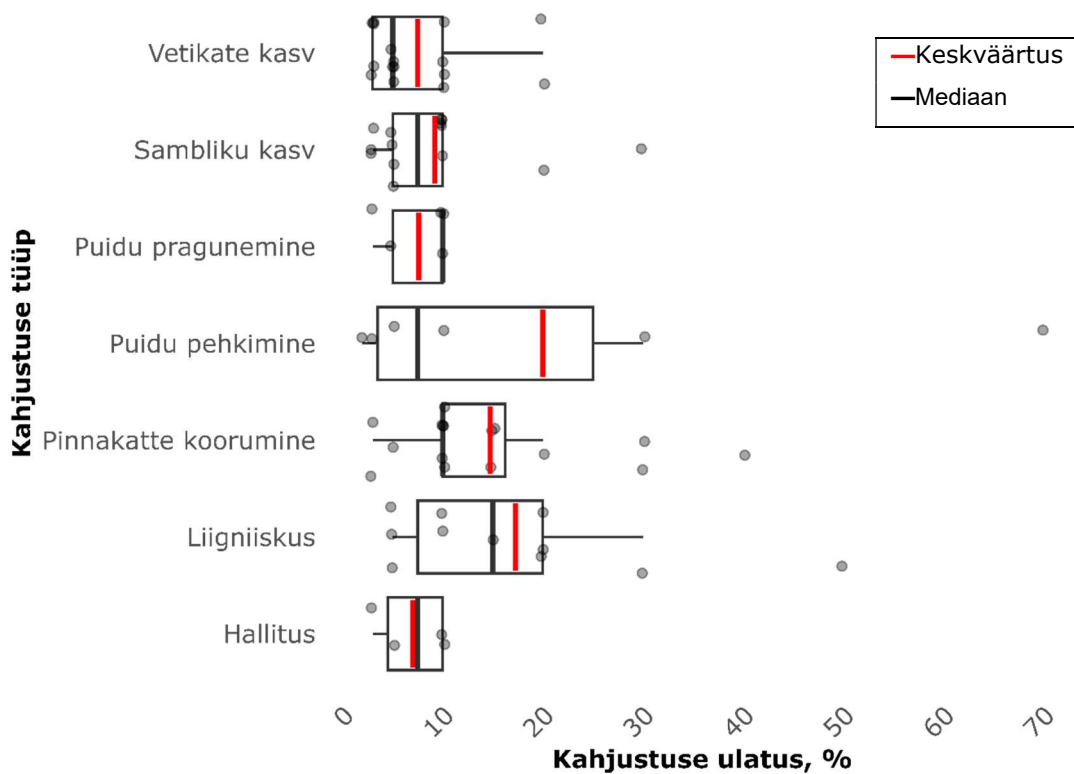
Kategoriseerimine

Hoonete külastamisel dokumenteeriti neil tuvastatud kahjustused ja nende tüübid. Kokku kategoriseeriti 78 hoonet. Enim saagenud kahjustuse tüüpideks olid vetikate kasv välispindadel, mis esines 51% vaadeldud juhtudest (40 hoonet), pinnakatte koorumine 50% hoonetest, liigniiskus välispindadel 32%, sambliku kasv välispindadel 26%, hallituse kasv pinnakatetel 26%, puidumädanik 22% ja puidu pragunemine 15%, vt. Joonis 30. Ülejäänud tüüpide esinemissagedus (pinnakatte määrdumine, söövituse keemilisest reaktsioonist, pinnakatte pragunemine, puidu naturaalne vananemine) jäi alla 12 juhtumi tüübi kohta.



Joonis 30 Kahjustuste tüüpide esinemissagedus (>12)

Kastdiagramm, Joonis 31, kujutab puitfassaadide kahjustuste ulatust, mõõdetuna protsentides 0-st kuni 100-ni x-teljel. Kahjustuste tüübid on kirjeldatud y-teljel. Must joon näitab mediaanväärtust ja punane keskvaartust. Suurima ulatusega kahjustused olid liigniiskus (mediaan alla 20% uuritavast pinnast) ja pinnakatte koorumine (keskmiselt alla 15% uuritavast pinnast) ning puidu pragunemine. Vetika kasvu ulatus jäi aga alla 10% uuritavast pinnast, ehk seda küll esines kõige enam, kuid selle ulatus ei olnud suur. Väikseim kahjustuse ulatus oli hallitusel, mis esines keskmiselt vähem kui 5%-l uuritavast pinnast, vaata Joonis 31.



Joonis 31. Kahjustuste ulatus (>12)

Kahjustuste tüüpide ülevaade

Enim sagenenud kahjustuste tüüpidele leiti võimalikud põhjused kirjanduse ülevaate põhjal, mille tulemusi valideeriti külastuse käigus tuvastatud tunnustega. Kahjustuste tüüpidele leitud võimalikud põhjused, nende iseloomustus ja tunnused on toodud Tabel 6.

Tabel 6. Kahjustuste tüübid ja nende võimalike põhjuste iseloomustus.

Kahjustuse tüüp	Võimaliku põhjuse kirjeldus kirjandusülevaate põhjal	Võimaliku põhjuse tunnus külastatud hoonetel
Vetikate kasv välispinnal. Näited toodud Joonis 35a.	Vetikad, mis on autotroofid vajavad kasvuks valgust, süsihappegaasi õhust ning küllaldaselt vett või niiskust. [29], [30]. Valgusest ja süsihappegaasist fotosünteesib vetikas energiat ümbritsevast õhust, selle jaoks peab küllaldane vesi ja niiskus fassaadi pinnale sattuma. Seda arvestati vetika kasvu kui kahjustuse peamiseks võimalikuks põhjuseks.	Pidevalt fassaadile voolav ja pritsiv vesi. Voolava vee allikateks olid lekkivad ja ummistunud vihmaveerennid (Joonis 36a); veeülevool rennist räästata katuste puhul (Joonis 36b); ja katuste liited välisseintega (Joonis 36c). Peamiseks vee pritsimise allikateks olid madalad või puudu olevad soklid, kust vesi pritsis fassaadile sillutistelt (Joonis 36d).

<p>Pinnakatte koorumine puidu pinnal (puidust fassaadikatted ja välised detailid). Näited toodud Joonis 35 b-c.</p>	<p>Koorumine on edasine areng pinnakatte pragunemisest. Pragu on niiskuse allikaks pinnakatte ja puidu vahel. Puidu niiskussisalduse suurenemine suurendab puidu mahumuutusi ja seeläbi deformatsioone-tulemuseks on pinnakatte nakke kadumine puiduga ja algab koorumine. Lisaks puidu niiskussisaldusele mõjutab koorumist ka pinnakatte pinnatemperatuur. Pinnatemperatuuri suurt varieeruvust ja muutusi mõjutab enim päikese UV-kiirgus [31], [32]. UV- kiirgus hävitab puidus ligniini (polümeeri) [33]. See omakorda kiirendab pinnakatete koorumist, juhul kui pinnakatted lasevad UV kiirgust läbi, puidu nake pinnakattega kahjustub ning järgneb pinnakatte koorumine [14].</p>	<p>Koorunud pinnakate puidust fassaadikatte pindadel (Joonis 36b). Enim pinnakatte koorumist täheldati lõunapoolsetel fassaadidel. Sellest tulenevalt sai koorumise peamiseks põhjuseks määratud päikese UV-kiirgus. Lisaks määrati põhjuseks katuselt voolav vesi. Enamasti mõjuvad need tegurid koos.</p>
<p>Liigniiskus puitpindadel, näited toodud Joonis 35d</p>	<p>Küllaldane ja pidev niiskuse ja vee olemasolu on peamine eeldus hoonete välispindadel niiskuskahjustuste tekkeks.</p>	<p>Peamiseks tunnuseks olid pidevalt märgunud fassaadikatte materjalid (Joonis 36d) või detailid, nagu välised puitpostid või -talad. Märgunud puitu ei käsitletud ise kui kahjustust vaid võimaliku kahjustuse alget tulevikus. Märgumise põhjusteks olid lekkivad ja ummistunud vihmaveerennid (Joonis 36a); vee ülevool rennist räästata katuste puhul; ja katuste liited välisseintega (Joonis 36b-c). Pritsiva vee allikaks olid</p>

		peamiselt silded horisontaalsed pinnad fassaadikatete läheduses. Peamiseks vee pritsimise põhjuseks olid madalad või puudu olevad soklid, kust vesi pritsis fassaadile sillutistelt (Joonis 36d).
Sambliku kasv välispindadel, näited toodud Joonis 35e	Sarnaselt vetikatele on ka samblik autotroof ja vajab kasvuks valgust ja süsihappegaasi õhust, küllaldaselt vett või niiskust [29], [30]. Võrreldes vetikaga on samblik niiskuse koguse suhtes oluliselt vähemnõudlik [34]. Samblik pigem pinnakatet ja materjali füüsiliselt ei kahjusta ja on seega esteetiline kahjustus.	Sarnased tunnused vetikate kasvuks, kuid kuna samblik on vähemnõudlik niiskusele, pidasime peamiseks põhjuseks ebapiisavat hooldust ehk pikaajalist puhastamise puudumist fassaadidel.
Hallituse kasv välispinnal, näited toodud Joonis 35f	Hallituse kasvuks on vaja soodsat temperatuuri, niiskust (sh õhu suhteline õhuniiskus) ja erinevalt vetikatest ja samblikust ka orgaanilisest materjalist toiteaineid [35]. Viimasest sõltub kui ulatuslikult hallitus võib kasvada. Materjali pinnaomadustest ja materjalist endast sõltub kui palju seal on toitaineid hallituse kasvuks. [36]. Sellest tulenevalt peeti hallituse kasvu põhjuseks eelkõige pideva niiskuse ja vee olemasolu sarnaselt vetikate kasvuks, kuid lisaks ka soodsad materjali ja selle pinnakatte omadused.	Hallituse kasvu tunnusteks olid selle kolooniat iseloomustavad mustad täpid vaadeldud pindadel (puidu pindadel, pinnakatetel) (Joonis 36f). Kasvu põhjuse tunnusteks peeti vee pidevat olemasolu pinnal, sarnaselt vetikatele ja samblikule. Vee pidevat olemasolu põhjustas enamjaolt kas vee pritsimine pinnale või voolav vesi, mis puidu niiskussisaldust tõstab. Näiteks lekkivad ja ummistunud vihmaveerennid (Joonis 36a-c); veeülevool rennist räästata katuste puhul. Lisaks leidis hallitust veepikkide juures olevatel fassaadi laudadel, kus ei olnud õhuvahet.

Puidu mädanik, ehk pehkimine, näited toodud Joonis 35g	Sarnaselt hallitusele vajab puidumädanik soodsat temperatuuri, ja küllaldase ning pidevalt kõrge puidu niiskussisalduse olemasolu. Võrreldes hallituse kasvuks soodsate tingimustega peab mädaniku kasvuks olema puidu niiskussisaldus oluliselt kõrgem, üle 26% [37], [38].	Puidu mädaniku tunnusteks olid pehmunud puidu tekstuur, tumenenud ümbrus ning pinnakatte koorumine mädaniku koha ümber. Fikseeriti ainult need puidu mädaniku juhud, kus puit oli juba täielikult pehkinud ning sai võtme otsa puidu sisse suruda (Joonis 35g).
--	--	---

Suurimaks võimalikuks kahjustuste põhjustajaks tuvastati fassaadi pinnale voolav vesi, mis oli võimalikuks põhjuseks 44 kahjustuse puhul, vt. Joonis 32. Fassaadile voolav vesi põhjustas peamiselt niiskuskahjustusi ja sellest edasi arenenud kahjustusi nagu vetikate ja sambliku kasv, hallitus ning puidu pehkimine, vaata Joonis 33. Kontrollimatu vee äravool ja sattumine fassaadile oli üks peamisi niiskuskahjustusi soodustavaid tegureid. Antud lõputöö uuringus põhjustas vee sattumist fassaadile peamiselt puudulik vihmavee äravool katuselt, ummistunud vihmaveerennid ja vihmavee ülevool katuselt või vihmaveerennidest räästa puudumise tagajärjel (Joonis 36).

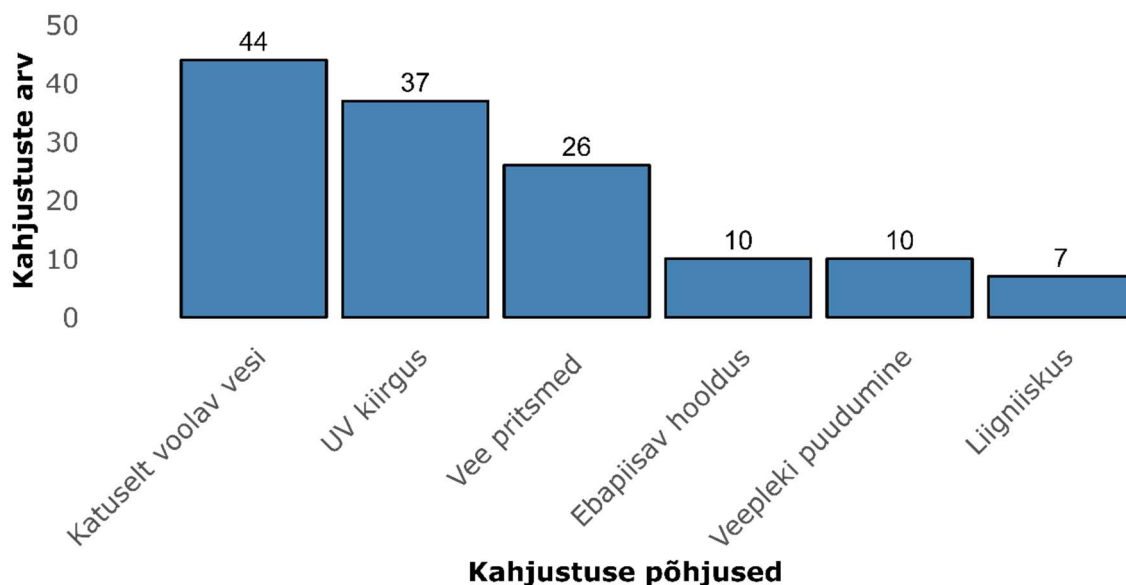
Fassaadile voolavale veele järgnes päikese UV kiirgus 37 juhtumiga, vaata Joonis 32. Päikese UV-kiirgus oli peamiseks fassaadikatete ja välispindade pinnakatete lagunemise põhjustajaks ning pinnakatteta puidu vananemise põhjustajaks, vaata Joonis 33. Selle töö tulemused kinnitasid kirjanduses toodut, et UV-kiirgus on nii puidu kui ka pinnakatete lagunemise võtmetegur.

Fassaadi pinnale pritsiv vesi põhjustas 26 kahjustuse juhtumit (Joonis 32), millest samuti enamus olid niiskuskahjustused, vaata Joonis 33. Vee kontrollimatu äravooluga on tihedalt seotud veepritsmed horisontaalpindadelt, peamiselt vihmavee pritsmed fassaadikatetele sillutisteedelt madalate või puudevate soklitega hoonete puhul (Joonis 36d). Vee pidev pritsimine hoiab puidust fassaadikatted pidevalt märjana, soodustades niiskuskahjustuste teket, nagu vetikate, samblike, hallituse või halvimal juhul puitu kahjustavate seente kasvu.

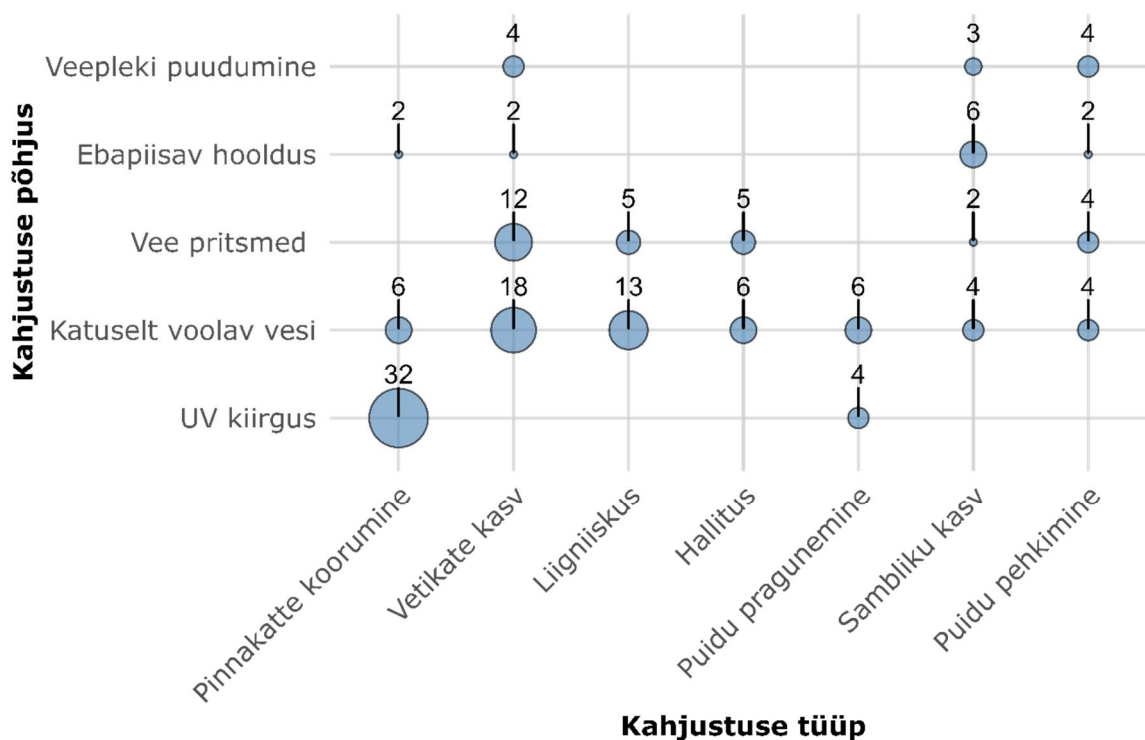
Ebapiisav hooldus järgnes 10 juhtumiga, vaata Joonis 32. Regulaarne hooldus on oluline, et vältida esmaste märkide saabumisel kahjustuste eskaleerumist, mis seejärel nõuavad juba detailide või pinnakatete väljavahetamist. Antud uuring tõi esile juhtumid, kus hilinenud (hooldus teostamata esmase hooldusvajaduse ületamisel hoone vanuse järgi) või ebapiisav hooldus oli kaasa toonud kahjustuste suurenemise. Seega on ennetav hoonete hooldus oluline nii esialgse olukorra säilitamisel kui ka hoolduskulude

vähendamisel. Veepleki puudumine tõi kaasa 10 niiskuskahjustuse juhtumit ja liigniiskus 7 juhtumit, vaata Joonis 32. Ülejäänud põhjused jäid alla 7 juhtumi.

Joonis 33 on toodud detailselt iga kahjustuse tüübi kohta selle peamised võimalikud põhjused ja selle juhtumite sagedused. Lisaks ülalmainitule tuleb seal ka välja, et nii fassaadile voolav vesi kui ka päikese kiirgus olid koosmõjul võimalikuks põhjuseks puidu pragunemisele. Puidu mädanik oli samuti põhjustatud mitme põhjuse koosmõjul nagu fassaadile voolav ja pritsiv vesi ja ebapiisav hooldus.



Joonis 32. Kahjustuste eeldatavad põhjused



Joonis 33. Enim levinud kahjustuste tüübid eeldatavate põhjuste järgi

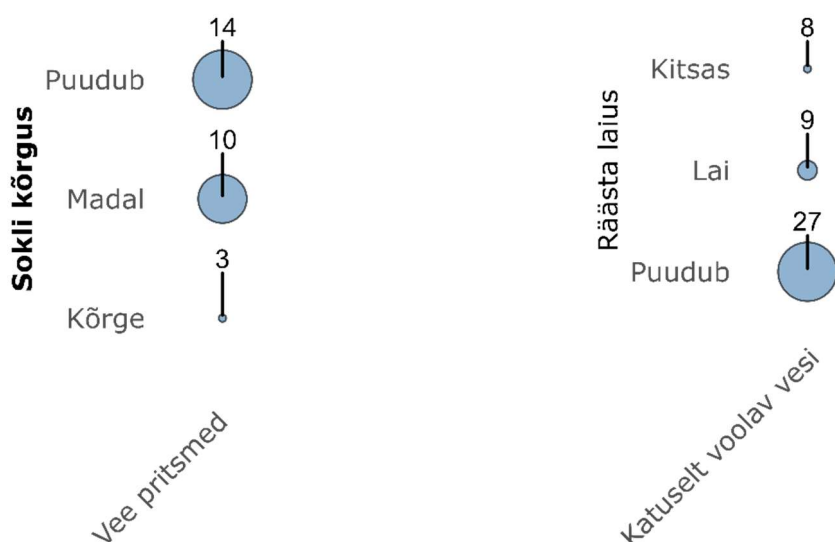
Lühikesed räästad ei pruugi ulatuda piisavalt kaugemale seinast, et kaitsta seda tõhusalt vihmavee eest. See võib põhjustada vee voolamist mööda fassaadi alla, millele võib järgneda kattematerjalide kahjustumine ja selle järel puidu lagunemine. Selle vältimiseks tuleks puitfassaadidele projekteerida piisava laiusega räästad.

Kui sokkel on madal või puudub, suurendab see märkimisväärselt niiskuskooormust puitfassaadide alumisele servale. See võib põhjustada tõsiseid probleeme, nagu puidu mädanik, mille tagajärjel tuleb kahjustunud laudis välja vahetada.

Lai räästas on laiusega vähemalt 600mm (16 hoonel), kitsas on <600mm (12 hoonel) ning viimaseks on puuduv räästas (50 hoonet). Räästa puhul võeti soovituslik laius *Byggforskserien*-ist [4] , [5].

Kõrge sokkel on vähemalt 300mm (42 hoonet), madal on <300mm (20 hoonet) ning viimaseks on sokli puudumine (16 hoonet). Sokli piisav kõrgus võeti *Byggforskserien* ja *WoodExteri* projekti soovitustest [4],[6].

Kahjustuste esinemiste arv hoonete kohta on välja toodud Joonis 34, soklite juures esines kahjustusi 7%-l kõrge sokliga hoonetest, 50%-l madala sokliga hoonetest ja 88%-l puuduva sokliga hoonetest. Räästaste puhul jäi kahjustuste osakaal kõikide tüüpide puhul 50% juurde, seda saab seletada vähese valimiga laia ja kitsa räästaga hoonete puhul ning ka sellega, et kui hoonel oli nii lai kui ka puuduv räästas siis märgiti ainult kahjustuse asukohas olev räästas.



Kahjustuste võimalik põhjus

Joonis 34. Räästa ja sokli kahjustuste jaotus

a) Vetikate kasv välispindadel



b) Pinnakatte koorumine fassaadikatetel



c) Pinnakatte koorumine aknaraamidel



d) Puidu liigniiskus

Tuulutusvahe asemel hor. roov, vesi koguneb roovi taha



e) Sambliku kasv välispindadel



f) Hallituse kasv pinnakatetel



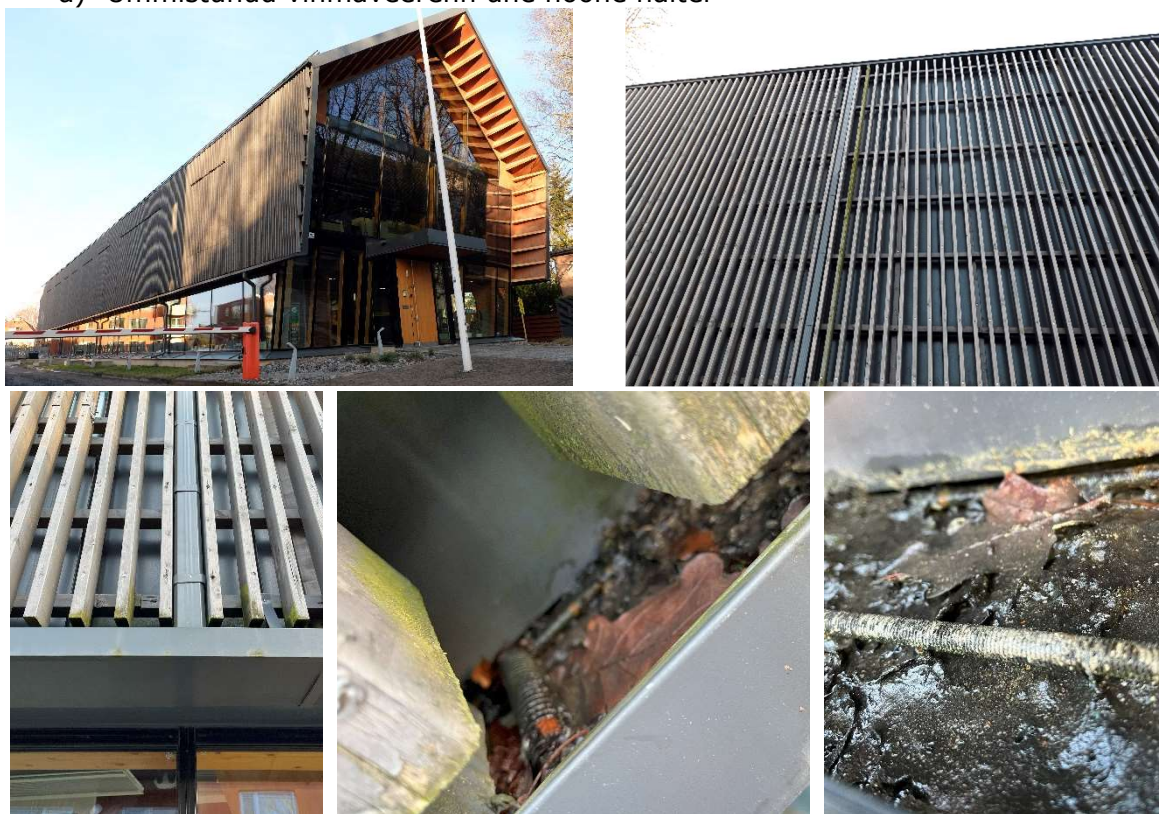
g) Puidumädanik ehk pehkimine



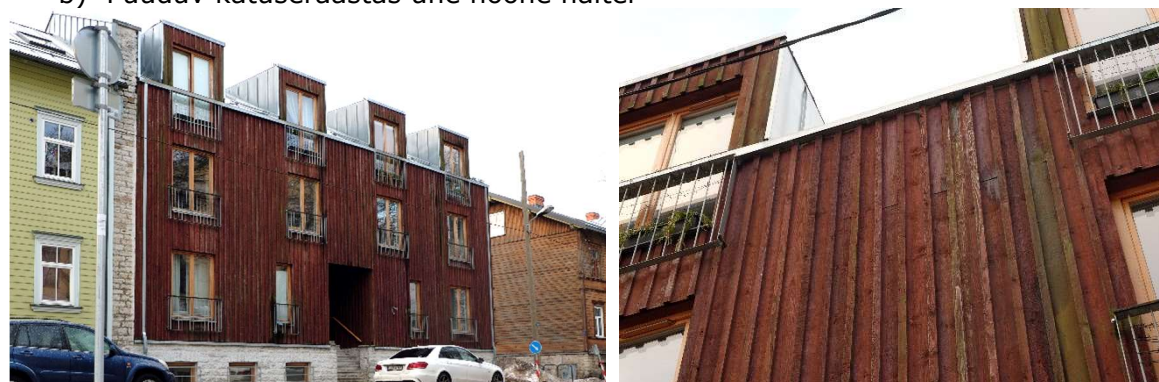
Joonis 35. Kahjustuste näited

Fassaadile voolav vesi

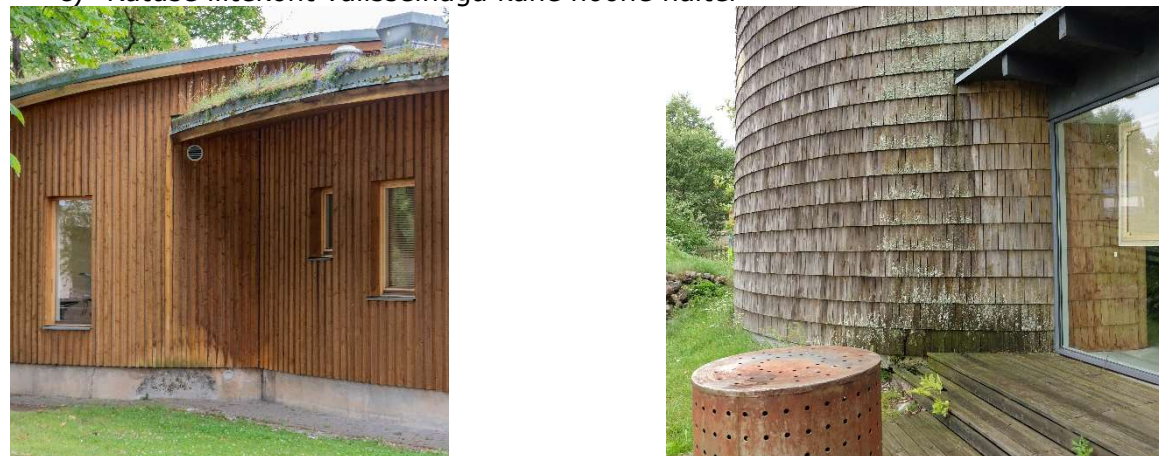
a) Ummistunud vihmaveerenn ühe hoone näitel



b) Puuduv katuseräästas ühe hoone näitel



c) Katuse liitekoht välisseinaga kahe hoone näitel



Fassaadile pritsiv vesi

d) Puuduv või madal sokkel



Joonis 36. Näiteid küllastatud hoonete projektilahendustest, mis on põhjustanud fassaadikattele püsivalt vee voolamist (a-c) või pritsimist (d)

4.4 Kahjustuste tüüpide klassifitseerimine ISO 15686-8:2006 tegurite järgi

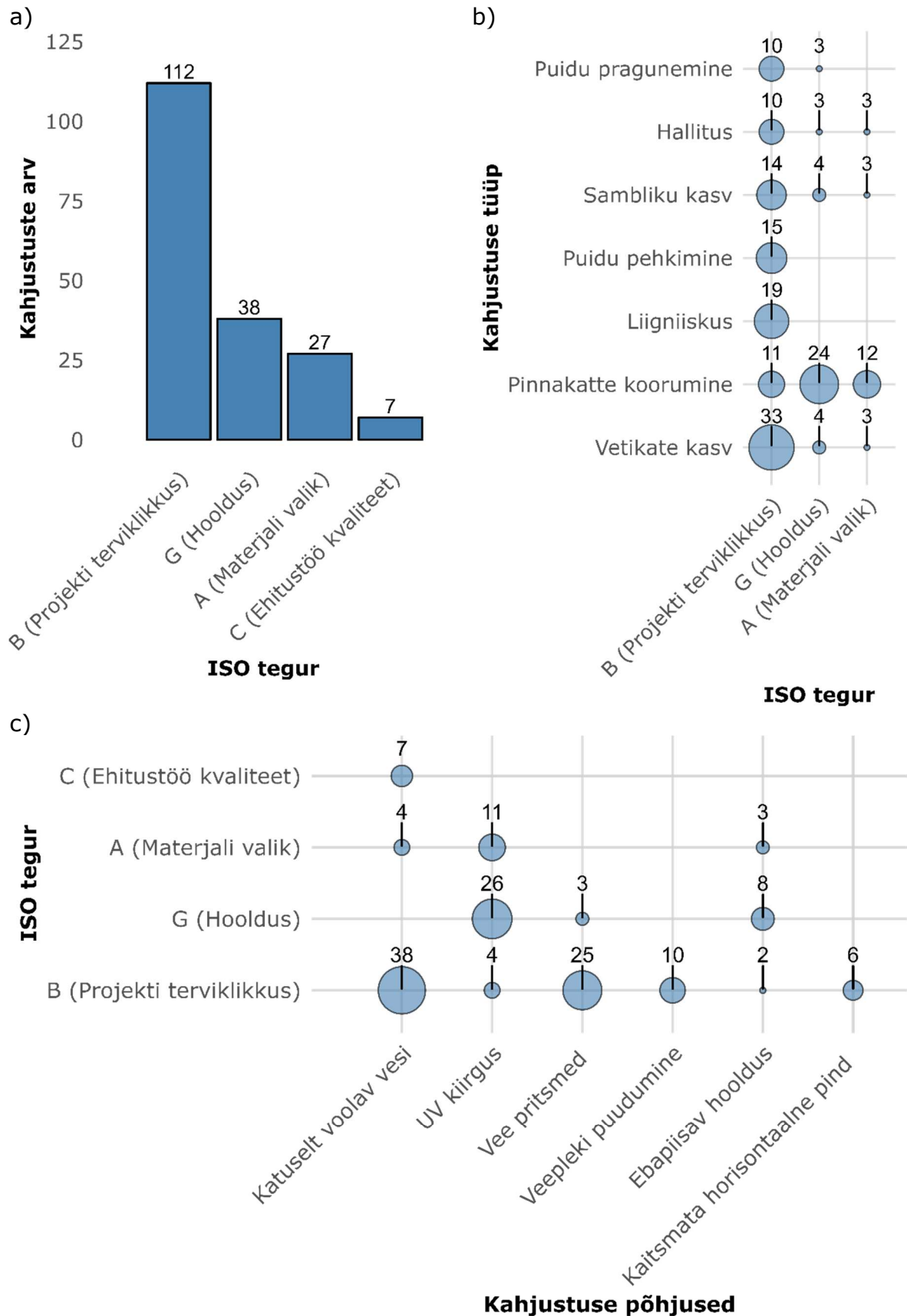
Kahjustuste kategoriseerimisel klassifitseeriti kahjustuste tüübid samuti vastavalt ISO 15686-8:2008 standardis toodud tegurite järgi. Nendeks teguriteks on:

- A- Materjali valik (Material);
- B- Projekti terviklikkus (Design);
- C- Ehitustöö kvaliteet (Execution);
- D- Sisekliima mõju (Indoor climate);
- E- Väliskliima mõju (Outdoor climate);
- F- Kasutustingimused (Usage);
- G- Hooldus (Maintenance).

Klassifitseerimise tulemused näitasid, et suur enamus kahjustuste juhtumeid (112 juhtumit 188-st) on põhjustatud projekteeritud lahendustest ja projekti terviklikkuses esinenud puudustest, (B- Design), vaata Joonis 37a. Seostades ISO 15686-8:2008 tegureid kahjustuste tüüpidega tuleb selgelt välja, et puudused projekteeritud lahendustes ja projekti terviklikkuses (tegur B) on kaasa toonud peamiselt niiskuskahjustusi, milledest peamised on vetikate ja sambliku kasv, hallitus, mädanik ja puidu pragunemine, vaata Joonis 37b. Hinnates põhjuseid, kuidas puudused projekteeritud lahendustes ja projekti terviklikkuses soodustasid niiskuskahjustuste teket, leiti seosed kahjustuste põhjuste ja ISO 15686-8:2008 tegurite vahel, vaata Joonis 37c. Suurimateks põhjusteks olid fassaadile jooksev vesi 38 juhtumiga, fassaadile pritsiv vesi 25 juhtumiga ja puuduv veepikk 10 juhtumiga. Tulemused näitavad, et puudused esinevad just projekteeritud lahendustes ära hoidmaks vihmavee sattumist fassaadile ja selle äravoolu juhtimises.

Projekti terviklikkusest põhjustatud kahjustuste juhtumitele järgnesid hooldusest (G- Maintenance) põhjustatud kahjustuste juhtumid (38 tk), materjali valikust (A- Material) põhjustatud kahjustuste juhtumid (27 tk) ja ehitustööde kvaliteedist (C- Execution) põhjustatud kahjustuste juhtumid (7 tk), vaata Joonis 37a. Nii hooldus kui ka materjali valik oli peamiselt seotud pinnakatte koorumisega (24 ja 13 juhtumit), vaata Joonis 37b. Tegurid G ja A korreleerusid ennekõike järgnevate põhjustega: UV kiirgus ja ebapiisav hooldus, vaata Joonis 37b. Hooldus sai valitud kahjustuse teguriks kui pinnakattel esines kahjustus ja hoone vanus oli ületanud hooldusvajaduse, seega pinnakatte kahjustus oli tingitud ebapiisavast hooldusest. Materjali valiku alla läksid pinnakatte kahjustused, kus olid väga lühikesed hooldussagedused, alla 5 aasta, nagu näiteks läbipaistvad ja poolläbipaistvad pinnakatted (hooldussagedus 3-7 aastat), ja kus suur osa kahjustustest tähendas pinnakatte või materjali väljavahetamist lühikese tööea

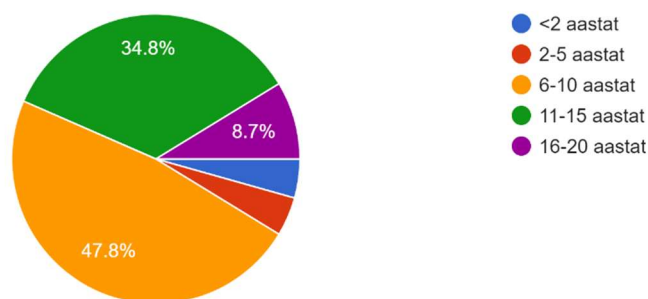
jooksul. Ehitustööde kvaliteedi alla läksid enamuses katkised vihmaveerennid ja niiskust läbilaskvad kinnitusvahendid. Ülejäänud tegurid esinesid ainult üksikutel juhtumitel.



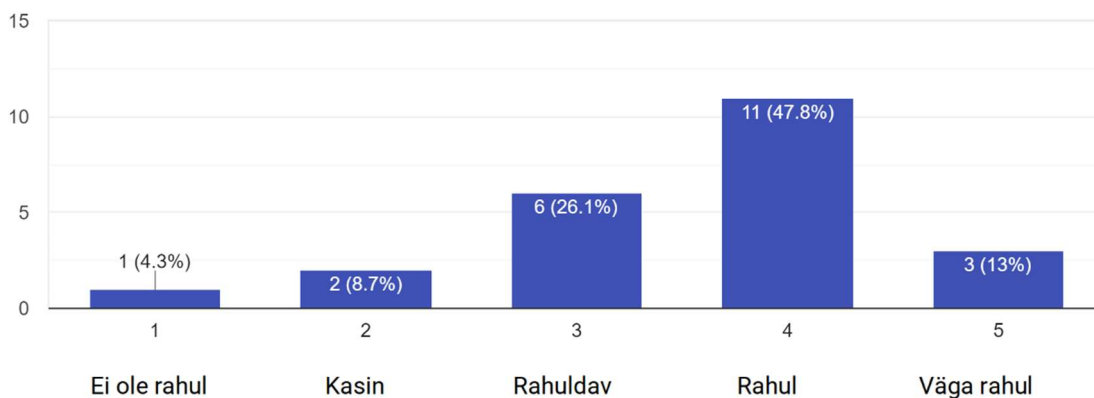
Joonis 37. Hoonete seisukorda mõjutavad tegurid ISO 15686-8 klassifikatsiooni järgi.

4.5 Küsitluse tulemused

Küsitlus viidi läbi samaaegselt objektide külastamisega. Küsimustik saadeti 46le kasutajale, vastajaid oli 23. Vastanute osakaaluks kogu külastatud hoonetest (78tk) tuli 29%. Küsitluse põhijäreldus oli, et hooneid hooldatakse vähem kui peaks. Enamus vastajatest (48%) on olnud seotud hoonega (elanud/ kasutanud) 6-10 aastat. 11 ja enam aastat on hoonega seotud 42% vastajatest, vaata Joonis 38. See korreleerub hoonete vanuselise jaotusega, külastatud hoonetest 35 olid vanusega 8-9 aastat ja 43 vanusega 10 ning enam (Joonis 9). Teavet küsiti rahulolust hoone ajas muutunud välisilme ja tehnilise seisukorra kohta. Enamus (11) vastas küsimusele valikuga „Rahul“, mis on 4 punkti rahuolu skaalal 1-5ni, vaata Joonis 39. Selle järgi ollakse enamusest hoone välisilme muutuse ja seisukorraga rahul. Vaid väike osa, 3 vastanut (13%), leidis, et ei ole hoone tehnilise seisukorraga rahul või see on kasin.



Joonis 38. Hoones elatud/töötatud/kasutatud aeg

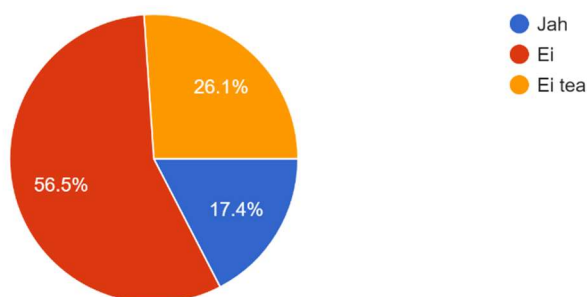


Joonis 39. Vastajate rahulolu hoone praeguse tehnilise seisukorraga

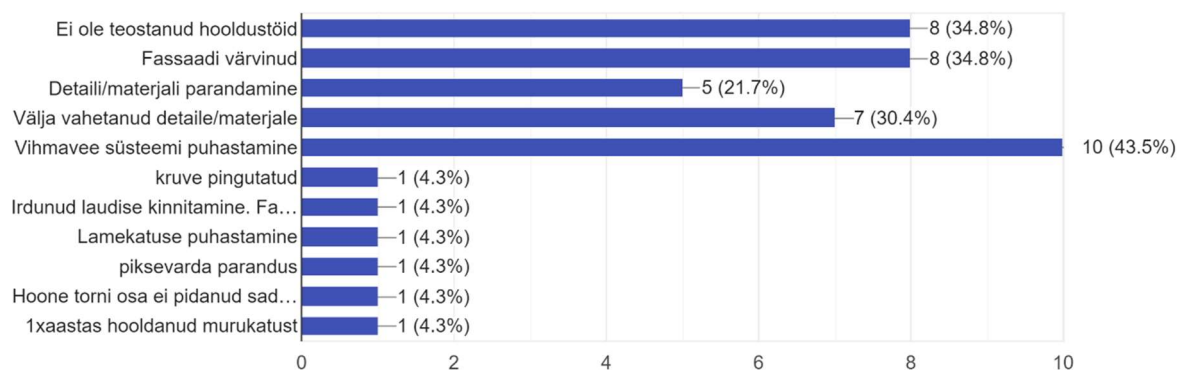
Järgmisena küsiti fassaadi hooldusjuhendi olemasolu kohta, kus ilmnis, et suurel enamusel seda kas ei ole (13 (56,5%)) või ei olda teadlik selle olemasolust (6 (26,1%)), vaata Joonis 40. Vaid neljal (4 (17,4%)) vastanul oli fassaadile hooldusjuhend olemas. Sellele järgnevalt küsiti teostatud hoolduste viise ja nende sagedust, ning kas üldse on hoonet väliselt hooldatud. Küsimusele, milliseid hooldustöid on teostatud, võis

valikvariantidest valida mitu või ise juurde lisada konkreetseid tehtud tööd, vaata Joonis 41.

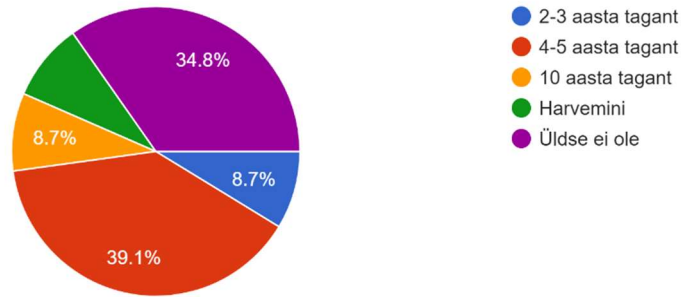
Enamus vastanutest on hooldustöödena puhastanud vihmaveesüsteemi (10 vastust), sellele järgnevad fassaadi värvitööd (8 vastust), ja fassaadil materjali/detaili välja vahetamine (7 vastust) ning parandamine (5 vastust). 8 vastanut ei ole teostanud hooldustöid, seda saab seostada hoonete vähese vanusega. Järgnesid väiksemad teostatud hooldustööd, mida vastanud ise juurde lisasid, nagu näiteks lume koristus katuselt, murukatuse hooldus ja fassaadikruvide pingutamine. Teostatud tööde kõrvale küsiti ka nende teostamise sagedust. Peamiseid eelmainitud hooldustöid (fassaadi värvimine, detailide parandamine ja välja vahetamine) teostati enamasti 4-5 aasta tagant (9 vastanut), vaata Joonis 42. 8 vastanut, kes ei olnud hooldustöid teostanud, kajastus ka siin vastusega „Üldse ei ole“. Üksikuid hooldustöid teostati nii 2-3 (2 vastanut) kui ka 10 aasta tagant (2 vastanut) või harvemini (2 vastanut).



Joonis 40. Hoone hooldusjuhendi olemasolu

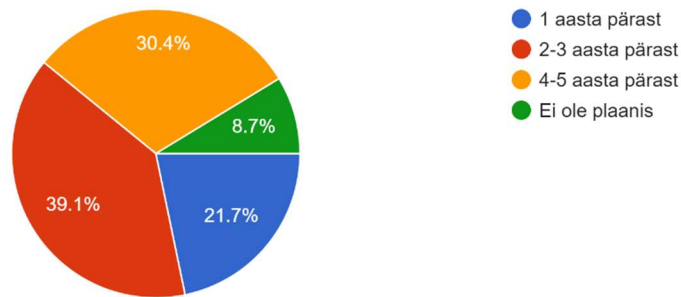


Joonis 41. Fassaadil tehtud hooldustööd



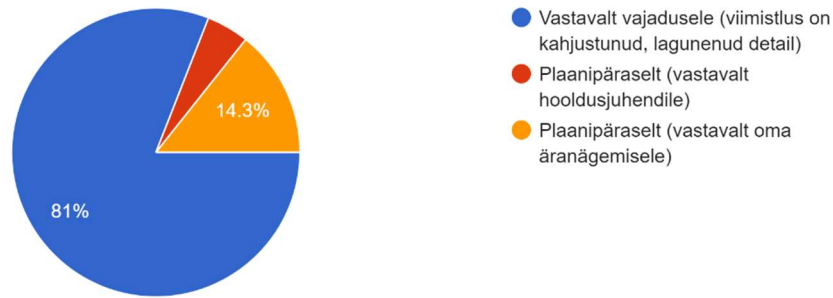
Joonis 42. Fassaadil tehtud hooldustööde sagedus

Küsimusele, millal plaanite (uuesti) hooldustöid teostada vastas enamus (39,1%), et 2-3 aasta pärast, vaata Joonis 43. Enamus nendest seostus sellega, et kes eelmisele kahele küsimusele vastas „ei ole hooldustöid teostanud“, plaanivad seda lähiaastail teha. Sellele järgnevalt 30,4% vastanutest plaanib teha järgmise hooldustöö 4-5 aasta pärast ja see seostati vastanutega, kes 4-5 aasta tagant hooldustöid teostavad. Vaid kahel vastanul ei ole plaanis hooldustöid teostada.

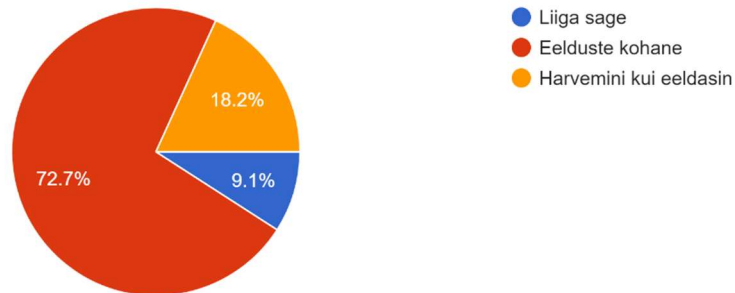


Joonis 43. Planeeritav fassaadi hoolduse aeg

Kas hooldustöid on teostatud vastavalt vajadusele või plaanipäraselt, vastas suur enamus (17 (81%)), et vastavalt vajadusele, kui fassaadi pinnakate või detail on juba kahjustunud, vaata Joonis 44. Kolm (14,3%) vastanut on teinud hooldustöid plaanipäraselt ja seda vastavalt oma äranägemisele ning ainult üks (4,8%) plaanipäraselt vastavalt projektiga kaasa antud hooldusjuhendile. Hooldustöid vastavalt vajadusele teostanutest enamusele, 72,7% kogu vastanutest, vastab fassaadi hooldamise vajaduse sagedus nende ootustele, vaata Joonis 45. 18,2% (4) vastanutest leidis, et hooldustöid on tulnud teha harvemini kui eeldati ja kahe (9,1%) vastanu jaoks on hooldustööde teostus olnud liiga sagedane.

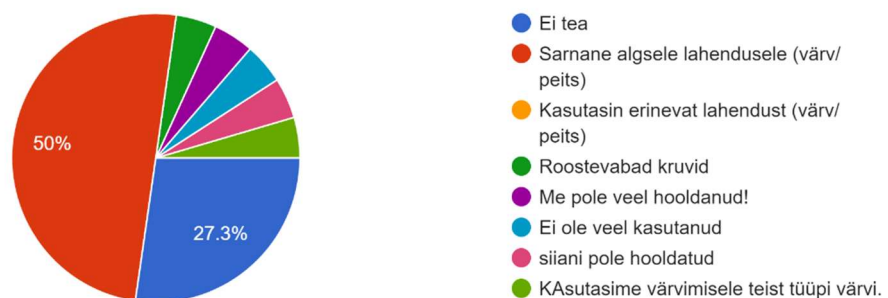


Joonis 44. Hooldustööde teostamine

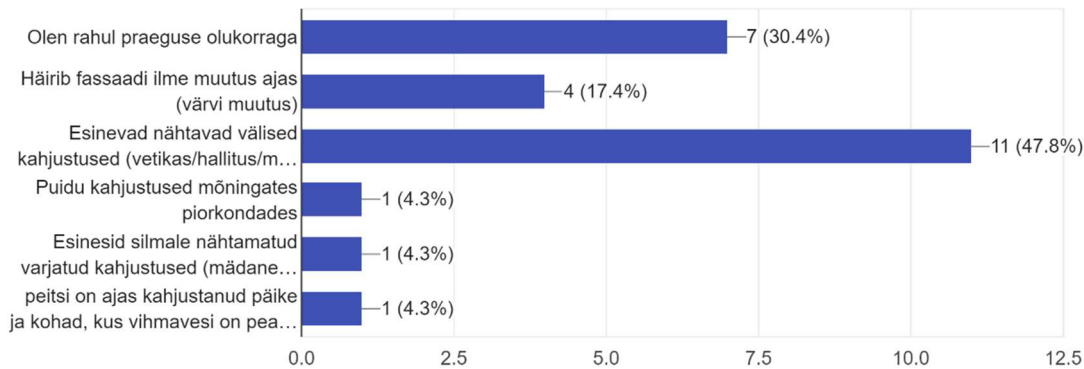


Joonis 45. Ootused fassaadi hooldamise vajaduse sagedusele

Enamus (11 (50%)) hooldustöid teostanutest kasutasid sarnast toodet ja lahendust esialgsele hoone pinnakattele, vaata Joonis 46. Vaid kaks kasutas algsest erinevat pinnakatte toodet ja üks kasutas erinevat lahendust (kasutades roostevabast terasest kruve tsingitute asemel). Lisaks tehnilisele seisukorrale paluti hinnata ka üldist fassaadi välisilme muutust ajas ja 7 vastanust (30,4%) olid rahul praeguse fassaadi välisilmega, vaata Joonis 47. Pea pooled (11 (47,8%) vastanutest tuvastasid fassaadil nähtavaid väliseid kahjustusi nagu vetikas, hallitus, samblik jne, ning 3 vastanut tuvastas üksikuid suuremaid kahjustusi nagu puidu mädanik. Ülejäänud 7 vastanut (17,4%) leidis et fassaadi välisilme muutus ajas on häiriv.

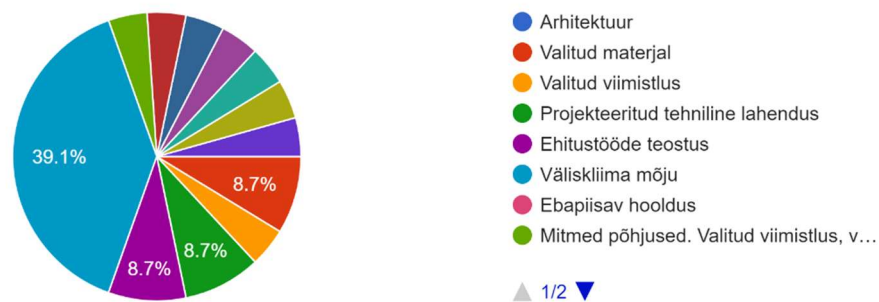


Joonis 46. Hoone hoolduseks kasutatud tooted



Joonis 47. Hinnang fassaadi muutustele ajas

Viimasena paluti valida või ise kirjeldada eeldatav põhjus, mis võis kahjustuse või mitte ootuspärase välisilme muutuse fassaadil põhjustada. Enamus, 9 vastanut (39,1%) arvas põhjuse olevat väliskliima mõjus, vaata Joonis 48. Ülejäänud vastanud leidsid palju erinevaid põhjuseid nagu materjali või viimistluse valik, projekteeritud lahendus, ehitustööde kvaliteet, ebapiisav hooldus või mitu neist korraga.



Joonis 48. Hoone fassaadi kestvusega seotud probleemid

Kokkuvõtvalt, enamus vastanutest olid oma kaasaegse puithoone tehnilise seisukorraga pigem rahul, kuid välisilme muutusel on paljud tuvastanud nähtavaid väliseid väiksemaid (vetikas, sammal, hallitus) ja suuremaid (puidumädanik) kahjustusi. Kolmandik vastanutest ei ole ka hooldustöid teostanud, mida sai enamjaolt seostada hoone madala vanusega. Ülejäänud, kaks kolmandikku vastanutest on hooldustöid teostanud peamiselt vastavalt vajadusele, ehk siis kui kahjustus on juba fassaadil tekkinud ja tuvastatud. Plaanipäraselt on hooldustöid teostanud vaid mõni üksik vastanu ja selle peamiseks põhjuseks võib olla asjaolu, et projektiga pole kaasa tulnud hooldusjuhendit või ei teata selle olemasolust. Peamisteks hooldustöödeks on olnud vihmaveesüsteemi puhastamine, fassaadi värvimine ja väiksemal hulgal detailide parandamine ning väljavahetamine fassaadil. Kolmandik vastanutest on pidanud teostama suuremaid hooldustöid ja kolmandik piirdunud puhastustöödega. Ka need tulemused korreleeruvad hoonete vanusega, kus peamiselt vanemad hooned, rohkem kui 10 aastat vanad, on vajanud suuremaid hooldustöid (fassaadi värvimine).

5. TULEMUSTE KOKKUVÕTE JA DISKUSSIOON

Antud töö keskendus peamiselt kaasaegsete puithoonete fassaadide seisukorrale ja ajas muutusele, kuid hinnati ka puitkatuste ja väliskeskonnale avatud puitdetailide (nagu näiteks liimpuidust raamid). Külalastatud kaasaegsete puithoonete vaatlustulemused näitasid, et nende seisukorra ja välisilme muutust ilmetasid peamiselt niiskuskahjustused, nagu vetika ja sambliku kasv välispindadel ning pinnakatte koorumine fassaadikatetel ja välistel puitdetailidel. Vetika ja sambliku kasvu saab liigitada puitu mittelagundavaks kahjustuseks, mis vähendab hoone esteetilist tööiga. Puidu pinnakatte koorumine on aga seevastu lagunemise tulemusel tekkinud kahjustus ja mõjutab otseselt hoone tööiga.

Niiskuskahjustused

Enamikel puitfassaadidel tuvastatud niiskuskahjustusi, vetikate ja samblike kasvu ning mõnel juhtumil ka puidumädaniku teket, oli võimalik seostada vihmavee ebaõnnestunud eemale juhtimisega fassaadilt.

Sarnaselt käesolevale uuringule jõudis ka varasem Eestis läbiviidud ajalooliste puithoonete seisukorra hindamise uuring [11] järeldusele, et puitfassaadide lagunemise peamiseks põhjuseks oli sademevee kontrollimatu voolamine katuselt fassaadile ja ebapiisav hooldus. Ajalooliste puithoonete uuringus leiti, et liigsete sademete pääsemine fassaadile oli tingitud vihmaveesüsteemi rikestest ning soovitati projekteerijatel pöörata rohkem tähelepanu korralikule sademete ärajuhtimisele katuselt, suunates seda fassaadist eemale. Soovitati tõsta elanike teadlikust puithoonete õigest hooldusest.

Lisaks Eestis tehtud uuringule viidi ka Soomes [13]läbi pärast 1950. aastat ehitatud puithoonete seisukorda käsitlev uuring, mis näitas, et 82% hoonetel olid tõsised niiskuskahjustused ning peamiseks kahjustusi põhjustavaks teguriks olid hoonete ebapiisav projektilahendus, mille näitena saab tuua madala kaldega katused ja halvasti töötavad vihmavee äravoolusüsteemid, mis viisid vee lekteni. Uuringu läbiviijad tõdesid, et puit on kauakestev ja töökindel ehitusmaterjal, kui hoone fassaad on tõhusalt kaitstud ilmastiku mõjude eest. Teine Soome uuring [39] uute hoonete seisukorra hindamise kohta (2016-2019) näitas, et kahjustusi esineb 15% hoonetest. Enamik kahjustusi oli vanemates hoonetes, ning seda seostati samuti ebapiisava hooldusega hoone eluea jooksul, ning lisaks ehitustehnoloogiaga (ehitatud kohapeal) ja puudulike arhitektuursete lahendustega nagu lame- või kahe viiluga katused.

Eelpool väljatoodud uuringud ühtivad käesoleva uuringu tulemustega, et puudulikud projektilahendused viivad fassaadile voolava üleliigse veeni, mis määrati kahjustuste

peamise põhjustajana. Enamasti põhjustas see niiskusega seotud probleeme, nagu vetikate ja sambla kasv, liigniiskus, hallitus ja puidu lagunemine, mis olid enim levinud kahjustuste liigid.

Sellest tulenevalt määrati ka selles töös ISO 15686-8:2008 järgi kahjustuste tüüpide klassifitseerimise tulemusel suurimaks mõjuteguriks Projekti terviklikkus (B- Design) ja seda peamiselt niiskuskahjustuste tuvastamisel. Teisisõnu niiskuskahjustuste tekke suurimaks mõjuteguriks oli puudulikud projektilahendused, mille hulka kuulusid keerukad ja puudulikult funktsioneerivad vihmaveesüsteemid; madalamal asuva hooneosa katuse liitekohad kõrgemal asetseva hooneosa välisseinaga; puuduvad või kitsad räästad, mis soodustasid vee sattumist puitfassaadile; madalad või puuduvad soklid põhjustasid vee pritsimist puitfassaadidele; madala kaldega puitkatused põhjustasid vihmaveelekkeid hoone piirettesse. Arvestades, et näiteks vetikate suur kasv pideva vee juurdevoolu tõttu võib edasi areneda puidumädanikuks [29], [30], mida ka 22%-l (17) külastatud hoonetest tuvastati. Esteetilised tööiga mõjutavad niiskuskahjustused võivad aja jooksul muutuda puitu lagundatavaks kahjustuseks, mida täheldati ka ajalooliste hoonete seisukorra uurimistöös [11].

Viimased uuringud kaasaegsete puithoonete seisukorra hindamise kohta on rõhutanud õiget projekteerimist, et saavutada hoone pikaealisus ja madalad hoolduskulud. WoodWisdom-Neti projekti raames aastatel 2007–2011 läbi viidud "WoodExter" uuring hindas üle 100 puidust pinnakattematerjaliga hoone seisukorda üle Euroopa, alates Põhja-Rootsist ja Soomest kuni Vahemere ranniku ja Ühendkuningriigini [6]. Projekti tulemuste põhjal esitleti koos ühe projektipartneri Jöraniga (2011) viit puitvooderduse parimat tava: 1) eemal ümbritsevast maapinnast – sokkel peab olema vähemalt 300mm kõrgune; 2) laua otste (lõikeservade) kaitsekatte, disaini või hermeetikuga, kuna vee sissepääs on piki puidu lõikeserva 1000 korda kiirem; 3) tuulutusrakendid ja vee ärajuhtimine – projekteerida puitlaudis kiiresti vett ära juhtivana; 4) puidu pinnakate tuleb valida tervikliku hoolduspaketi osana; 5) puitlaudiste teravad servad kipuvad löökidest kergesti kahjustuma. 2022 aastal tehti ülevaade [40] puidust fassaadi kattematerjalide kasutamise kohta hoonetel ja jõuti samadele järeldustele nagu eelnevalt mainitud uuringud: ainult heade projekteerimispõhimõtete rakendamine koos asjakohaste sekkumistega materjali omaduste parandamiseks saavutab soovitud tulemuse, milleks on kasutusea pikendamine.

Pinnakatte koorumine

Lisaks niiskuskahjustustele oli ka pinnakatte koorumine suure sagedusega kahjustus. Erinevalt niiskuskahjustustest, milleks olid peamiselt esteetiliselt tööiga mõjutavad kahjustused, oli pinnakatte koorumine lagunemise tulemusel tekkinud kahjustus. Pinnakatte koorumist esines nii enneaegselt, hoonetel millel esmane hooldusvajadus oli alles ees, kui ka hoonetel mille vanus oli juba hooldusvajaduse ületanud. Enneaegne pinnakatte koorumine puitfassaadidel esines hoonete valimist ainult pigmenteeritud pinnakatetel, mille arvutuslik hooldussagedus jääb vahemikku 8-12 aastat.

Kokku tuvastati enneaegne pinnakatte koorumine 15 hoonel 24-st, ehk siis 60%-l. See tähendab, et pinnakate jõudis 60% hoonetel kas osaliselt või tervenisti selle renoveerimist nõudva kahjustuseni enne eeldatavat hooldusvajadust. Ka Norra uurimistöös [32], mis käsitles elanike kaebusi nende hoonete tehnilise seisukorra kohta, oli fassaadide pinnakatete kohta tehtud peamiseks kaebuseks samuti pinnakatete enneaegne koorumine. Enneaegset pinnakatte koorumist mõjutavateks teguriteks on leitud pinnakatte toote kvaliteet, liiga õhuke värvikelme kiht, puidu liigne niiskussisaldus enne katmist, puitpinna struktuur(kare või sile), pinna temperatuur, pinnakatte laudisele peale kandmise viis ja pakendamine enne kasutamist [37]. Lisaks avaldab mõju veel ka suurem sademete koormus mitte vertikaalsetel pindadel [41]. Varasemate uuringute näitel on 45° pinnakalde puhul hooldussagedus 0.71 korda lühem võrreldes vertikaalsete pindadega. 45° pinnad esinesid käsipuude ja horisontaalse laudise ülemise serva kujul, kus käsipuude juures esines puidu pehkimist ning laudise puhul pinnakatte koorumist [42].

8 ja 9 aasta vanuste pigmenteeritud pinnakatetega hoonete puhul (24 objekti) on kahjustunud pinnakattega, kas pragunemine või koorumine 15 objekti, ehk siis 60%-l hoonetest on kahjustused. See tähendab, et pinnakate jõudis 60% hoonetest kas osaliselt või tervenisti selle renoveerimist nõudva kahjustuseni enne eeldatavat hooldusvajadust, mis on 8-12 aastat. Vanuses 10-20 oli pigmenteeritud pinnakattega hooneid 29 objekti ning kahjustunud pinnakattega oli 17 hoonet, ehk siis 59%. Vaid 5 hoonel, mis moodustab 6% kõigist külastatud hoonetest, puudusid kahjustused. Kõigil neil hoonetel oli vertikaalne laudis ja pigmenteeritud pinnakate. Kokkuvõtvalt saab öelda, et 60% pigmenteeritud pinnakattega puitfassaadiga hoonetest jõudis kas osaliselt või tervenisti selle renoveerimist nõudva kahjustuseni ebapiisava hoolduse tõttu. Ebapiisava hoolduse tõttu tekkinud pigmenteeritud pinnakatte kahjustused klassifitseeriti ISO 15686-8:2008 järgi Hoolduse (G-maintenance) mõjuteguri alla.

Läbipaistvad ja poolläbipaistvad pinnakatted nõuavad sagedasemat hooldust intervalliga 3-7 aastat, mis tähendab, et kõik külastatud hooned valmivad, millel olid

puitfassaadid või välised puitdetailid kaetud läbipaistvate või poolläbipaistvate pinnakatetega, on esmase hooldusvajaduse juba ületanud. Pinnakatte koorumist esines nendest 10-l hoonel 11-st, ehk 91%-l. Lisaks fassaadikatetele tuvastati pinnakatte koorumine kõigil aknaraamidel, mis olid kaetud läbipaistva või poolläbipaistva pinnakattega. 100 µm paksusega läbipaistvatel ja poolläbipaistvatel pinnakatetel on hooldussagedus vahemikus 4 ja 9 aastat, pigmenteeritud pinnakatete puhul aga 17 aastat.

Küsitluse tulemused näitasid, et valdaval enamusel vastanutest, 83%-l, hoone hooldusjuhend kas puudub (57%) või ei olda selle olemasolust teadlik (26%). Sealt edasi, 95% vastajatest teostavad hoone hooldust (sh fassaadi pinnakatte) vastavalt vajadusele (81%), pinnakatte kahjustuse (koorumise või pragunemise) tekkimisel, või plaanipäraselt vastavalt oma äranägemisele (14%). Varasemad uuringud on leidnud, et hooldustöid tuleb teostada enne kui on ilmnenud kahjustused vastavalt pinnakatte hooldusjuhendile [26]. Sellest tulenevalt viitavad küsitluse tulemused ebapiisavatele hooldustavadele ja teadlikkuse puudumisele, mille tulemusel keskendutakse peamiselt kahjustuste likvideerimisele ja renoveerimisele mitte nende ennetamisele (hooldusele).

Ebapiisavad hooldustavad, mis keskenduvad pigem kahjustuste parandamisele kui nende ennetamisele, võivad oluliselt mõjutada kaasaegsete puitfassaadide vastupidavust, põhjustades aja jooksul kõrgemaid hoolduskulusid. Hoonete vaatlusest järeldati, et puitfassaadid vajavad olenevalt puiduliigist, kattest ja insenertehnilistest lahendustest erinevat hooldust. Arvestades hoonete kasutajate hooldustööde teostamise viise ja lühikest arvestuslikku hooldussagedust ning neil tekkinud kahjustuste suurust ja ulatust, võib järeldada, et läbipaistvate või poolläbipaistvate pinnakatete kasutamine Eesti külmas ja niiskes kliimas ei ole soovitatav, välja arvatud juhul, kui sagedane hooldus on projektiga arvestatud ja lõppkasutajale vastuvõetav. Ei saa eeldada, et kõrgel asuvat ja suure pindalaga läbipaistvat pinnakatet hakataks iga 3-4 aasta tagant hooldama, mis oleks vajalik hooldussagedus päikese ja vihma käes olevale läbipaistvale pinnakatele ning kui seda ei tehta tuleb ette võtta veel suurem ja kulukam hooldustegevus vana pinnakatte maha lihvimise ning uue peale kandmise näol. Võrreldes pigmenteeritud pinnakatetega on läbipaistva pinnakattega puitpindade esialgse välisilme taastamine oluliselt keerulisem ja kulukam. Vastavalt sellele klassifitseeriti läbipaistvate või poolläbipaistvate pinnakatete kahjustused ka ISO 15686-8:2008 järgi Materjali valiku (A-material) mõjuteguri alla.

Poolläbipaistvate ja läbipaistvate pinnakatete kasutamise pärast on muret tõstatanud paljud uuringud [43], [15], [40], [44], [45] ning on välja toodud, et peamine probleem on pinnakatte ja puidu vaheline nake ning selle kahjustuse peamiseks põhjuseks on

photodegradatsioon. Nagu kirjanduse ülevaates mainitud, on need katted UV-kiirgusele vastuvõtlikumad võrreldes pigmenteeritud pinnakatetega, mille tulemuseks on oluliselt lühem eluiga. Järelikult võib pinnakatte vale valiku tulemuseks olla hooldussageduse suurenemine, mis omakorda suurendab hoolduskulusid ja lühendab pinnakatte tööiga.

Eesti Ehitusseadustikus [46] paragrahvis § 17 Hooldusjuhend lõik 3 kirjeldab: „Kui õigusaktis ei ole sätestatud teisiti, ei ole hooldusjuhendi olemasolu kohustuslik. Hooldusjuhendi olemasolu või hooldusjuhendis sätestatud toimingute ja nõuete järgimine ei välista omaniku vastutust ehitisest tulenevate ohtude korral.“ Selle sõnastuse järgi ei ole hooldusjuhendi olemasolu kohustus ja detailsus selge, või pigem ei ole nõutav, kuid lõplik vastutus hoone korrashoiust jääb omanikule. Omaniku korrashoiu vastutus kõlab õiglasena kui teda on ehitaja või projekteerija poolt teavitatud hoone ehitamisel kasutatud materjali hooldusvajadusest ja sagedusest ning pööratud tähelepanu materjali valikule, kui see toob kaasa sagedasema ja kulukama hoolduse. Teisalt Eesti Ehitusseaduses [46] paragrahvis § 18 Ehitusprojekt lõik 1 järgi koosneb ehitusprojekt tehnilistest joonistest, seletuskirjast, hooldusjuhendist ja muudest asjakohastest dokumentidest. Selle järgi peavad valitud materjalide hooldusvajadused olema teada juba projekteerimise käigus ja omanikku sellest informeeritud enne hoone püstitamist, kuid see ei korreleeru selle töö küsitluse tulemustega.

Vineeril mida kasutati väliskeskkonnas esinesid suure ulatusega kahjustused ja suur enamus vajab välja vahetamist. Vineeril puudub täispuidu või muude vastupidavamate fassaadimaterjalide robustsus ja ta on altis deformatsioonile, kus kihid eralduvad niiskuse ja temperatuurikõikumiste mõjul. UV-kiirgusega kokkupuude võib põhjustada ka pinna pleekimist ja lagunemist, samal ajal kui vihmavesi võib tungida läbi spooni, põhjustades turset, kõverdumist ning hallituse või vetikate kasvu. Kõik hooned, kus vineeri oli kas osaliselt või täielikult kasutatud fassaadi kattematerjalina, ning jäid vanusevahemiku 13-17 aastat, vajasid vähemalt osalist pinnakattematerjali väljavahetamist. Kõigil vineerist fassaadikatetel oli poolläbipaistev või läbipaistev pinnakatte, mis oli kas osaliselt või täielikult maha koorunud. Võrreldes hoonetega, mille soovituslik eluiga on 50 aastat, on selle uuringu raames käsitletud vineerist fassaadikattel pea viis korda madalam eluiga. Vineer, eriti läbipaistva pinnakattega, ei ole soovitatav selle lühikese eluea ja vastuvõtlikkuse tõttu pinnakahjustustele.

Puitkatused võivad olenevalt kaldest ja kattest olla erineva kasutuseaga. Kuid võrreldes tavaliste standardsete katusekattematerjalidega, nagu plekk ja kivi, on puitkatuste tööiga enamasti lühem. Puitkatuste seisukord varieerus suuresti. Kolmandik oli jõudnud oma eluea lõpuni, teisel kolmandikul esinesid ulatuslikud kahjustused ja viimasel kolmandikul esinesid esteetilised kahjustused (ainult välisilmet mõjutavad). Madala

kaldega puitkatuste valimisel tuleks olla ettevaatlik, kuna need nõuavad rohkem hooldust ja nende eluiga on lühem. See toob aja jooksul jällegi kaasa suuremad hoolduskulud. Arvestades, et standard EN 1990:2002 soovib ehituskonstruksioonide puhul kasutada orienteeruvat projekteeritud eluiga 50 aastat, peaks katusekattematerjal ilma suuremate hooldustöödeta vastu pidama vähemalt sama kaua, tõenäosus, et nende puitkatuste tööiga ulatub 50 aastani on väga madal. Muinsuskaitse juhendis on välja toodud puitkatuste tööiga milleks on 50aastat [7], mis ei lähe kokku antud töös leitud kolmandik puitkatustest olid juba tööea lõpus.

Liimpuit avatud väliskeskkonnale oli kõigil külastatud hoonetel kaetud poolläbipaistva või läbipaistva pinnakattega. Kõigil juhtudel esines pinnakatte koorumine ja puidu märkimisväärne vananemine (puidu halliks värvumine) liimpuidul, mis oli täielikult avatud päikese kiirgusele ja sademetele. Otsese päikese kiirguse ja sademete eest kaitstud puidul märkimisväärseid kahjustusi ei esinenud.

Aknaraamide seisukorda uuriti just pinnakatte poole pealt. Keskenduti läbipaistvatele ja poolläbipaistvatele katetele, kuna need olid kõige levinumad aknaraamid. Seitsmest hoonest, mille aknaraamid olid läbipaistev või poolläbipaistev kate, ilmnisid kõigil pinnakatte kahjustumise tunnused. Seevastu kuuel hoonel, mille aknaraamid olid pigmenteeritud kate, ilmnis pinnakatte kahjustumise (koorumise) märke vaid ühel.

Ehituskvaliteet, täpsemalt teostus, näitas tuvastatud kahjustustega vaid väikest korrelatsiooni. Ehituskvaliteedist põhjustatud kahjustusi ilmnis vaid üksikutel juhtudel, enamasti vihmavee rennide lekkimisena. Kuid sellest tulenevad kahjustused olid tugevalt kahjustanud fassaadi seda osa, kuhu toimus sademete leke. Kokkuvõttes oli ehituskvaliteedil väike mõju külastatud hoonete kasutuseale ja välimusele.

Uurimistöö puudused

Arutades selle uuringu piiranguid, saab välja tuua mitmeid tegureid, mis võisid mõjutada tulemusi ja andmete tõlgendamist. Esiteks võis statistilist analüüsi mõjutada uuritud hoonete valimi väike suurus, mis piiras leidude üldistatavust tänapäevaste puithoonete suuremale hulgale. Teiseks küsitluse madal vastamismäär, kus tagasisidet saadi vaid 26% kogu külastatud hoonete arvust, võib kaasa tuua puuduliku arusaama hoolduspraktikatest ja puithoonete fassaadidega seotud probleemidest.

Selle uuringu kolmandaks piiranguks on ainult visuaalsel hindamisel põhinev lähenemine, mis võis põhjustada ebakindlust kahjustuste kategoriseerimisel ja nende põhjuste tuvastamisel. Näiteks ei tehtud laboratoorseid teste kinnitamaks hallituse ja puidumädaniku olemasolu. Lisaks ei mõõdetud uuringus puitfassaadide pinnakatete paksust, mis oleks võinud anda täiendavat teavet antud hoone hooldussageduse kohta.

Viimaseks võis analüüsi mõjutada hoonetüüpide, sealhulgas eramajade, ühiskondlike hoonete, sildade ja kortermajade suur erinevus. Konkreetsem uuring ühte tüüpi hoonete kohta võib anda üksikasjalikumat teavet kahjustuste ja sellega seotud hooldusmuutrite kohta.

Tulevased uuringud

Üldiselt viitavad uuringus välja tulnud piirangud sellele, et tänapäevaste puithoonete pikaealisust ja hooldust mõjutavate tegurite täielikuks mõistmiseks on vaja täiendavaid uuringuid. Esiteks võiksid tulevased uuringud suurendada vaadeldud hoonete arvu ja keskenduda ühte tüüpi hoonetele, et saada üksikasjalikumat teavet hooldusmuutrite kohta. Teiseks kaasnes kahjustuste ja välimuse muutuste visuaalse hindamisega aja jooksul ebakindlus kahjustuste klassifitseerimisel ja põhjuste tuvastamisel. Kolmandaks kasutada põhjalikumaid hindamismeetodeid laboratoorselt niiskuskahjustuste tüüpide tuvastamisel ja pinnakatte paksuse mõõtmise kujul. Lisaks oleks kasulik koguda informatsiooni kogu eluea kulu kohta, mis läheb fassaadi ülalpidamisele, praegu arvestatakse eluea kulutusi küttele/jahutusele ja seadmetele, kuid fassaadi ülalpidamine nõuab samuti märkimisväärseid kulutusi eriti lühikese hooldussageduse korral.

6. JÄRELDUSED

Uurimistöö pakub ülevaadet puitfassaadide, -katuste ja -elementide kahjustuste peamistest põhjustest. Hüpoteesidena toodi välja: pinnakatte vale valik võib oluliselt lühendada puithoone fassaadi eluiga ja suurendada hooldusvajadust ning hoone projekti läbimõeldusel(projektil) on suurim mõju kasutusea pikkusele ja vajalikule hooldussagedusele. Eesmärgiks oli vastata järgnevatele küsimustele: 1) kuidas mõjutab materjali valik kaasaegse puithoone välisilme eluiga ja hooldusvajadust; 2) mis on peamised tegurid projekti läbimõelduses ja terviklikkuses, mis määravad puithoone kasutusea pikkuse ja hooldusvajaduse sageduse; 3) kui suurel määral on hoone esialgne kasutusiga vähenenud ehitusvigade tõttu. Tulemuste analüüsil tehti järgmised järeldused:

- Projekti terviklikkus ehk puudulikud projektilahendused olid suurimaks mõjuteguriks puitfassaadidel tekkinud niiskuskahjustustele, milledeks sagedasemad olid vetikate ja sambliku kasv. Kuigi nii vetikate ja sambliku kasv on hoone esteetiliselt tööga lühendav kahjustus, viitavad mõlemad puidu pidevale niiskumisele, mis tähendab, et need võivad ajas muutuda puitu lagundavaks kahjustuseks.
- Puudulikeks projektilahendusteks, mis töid kaasa hoone esteetiliselt tööga lühendavad niiskuskahjustused, olid näiteks keerukad ja puudulikult funktsioneerivad vihmaveesüsteemid; madalamal asuva hoone osa katuste liitekohad kõrgemal asetseva hooneosa välisseinaga; puuduvad või kitsad räästad, mis soodustasid vee sattumist puitfassaadile; madalad või puuduvad soklid, mis põhjustasid vee pritsimist puitfassaadidele; madala kaldega puitkatused põhjustasid vihmaveelekkeid hoonete sisse.
- Sageduselt teise kahjustuse, pinnakatte koorumise, kui lagunemise tulemusel tekkinud kahjustuse peamisteks mõjuteguriteks olid ebapiisav hooldus ja materjali valik.
- Ebapiisav hooldus mõjutas peamiselt pigmenteeritud pinnakatte koorumist puitfassaadidel, mis tuvastati 59%-l kahjujuhtudest 10 ja enam aasta vanustel hoonetel, millel oli esmane arvutuslik hooldusvajadus (hooldussagedus 8-12 aastat) ületatud.
- Lisaks hooldusvajaduse ületamise juhtumitele tuvastati 60%-l kahjujuhtudest 8-9 aasta vanustel hoonetel pigmenteeritud pinnakatte enneaegne koorumine puitfassaadidel. Enneaegset pinnakatte koorumist mõjutavateks teguriteks on

leitud pinnakatte toote kvaliteet, liiga õhuke värvikelme kiht, puidu niiskussisaldus enne katmist, puitpinna struktuur(kare või sile), pinna temperatuur, pinnakatte laudise peale kandmise viis ja pakendamine enne kasutamist.

- Materjali valik mõjutas enim poolläbipaistva või läbipaistva pinnakatte koorumist puitfassaadidel kogu vaadeldud hoonete vanuse vahemikus, kuna kõik olid ületanud esmase arvutusliku hooldusvajaduse (3-7 aastat). Poolläbipaistva või läbipaistva pinnakatte koorumist esines 91%-l kahjujuhtudest puitfassaadidel, 100% juhtudest aknaraamid.
- Küsitluse tulemused viitasid ebapiisavatele hooldustavadele ja teadlikkuse puudumisele, mille tulemusel keskendutakse peamiselt kahjustuste likvideerimisele ja renoveerimisele mitte nende ennetamisele (hooldusele). Valdaval enamusel küsitlusele vastanutest, 83%-l, kas puudus hooldusjuhend või ei olnud selle olemasolust teadlik (26%). Suur enamus teostavad hoone hooldust (sh fassaadi pinnakatte) vastavalt vajadusele (81%), pinnakatte kahjustuse (koorumise või pragunemise) tekkimisel, või plaanipäraselt vastavalt oma äranägemisele (14%), kuid ainult 5% vastavalt hooldusjuhendile.
- Poolläbipaistva või läbipaistva pinnakatte valik välitingimustele avatud puidule ei ole soovituslik materjali valik, arvestades väga madalat hooldussagedust ja suure enamuse elanike ebapiisavaid hooldustavasid. Poolläbipaistva või läbipaistva pinnakatte valiku tulemuseks võib olla hooldussageduse suurenemine, mis omakorda suurendab hoolduskulusid ja lühendab pinnakatte tööiga.
- Puitkatused on võrreldes tavapärase katusekattematerjalidega, nagu plekk ja kivi, oluliselt lühema tööeaga kui seatud 50 aastat. Madala kaldega puitkatused tuleks valida ettevaatusega, kuna need nõuavad mitmel korral oma tööea jooksul väljavahetamist
- Vineer on välitingimustes kasutamisel oma suhteliselt õhukese ja õrna olemuse tõttu eriti vastuvõtlik kahjustustele. Kui vineeri kasutada välitingimustes, siis tuleb rõhutada kaitsetöötuse ja regulaarse hoolduse vajadust. Samuti on oluline arvestada kohalike kliimatingimustega hoone välispindade materjali valikul.
- Liimpuitu on tulemuste põhjal soovitatav kasutada väli tingimustes ainult otsese päikesekiirguse eest kaitstud asukohtades. Sellised elemendid peaksid olema

paigutatud kas räästa alla või kaetud vihmavee plekiga. Lisaks ei tohiks minna liimpuit posti ots allapoole ümbritsevat pinda, kus liimpuit ei pruugi ära kuivada.

- Ehituskvaliteet näitas tuvastatud kahjustustega väikest korrelatsiooni, mis ilmnis vaid üksikutel juhtudel. Seega võib öelda, et sellel oli vähene mõju külastatud hoonete kasutuseale ja välisilme muutusele. Ehituskvaliteedi mõju esines ennekõike piiratud ulatusega kahjustuste kaudu, kus kahjustuse põhjuseks olid lekkivad vihmavee süsteemid.
- Hoone kasutajatele oleks soovituslik anda hooldusjuhendid, mis seletaks hoonete kasutajatele õigeaegse hoolduse tähtsust, kuna kasutajad ei pruugi teha piisava aja jooksul hooldust. Eriti tähtis on see lühikese hooldussagedusega pinnakattematerjalide puhul. Õigel ajal tegemata hooldus toob kaasa aja jooksul lisaks pinnakattematerjali kahjustustele ka selle all oleva puitfassaadimaterjali kahjustused.

KOKKUVÕTE

Antud magistritöö keskendus peamiselt kaasaegsete puithoonete fassaadide seisukorrale ja muutustele ajas, kuid hinnati ka puitkatuste ja väliskeskonnale avatud puitdetailide nagu näiteks liimpuidust postide ja talade seisukorda. Eesmärgiks oli vastata järgnevale küsimustele: 1) kuidas mõjutab materjali valik kaasaegse puithoone välisilme eluiga ja hooldusvajadust; 2) mis on peamised tegurid projekti läbimõelduses ja terviklikkuses, mis määravad puithoone kasutusea pikkuse ja hooldusvajaduse sageduse; 3) kui suurel määral on hoone esialgne kasutusiga vähenenud ehitusvigade tõttu. Valikus olevaid hooned külastati visuaalse hindamise eesmärgil fotomaterjali saamiseks, et võrrelda ehitusjärgsete fotodega. Saadud materjali põhjal hinnati nii mittetöötavaid, kui ka toimivaid arhitekturseid ja insenertehnilisi lahendusi, keskendudes eelkõige niiskustehnilisele toimivusele. Mittetoimivate lahenduste puhul määrati kindlaks kahjustuste tüüp, põhjus, suurus ja ulatus ning kategoriseeriti need kõigi vaadeldud hoonete lõikes. Kategoriseeritud tulemused analüüsiti statistikatarkvaras R. Lisaks saadeti külastatud hoonete kasutajatele küsimustik, selgitamaks välja nende rahulolu hoonete ajas muutunud välimusega ning samuti, et teada saada nende hooldusharjumuste ja teadmiste kohta.

Külastatud kaasaegsete puithoonete vaatlustulemused näitasid, et nende seisukorra ja välisilme muutust põhjustasid peamiselt niiskuskahjustused nagu vetikate ja sambliku kasv välispindadel ning pinnakatte koorumine fassaadikatetel ja välistel puitdetailidel. Ehitusprojekti terviklikkus mille alla läksid ebapiisavad projektilahendused nagu madalad või puuduvad soklid ja puuduv või kitsas räästas olid kõige olulisemad tegurid, mis põhjustasid puitfassaadide niiskuskahjustusi, mis sageli tõid kaasa vetikate ja samblike kasvu. Vetikate ja sambliku kasvu saab esialgselt liigitada puitu mittelagundavaks kahjustuseks, mis vähendab hoone esteetilist tööiga, kuid tulevikus võib viia puidumädanikuni ning kahjustada pinnakatet. Puidu pinnakatte koorumine on aga seevastu lagunemise tulemusel tekkinud kahjustus ja mõjutab otseselt hoone tööiga. Ebapiisav hooldus mõjutas peamiselt pigmenteeritud pinnakatte koorumist puitfassaadidel, mis tuvastati 59%-l kahjujuhtudest 10 ja enam aasta vanustel hoonetel, millel oli esmane arvutuslik hooldusvajadus (hooldussagedus 8-12 aastat) ületatud.

Materjali valik, eriti poolläbipaistvate või läbipaistvate pinnakatete kasutamine, mõjutas oluliselt puitfassaadide ja aknaraamide pinnakatete koorumist. Pigmenteeritud pinnakatted osutusid kõige vastupidavamaks, läbipaistvad ja poolläbipaistvad katted nõuavad aga tihedamat hooldust kui tehakse. Samuti tõi uuring välja piisava hooldussageduse tähtsuse puitfassaadide ja väliste puitdetailide pikaealisuse

tagamiseks. Puitfassaadide ja välise puitdetailide seisukord sõltub suuresti pinnakatte tüübist ja hooldussagedusest.

Peamised tulemused mis leiti: Levinud olid ebapiisavad hooldustavad ja teadlikkuse puudumine, kusjuures enamik hoone kasutajaid keskendus pigem kahjude likvideerimisele kui ennetamisele. Ehituskvaliteet mõjutas külastatud hoonete eluiga ja väliseid muutusi väheses ulatuses, põhjustades kahju eelkõige lekkivatest vihmaveesüsteemidest. Puitkatused, eriti madala kaldega katused, on tavaliste katusematerjalidega võrreldes oluliselt lühema elueaga. Vineer on välitingimustes kasutamisel oma suhteliselt õhukese ja õrna olemuse tõttu eriti vastuvõtlik kahjustustele. Liimpuitu on tulemuste põhjal soovitatav kasutada väli tingimustes ainult otsese päikesekiirguse eest kaitstud asukohtades ja nad peaksid olema lõike servadest ja pealt kaitstud otseste sademete eest.

SUMMARY

This master's thesis primarily focused on the condition of the facades of modern wooden buildings and their changes in appearance over time. In addition, the condition of wooden roofs and wooden parts exposed to the outside environment was assessed. The aim was to answer three questions: 1. How does the choice of material affect the service life and the need for maintenance of the exterior of a modern wooden building? 2. What are the main factors in the thoughtfulness and integrity of the project that determine the length of the wooden building's service life and the frequency of maintenance? 3. To what extent has the initial service life of the building been reduced due to construction defects?

The selected buildings were visited for visual assessment and photographic material was obtained to compare with construction era photographs. Based on the obtained material, both non-functional and functional architectural and engineering solutions were evaluated, focusing primarily on moisture technical performance. For non-functional solutions, the type, cause, size and extent of damage were determined and categorized across all buildings observed. The categorized results were analyzed in the statistical software R. In addition, a questionnaire was sent to the users of the visited buildings to find out their satisfaction with the change in appearance of the buildings over time, as well as to find out about their maintenance habits and knowledge about the maintenance.

The observation results of the visited modern wooden buildings revealed that the primary cause of changes in their condition and exterior appearance was moisture damage, such as the growth of algae and lichen on exterior surfaces and the peeling of surface coatings on facade coverings and exterior wooden parts. The integrity of the construction project was found to be the most significant factor in causing moisture damage to wooden facades, due to inadequate design solutions such as low or missing plinths and missing or narrow eaves, which often resulted in the growth of algae and lichen. While the initial stage of algae and lichen growth can be considered non-degrading damage to the wood, it can reduce the aesthetic life of the building and eventually lead to wood rot and surface coating damage. Peeling of the wood surface directly impacts the building's service life. Inadequate maintenance was found to be a major contributor to the peeling of pigmented surface coatings on wooden facades, with 59% of damage cases detected in buildings 10 years old and older that had exceeded the initial calculated maintenance requirement of every 8-12 years.

The choice of material, particularly the use of semi-transparent or transparent coatings, significantly affected the peeling of coatings on wooden facades and window frames. Pigmented coatings were found to be the most durable, while transparent and translucent coatings require more frequent maintenance than what is currently being done. The study also highlighted the importance of regular maintenance to ensure the longevity of wooden facades and external wooden parts. The condition of wooden facades and external wooden parts is largely dependent on the type of surface coating and the frequency of maintenance.

The key findings of the study revealed that inadequate maintenance practices and lack of awareness were common among building users, with a focus on damage repair rather than prevention. The quality of construction had a small impact on the lifespan and external changes of the buildings visited, with damage mainly caused by leaking rainwater systems. The study also found that wooden roofs, especially low-pitched roofs, have a significantly shorter lifespan compared to conventional roofing materials. Additionally, plywood was found to be particularly susceptible to damage when used outdoors due to its relatively thin and delicate nature. Based on the findings, it is recommended to use glulam in outdoor conditions only in locations protected from direct sunlight, and to protect it from direct precipitation at the edges of the cut and on top.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] A. Widuto, „Energy transition in the EU,“ European Parliamentary Research Service, 2023.
- [2] G. B. Austin Himes, „Wood buildings as a climate solution,“ *Developments in the Built Environment*, kd. 4, pp. 100030-, 2020.
- [3] G. R. T. B. K. H. Kjell Bettgenhaeuser, „Impact of Wooden Buildings on Climate, Embodied Energy and GHG-Emissions,“ EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Energy, Directorate for Renewables, Research and Innovation, Energy Efficiency, Unit: C2 – Innovation, clean technologies and competitiveness, 2020.
- [4] Puidukoda OÜ, „<https://www.puidukoda.eu>,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.puidukoda.eu/wp-content/uploads/2021/04/Juhend_Valisvoodrilaud_30.03.2021.pdf.
- [5] M. Riistop, „puuinfo.ee,“ 2003. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.puuinfo.ee/artiklid/pdf/Mart_Riistop_Puit_ehituses_Puitfassaadid.pdf. [Kasutatud 02 2024].
- [6] SP Technical Research Institute of Sweden, „WoodExter – Service life and performance of exterior wood above ground – Final report,“ 2012.
- [7] Muinsuskaitseamet, „Kultuurimälestise omaniku käsiraamat : [restaureerimise infovoldikud], Puitkatus,“ Muinsuskaitseamet, 2018.
- [8] Byggforskserien, „544.107 Roofing with wooden shingles,“ Byggforskserien, 2018.
- [9] S. Bliss, *Best Practices Guide to Residential Construction: Materials, Finishes, and Details*, J Wiley & Sons, 2005.
- [10] G. G. A. P. B. N. G. Boris Forsthuber, „The influence of exposure orientation and inclination on the service life of wood coatings,“ %1 *International Woodcoatings Congress*, Amsterdam, 2022.
- [11] T. A. T. K. Paul Klõšeiko, „Deterioration of building envelope of wooden apartment buildings,“ %1 *Nordic Symposium on Building Physics*, 2011.
- [12] J. J. Rabke, „Survey of timber structures -Validation studies of a service life prediction tool,“ 2022.
- [13] J. Heikkila, „Moisture damage in Finnish,“ *Journal of Building Appraisal*, 23 September 2005.
- [14] G. G. Boris Forsthuber, „Maintenance intervals and their dependence on the coating formulation. Workshop on the service life performance of coated wood products,“ InnoRenewCoE, Slovenia, 2023.
- [15] P. D. H. J. G. S. A. S. B. M. & K. M. Evans, „The Search for Durable Exterior Clear Coatings for Wood.,“ *Coatings*, pp. 830-864, 2015.
- [16] J. Ekstedt, „Moisture Dynamic Assessment of Coating for Exterior Wood.,“ KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1995.
- [17] woodguide, „<https://www.woodguide.org>,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.woodguide.org/guide/wood-stain/>. [Kasutatud 05 2024].
- [18] C. A. HILL, *Wood Modification Chemical, Thermal and Other Processes*, School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor, 2006.
- [19] Byggforskserien, *Cladding of untreated wood 542,645*, SINTEF, 2018.

- [20] Byggforskserien, „Woodwork, Wood species and amterial properties,“ Byggforskserien, 2015.
- [21] Forest Products Laboratory, Wood Handbook, Wood as an engineering material, US Forest Service, 2021, Märts.
- [22] J. J. D. Sandberg, „The Concept of Value Activation I: Wood properties,“ Växjö University, School of Technology and Design.
- [23] J. Tate, „dezeen,“ [Vörgumaterjal]. Available: https://static.dezeen.com/uploads/2022/05/north-bank-elliott-architects-tyne-valley-house-hero_dezeen_2364_col_0-852x479.jpg. [Kasutatud 03 2024].
- [24] L. Garbačauskas, „archdaily.com,“ 2023. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.archdaily.com/1009986/family-house-in-druskininkai-laurynas-zakevicius-architects/655bbe8d73d0b5017c8515e3-family-house-in-druskininkai-laurynas-zakevicius-architects-photo>. [Kasutatud 2024].
- [25] I. Ivanov, „amazingarchiecture.com,“ 2022. [Vörgumaterjal]. Available: https://amazingarchitecture.com/storage/files/1/architecture-firms/bureau-a4/summer-patio/summer_patio_bureau_a4_msocow_russia-26.jpg. [Kasutatud 2024].
- [26] J. Filip, „amazingarchitecture.com,“ 2022. [Vörgumaterjal]. Available: <https://amazingarchitecture.com/cabin/hytta-serene-retreat-for-creative-minds-lipana-drevnici-czech-republic>. [Kasutatud 2024].
- [27] Statistikaamet, „<https://andmed.stat.ee>,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://andmed.stat.ee/et/stat>. [Kasutatud Märts 2024].
- [28] F. T. I. S. B. F. Gerhard Grüll, „Comparison of wood coating durability in natural weathering,“ *Eur. J. Wood Prod*, pp. 367-376, 02 04 2014.
- [29] C. R. S. M. & W. T. Gaylarde, „Microbial impact on building materials: an overview,“ *Mat. Struct*, nr 36, pp. 342-352, 2003.
- [30] E. Q. A. G. Marco D'Orazio, „Influence of the rain on algae growth on building facades. A predictive model based on neural networks,“ *Building and Environment*, nr 246, 2023.
- [31] G. G. Boris Forsthuber, „Typical failure modes for wood coatings. Workshop on the service life performance of coated wood products,“ InnoRenewCoE, Slovenia, 2023.
- [32] U. Hundhausen, „Performance of coatings in service - Norwegian design guidelines and experiences from inspections of buildings failures. Workshop on the service life performance of coated wood products.,“ InnoRenewCoE, 2023.
- [33] D. N.-S. H. WILLIAM C. FEIST, „Chemistry of Weathering and Protection,“ %1 *The Chemistry of Solid Wood*, American Chemical Society., 1984, pp. 401-451.
- [34] H. G. b. I. S. A. b. G. J. b. R. H. a. Chameera Udawattha a, „Mold growth and moss growth on tropical walls,“ *Building and Environment*, nr 137, pp. 268-279, 2018.
- [35] T. O. Hannu Viitanen, „Improved Model to Predict Mold Growth in Building Materials,“ 2007.
- [36] H. V. e. al, „Mould Growth Modelling to Evaluate Durability of Materials,“ 2011.
- [37] C. C. R. W. a. A. O. R. Brischke, „Detection of Fungal Decay by High-Energy Multiple Impact (HEMI) Testing,“ *Holzforschung*, 2006.
- [38] EN 335:2013, *Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, applications to solid wood and wood-based products*, Euroopa standard, 2013.

- [39] J. S. A. T. M. K. A. M. L. J. & P. J. Taylor, „Prevalence and extent of moisture damage in Finnish housing,“ %1 *2nd International Conference on Moisture in Buildings*, 2023.
- [40] C. K. M. & R. L. Hill, „Review of the use of solid wood as an external cladding material in the built environment,“ *Journal of Materials Science*, pp. 9031-9076, 2022.
- [41] U. Hundhausen, „Premature adhesion failure of exterior wood coatings - The influence of substrate temperature at coating application and moisture accumulation during storage,“ %1 *Scientific Conference on Wood Protection*, Bled, Slovenia, 2022.
- [42] G. G. Boris Forsthuber, „Service Life Prediction of coated wooden,“ %1 *Holz Forschung/WoodLCC*, 2023.
- [43] B. S. W. S. A. P. K. H. W. S. M. A. G. S. R. S. J. & W. S. Dawson, „Enhancing exterior performance of clear coatings through photostabilization of wood. Part 2: coating and weathering performance,“ *Journal of Coatings Technology and Research*, p. 207–219, 2008.
- [44] J. & N. S. Pospíšil, „Photostabilization of coatings. Mechanisms and performance,“ *Progress in Polymer Science*, pp. 1261-1335, 2000.
- [45] A. P. & D. B. S. W. Singh, „THE MECHANISM OF FAILURE OF CLEAR COATED WOODEN BOARDS AS REVEALED BY MICROSCOPY,“ *IAWA Journal*, pp. 1-11, 2003.
- [46] Riigikogu, „<https://www.riigiteataja.ee>,“ 01 01 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001?leiaKehtiv>. [Kasutatud 05 2024].

LISAD

Lisa 1. Objektide tabel

Osalemise aast	Maakond/linn	Arhitekt	Hoone kasut	Fotod eni	Külastatud	Saadetud	Vastan	Kirjeldused tehtud	Kahjustused kategoriseeritud
2006	Põlvamaa	Tiina Komissarov	Avalik	jah	jah	jah	jah	Jah	Jah
2008	Võrumaa	Tiit Hansen	Avalik	jah	jah	jah	jah	Jah	Jah
2011	Võrumaa			Jah	jah	jah	jah	Jah	Jah
2014	Võrumaa	Allianss Architects, Indrek Tiigi, Helle Triin Hansumäe	Puhkemaja	küsitud	jah			Jah	Jah
2015	Võrumaa	Mirko Moppel, Kaguühendus oü Uko Künnap, U-disain	Avalik	jah	jah	jah		Jah	Jah
2015	Valgamaa	arhitektuuriklubi	Era	jah	jah	jah		Jah	Jah
2014	Tartumaa	Ott Ojamaa, Katre Kuller	Korter	jah	Jah	jah	Jah	Jah	Jah
2014	Tartumaa	Karisma	Avalik	Jah	Jah	jah		Jah	Jah
2013	Tartumaa	Ott Ojamaa, Katre Kuller	Kool/lasteaed	Jah	Jah	jah	Jah	Jah	Jah
2014	Tartumaa	Sense OÜ	Eramu	jah	Jah	jah		Jah	Jah
2015	Tartumaa	Kaido Kepp, Erik Kõivistik	Eramu	jah	Jah	jah		Jah	Jah
2014	Tartumaa	Eero Endjärve Büroo	Büroo	Jah	Jah	jah	Jah	Jah	Jah
2015	Tartumaa	Tõnu Laanemäe, paik ou arhitektuuriklubi	Avalik	jah	Jah	jah		Jah	Jah
2015	Tartumaa		Korter	jah	Jah			Jah	Jah

Lisa 2. Kategoriseerimistabel

Kahjustuse tüüp	Märkused	Kahjustuse põhju	Kahjustuse asuko	Kahjustuse ulati	Kahjustuse suur	Ehitusaas	Vanus	Asukoht
Vetikate kasv		Katuseelt vesi voolab fassaadile	Fassaad	10	Puit ega pinnakate ei ole kahjustunud	2014		9 Tartu
Vetikate kasv		Katuseelt vesi voolab fassaadile	Fassaad	10	Puit ega pinnakate ei ole kahjustunud	2005		18 Tallinn
Vetikate kasv		Sokli plekilt vee pritsimine	Fassaad	3	Puit ega pinnakate ei ole kahjustunud	2005		18 Tallinn
Veepleki söövitus		Keemiline reaktsioon	Fassaad	3	Puit ega pinnakate ei ole kahjustunud	2005		18 Tallinn
Pinnakate koorumine		UV kiirgus	Aknaraam	30	Pinnakate on kahjustunud	2005		18 Tallinn
Vetikate kasv		Katuseelt vesi voolab fassaadile	Fassaad	3	Pinnakate on kahjustunud	2006		17 Põlvamaa
Hallitus		Vee pritsmed soklis	Fassaad	5	Puit ega pinnakate ei ole kahjustunud	2006		17 Põlvamaa
Pinnakate koorumine		UV kiirgus	Fassaad	20	Pinnakate on kahjustunud	2006		17 Põlvamaa
Pinnakate koorumine		Katuseelt vesi voolab fassaadile	Fassaad	3	Puit ja pinnakate on kahjustunud	2006		17 Põlvamaa

Korrus	Katuse tüüp	Räästas	Sokkel	Sokli plekk	Fassaadi ülekate	Katusekat	Vihmavee süstee	Probleem vihmave	Fassaadikate	Pinnakate	N_kahjustus	E_kahjustus	S_kahjustus	W_kahjustus
2	Viiikatus	Puudub	Kõrge	F	T	Plekk	T	ummistus	Vertikaalne laudis	Värv	F	T	F	T
3	Viiikatus	Puudub	Kõrge	T	F	Plekk	T	Lekib	Vertikaalne laudis	Raudsulfaat	T	F	F	F
3	Viiikatus	Puudub	Kõrge	T	F	Plekk	T	Lekib	Vertikaalne laudis	Raudsulfaat	T	F	F	F
3	Viiikatus	Puudub	Kõrge	T	F	Plekk	T	Lekib	Vertikaalne laudis	Raudsulfaat	T	F	F	F
3	Viiikatus	Puudub	Kõrge	T	F	Plekk	T	Lekib	Vertikaalne laudis	Raudsulfaat	T	F	F	F
aa	2	Viiikatus	Puudub	Kõrge	F	T	SBS	F	Diagonaal laudis	Värv	F	F	T	F
aa	2	Viiikatus	Kitsas	Kõrge	F	T	SBS	F	Diagonaal laudis	Värv	T	F	F	F
aa	2	Viiikatus	Puudub	Kõrge	F	T	SBS	F	Diagonaal laudis	Värv	F	F	T	T
aa	2	Viiikatus	Puudub	Kõrge	F	T	SBS	F	Diagonaal laudis	Värv	F	F	T	T

Lisa 3. Küsitluse vorm(Google Forms)

<p>1. Hoone aadress</p> <p>Short answer text</p>	<p>5. Milliseid hooldustöid te olete fassaadil teostanud?</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Ei ole teostanud hooldustöid<input type="checkbox"/> Fassaadi värvinud<input type="checkbox"/> Detalli/materjali parandamine<input type="checkbox"/> Väija vahetanud detaile/materjale<input type="checkbox"/> Vihmavee süsteemi puhastamine<input type="checkbox"/> Other...
<p>2. Kui kaua te olete hoones elanud/töötanud/kasutanud?</p> <ul style="list-style-type: none">1. <2 aastat2. 2-5 aastat3. 6-10 aastat4. 11-15 aastat5. 16-20 aastat	<p>6. Kui tihti te olete teostanud fassaadi hooldustöid? (eelmises küsimuses valitud hooldustöö sagedus, kui valisite mitu, siis lisada lühim)</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> 2-3 aasta tagant<input type="radio"/> 4-5 aasta tagant<input type="radio"/> 10 aasta tagant<input type="radio"/> Harvemini<input type="radio"/> Üldse ei ole
<p>3. Kui rahul te olete fassaadi praeguse tehnilise seisukorraga (laguneb/ei lagune)?</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5</p> <p>Ei ole rahul <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> Väga rahul</p>	<p>7. Millal te plaanite (uuesti) fassaadi hooldada?</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> 1 aasta pärast<input type="radio"/> 2-3 aasta pärast<input type="radio"/> 4-5 aasta pärast<input type="radio"/> Ei ole plaanis
<p>4. Kas hoone fassaadil on hooldusjuhend?</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Jah<input type="radio"/> Ei<input type="radio"/> Ei tea	
<p>8. Kas hooldustöid olete teostanud vastavalt vajadusele või plaanipäraselt?</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Vastavalt vajadusele (viimistlus on kahjustunud, lagunenud detail)<input type="radio"/> Plaanipäraselt (vastavalt hooldusjuhendile)<input type="radio"/> Plaanipäraselt (vastavalt oma äranägemisele)	
<p>9. Kuidas vastab fassaadi hooldamise vajaduse sagedus teie ootustele?</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Liiga sage<input type="radio"/> Eelduste kohane<input type="radio"/> Harvemini kui eeldasin	
<p>10. Milliseid tooteid olete kasutanud hoolduseks/värvimiseks (kui olete varem hooldanud)?</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Ei tea<input type="radio"/> Sarnane algsele lahendusele (värv/peits)<input type="radio"/> Kasutasin erinevat lahendust (värv/peits)<input type="radio"/> Other...	<p>12. Kui teie hoone fassaadi kestvusega on probleeme, siis mis põhjusel?</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Arhitektuur<input type="radio"/> Valitud materjal<input type="radio"/> Valitud viimistlus<input type="radio"/> Projekteeritud tehniline lahendus<input type="radio"/> Ehitustööde teostus<input type="radio"/> Välistõrjumõju<input type="radio"/> Ebapiisav hooldus<input type="radio"/> Other...
<p>11. Kuidas hindate fassaadi muutust ajas? (Arvestades vananemisega)</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Olen rahul praeguse olukorraga<input type="checkbox"/> Häirib fassaadi ilme muutus ajas (värv muutus)<input type="checkbox"/> Esinevad nähtavad välised kahjustused (vetikas/hallitus/mädanemine/päikese kiirgus)<input type="checkbox"/> Other...	<p>13. Kas fassaadi tehnilise lahendusel on võimalik midagi muuta, et selle ajaline kestvus pikeneks? (valikuline)</p> <p>Short answer text</p>

GRAAFILINE OSA

Lisa 4. Kahjustuste kirjeldamise tabel

Kaldsein	Probleemiks aeglasem vihmavee äravool kui vertikaalsel seinal. Suurem avatus kaldvihmale.	Katuse äär	Probleemiks vihmavee voolamine mööda seinu alla. Põhjuseks valesti paigaldatud parapeti pleki ülekate, kus ülemine plekk on paigaldatud alumise alla, mille kaudu pääseb vesi parapeti alla ja sealt seinu peale.
Diagonaal laudis	Diagonaal laudis juhib vihmavee kõrvaloleva fassaadi	Ehituskvaliteet	 
Fassaadile kinnitatud objektid	Katuse ääreplekilt tulev vesi valgub seinale kinnitatud valvikaamerale, mis tekitab fassaadile veejoo. Veejuga tõstab fassaadi pinnal niiskuskoozumust, mis on põhjustanud pinnakate kahjustumise, vaata joonis 2	Väijätõmme	Bija tõmmatud soe ja niiske õhk puutub kokku fassaadi külma pinnaga, mille tulemusel on niiskuskoozumust fassaadil oluliselt suurenenud. Selle tulemusel on hakanud fassaadi pinnal kasvama vetikad ja samblik.
Katuse äär			Puud on varjestanud fassaadi. Vahedega horisontaalse laudise peale koguneb tolm(puudelt) ja vihmavesi mis on olnud aluseks samblike ja vetikate kasvaks. Teistes asukohtades probleem puudub kuna fassaad pole varjestatud ning vihmavesi kuivab päikesekiirguse liigipääsul ära
Puudub vihmaveerenn	Katuse all voolav vesi kokkupuutel maapinnaga pritsib seinu fassaadi alumisele osale, mis kahjustab fassaadi pinnakate.	Hoonele liiga lähedal olev mets/võsa	 
Päikesekiirguse kahjustus	Pikaajaline UV kiirgus on kahjustanud fassaadi pinnakate, mille tõttu pinnakatte eluiga on ületatud ja vajab hooldust.		
			

Lisa 5. Objekti ankeet mis saadeti koos küsitlusega kasutajatele

Objekt	Seisukord hindamise hetkel	Seisukord hetkel
<ul style="list-style-type: none"> • Harjumaa • 2013 • 2 • korruseline • Laudisest viilkatus • Fassaad-Vertikaalne puitlaudis • Fassaadi pinnakatevärv 	<p data-bbox="379 277 411 300">Ida</p>  <p data-bbox="379 591 411 613">Põhi</p> 	 



Pildid võimalikest probleemsetest asukohtadest:

