



Joonatan Hyvärinen

Korjauskohteen korjauslaajuuksien vertailu hiilijalanjäljen sekä kustan- nusten perusteella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

15.4.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Joonatan Hyvärinen
Otsikko:	Korjauskohteen korjauslaajuuksien vertailu hiilijalanjäljen sekä kustannusten perusteella
Sivumäärä:	67 sivua + 3 liitettä
Aika:	15.4.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikan tutkinto
Ammatillinen pääaine:	Rakennetekniikka
Ohjaajat:	Suunnittelupäällikkö Ville Laankoski Lehtori Kimmo Sani

Korjausrakentamisella on suuri yhteiskunnallinen merkitys kansantaloudelle sekä kestäväälle kehitykselle. Rakentamisella ja rakennetulla ympäristöllä on lukuisia kustannus- ja ympäristövaikutuksia, joiden hallitseminen on yhä merkittävämpää tulevaisuudessa. Maailman kehittyessä ja ilmastonmuutoksen edetessä on entistä tärkeämpää, että myös rakennusala ottaa kaikessa toiminnassaan huomioon kestävä kehityksen ja sen vaikutukset ympäristöön ja luonnon monimuotoisuuteen. Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona NCC Suomi Oy:n korjausrakentamisen yksikölle, joka toimii aktiivisesti hiilineutraalimman rakentamisen edelläkävijänä, pyrkien vähentämään rakentamisen vaikutusta ilmastonmuutokseen.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ja vertailla korjauskohteen ja sen korjauslaajuuksien aiheuttamia hiilijalanjälkipäästöjä ja kustannuksia. Tutkimuksessa oli myös keskeistä määrittää korjauslaajuuksien sisällöt sekä korjaustoimenpiteet esimerkkikohteelle, jolle NCC oli vuonna 2024 toteuttanut osittaisen peruskorjauksen. Tutkimuksen tarkoituksena oli saada päätöksentekoon vaikuttavaa vertailukelpoista dataa yritykselle ja sen asiakkaille, kuinka korjauslaajuutta valittaessa pystytään huomioimaan sekä kustannustehokkuus että ympäristöystävällisyys.

Opinnäytetyön tutkimusmenetelminä toimivat teoriaperustaan pohjautuva kirjallisuustutkimus, kustannus- sekä hiilijalanjälkilaskelmiin liittyvät laskennalliset menetelmät sekä esimerkkikohteen tutkiminen ja hyödyntäminen dokumenttianalyysin avulla. Työssä hankittiin tietoa teorian lisäksi asiantuntijakeskusteluilla sekä saamalla käyttö-opastus ESTIModel-kustannuslaskentaohjelmistoon. Lopputuloksen kannalta myös vertailu- ja analyysimenetelmät toimivat tärkeänä tutkimusmenetelmänä.

Työssä määriteltiin onnistuneesti korjauslaajuudet ja selvitettiin niiden aiheuttamat kustannukset ja hiilijalanjäljet. Tutkimuksessa saatiin vertailudataa neljästä eri korjauslaajuudesta kokonaisuuksina niiden juurisyitä ja eroavaisuuksia analysoiden. Vertailun ja pohdinnan ansiosta yritykselle saatiin esimerkkikohteesta uutta numeerista dataa, jota pystytään hyödyntämään jatkossa vastaavanlaisissa projekteissa.

Avainsanat: hiilijalanjälki, korjauslaajuus, korjauskustannukset

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Joonatan Hyvärinen
Title: Comparison of Repair Scopes Based on Carbon Footprint and Costs
Number of Pages: 67 pages + 3 appendices
Date: 15 April 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisors: Ville Laankoski, Design Manager
Kimmo Sani, Senior Lecturer

Renovation construction has social significance for the national economy and sustainable development. Construction and the built environment have several cost and environmental impacts, the management of which will be increasingly important. As climate change progresses, the construction industry must consider sustainable development in all its activities. The thesis was commissioned by the renovation unit of NCC Suomi Oy, which has a strong motive to act as a pioneer in more carbon-neutral construction.

The study aimed to investigate and compare the carbon footprint emissions and costs caused by a renovation site and its renovation scopes. The thesis also defined the contents of the renovation scopes for an example site. The research provided comparable data that influenced decision-making for the company and its customers, showing how both cost-effectiveness and environmental friendliness can be taken into account when choosing the scope of repairs.

The research methods of the thesis were a literature study based on a theoretical framework, computational methods related to cost and carbon footprint calculations, and the research and utilization of an example site through document analysis. In addition to theory, information was obtained through expert interviews and by receiving user guidance for the ESTIModel software.

As a result, the study defined the scope of repairs and investigated their costs and carbon footprints. The study obtained comparative data from four different scopes of repairs, analysing their root causes and differences. Thanks to the comparison, the company received new numerical data from an example site, which can be used in similar projects.

Keywords: carbon footprint, scope of repair, repair costs

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Tavoitteet	1
1.3	Rajaukset	2
1.4	Tutkimusmenetelmät	3
2	Korjausrakentaminen ja sen vaikutukset	4
2.1	Rakennettu ympäristö Suomessa	4
2.1.1	Korjausrakentamisen nykytilanne ja kehitys	6
2.1.2	Sisäilmaongelmien korjaaminen	8
2.2	Kustannuslaskenta rakennusalalla	9
2.2.1	Hankeselvitys ja -suunnittelu	14
2.2.2	Kustannusarvion merkitys päätöksenteossa	16
2.3	Hiilijalanjälki rakentamisessa ja siihen liittyvä lainsäädäntö	17
2.3.1	Hiilijalanjälki ja sen vaikutus	17
2.3.2	Hiilijalanjätkilaskenta	18
2.3.3	Hiilijalanjälkeen liittyvä lainsäädäntö	21
3	Korjauskohde ja korjauslaajuudet	23
3.1	Esimerkkikohde	23
3.1.1	Kohteen rakenteet ja talotekniikka	24
3.1.2	Kohteen aiemmat korjaukset	27
3.1.3	Kohteen aineistot ja tutkimukset	27
3.1.4	Kohteessa havaitut vauriot ja ongelmat	28
3.2	Korjauslaajuuksien määrittely	29
3.2.1	Kevyt korjaus VE1	31
3.2.2	Osittainen peruskorjaus VE2	32
3.2.3	Uudisrakennus VE3	33
3.2.4	Laaja korjaus VE4	35
4	Hiilijalanjälki- sekä kustannuslaskelmat	36
4.1	Kustannusarviot	36

4.1.1	Laskelmien lähtötiedot ja toteutus	36
4.1.2	Laskentatulokset	38
4.2	Hiilijalanjätkilaskelmat	42
4.2.1	Laskelmien lähtötiedot ja toteutus	42
4.2.2	Laskentatulokset	43
5	Vaihtoehtojen vertailut ja havainnot	47
5.1	Kustannusvertailu	47
5.2	Hiilijalanjätkivertailu	50
5.3	Korjauslaajuuksien kokonaisvertailu	51
5.4	Keskeiset havainnot	53
6	Johtopäätökset	56
6.1	Laskentatuloksien pohdinta	56
6.2	Hyödynnettävyys ja jatkokehitys	59
7	Yhteenveto	61
	Lähteet	64
	Liitteet	
	Liite 1: Uudisrakennuksen VE3 rakennetyypit	
	Liite 2: Korjauslaajuuksien kustannusarviot	
	Liite 3: Takaisinmaksuaikalaskelma	

Lyhenteet ja käsitteet

2D-malli	Kaksiulotteinen malli. Tasomainen malli, joita ovat esimerkiksi piirustukset ja suunnitelmat.
3D-malli:	Kolmiulotteinen malli. Hahmotteleva malli, joita ovat esimerkiksi rakennuksien tietomallit.
B _{rm} ² :	Bruttopinta-ala. Kuvaa rakennuksen kokonaislaajuutta.
CH ₄ :	Metaani. Yksi yleisimmistä kasvihuonekaasuista, jota syntyy hiilen, maakaasun ja öljyn tuotannossa sekä maataloudessa.
CLT:	<i>Cross Laminated Timber</i> . Ristiinliimattu massiivipuu.
CO ₂ :	Hiilidioksidi. Maailman yleisin kasvihuonekaasu, jota syntyy luonnossa, kemiallisissa reaktioissa sekä fossiilisten polttoaineiden palaessa.
CO _{2e} :	Hiilidioksidiekvivalentti. Suure, joka kuvaa eri kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusta.
DEHP:	Yleisin muovimatoissa käytetty pehmentävä ja notkeuttava aine, joka on luokiteltu vaaralliseksi jätteeksi.
E-luku:	Rakennuksen energiatehokkuuden vertailuluku.
EPD:	<i>Environmental Product Declaration</i> . Ympäristöseloste, joka erittelee tuotteen ympäristövaikutukset.
ESTIModel:	NCC:n tilapohjainen kustannuslaskentaohjelma.
GWP-arvo:	<i>Global Warming Potential</i> . Lämmityspotentiaali. Kuvaa aineen ilmastovaikutusta.

GWh:	Gigawattitunti. Käytetään energiankulutuksen yksikönä.
Hum ² :	Huoneala. Lasketaan mittaamalla pinta-ala huoneiden seinien sisäpintojen mukaisesti.
IDA ICE:	<i>IDA Indoor Climate and Energy</i> . Rakennuksen suorituskyvyn simulointiohjelmisto.
IPCC:	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> . Ilmastopoliittista päätöksentekoa tukeva hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli.
Kem ² :	Kerrosala. Lasketaan laskemalla yhteen kerroksien huonealat.
Konversio:	Korjaustoimenpide, jossa rakennuksen käyttötarkoitus muutetaan korjauksen yhteydessä.
Korjausaste:	Korjausohjelman mukaisten kustannusten ja vastaavan uudisrakennuksen tilaohjelman kustannusten suhde.
LCA:	<i>Life Cycle Assessment</i> . Elinkaariarviointi eli elinkaaren aiheuttamien ympäristövaikutuksien tarkastelu.
LVIAS:	Lämpö, vesi, ilma, automaatio ja sähkö.
N ₂ O:	Dityppioksidi eli typpioksiduuli. Yksi yleisimmistä kasvihuonekaasuista, jota syntyy puun polttamisen, kemian tuotannon, lannoitteiden käytön sekä maaperän mikrobin toiminnan seurauksena.
NCC:	Viitataan NCC konsernin NCC Suomi Oy yritykseen.

OneClick LCA:	Hiilijalanjätkilaskentatyökalu, joka perustuu ympäristöministeriön arviointimenetelmään.
Peruskorjaus:	Korjaustoimenpide, jossa rakennus korjataan alkuperäistä vastaavaan kuntoon.
Perusparannus:	Korjaustoimenpide, jossa rakennus korjataan entistä paremmin käyttötarkoitustaan soveltuvaksi.
SFP-luku:	<i>Specific Fan Power</i> . Ominais sähköteho. Kuvaa tarvittavaa tehoa yhden ilmakeuution kuljettamiseen rakennuksen läpi sekunnissa.
Talo 80:	Rakennusalan kansallinen ja standardisoitu nimikkeistöjärjestelmä.
Talo 2000:	Rakennusalan kansallinen ja standardisoitu nimikkeistöjärjestelmä.
Tilalaskenta:	Kustannuslaskentamenetelmä, jossa kustannukset määritetään ja esitetään tilaohjelman perusteella tilakohtaisesti.
Tilaohjelma:	Kuvaa hankkeessa toiminnan vaatimia tiloja ja niiden laajuuksia.
U-arvo:	Lämmönläpäisykerroin. Kuvaa rakenteen kykyä eristää lämpöä.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Korjausrakentamisella on suuri merkitys nykyisen rakennuskannan korjausvelan kasvaessa, tilavaatimusten muuttuessa sekä ympäristötavoitteiden lisääntyessä. Maailmantilanteen ja koko toimintaympäristömme muuttuessa yhä nopeammin on tärkeää, että myös rakennusala kehittyä vastaamaan nykyisiä vaatimuksia ja odotuksia huomioiden ilmastonmuutoksen sekä kestävän rakentamisen. [1.]

Opinnäytetyö toteutetaan toimeksiantona NCC Suomi Oy:n korjausrakentamisen yksikölle. NCC-konserniin kuuluva NCC Suomi Oy on yksi Suomen johtavista rakennus- ja kiinteistöalan yrityksistä, joka keskittyy pääsääntöisesti asuntojen, liikekiinteistöjen, teollisuuslaitosten sekä julkisten rakennuksien kehittämiseen ja rakentamiseen. Yrityksellä on myös toimintaa maa- ja vesihuoltorakentamisessa sekä kiviaineksen ja muun infrastruktuurin tuottamisessa. [2.]

Yrityksen yhteiskuntavastuuseen kuuluu tukea kestävää ja myönteistä muutosta sekä tarjota kestävän kehityksen ratkaisuja, joilla se pyrkii pienentämään asiakkaitensa negatiivista ympäristövaikutusta ja lisäämään luontopositiivisuutta. Aiheen merkittävyyden ja ajankohtaisuuden lisäksi motiivina toimii taloudellinen, vastuullinen sekä tekninen ja toiminnallinen kehitys. NCC:n tavoitteena on toimia edelläkävijänä rakentamisen vastuullisuudessa ja kestävän kehityksen huomioimisessa yrityksen koko arvoketjussa. Yrityksen erottautumistekijänä on toimia hiilineutraalimman rakentamisen puolesta. [3.]

1.2 Tavoitteet

Lopputyön keskeisimpänä tavoitteena on tutkia ja vertailla eri korjauslaajuuksista aiheutuvia hiilijalanjälkiä sekä kustannuksia. Tutkimuksen tarkoituksena on luoda vertailu- ja esityskelpoista dataa esimerkkikohteen korjauslaajuuksista ja

niiden aiheuttamista päästöistä sekä kustannuksista. Vertailukelpoinen data saadaan tuottamalla hiilijalanjälki- sekä kustannuslaskelmat neljästä eri korjauslaajuusvaihtoehdosta. Korjauslaajuuksien sekä niiden sisällön määrittely on myös keskeinen osa tutkimusta.

Tutkimuksen perimmäisenä tavoitteena on lisätä yrityksen kautta kannattavaa kasvua, ylisukupolvisten tarpeiden huomioimista sekä pitkän aikavälin vastuun ottamista. Tutkimuksen kautta saadaan uudenlaista tietoa investointien optimoinnista, elinkaarikustannuksien hallinnasta, rakennusstrategioiden kehittämisestä sekä energiatehokkuuden hyödyntämisestä. Tutkimuksella yritys sijoittaa tulevaisuuden rakentamiseen. [3.]

Työn tavoitteiden asettamista ovat tukeneet tutkimuskysymykset, jotka ovat määrittäneet lähestymistavan tutkimukselle. Työn keskeisimmät tutkimuskysymykset pohjautuvat työn rungon mukaisesti korjauslaajuuksiin sekä niiden kustannuksiin ja hiilijalanjälkiin. Työssä pyritään löytämään vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Miten korjauslaajuudet vaikuttavat korjauskohteen hiilijalanjälkeen sekä kustannuksiin?
- Mitkä ovat korjauslaajuuksien kustannukset ja hiilijalanjäljet sekä miten ne vertautuvat toisiinsa?
- Mikä korjauslaajuus tarjoaa parhaan mahdollisen vaihtoehdon kustannukset sekä hiilijalanjälki huomioiden?

1.3 Rajaukset

Insinööriyön aihe on rajattu koskemaan esimerkkikohtetta, jonka korjauslaajuuksien hiilijalanjälkiä ja kustannuksia tarkastellaan. Tutkimusta ja sen tuloksia ei siten voida suoraan hyödyntää erilaisille hankkeille ilman kohdekohtaista tarkastelua. Insinööriyön esimerkkikohteelle on määritelty neljä erilaista korjauslaajuusvaihtoehtoa toimeksiantajan toiveiden ja odotusten mukaisesti. Korjauslaajuusvaihtoehdot ovat pohjautuneet yrityksen aikaisempiin sekä tuleviin

projekteihin. Vaihtoehdoille on asetettu tarkemmat sisällöt ja rajaukset, jotka ovat ohjanneet hiilijalanjälki- sekä kustannuslaskelmien tekemistä.

Tutkimuksen lähestymistapana on tarkastella päätoteuttajan sekä tilaajan näkökulmista korjauslaajuuksista aiheutuvia vaikutuksia esimerkkikohteessa sekä samankaltaisissa projekteissa. Tutkimuksessa on faktapohjainen näkökulma, jonka tarkoituksena on tuottaa numeerista, objektiivista ja luotettavaa dataa, jota yritys pystyy hyödyntämään tulevaisuudessa. Näkökulmassa korostuu esimerkkikohteesta kerättävä aineisto sekä datasta johdetut päätelmät.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön keskeisinä tutkimusmenetelminä ovat kirjallisuustutkimus, laskennalliset menetelmät, vertailu- ja analyysimenetelmä, dokumenttianalyysi sekä eri tiedonhankintamenetelmät. Kirjallisuustutkimuksessa perehdytään aiheeseen liittyvään teoriaan kuten hiilijalanjälkeen sekä kustannuslaskentaan yleisellä tasolla. Kirjallisuustutkimuksen teettämisellä varmistetaan ymmärrys työhön liittyvistä aiheista, jotka antavat pohjan itse tutkimukselle.

Teorian lisäksi työssä perehdytään esimerkkikohteeseen perusteellisesti. Työssä tutkitaan kohdetta ja sen aineistoja, joita hyödynnetään dokumenttianalyysimenetelmän keinoin. Kohteelle määritetään dokumenttianalyysin sekä teoriapohjan perusteella korjauslaajuudet, jotka ohjaavat laskennallisina menetelminä toimivien hiilijalanjälkilaskelmien ja tilapohjaisten kustannusarvioiden tuottamista. Näiden lisäksi tilapohjaisten kustannusarvioiden tuottamista ohjaa tiedonhankintamenetelmän mukainen käyttöopastus ESTIModel-kustannuslaskentaohjelman asiantuntijalta.

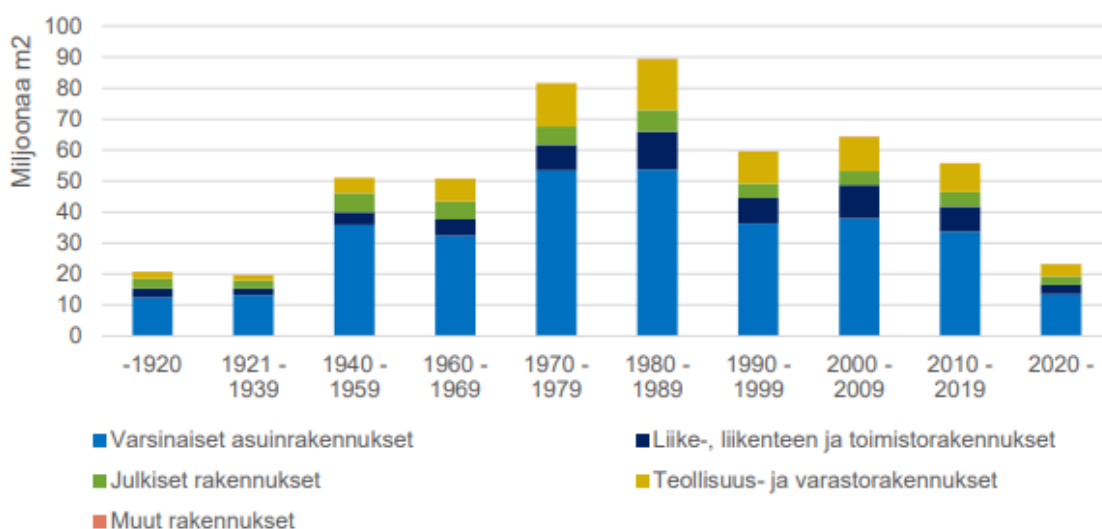
Laskelmien ja korjauslaajuuksien tuloksia vertaillaan ja analysoidaan vertailu- ja analyysimenetelmän keinoin. Myös tulosten esittämisessä hyödynnetään analysointimenetelmää. Tuloksien ja analysointien perusteella toteutetaan asiantuntijakeskustelu tutkimuksesta ja sen tuloksista.

2 Korjausrakentaminen ja sen vaikutukset

2.1 Rakennettu ympäristö Suomessa

Rakennuksilla on ratkaiseva merkitys ympäristöön, luonnon ekosysteemiin, alueen arvostukseen sekä asukasviihtyisyyteen. Rakennukset ja niiden rakentaminen vaikuttavat merkittävästi maankäyttöön, raaka-aineiden kulutukseen sekä luonto- ja metsäkatoon. Rakennettu ympäristö aiheuttaaakin jopa noin kolmanneksen Suomen kokonaispäästöistä. [4.]

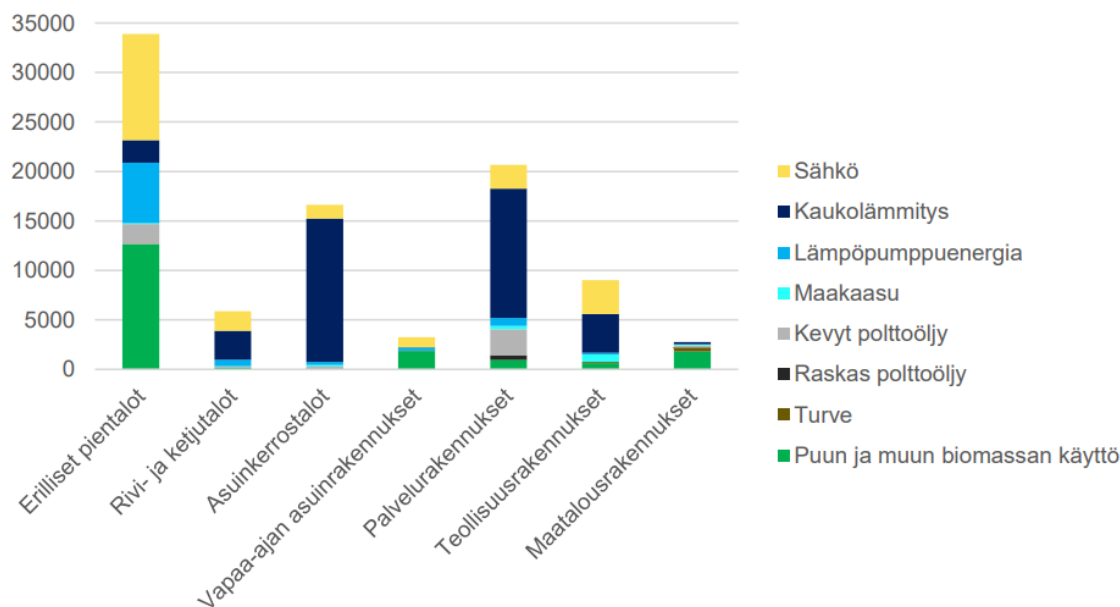
Suomen rakennuskanta on suhteellisen nuorta verrattuna muihin Euroopan maihin. Rakennuskannan merkittävimmät kasvuvuodet ajoittuivat 1970- sekä 1980-luvuille, jolloin rakennettiin jopa yli 80 miljoonaa neliometriä kerrosalaa vuosikymmenen aikana. Vuoden 1980 jälkeen on rakennettu 57 % rakennuksista, kun määrävänä mittana on käytetty rakennettua kerrosalaa kuvan 1 mukaisesti. [5, s.4.]



Kuva 1. Suomen talonrakennuskannan valmistusvuosikymmen [5, s.4].

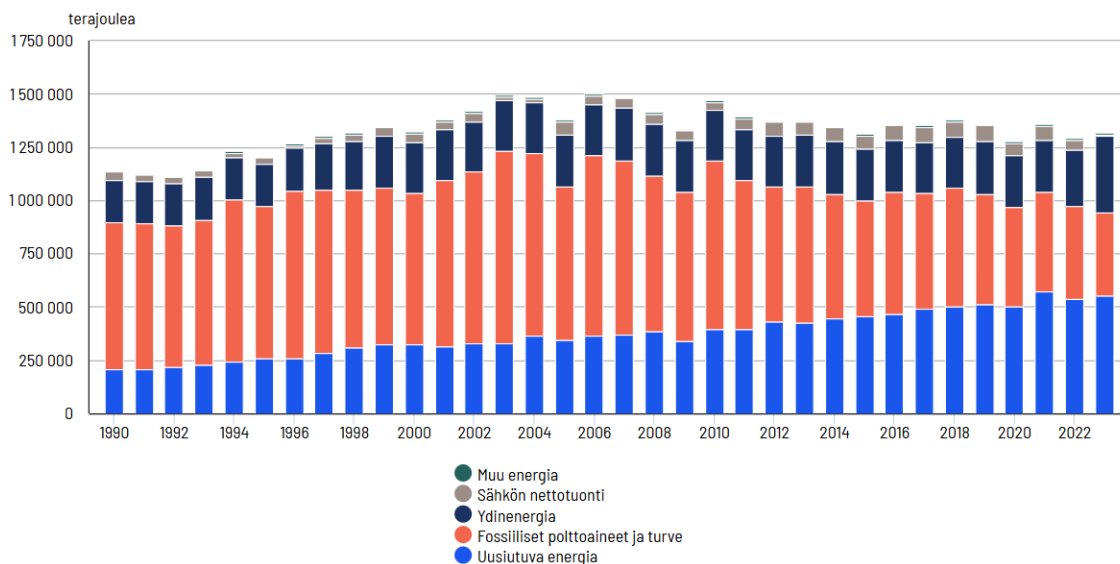
Rakennetussa ympäristössä korostuvat energiankäyttö sekä -kulutus, jotka muodostavat merkittävän osan rakennuksen elinkaaren päästöistä. Asumisen päästöt ovat kuitenkin muuttuneet vuosien saatossa energialähteiden

kehittymisen myötä, jonka lisäksi energiatehokkuuden vaatimukset ovat kiristyneet. Asumisesta johtuva energiankulutuksen aiheuttama päästökuorma on laskenut jopa 60 prosenttia vuosien 2000–2021 välillä, vaikka muuten asumismenot ovatkin olleet jatkuvassa kasvussa. [6.]



Kuva 2. Rakennusten energiamuodot ja niiden kulutus (GWh) kuvattuna [5, s.6].

Energiankulutukseen ja sen aiheuttamiin päästöihin on vaikuttanut huomattavasti energiatehokkuuden uudet edistykselliset ratkaisut, kuten lämmöneristeiden ja talotekniikan kehittyminen sekä fossiilisten polttoaineiden korvautuminen uusiutuvilla energioilla. Sähkö on energianlähteenä muuttunut lähes päästöttömäksi. Lisäksi kaukolämmöstä on tullut energialähteenä ympäristöystävällisempi, sillä se perustuu tänä päivänä pääasiallisesti uusiutuvaan energiaan. Kuvassa 2 on esitetty, kuinka saastuttavien fossiilisten polttoaineiden käyttö on vähentynyt huomattavasti, ja kuinka kotitalouksissa sekä rakennuksissa on siirrytty suurimmaksi osaksi kauko-, sähkö- tai lämpöpumppuperusteiseen lämmitykseen. Kuvassa 3 taas nähdään, että fossiilisten energialähteiden osuus on pienentynyt vuoteen 2023 mennessä 19 prosenttiin Suomen kokonaiskulutuksesta. Vastaavasti vuonna 1990 prosenttiosuus oli 33 prosenttia ja uusiutuvan energian osuus vain 18 prosenttia. [7; 8.]



Kuva 3. Energian kokonaiskulutus terajouleina Suomessa [8].

Suomen hiilitavoitteiden pohjalta on arvioitu, että lämmitysenergiankulutus jatkaa jyrkkää laskuaan tulevaisuudessa. Arvioiden mukaan nykyisillä toimenpiteillä bruttolämmitysenergiankulutus vähenee vuosien 2020 sekä 2050 välillä jopa 50 prosenttia nykyisestä tasosta. Toimenpiteet mukautuvat Euroopan unionin asettamiin tavoitteisiin, jotka ovat linjassa Suomen energiatehokkuus- ja vähähiilisyystavoitteiden kanssa. EU:n asettamien vaatimusten ja tavoitteiden mukaisesti lämmitysenergiakulutuksen tulisi pienentyä noin 41–69 prosenttia riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta. Verrattuna vuoteen 2005, Suomen energiankulutuksen arvioidaan vähentyvän jopa 55 prosentilla ja siten se täyttäisi kummatkin EU:n vaatimukset sekä asuinrakennusten että ei-asuinrakennusten osalta. [9, s.2.]

2.1.1 Korjausrakentamisen nykytilanne ja kehitys

Korjausrakentamisen rooli Suomessa on entistä merkittävämpi rakennuskannan korjausvelan kasvaessa. Rakennusten ikääntyessä korjaustarve on 2000-luvulta lähtien lisääntynyt vuosittain keskimäärin jopa 2,5 miljardilla eurolla, ja korjauskustannukset alkavat vuosi vuodelta lähestymään uudisrakentamisen kustannustasoa. [10.]

Tänä päivänä korjaamisen tarve on erityisen suuri, sillä 1970- sekä 1980-luvun rakentamisen huippuvuosina valmistuneet rakennukset ovat saavuttaneet peruskorjauksiensa. Noina vuosikymmeninä rakennetun rakennuskannan osuus on jopa 40 % kokonaiskannasta kerrosalaltaan mitattuna. Vuonna 2025 nykyiset rakennukset ovat saavuttaneet 30–50 vuoden iän ja ne ovat elinkaarensa loppupuolella jo pelkästään rakennusteknisistä syistä. [11, s.13.]

Tulevaisuudessa rakennuskannan korjaamisessa on yhä tärkeämpää huomioida energiatehokkuus ja vähähiilisyys niin luonnollisen kehityksen kuin kehitystä edistävän politiikan näkökulmasta kuten kuvassa 4 on esitetty. Keskeisimmät tunnistetut keinot ympäristöystävällisen rakennuskannan muutoksessa ovat seuraavat:

- poistuman ja tilatehokkuuden parantaminen
- energiatehokkuuden optimointi korjaus- tai kunnossapitotoimissa
- fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla energianlähteillä.

Kyseisillä toimenpiteillä Suomessa pyritään edistämään kestäväää ja tehokasta yhteiskuntaa, joka kykenisi vastaamaan valtiolle asetettuihin hiilineutraalius- ja päästötavoitteisiin tulevaisuudessa. [9, s.26.]



Kuva 4. Korjausrakentamisen strategian keinot [9, s.26].

Kehitystavoitteiden ohella kustannustehokkaassa rakennuskannan korjauksessa tulisi painottaa ennakoivaa huoltoa sekä rakenteiden ja materiaalien rakennusteknisen vanhenemisen seurantaa. Näin voidaan tehokkaammin hallita ja rajoittaa korjaustarpeiden kasvua, sekä siitä johtuvien kustannuksien nousua. Ennakoinnin lisäksi korjausten oikea-aikainen ajoitus on keskeisessä asemassa, sillä korjaustoimenpiteiden lykkääminen tai pitkittäminen lisäävät sekä korjauskustannuksia että korjaustarpeita entisestään. [11, s.90.]

2.1.2 Sisäilmaongelmien korjaaminen

Sisäilmaongelmat ovat olleet yleinen huolenaihe suomalaisessa rakentamisessa kautta aikojen. Sisäilmaongelmien esiintyminen on ollut yleistä asuinhuoneistojen lisäksi myös rakennuksissa, joissa oleskellaan pitkiä aikoja, kuten kouluissa, päiväkodeissa ja työpaikoilla. Sisäilmaongelmat voivat aiheuttaa ohimeneviä oireita, mutta pahimmillaan ne voivat johtaa myös vakaviin hengitystieoireisiin ja astmaan, erityisesti lapsilla. Oireiden lisäksi sisäilmaongelmat myös heikentävät viihtyvyyttä ja altistavat haitallisille epäpuhtauksille. [12, s.6–9.]

Yleisimmät sairastumiseen liittyvät riskitekijät ovat ulkoilman saasteet, radon sekä kosteuden aiheuttamat vauriot. Sisäilmaongelmaisten rakennuksien ongelmat ja vauriot johtuvatkin usein juuri kosteudesta ja sen vaikutuksista rakenteisiin. Kosteuden lisäksi rakenteiden kuivumisella on merkittävä rooli sisäilman kannalta. Tämän vuoksi rakennuksen rakenneteknisellä ja rakennusfysikaalisella toimivuudella on olennainen merkitys, jotta kosteuden pääsy rakenteisiin voidaan estää tai vaihtoehtoisesti varmistaa kosteuden poistuminen. Kun rakenteeseen pääsee kosteutta, sen poistuminen tulisi aina huomioida – myös rakenteissa, joihin ei pitäisi olla mahdollista päästä kosteutta. [12, s.22.]

Sisäilmaongelmat liittyvät suoraan rakennusten käyttötarkoituksiin ja rakennuksissa oleskelun pituuteen. Myös tilojen kapasiteetti, talotekniikka sekä hygienia- taso vaikuttavat sisäilmaan ja sen laatuun. Erityisesti päiväkodeissa ja kouluissa esiintyy usein sisäilmaongelmia rakennusvuodesta riippumatta.

Kosteusvaurioita on esiintynyt jopa 12–18 prosentissa opetusrakennuksissa. [12, s.26–28; 13.]

Rakennusten sisäilmaongelmiin on tärkeää vaikuttaa jo suunnitteluvaiheessa, jolloin ne voidaan myös estää. Suunnittelussa ja toteutuksessa tulisi ottaa huomioon muun muassa seuraavat asiat:

- Rakennuksen ja sen tilojen mitoitus käyttäjämäärän ja käyttötarkoituksen mukaisesti.
- Materiaalivalinnat kuten pintamateriaalit, jotka mahdollistavat tehokkaan ja helpon puhdistuksen sekä huollon.
- Rakenteiden tekninen ja fysikaalinen toimivuus siten, että rakenteiden on mahdollista päästä kuivumaan, jos sinne pääsee kosteutta.
- Rakennuksen riittävä lämmitys ja rakenteiden tiiveys kosteuden sekä lämpöhukan ehkäisemisen kannalta.
- Ilmanvaihdon riittävyys sekä hallittu ilmankierto.

Eriyisesti päiväkodeissa on tärkeää kiinnittää huomiota myös hygieniaan, kalusteiden valintaan ja sijoitteluun, käyttöopastukseen sekä siivoustoimenpiteisiin. Nämä tekijät ehkäisevät mahdollisten sisäilmaongelmien syntymistä. Ongelmien välttämiseksi on asetettu monia vaatimuksia ja toimenpiderajoja, joiden noudattaminen vähentää sisäilmaongelmien riskejä. [13.]

Sisäilmaongelmat ovat haastavia, sillä ne aiheuttavat monimutkaisia prosesseja sekä vaativat laajoja selvityksiä jo ennen varsinaisia toimenpiteitä ongelmien korjaamiseksi. Myös tämän tutkimuksen esimerkkikohde on kärsinyt mm. kosteuden aiheuttamista sisäilmaongelmista.

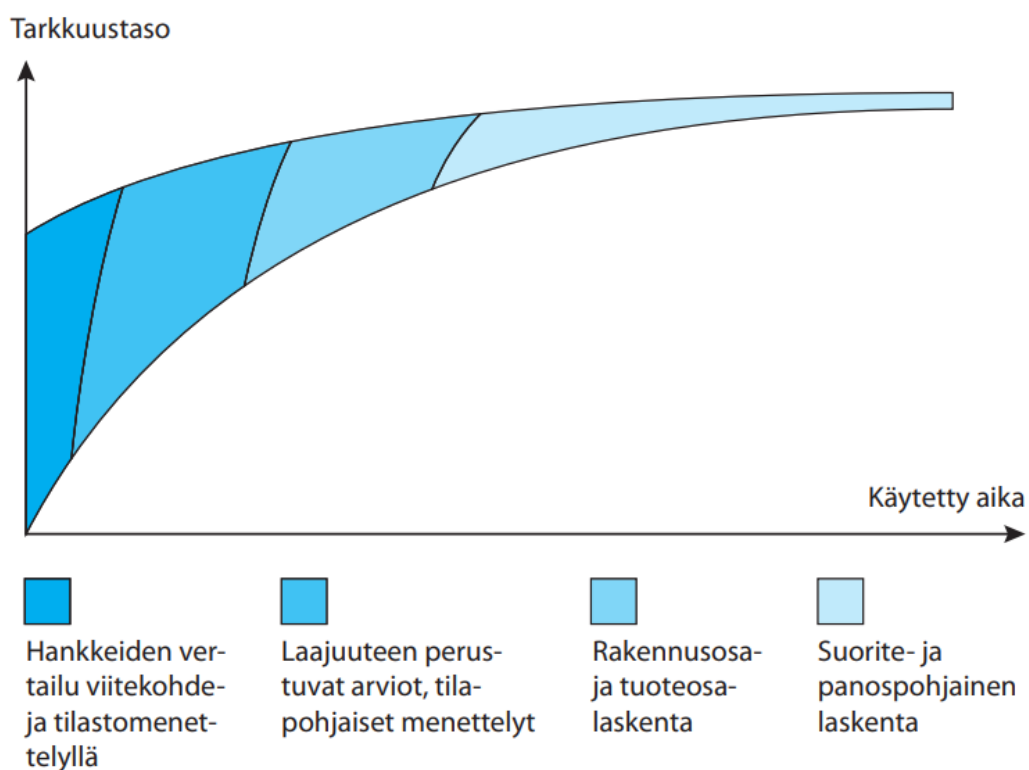
2.2 Kustannuslaskenta rakennusosalalla

Kustannushallinnan kokonaisuus on keskeinen osa rakennushanketta ja yrityksen taloutta. Sen tavoitteena on suunnitella, seurata ja hallita hanketta koko

prosessin ajan. Rakennushankkeissa kustannushallinta perustuu tavoitteiden asettamiseen, tulosten arviointiin sekä päätösten tekemiseen jatkotoimenpiteisiin liittyen. Tämä edellyttää tarkkaa vaiheistusta hankkeessa. Kustannushallinnan tärkein tavoite on varmistaa, että prosessi pysyy hallittuna sekä tavoitteellisenä. [14, s.7–14.]

Kustannushallinnalla on useita erillisiä vaiheita, ja vaiheet voidaan karkeasti jakaa hankevaiheiden etenemisen perusteella suunnittelun kustannusohjaukseen, tarjouslaskentaan, rakentamisvaiheen kustannuslaskentaan sekä tietokantojen ylläpitoon. Rakentamisvaiheen kustannuslaskenta koostuu tavoitelaskennasta, tarkkailulaskennasta sekä jälkilaskennasta. Kustannushallinnan vaiheissa keskeisessä osassa on aina itse kustannuslaskenta vaiheiden mukaisten tavoitteiden ja menetelmien perusteella. Vaiheet ovat myös riippuvaisia keskenään, sillä lopulliset kustannukset lopulta pohjautuvat jo alkuvaiheessa tehtyihin päätöksiin ja ratkaisuihin. Tavoitteiden mukainen kustannuslaskenta ja sen onnistuminen mahdollistaa edellytykset hankkeen toteutukselle. Siksi myös hankkeen laajuuksien selvitys on erittäin tärkeässä osassa, sillä itse laskentaprosessia edeltää aina määrälaskenta. Ilman määriä, olisi mahdotonta määrittellä lopullisia hinta-arvioita laajuuksista riippumatta. [14, s.7–14.]

Määrälaskennassa määritetään ja lasketaan kaikki rakentamiseen tarvittavat määrät, ja sen keskeisin tehtävä on kustannuslaskentanimikkeiden määrien selvitys ja laadinta kustannusarviota varten eri laskenta-asiakirjojen avulla. Laskenta-asiakirjat voivat olla joko 2D-mallisia rakennusselostuksia ja -piirustuksia tai 3D-mallisia suunnitelmia kuten tietomalleja. Määrälaskennan tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman tarkka lähtöaineisto kustannuslaskentaa ja kustannusarviota varten. Laskelmien tarkkuuteen ja laajuuteen vaikuttavat lähtötietojen laatu, joka ohjaa lopullisen arvion tarkkuutta ja luotettavuutta. Suunnittelun alkuvaiheessa kustannusarviot ovat vain suuntaa antavia, mutta niiden tarkkuus paranee, kun lähdetiedot ja ratkaisut tarkentuvat kuvan 5 mukaisesti suunnitteluvaiheen edetessä. [14, s.40–49.]



Kuva 5. Kustannusarviointimenettelyn tarkkuus hankkeen edetessä [15, s.36].

Kustannuslaskenta on merkittävässä roolissa rakennushankkeissa, ja sen keskeisimpänä tarkoituksena on arvioida rakennushankkeen kannattavuutta sekä siitä aiheutuvia muuttuvia erilliskustannuksia. Kustannuslaskenta mahdollistaa hankkeiden hallinnan, ennakoinnin ja seurannan, tarjoten arvokasta tietoa projektien elinkaaren aikana syntyvistä kuluista sekä muodostan selkeän kuvan projektin edistymisestä. Kustannuslaskenta on myös hyödyllinen keino riskienhallinnan ja taloudellisen suunnittelun kannalta, sillä sen avulla pystytään ennakoimaan mahdollisia muutoksia. Kustannuslaskenta on haastava ja monimutkainen työvaihe, jonka merkitys korostuu varsinkin rakennusprojektien toteutuksessa. Haasteina ovat tarkkuuksien ja laajuuksien säätely, inhimillisten virheiden ja objektiivisuuden mahdollisuus sekä projektien ainutlaatuisuuden vaikutus.

Kustannuslaskennassa olennaisina aiheina ovat rakennusosat ja suoritteet, joiden avulla suuret ja monimutkaiset hankkeet jaotellaan pienempiin, helpommin hallittaviin osioihin. Rakennusosia ja suoritteita voidaan hyödyntää

rakennusosalaskennassa sekä suoritelaskennassa, jotka ovat kustannuslaskennan menetelmiä. Rakennusosilla ja suoritteilla on kuitenkin keskeinen merkitys muidenkin laskentamenetelmien erittelyssä. Laskelmissa rakennusosa voi olla esimerkiksi teräsbetoninen väliseinä ja siihen kohdistuvia suoritteita voivat olla raudoitus, muotitus ja betonointi. Rakennusosat voidaan jakaa pää- ja alaryhmiin, joita kuvaillaan numeroyhdistelmin. Muun muassa kantava teräsbetoninen väliseinä voidaan merkitä RO 32 -merkinnällä. Rakennusosissa on tärkeää osata eritellä rakenteet ala- ja pääryhmittäin oikean nimikkeistön mukaisesti. Talo 80 -nimikkeistön pääryhmät ovat seuraavat:

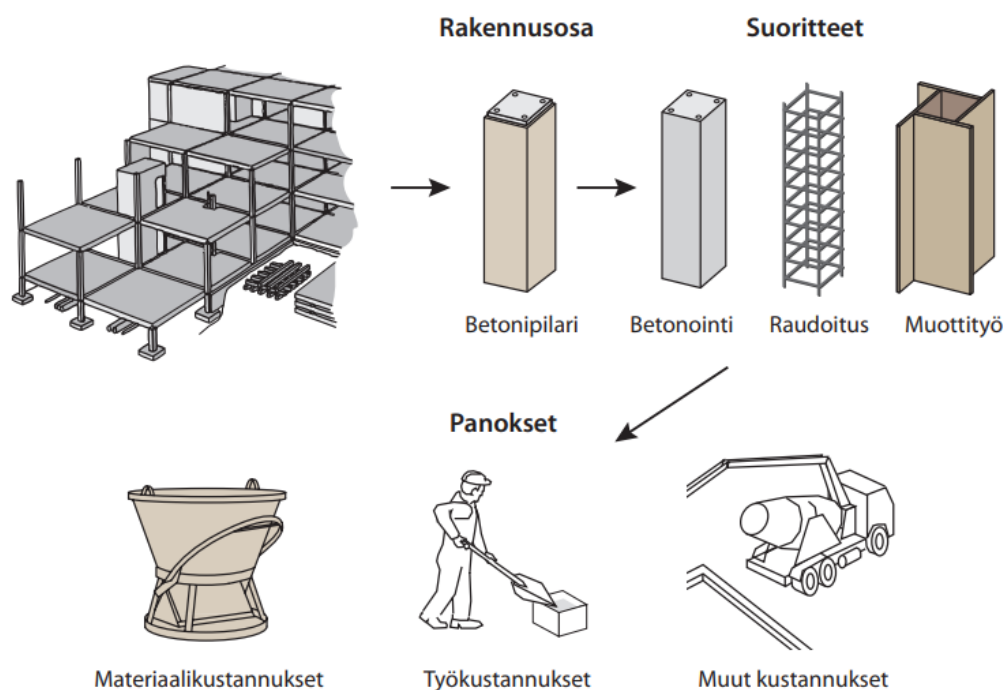
- 0. Rakentajan kustannukset
- 1. Maa- ja pohjarakenteet
- 2. Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet
- 3. Runko- ja vesikattorakenteet
- 4. Täydentävät rakenteet
- 5. Pintarakenteet
- 6. Kalusteet, varusteet ja laitteet
- 7. Konetekniset työt
- 8. Työmaan käyttökustannukset
- 9. Työmaan yhteiskustannukset.

Rakennusosien jaottelun lisäksi rakenteille tulee määrittää suoritteiden perusteella panoshinnoittelu eli tarkkojen työ- ja materiaalimenekkien kustannukset suoritteissa. Suoritteiden tehtävänä on kuvailla rakennusosalle tehtäviä toimenpiteitä eli suorituksia. Esimerkiksi kantaville teräsbetonisille väliseinille voidaan suorittaa raudoitus, joka voidaan merkitä kaksinumeroisen suorituskoodin avulla. Sen avulla Talo 80 -nimikkeistön pohjalta voidaan kyseinen suorite merkitä kustannuslaskennassa yksinkertaisesti yhdistelmällä 32 21 kuten taulukossa 1 on merkitty. [14, s.24–28.]

Taulukko 1. Esimerkki määränimikkeiden erittelystä Talo 80 -nimikkeistön mukaisesti [14, s.52].

Ro	Suo	Määränimike	Yksikkö
32	12	Kantavan väliseinän muottityö	m2
32	18	Levyuotoin purku	m2
32	21	Raudoitus A500H -harjateräs 8 mm -harjateräs 12 mm	kg
32	22	Betonointi	m3
32	23	Betonin jälkityö	m2

Kuvan 6 mukaisen panospohjaisen laskennan ja hinnoittelun lisäksi suoritteiden kustannuksia voidaan selvittää yksikköhinnoittelun avulla, jossa tarkastellaan hintoja kustannuslajitasolla. Kustannuslajien tarkoituksena on jaotella kustannukset syntymistavoiltaan. Talo 80 -nimikkeistön kustannuslajit on jaettu viiteen kategoriaan: työkustannus, ainekustannus, alihankintakustannus, omapalvelukustannus ja muut kustannukset. Työkustannuksissa tulee määrittää työn hinta työmenekin sekä tuntipalkan mukaisesti. Ainekustannuksien hinta saadaan määriteltä materiaalmäärillä ja niiden hinnoilla. Alihankintakustannukset saadaan selville ennakkotarjouksilla. [14, s.24–26; 16.]



Kuva 6. Rakennusosan suoritteet ja niiden koostuminen panoksista [15, s.47].

Rakennusosien ja suoritteiden listaamisessa käytetään kustannuslaskennan määrälaskentaohjeita, joista nykypäivänä käytetyimpiä ovat Talo 80- ja Talo 2000 -nimikkeistöt. Nimikkeistöjen tarkoituksena on eritellä rakenteita, suoritteita sekä kustannuslajeja. Nimikkeistöjen ja niitä hyödyntävien kustannuslaskentaohjelmien, kuten ESTIModelin, hyötynä ovat olleet laskelmien selventäminen sekä luokittelun että hallinnan helpottaminen. Niiden avulla myös saadaan muodostettua selkeitä nimikkeistökoodeja eli litteroita. Litteroita pystytään merkitsemään rakentamisosanimikkeistön sekä suoritusosanimikkeistön numeroyhdistelmällä, joilla pystytään selkeästi ja järjestelmällisesti jäsentelemään kustannuksia riveittäin muun muassa kustannusarviota varten. Litteroille pystytään asettamaan tavoiterajat ja niiden toteutumista on helppo seurata hankkeen toteutuksen aikana todenmukaisilla toteumatiedoilla. [14, s.24; 16.]

Korjausrakentamisessa on aina tiettyjä erityispiirteitä, kuten hankekohtaisia työsuorituksia kustannuslaskennan kannalta. Korjauksessa korjaustoimenpiteillä ja korjausasteella on suuri vaikutus kustannuksien muodostumiseen, sillä usein korjausprosessia vertaillaan uudisrakentamisessa toteutettavien toimenpiteiden sisältöihin. Näiden lisäksi hankekustannuksiin vaikuttaa huomattavasti korjausrakentamisen tyyppi eli toteutetaanko hankkeelle esimerkiksi perusparannus, peruskorjaus vai konversio. [14, s.88–91.]

Korjaushankkeissa on omat haasteensa kustannuksien suhteen. Muun muassa perusteellisuusaste voi olla liian suppeasti määriteltä, suoritteiden laajuudet ja sisällöt voivat olla epäselkeitä tai puutteellisia, rakenteiden kuntoa ei ole tutkittu tarvittavassa laajuudessa tai asiakirjojen sisällöt voivat olla poikkeavia ja ristiriitaisia. Määrälaskennan kannalta haasteita tuottaa suunnitelmien tulkitseminen, monimutkainen tiedon erittely ja kuvaus hinnoittelua varten sekä todellisten mittojen varmistaminen. [14, s.88–91.]

2.2.1 Hankeselvitys ja -suunnittelu

Hankeselvitys ja -suunnittelu ovat tärkeitä toimenpiteitä hankkeissa, joissa tarve on tiedossa, mutta laajuus ja toteutusratkaisu epävarmoja. Hankeselvitysvaihe

perustuu tarveselvitykseen, jossa on selvitetty tilahankinnan tarve sekä toteutettu tarpeelliset selvitykset ja tutkimukset. Tarveselvityksen tarkoituksena on määrittellä perusteltu näkemys tarpeesta ja valmistella hanke lähtötietoineen hankesuunnittelua varten. Selvitysvaiheen tuloksena tulee syntyä tarveselvitys, jossa tulee ilmi hankkeen perusolemus eli tarpeellisuus, edellytykset sekä mahdollisuudet. [14, s.8; 17, s.6.]

Hankesuunnitteluvaiheessa hankkeelle tulee määrittää täsmälliset ja yksityiskohtaisemmat tavoitteet, kustannukset, laajuudet ja aikataulu, joilla hanketta lähdetään toteuttamaan. Hankekehityksen kannalta on tärkeä ottaa huomioon asiakkaiden tarpeet ja vaatimukset. Hankesuunnittelun tavoitteena on saada selkeä hankesuunnitelma, kun taas lähtökohtaisesti hankekehityksen avulla tarkastellaan ja vertaillaan parhaan toteutusratkaisun optimointia asiakkaalle. Hankesuunnitelmassa on tärkeää perehtyä hankkeen toteuttamistarpeisiin sekä mahdollisuuksiin ja tutkia useita vaihtoehtoisia toteuttamistapoja pyrkien kustannustehokkuuteen. Suunnittelun aikana on merkityksellistä vertailla ja arvioida eri toteutusvaihtoehtoja. Niiden optimoinnissa auttavat monet työkalut, kuten tarkka tilapohjainen kustannuslaskentaohjelmisto ESTIModel, jota NCC käyttää tilapohjaisten kustannusarvioiden toteuttamiseen hankkeissa. Erityisesti hankesuunnitteluvaiheessa hyväksi laskentamenettelyksi sopii tilaohjelmaan perustuva tilalaskenta, jossa määrät ja hinnat on eritelty tilakohtaisesti. Tilalaskelmassa laskelmat tehdään taulukon 2 mukaisella tilaluettelolla sekä siihen perustuvalla tilaohjelmalla. Tilalaskennan lisäksi korjaushankkeissa korjausastemennetyllä on suuri rooli kustannuspuitteiden asettamisessa sekä kustannuksien määrittämisessä. [14, s.85; 17, s.6; 18.]

Taulukko 2. Esimerkki tilaluettelosta [14, s.85].

Tila	Lukumäärä	Kokonaispinta-ala
Toimistotila	10 kpl	150 m²
Varasto	5 kpl	50 m²
WC	2 kpl	10 m²

Hankeselvitys ja -suunnitteluvaihe on merkittävässä roolissa korjaushankkeen toteutuksen kannalta, ja aiemmin tehdyillä tutkimuksilla ja selvityksillä on suora vaikutus hankkeessa toteutuville kustannuksille. Työn tilaaja pystyy itse vaikuttamaan lähtötutkimuksien ja -selvitysten laajuuksilla lopullisten korjauskustannuksien muodostumiseen. Tilaaja pystyy myös vaikuttamaan lopullisiin kustannuksiin korjaustavoitteiden määrittelyllä. Esimerkiksi uuden tilaohjelman sijoittaminen vanhaan rakennukseen on huomattavasti kalliimpaa kuin pelkkä pintarakenteiden uusiminen. Kustannuspuitteen kannalta onkin tärkeää, että tilaaja on asettanut selkeät konkreettiset tavoitteet sekä korjausastemenettelyn, joiden sisältö vastaa määritelmiä. [14, s.8, 85.]

2.2.2 Kustannusarvion merkitys päätöksenteossa

Hankesuunnitelman pohjalta tehdään kustannusarvio, joka on tärkeä laskenta-asiakirja hankkeen toteutuksen määrityksessä. Kustannusarvion merkitys korostuu varsinkin hankesuunnitteluvaiheessa, jossa huomioidaan rakentamisen investoinnit toteutuksen sekä elinkaaren kannalta. [17, s.6.]

Kustannusarviolla on useita laskentamenetelmiä, joista yksi on tilapohjainen laskenta. Tilapohjainen laskenta on tehokas menetelmä hankkeen alkuvaiheessa, jolloin lähtötiedot eivät ole välttämättä vielä kattavia. Tilapohjainen kustannusarvio perustuu tilaohjelmaan, joka arvioi tilakohtaisen neliöhinnan syötettyjen tietojen tarkkuuden perusteella. Tilaohjelman avulla saadaan laskettua hankkeelle tavoitehinta rakentamisen kustannustiedoilla. Alkuvaiheessa laadittu kustannusarvio on suuntaa antava, mutta hankesuunnitteluvaiheen edetessä kustannusarvio tarkentuu. Suunnitelmien ja toteutuksen tarkentuessa on ylläpidettävä ja päivitettävä myös kustannusarvioita. Kustannusarvion pohjalta hankkeelle saadaan laadittua tavoitearvio, jonka tarkoituksena on toimia hankkeen budjettina. Tavoitearviolla jaetaan kustannukset hankinnoille ja tehtäville, joiden toteutumista siten seurataan litteroiden avulla hankkeen aikana. [14, s.85–87; 17, s.2–6.]

Päätöksenteon kannalta kustannusarvio on erittäin merkittävä laskenta-asiakirja hankesuunnitteluvaiheessa. Onnistunut ja tarkka kustannusarvio luo edellytykset hankkeen toteutumiselle sekä investoinnin kannattavuudelle vaikuttaen suoraan hankkeen investointipäätökseen. Tavoitearvio taas auttaa vaiheaikataulun laatimisessa hankkeelle. Näiden lisäksi päätöksenteon tukena on hyvä olla myös eri vertailulaskelmat esimerkiksi hankkeen kustannuksista. Vertailulla voidaan systematisoida eri vaihtoehtojen suunnittelu- ja tuotantoratkaisujen valinta. Vertailulaskelmien tarkoituksena on esittää ratkaisujen tulokset, joiden perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä muun muassa hankkeen kannattavuudesta, taloudellisuudesta sekä aikataulusta.

2.3 Hiilijalanjälki rakentamisessa ja siihen liittyvä lainsäädäntö

Rakentaminen ja rakennettu ympäristö ovat yksiä merkittävimpiä hiilidioksidipäästöjen tuottajia maailmanlaajuisesti, ja niillä voidaan myös vaikuttaa ilmastomuutoksen hillitsemiseen ja torjumiseen. Tänä päivänä on erittäin tärkeä korostaa sekä tavoitella vähähiilisyyttä, sillä rakennettu ympäristö tuottaa jopa kolmanneksen ilmastopäästöistä Suomessa. [4.]

2.3.1 Hiilijalanjälki ja sen vaikutus

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan jonkin asian tai toiminnan aiheuttamaa ilmastokuormitusta. Ilmastokuormituksella tarkoitetaan kasvihuonekaasuja, joista yleisimpiä ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) sekä dityppioksidi (N_2O). Jokaisella kasvihuonekaasulla on erilainen lämmitysvaikutus, jota kuvataan IPCC:n arviointiraporteissa määritellyillä lämmityspotentiaalilla (GWP). Esimerkiksi teollisuudessa käytetyillä fluoraatuilla kasvihuonekaasuilla on tuhansia kertoja suurempi GWP-kerroin kuin hiilidioksidilla. [19.]

Tyypillisesti kasvihuonekaasut ilmaistaan vertailukelpoisena hiilidioksidiekvivalenttina (CO_2e), jonka tarkoituksena on kuvata ja mitata hiilijalanjälkeä massayksikkönä huomioiden eri kaasujen aiheuttamat vaikutukset kertoimien avulla. Ekvivalentilla voidaan tarkastella hiilijalanjälkeä vertailuyksikköä kohti, kuten

esimerkiksi kilogrammaa kohti vuodessa, joka voidaan esittää muodossa kg CO₂e/a. Hiilijalanjäljen voidaan ilmoittaa myös muun muassa pinta-alan tai henkilömäärän suhteen. [20.]

Vastakohtana hiilijalanjäljelle, hiilikädenjäljellä ilmaistaan jonkin asian tai toiminnan aiheuttamaa positiivista ilmastovaikutusta. Hiilikädenjäljen tarkoituksena on pienentää jonkin asian hiilijalanjälkeä ja saada aikaan positiivista vaikutusta ilmaston kannalta, kuten esimerkiksi tiettyjen toimintaketjujen säästäessä luontoa. [20.]

Hiilikädenjäljen lisäämisen ohella on tärkeää pyrkiä pienentämään hiilijalanjälkeä. Rakennusalalla pystytään pienentämään hiilijalanjälkeä ympäristöystävällisellä rakentamisella sekä suunnittelulla. Myös ihmisten toiminnalla on suuri merkitys, sillä sekin aiheuttaa merkittäviä kasvihuonekaasuja ja rasittaa ympäristöä. Kasvihuonekaasujen suurimpana ongelmana on niiden kyky absorboida auringosta säteilevää lämpöä ja pitää sitä ilmakehän sisällä. Kaasujen lisääntyessä myös kasvihuoneilmiö voimistuu, mikä kiihdyttää ilmastomuutosta. Yleisten kasvihuonekaasujen lisäksi ilmakehään päätyy otsonikerrosta heikentäviä kaasuja, jotka vahingoittavat otsonikerrosta ja heikentävät sen suojaavaa vaikutusta auringon säteilyltä. [19.]

2.3.2 Hiilijalanjätkilaskenta

Suomen hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamiseksi on nykyisiä päästöjä pienennettävä ja vaatimuksia tiukennettava. Päästöjen vähentäminen on kuitenkin haastavaa, jos niitä ei pystytä mittaamaan luotettavasti. Hiilijalanjäljen hallitsemiseksi ja seuraamiseksi on kehitetty useita hiilijalanjätkilaskentamenetelmiä, joissa on laadittu tarkat periaatteet ja standardit arvioinnin tueksi. Hiilijalanjäljen arvioinnilla pyritään vähentämään rakennuksen kasvihuonekaasupäästöjä jo hyvin aikaisessa vaiheessa.

Hiilijalanjäljen arviointijärjestelmä Suomessa pohjautuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään, joka perustuu standardeihin EN15978, EN15804 ja

EN15632. Menetelmä soveltuu kaikille uudis- ja korjausrakentamisen hankkeille, joihin liittyy olennaisesti energiatehokkuuden sekä elinkaaren arviointi (LCA). Rakennuksen elinkaarella on suora vaikutus sen aiheuttamiin päästöihin, ja arviointi on parasta tehdä rakennussuunnitteluvaiheessa, jolloin rakennuksen yksityiskohtaisemmat tiedot, kuten materiaalit ja energiatarpeet ovat tiedossa. Arvioinnissa auttaa Suomen rakennustuotteiden ja -prosessien päästötietokanta sekä rakennustuotteiden EPD-tiedot ja elinkaariarviointiohjelmistot kuten OneClick LCA. [21, s.11–13.]

Suomessa hiilijalanjäljen arvioinnissa käytetään eurooppalaiseen SFS-EN 15978:2012-standardiin pohjautuvaa elinkaarimallia, jossa rakennuksen elinkaari jaetaan kuvassa 7 esitettyihin vaiheisiin eli moduuliin päästöjen erittelyn selkeyttämiseksi. Tuotevaiheen moduulit A1-A3 kattavat rakennustuotteiden valmistukseen, kun taas itse rakentamisen moduulit A4-A5 koskevat työmaalle kuljetusta sekä työmaatoimintoja. Käyttövaiheen moduulit B1-B7 liittyvät rakennuksen käytön aiheuttamiin päästöihin ja moduulit C1-C4 koskee rakennuksen elinkaaren lopussa tehtäviä päästötoimenpiteitä. Moduuli D kattaa elinkaaren ulkopuolelle jääneitä hyötyjä tai haittoja. [21, s.17–21.]



Kuva 7. Rakennuksen elinkaari ja sen päästöjen vaiheet [21, s.10].

Olenneisimpina tekijöinä rakennuksen elinkaaren aiheuttamissa kasvihuonekaasupäästöissä ovat rakennusmateriaalit, energiankäyttö, kuljetukset sekä rakennustyömaa. Varsinkin materiaaleilla on suuri merkitys, sillä esimerkiksi korjauskohteessa tulee huomioida pelkästään uusittavat ja korjattavat materiaalit sekä niiden kierrättäminen. Materiaaleihin liittyy suoranaisesti valmistuksen lisäksi niiden kuljetus, joka aiheuttaa päästöjä ja siksi hankkeiden logistiikka on suunniteltava huolellisesti. Logistiikkaan liittyvät ratkaisut vaikuttavat suoraan työmaatoimintoihin ja siellä aiheutuviin päästöihin.

Rakentamisvaiheen jälkeen energiankäytöllä on suuri osuus rakennuksen elinkaaren päästöistä. Energiankäyttöön vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuus, energiantarve sekä energiamuoto. Energiamuodoille on määritelty päästökertoimet, joissa on huomioitu mahdollisten päästövähennysten kehitys Suomessa. Päästökertoimilla on tarkoitus huomioida energianlähteiden ympäristöystävällisyys suunnittelun kannalta. Taulukossa 3 on esitetty fossiilisten polttoaineiden päästökertoimeksi 260 g CO₂/kWh koko laskenta-ajalle, kun taas muun muassa sähkön päästökerroin alittaa 57 g CO₂/kWh vuonna 2030.

Taulukko 3. Energiamuotojen päästökertoimet (g CO₂/kWh) [21, s.46].

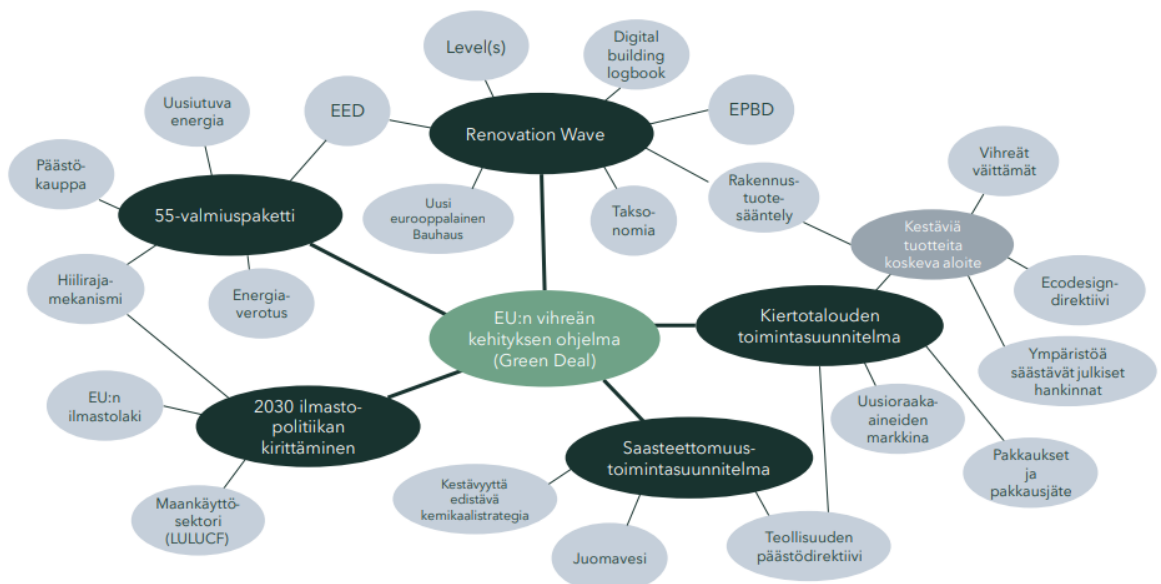
	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkö	121	57	30	18	14	7	4	2	1	1	0
Kaukolämpö	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Kaukojäähdytys	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Fossiiliset polttoaineet	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Uusiutuvat polttoaineet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Laskennassa on edelleen monia haasteita. Laskelmissa on tärkeä kiinnittää huomiota laskentatuloksien luotettavuuteen noudattamalla valtioneuvoston arviointimenetelmäohjeita. Arviointimenetelmä on kuitenkin vielä kehitysvaiheessa, kuten monet muutkin arviointimenetelmät. Arvioinnin luotettavuuteen vaikuttavat myös laskijan ammattitaito sekä laskentarutiinit, jotka voivat aiheuttaa paljon

hajontaa laskentatuloksien välillä. Niiden lisäksi laskelmissa korostuu laajuus, yksityiskohtaisuus ja ajankäyttö, jotka vaihtelevat hanke- ja laskijakohtaisesti. [21, s.36.]

2.3.3 Hiilijalanjälkeen liittyvä lainsäädäntö

Vähähiilisyttä pyritään ohjaamaan useilla kuvan 8 mukaisilla poliittisilla keinoilla ja toimilla luonnollisen kehityksen rinnalla. Suomi tavoittelee jopa 80 prosentin vähennystä kasvihuonekaasupäästöissä vuoteen 2050 mennessä, kun verrataan vuoden 1990 päästötasoon. Suomen vähähiilisyystavoite kohdistuu suoraan rakennusalaan, ja ilmastoystävällisyys onkin merkittävässä asemassa uudessa maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksessa. Uudessa rakennuslaissa on määritelty vähähiilisyteen liittyviä velvoitteita (§ 38), jotka korostavat rakennuksen suunnittelemista vähähiiliseksi, ilmastaselvityksen tarpeellisuutta, hiilijalan- sekä hiilikädenjäljen arviointia. Sen lisäksi laissa edellytetään käyttöluokittaisia raja-arvoja rakennuksen hiilijalanjäljelle. Asetus käyttöluokittaisista raja-arvoista tulee kuitenkin voimaan vasta vuonna 2026. [21, s.11; 22.]



Kuva 8. Rakennusteollisuuteen liittyvä EU-lainsäädäntö ja -aloitteet [5, s.9].

Rakennuslaki velvoittaa rakennushankkeeseen ryhtyvän arvioimaan rakennuksen aiheuttaman hiilijalanjäljen jo rakennuslupavaiheessa, jonka lisäksi rakennuksen tulee läpäistä sille asetettu käyttökohdeluokiteltu raja-arvo hiilijalanjäljen suhteen. Hiilijalanjätkilaskennan ja raja-arvojen noudattaminen tulee voimaan vuonna 2026. Suomi pyrkii poliittisilla toimilla saavuttamaan asettamansa tavoitteet hiilineutraalista Suomesta vuonna 2035, samalla noudattaen EU:n asettamia ilmastotavoitteita, jotka ajavat muiden kuvan 8 mukaisten lainsäädäntöjen ja toimien ohella EU:n vihreän siirtymän politiikkaa.

Kuvassa 8 oleva kokonaisuus havainnollistaa, miten monipuoliset EU-tason aloitteet vaikuttavat kansalliseen lainsäädäntöön, ohjaten rakentamista vähähii-lisyyttä kohti. Kiertotalouden sekä saasteettomuuden toimintasuunnitelmat toimivat pohjina useille säädöksille, joilla pyritään tukemaan rakennustuotteiden kestävyyttä ja tehokasta materiaalien kierrätystä. Näitä toimenpiteitä tukevat muun muassa rakennustuoteasetukset ja kestävien tuotteiden vaatimukset, jotka vaikuttavat suoraan ympäristövaatimukseen. [5, s.9.]

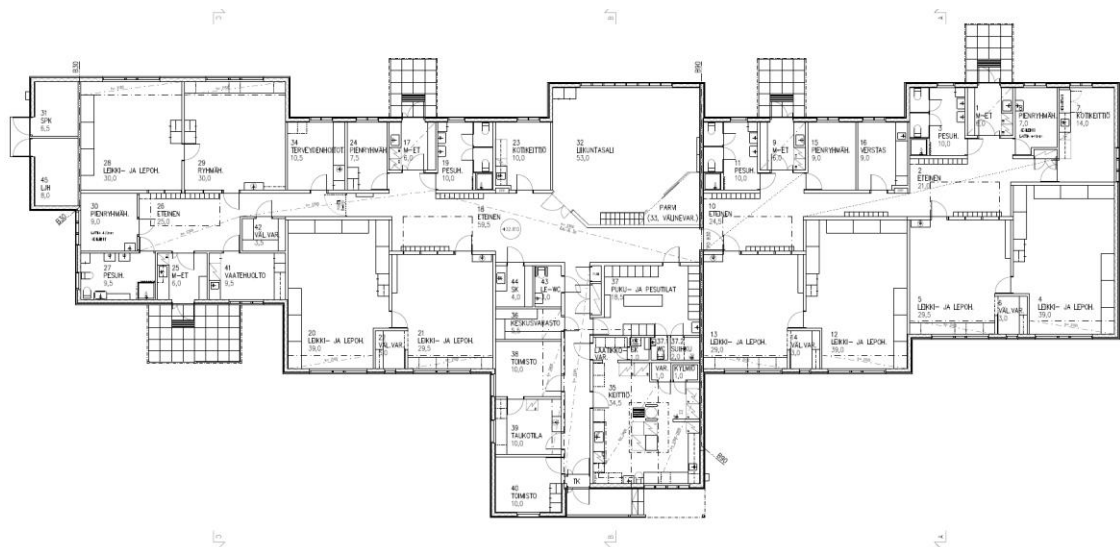
Lisäksi merkittävässä roolissa toimii 55-valmiuspaketti, joka viittaa EU:n tavoitteisiin vähentää kasvihuonekaasujen nettopäästöjä. Se sisältää laajan lainsäädäntökokonaisuuden, jolla pyritään saavuttamaan 55 prosentin päästövähennykset vuoteen 2030 mennessä. Rakentamisen osalta korostuu myös Renovation Wave eli rakennusten perusparannusstrategia, jolla pyritään edistämään nykyisen rakennuskannan korjaamista energiatehokkaammiksi. [5, s.9.]

Vihreän kehityksen ohjelma muodostaa kattavan viitekehyksen, joka sitoo yhteen useita eri toimialoja koskevat ympäristötavoitteet, joiden toteutuminen edellyttää tiivistä kansallista ohjausta ja käytännön toimenpiteitä, kuten kuvassa 4 on esitetty. Green Deal -ohjelma vaikuttaa varsinkin rakennusalaan, joka on yksi merkittävimmistä päästöjen aiheuttajista.

3 Korjauskohde ja korjauslaajuudet

3.1 Esimerkkikohde

Työssä tutkittava esimerkkikohde on yksikerroksinen puurankarakenteinen rakennus, joka on valmistunut 1980-luvulla. Rakennus on noin 820 brm² kokoinen ja sen alkuperäinen sekä nykyinen käyttötarkoitus on päiväkotirakennus. Rakennuksen pohjapiirustus esitetty kuvassa 9. Rakennus on mitoitettu noin 70 lapselle sekä kymmenen hengen henkilöstölle. [23; 24.]



Kuva 9. Rakennuksen digitoitu pohjapiirustus [25].

Rakennus sijaitsee tasaisella maastolla kerrostalojen keskellä. Kerrostalojen lisäksi rakennuksen ympärillä on normaalia puustoa sekä pieni metsikkö. Alueella ei ole vilkasta tieliikennettä ja piha-alueet ovat suurimmaksi osaksi nurmikko- tai hiekkapintaisia. Rakennuksen pihalla on kaksi ulkovarastoa sekä erillinen jätehuone. Rakennukseen on viisi sisäänkäyntiä, jotka on esitetty kuvassa 10. [24.]

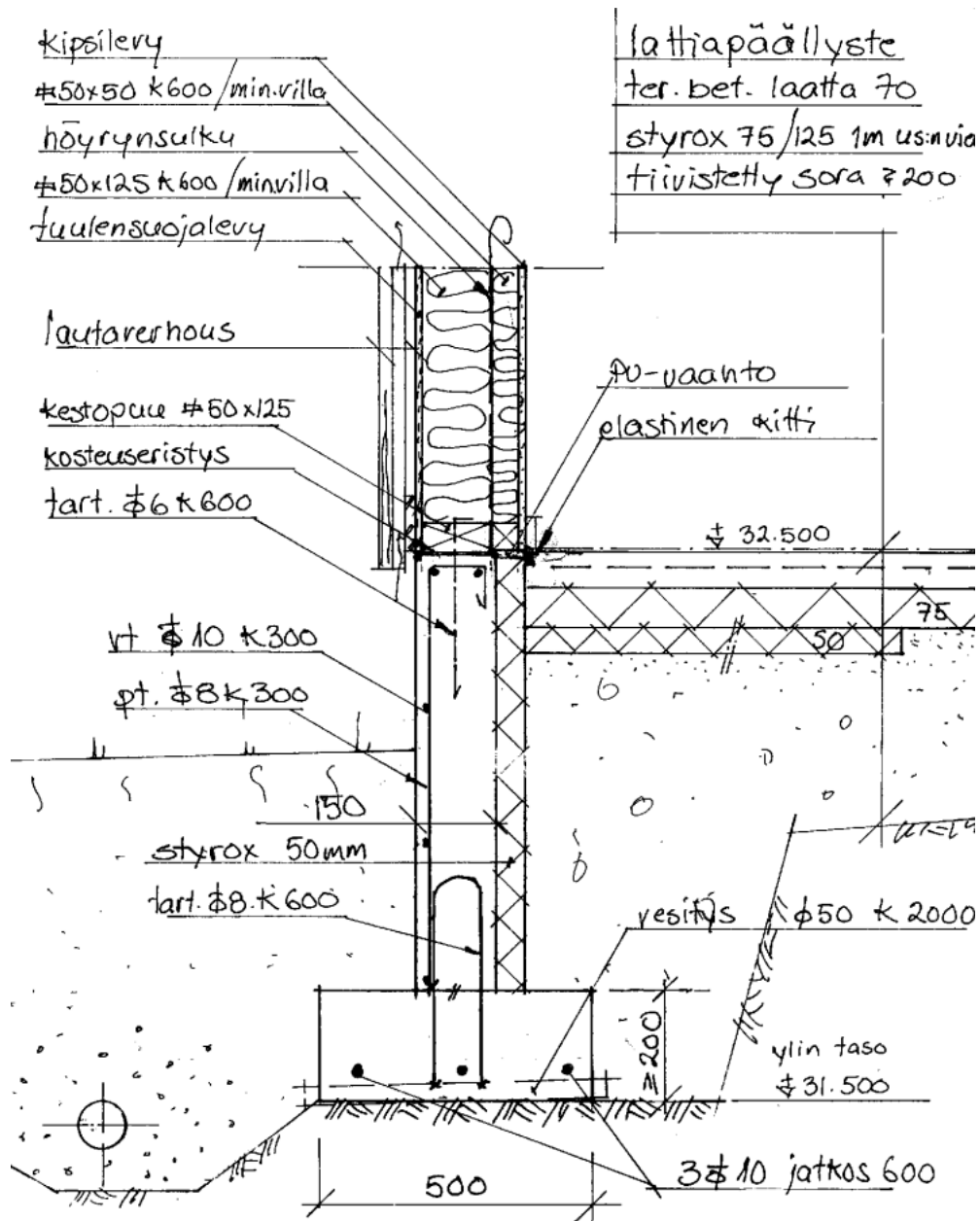


Kuva 10. Ilmakuva rakennuksesta, sisäänkäynnit merkittyinä [26].

Korjauslaajuuksissa pyritään keskittymään pääsääntöisesti sisäpuolisiin korjaustoimenpiteisiin, eikä laajoja ulkopuolisia toimenpiteitä toteuteta, paitsi uudisrakennuksen ja energiaremontin vaihtoehtoissa, joissa muun muassa toteutetaan maalämpöjärjestelmään liittyvät työt sekä tarpeelliset maanrakentamisen toimenpiteet.

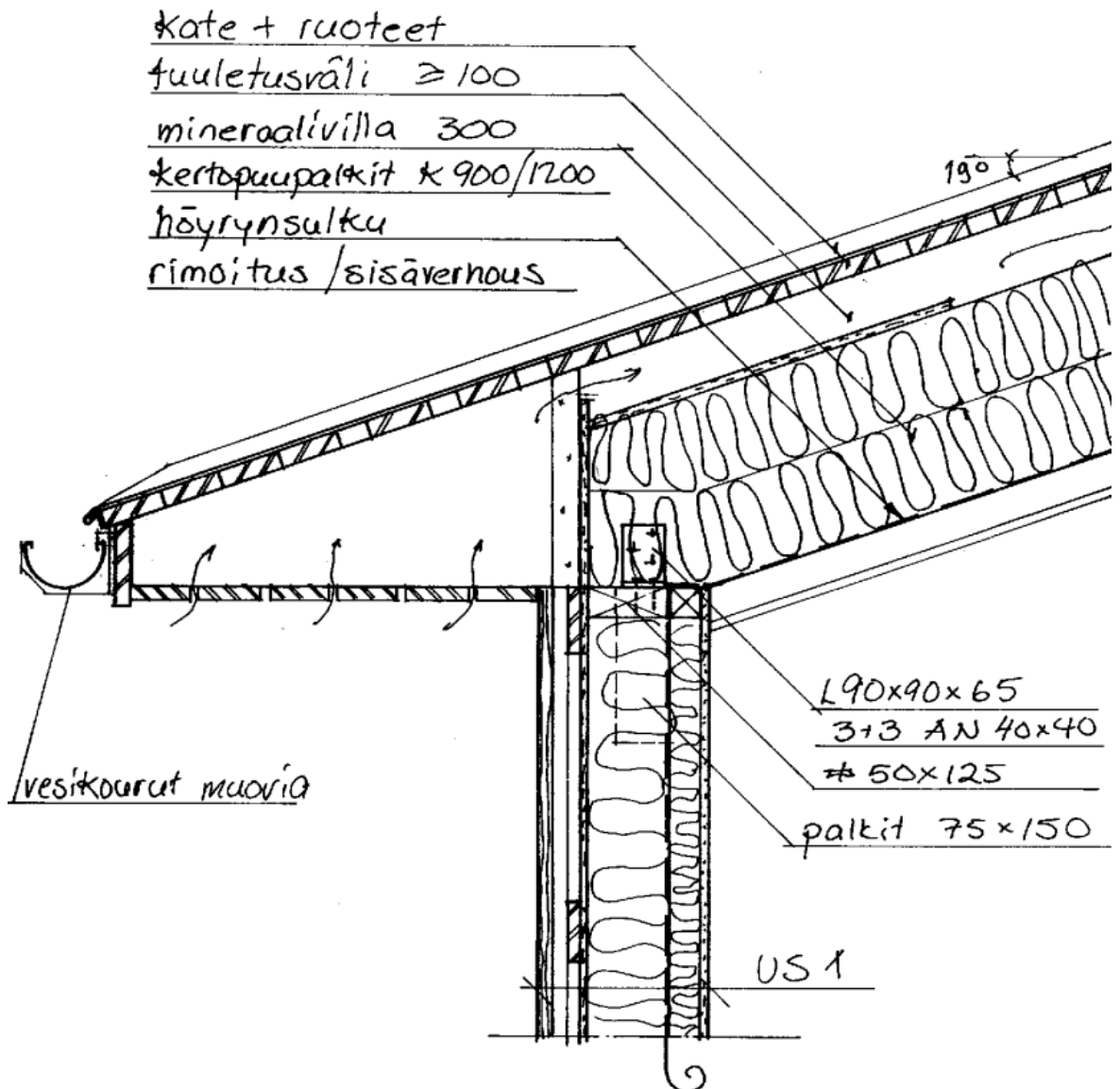
3.1.1 Kohteen rakenteet ja talotekniikka

Rakennus on rakenteiltaan sekä arkkitehtuuriltaan hyvin yksinkertainen. Rakennuksen ulkoseinät ovat puurankarakenteisia seiniä, joissa on sisäpinnan levyverhoilu, koolaus, tuplamineraalivillaeriste, höyrynsulkumuovi sekä ulkopinnassa lautaverhoilu. Ulkoseinien tavoin väliseinät ovat rankarakenteisia ja levyverhoiltuja seiniä, jotka ovat tavanomaisesta rakentamisesta poiketen suurimmaksi osaksi kantavia sekä perustettu teräsbetonisille perustuksille. Rakennus on muuten perustettu ulkoseinälinjojen kohdalla jatkuvalla teräsbetonisella anturalla ja betonisella perusmuurilla kuten kuvan 11 perustusleikkauksessa.



Kuva 11. Rakennuksen vanha perustusleikkaus [27].

Alapohjarakenteena toimii maanvarainen teräsbetonilattia, joka on perustettu häiriintymättömän perusmaan varaan. Kuvan 12 räystäisleikkauksessa yläpohja on puinen kertopuupalkkirunkoinen, jossa on kermikate. Kattomuotona toimii loiva harjakatto, jossa esiintyy poikkipäätyjä, tehden kattomuodosta osittain monimuotoisen. Rakennuksessa on myös kattoikkunoita ja rakennuksen IV-konehuone on sijoitettu katolle omaksi huoneeksi. IV-konehuoneen yläpohja, välipohja sekä seinät on rankarakenteisia. [23; 24.]



Kuva 12. Rakennuksen vanha räystääleikkaus [28].

Kohteen energiamuotona on toiminut kaukolämmitys ja rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on toiminut vesikiertoinen patterijärjestelmä. Ilmanvaihtona on toiminut pääosin alkuperäinen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, johon on kuulunut yksi lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone ja kolme huippuimuria. Ilmanvaihtoa sekä sähköjärjestelmiä on ohjannut kohteen rakennusautomaatiojärjestelmä. Kohteen talotekniikka kulkee suurimmaksi osin käytävien laskettua alakattoa pitkin eri huoneisiin. [23; 24.]

3.1.2 Kohteen aiemmat korjaukset

Esimerkkikohteelle on toteutettu useita pienimuotoisia peruskorjauksia sen elinkaaren aikana ja viimeisin peruskorjaus toteutettiin vuonna 2014. Peruskorjauksen pääpiirteenä oli tiivistystöiden tekeminen. Tiivistystyöt kuitenkin todettiin myöhemmin puutteellisiksi sekä toteutukseltaan että suunnittelultaan. Korjauksen yhteydessä yleiset lattiamateriaalit vaihdettiin, vesikatto korjattiin täysin, lämmönjakohuone uusittiin sekä tehtiin useita pienimuotoisia LVIAS-muutoksia, kuten lämmönsiirtimien vaihto sekä ilmanvaihdon säätöjä. Alkuperäinen vesikatto kuitenkin oli korjattu jo vuonna 2002, ja samalla on vaihdettu katemateriaali pellistä huovaksi. [23; 29.]

Kohteelle on toteutettu myös muita aikaisempia korjauksia. Vuonna 2007 on toteutettu piha-alueiden korjaustyöt, joiden yhteydessä on korjattu salaojat. Muovimatot on pinnoitettu PU-pinnoitteella vuonna 2022. Rakennuksen ulkoseinät, ikkunat sekä ulko-ovet on maalattu ja huollettu – tarkempaa aikataulua niiden osalta ei ole tiedossa. [29; 30.]

Korjauksista huolimatta rakennuksessa on esiintynyt sisäilmaongelmia, joiden takia kohteelle on tehty useita selvityksiä, kuten kattava kuntotutkimus vuonna 2023. Rakennuksen teknisten selvityksien, tilavaatimuksien sekä kaupungin suunnitelmien ja asettamien tavoitteiden mukaisesti kohteelle toteutettiin osittainen peruskorjaus vuonna 2024. [23; 24.]

3.1.3 Kohteen aineistot ja tutkimukset

Kohteen alkuperäiset ARK-, RAK- ja LVIAS-suunnitelmat ovat vuodelta 1985. Alkuperäisten suunnitelmien lisäksi kohteelle on laadittu vesikattokorjauksen ARK-piirustukset vuonna 2002, kosteusvauriokorjauksen suunnitelmat vuonna 2005, tiivistyskorjausten suunnitelmat vuonna 2014 sekä vesikatteen uusimisen ARK-piirustukset vuonna 2015.

Vanhojen suunnitelmien lisäksi rakennukselle on tehty kattavasti tutkimuksia 2000-luvulla. Kohteen merkittävimpiä ja viimeisimpiä tutkimuksia ja selvityksiä on tehty seuraavasti:

- asbesti ja haitta-ainekartoitus vuonna 2023
- rakenne- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus vuonna 2023
- lämmitys- ja käyttövesilaitteistojen ja putkistojen kartoitus vuonna 2023
- hulevesi-, jätevesi- ja salaojalinjoiden kartoitus vuonna 2023
- korjaustarpeiden raportti vuonna 2023
- radonmittaukset vuonna 2020.

Vuoden 2023 rakenne- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen tarkoituksena oli toimia perustana tarveselvitys- ja hankesuunnitelmalle ja selvittää rakennuksen rakenteiden sekä ilmanvaihdon kunto peruskorjausta varten. Rakennukselle on laadittu tutkimuksien, suunnitelmien, teknisten selvityksien sekä muiden lähtötietojen perusteella uudet luonnos-, toteutus- sekä lopulliset suunnitelmat vuoden 2024 osittaista peruskorjausta varten. [24; 31.]

3.1.4 Kohteessa havaitut vauriot ja ongelmat

Rakennuksessa oli ollut useita sisäilmaongelmiin liittyviä vaurioita. Rakennuksessa oli todettu olevan alapohjan liittyviin sekä ulkoseinärakenteisiin liittyviä tiivistysongelmia sekä useita kosteusvauriopaikkoja, jotka oli jätetty korjaamatta vesikattovuotojen yhteydessä. Ulkoseinien ongelmia oli lisännyt pieneläinten pääsy seinärakenteisiin. Sisäilmaongelmia oli lisännyt myös riittämätön ja puutteellinen ilmanvaihto. Henkilöstö oli raportoinut tunkkaisesta sisäilmasta sekä paikoittaisesta vedosta. [24; 31.]

Rakennuksen huoneiden ja märkätilojen pintamateriaalit sekä kalusteet ja varusteet olivat olleet tyydyttävässä kunnossa. Kalusteiden pintarakenteissa oli kuitenkin kosteusvaurioiden jälkiä sekä kuluneisuutta, joten ne oli vaihdettava.

Vuonna 2005 tutkimuksissa oli todettu muovimattojen alla olevan mikrobikasvustoa. Kosteusvaurion jälkiä esiintyi myös julkisivuilla sokkeleiden kohdalla ulkoseinän eristetilassa. [31; 32.]

Kohteessa ei ollut havaittu huomattavia radonpitoisuuksia. Asbestia oli havaittu pelkästään lämmönjakohuoneen vanhojen lämpöputkien laippaliitoksissa. Muita haitta-aineita löytyi ainoastaan kohteen muovimatoissa, joissa esiintyi DEHP:iä yli vaarallisen jätteen raja-arvon. [31; 33; 34.]

Laajassa kuntotutkimuksessa oli esitetty kiireelliset yhden vuoden sisällä tehtävät toimenpiteet, viiden vuoden sisällä tehtävät toimenpiteet sekä seuraavassa peruskorjauksessa tehtävät toimenpiteet vaurioiden korjaamiseksi. Tutkimuksen mukaan kohteessa tulisi suorittaa vuoden sisällä seuraavat kiireelliset toimenpiteet:

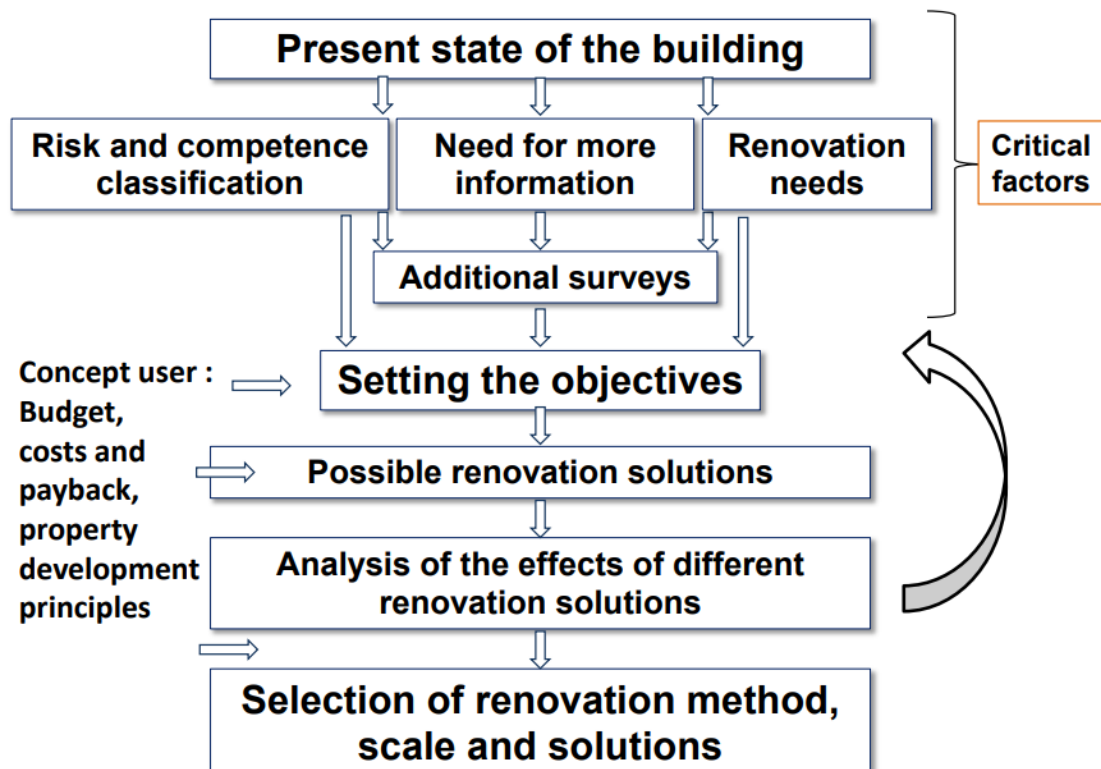
- kesken jääneen alapohja-seinäliittymän tiivistyksen viimeistely
- ulkoseinien kotelointien ilmatiiveyden väliaikainen parannus
- kynnyspelttien asennus ulko-oviin sekä betonipaikkaukset kynnyksiin
- akryylibetonipinnoitteen halkeamien paikkaus keittiössä
- muovimaton vesitiiveyspuutteiden korjaus IV-konehuoneessa
- räystäskourujen ja vesikaton puhdistus
- IV-järjestelmän puhdistus ja IV-koneen puutteiden korjaus
- ilmamäärien säätäminen sekä mittaaminen
- ulkoilmasäleikön puhdistus lumesta talvisin. [29.]

3.2 Korjauslaajuuksien määrittely

Tutkimuksessa esimerkkikohteelle on määriteltä neljä mahdollista korjauslaajuuksivaihtoehtoa. Esimerkkikohteelle on toteutettu korjaus vuonna 2024 vaihtoehto VE2 mukaisesti. Rakennuksen osittaisen peruskorjauksen lisäksi on mietitty, mitä muita korjausvaihtoehtoja olisi ollut mahdollista ja järkevää toteuttaa.

Toimeksiantajan puolesta esille nousi kevyen korjauksen mukainen laastari- paikkaus VE1, vanhan rakennuksen purkaminen ja uuden rakentaminen VE3 sekä laajempi korjaus VE4, jossa tavoiteltaisiin energiatehokkuuden parantamista energiaremontin muodossa. Korjauslaajuuksien määrittely on yleisesti erittäin haastavaa ja laajuus riippuu monista tekijöistä, kuten hankkeen kohteesta ja ti- laajasta. [35, s.153–158.]

Korjauslaajuuksien määrittelyssä vaikuttavat esimerkkikohteen lähtötiedot tekni- sistä selvityksistä sekä käyttäjätoivomuksista. Myös tilaajan asettamat vaati- mukset ja toiveet sekä kuntotutkimuksessa esiin tulleet kiireelliset korjaustar- peet otettiin huomioon välttämättöminä. Korjaushankkeelle on tärkeä saada riit- tävän kattavat ja laadukkaat selvitykset, jotta korjauslaajuuksille saadaan tarkat perusteet. Tehokas ja tarkka tutkimustyö ja tulosten analysointi sekä niiden pe- rusteella tehty päätöksenteko on edellytys korjauksen onnistumiselle kuten ku- vassa 13 on ilmaistu. [36.]



Kuva 13. Korjauksen onnistumisen edellytykset [37, s.1199].

Eri laajuuksien sisältöihin vaikuttavat myös samankaltaisissa projekteissa harkitut korjaustoimenpiteet huomioiden korjausluokka. Korjauslaajuusvaihtoehtoja suunnitellessa, kirjallisuudessa sekä muissa hankkeissa korjauslaajuuksien luokat oli jaoteltu yleisimmin kevyeen, keskiraskaaseen sekä raskaaseen korjaukseen. Korjausluokkiin vaikuttavat tavoiteltava käyttöikä, kustannustavoitteet sekä kohteen soveltuvuus kuten taulukossa 4.

Taulukko 4. Korjausluokkien piirteet [35, s.153].

Korjausluokka	Kevyt korjaus	Keskiraskas korjaus	Raskas korjaus
Käyttöikä ennen seuraavaa peruskorjausta	Alle 10 vuotta	Yli 20 vuotta	Noin 50 vuotta
Tilamuutokset	Vähäisiä tilamuutoksia	Melko paljon tilamuutoksia	Paljon tilamuutoksia tai teknisiä muutoksia
Korjauskustannukset	10–30 % uudisrakennuksen hinnasta	30–80 % uudisrakennuksen hinnasta	Uudisrakennuksen taso
Soveltuva kohde	Lyhytaikainen tarve rakennuksen käytölle	Käyttötarkoituksen oletetaan säilyvän pitkään ennallaan	Rakennuksella merkittävää yhteiskunnallista arvoa.

Peruskorjauksilla pystytään samaan useita hyötyjä korjauslaajuuden mukaan. Korjauksilla voidaan vaikuttaa seuraaviin asioihin muun muassa säilyttää rakennuksen arvo, pienentää rakennuksen huoltokustannuksia, parantaa sisäilman laatua, lisätä käyttömukavuutta, mahdollistaa energiatehokkaiden järjestelmien käyttövalmius sekä saada rakennuksesta korjauksilla uudenveroinen. [36.]

3.2.1 Kevyt korjaus VE1

Kevyen korjauksen tavoitteena on toteuttaa pelkästään kiireelliset ja välttämättömät korjaukset rakennukselle. Vaihtoehdossa tulee huomioida kevyelle korjaukselle tyypillisimmät toimenpiteet. Toimenpiteiden tarkoituksena on pidentää rakennuksen elinkaarta siten, että rakennusta pystytään käyttämään noin kymmenen vuotta ennen seuraavaa peruskorjausta. Kevyellä korjauksella pystytään lisäämään rakennuksen elinaikaa, kun rakennukselle ei ollut vielä esimerkiksi tehty pysyvämpää investointipäätöstä.

Korjauslaajuuden keskeisimpiä toimenpiteitä on toteuttaa kuntotutkimuksen mukaiset kiireelliset yhden sekä viiden vuoden sisällä tehtävät korjaukset. Korjauksessa tulee toteuttaa ulkoalueilla pihan kallistus, varaston sokkelin betonivaurion korjaus, kynnysten betonipaikkaukset ja vesikaton puhdistus. Sisätiloissa tulee tehdä tiivistystyöt, lattialuukun korjaus, ulkoseinien alaosien eristetilojen korjaus, eläinverkkojen asennus, lämpöjohtokoteloiden uusinta, ulkoseinien sisäpuolien eristeen ja höyrynsulun uusiminen sekä yläpohjan eristeiden, höyrynsulun ja koolausten uusiminen. Korjauksessa kaikki lattia-, seinä- ja kattopintojen materiaalit sekä varusteet ja kalusteet tulee uusida. Lisäksi ikkunat sekä ulko-ovet tulee peruskorjata.

Talotekniikassa ilmanvaihtojärjestelmä tulee puhdistaa, säätää ja mitata. Myöhemmin noin viiden vuoden sisällä järjestelmä tulee uusida kokonaan. Lämmitysjärjestelmän osalta patteriventtiilit sekä termostaatit tulee säätää ja uusida osittain.

3.2.2 Osittainen peruskorjaus VE2

Osittainen peruskorjaus toteutettiin vuonna 2024. Korjauksen tavoitteena oli kiinteistön arvon ja käyttökelpoisuuden suunnitelmallinen ja resurssiviisas ylläpito. Osakorjaushankkeessa tavoiteltiin erityisesti käyttöiän pidentämistä, rakennuksen säilyttämistä, korjauksesta syntyvän purkumateriaalin uusiokäyttöä tai kierrätystä sekä pitkäaikaisten materiaalien käyttöä uusissa rakenteissa. Korjauksessa tavoiteltiin yli 20 vuoden elinkaarta edellä mainituilla toimenpiteillä. [24.]

Korjauksessa suurimpia toimenpiteitä olivat LVIAS-järjestelmien kokonaisvaltainen uusiminen, rakennetekniset-, tiivistys- ja sisäilmakorjaukset sekä pintamateriaalien, kalusteiden ja varusteiden uusiminen. Korjauksessa toteutettiin myös laajat talotekniikan korjaukset ja suurin osa järjestelmistä uusittiin kauttaaltaan. [24.]

3.2.3 Uudisrakennus VE3

Korjausvaihtoehdossa tulee purkaa kokonaan alkuperäinen rakennus, ja samalle paikalle rakentaa vastaavanlainen rakennus noudattaen nykyisiä määräyksiä ja vaatimuksia. Vaihtoehdossa piha-alueiden tulee pysyä entisellään huomioiden ympäröivät LVIS-asennukset. Vaihtoehdon tarkoituksena on rakentaa uusi rakennus alkuperäisen korjaamisen sijasta. Rakennuksen arkkitehtuuri, tilat ja mitat tulee pysyä lähes samoina. Muutoksina teknisten tilojen sijoittaminen keskemälle rakennusta sekä kattomuotojen yksinkertaistaminen. Rakennussuunnittelun kannalta olennaisimmat keinot huomioida kestävä rakentaminen ovat seuraavat:

- Rakennuspaikan sijoittuminen tontilla kohtuullisin kustannuksin huomioiden ilmasto-olosuhteet, kuten ilmansuunnat ja auringolta suojautuminen, kasvillisuus sekä tieliikenne.
- Rakennuksen muoto, tilatehokkuus ja massoittelu.
- Rakennuksen tilatehokas ja muuntojoustava pohjaratkaisu.
- Kestävät materiaalivalinnat, joissa on huomioitu materiaalitehokkuus ja kiertotalous.

Oleellisten seikkojen lisäksi suunnittelun kannalta tulee ottaa huomioon vähäpäästöisyys sekä hiilijalanjäljen minimointi materiaalien kannalta. Myös luonnonvalon sekä kattoikkunoiden käyttö tulee harkita tarkasti. [38, s.16.]

Uudisrakennuksen uusissa rakenteissa ja taloteknisissä järjestelmissä pääpiirteenä on vähähiilisyys ja energiatehokkuus. Vähähiilisyys ja energiatehokkuus huomioidaan rakennuksessa rakennevalinnoilla sekä nykyaikaisilla tehokkailla LVIAS-järjestelmillä. Rakenneosissa kuitenkin on päätetty noudattaa taulukon 5 mukaisia minimivaatimuksia esimerkiksi u-arvon suhteen. Vaihtoehdossa kohteeseen tulee maalämpöjärjestelmä kaukolämmön tilalle sekä rakennuksen katonlelle asennetaan aurinkopaneeleita aurinkoenergian lähteeksi. [36.]

Taulukko 5. Rakennusosien u-arvo vaatimukset [39].

Rakennusosa	Vaatimus (W/m ² K)	Rakenteellinen energiatehokkuus 33§ (W/m ² K)
Seinä (pienet asuinrakennukset)	0,17	0,12
Seinä (asuin kerrostalot)	0,17	0,14
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09	0,07
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,18	0,10
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16	0,10
Ikkuna, ovi	1,00	0,70

Uudisrakennuksen runko tulee toteuttaa CLT-runkoisena. Ulkoseinät ovat lisäeristeisiä CLT-seiniä ja alapohjana toimii uusi maanvarainen teräsbetonilaatta. Energiatehokkuus huomioidaan vaipparakenteiden osalta myös energiatehokkuudessa ikkunoissa sekä ulko-ovissa. Rakennusratkaisuissa sekä rakennejärjestelmässä on auttanut Puuinfon suunnitteluohjeet massiivipuisista rakennusmateriaaleista sekä ePuu-palvelu, jota hyödynnettiin rakenteiden määrityksessä. Palvelun kautta pystytään huomioimaan hanketta koskevat palomääräykset sekä ympäristöministeriön rakennusosakohtaiset vaatimukset. Rakennuksen päärakennetyypit on esitetty liitteessä 1. [40; 41; 42.]

Talotekniikassa energiatehokkuudelle on esitetty monia tiukkoja vaatimuksia, joissa painostetaan ilmanvaihtokoneissa lämmöntalteenottoa, sekä korkea, yli 70 % hyötysuhdetta. Järjestelmän SFP-luvun tulee myös olla alle 1,7. Keskisuurten päiväkotirakennuksen energiatehokkuustavoitteena tulee olla alle 85 kWh E/m², a. Ilmanvaihdon ohjausperusteena toimii kiinteistöautomaation rinnalla tilakohtainen ilman laajuuteen perustuva CO₂ ohjaus. [38, s.8, 25.]

Lämmitysjärjestelmänä toimii vesikiertoinen lattialämmitys märkätiloissa ja energiatehokas patterilämmitys muissa tiloissa. Jäähdytys toteutetaan lepo-, toimisto- sekä taukutiloissa ilmanlämpöpumpuilla. Muuten energiatehokkuus huomioidaan energiaystävällisillä vesikalusteilla ja viemäreissä

lämmöntalteenotolla. Uudenaikaisissa sähköjärjestelmissä energiatehokkuus huomioidaan vähän kuluttavilla LED-valaisimilla ja sähkölaitteilla.

3.2.4 Laaja korjaus VE4

Neljäs vaihtoehto on korjausvaihtoehdoista laajin. Vaihtoehdon keskeisin tavoite on parantaa rakennuksen energiatehokkuutta sekä vaihtaa rakennuksen energiamuoto kaukolämmöstä maalämpöön. Korjausvaihtoehdossa toteutetaan kaikki osittaisen peruskorjauksen VE2 toimenpiteet, jonka lisäksi kohteessa toteutetaan myös energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Energiaremontin hyötynä on energiatehokkuuden lisäksi energiakustannuksien laskeminen sekä kiinteistön arvon nostaminen. Energiaremontti on yleensä kannattava investointi tulevaisuuteen. [43.]

Laajan korjauksen toimenpiteillä tavoitellaan monia säästöpotentiaaleja. Rakenteiden eristyksen vaihtamisella voidaan säästää lämmitysenergiassa jopa 5–10 % sekä ikkunoiden uusimisella jopa 5–15 %. Passiivisista energiatehokkuutta pystytään parantamaan yleisesti huomattavasti enemmän kuin määräyksissä edellytetään. Myös rakennusautomaation uusiminen sekä vesikalusteiden, sähkölaitteiden ja valaistuksien vaihtaminen vähän kuluttaviin malleihin tehostaa veden- ja sähkönkulutusta parantaen rakennuksen energiatehokkuutta entisestään. Lisäksi rakennuksen energiatehokkuutta ja -taloutta pystytään parantamaan vähäpäästöisellä energialla kuten lämpöpumpuilla. [36; 44, s.12; 45.]

Rakenteellisen energiatehokkuuden lisäksi energiatehokkuutta pystytään kuitenkin parantamaan monilla muillakin keinoilla kuten passiivisesti aurinkoenergian hyödyntämisellä tai materiaalivalinnoilla, kuten valitsemalla polyuretaani eristemateriaaliksi. Energiatehokkuuden vaatimuksien kiristyessä on hyvä, että on olemassa entistä enemmän vaihtoehtoja ja valintoja, joilla pystytään tavoittelemaan passiivista- tai nollaenergiarakentamista nykyaikana. [44, s.24–25.]

4 Hiilijalanjälki- sekä kustannuslaskelmat

4.1 Kustannusarviot

Insinööriyössä laadittiin jokaiselle korjauslaajuudelle kustannusarviot korjauslaajuuksien määritelmien, sisältöjen ja toimenpiteiden pohjalta. Osittaiselle peruskorjaukselle VE2 oli myös laadittu todellinen peruskorjausta koskeva kustannusarvio NCC:n rakennustapaselostukseen perustuen aiemmin vuonna 2024 ennen peruskorjaushankkeen alkamista. Kyseisen kustannusarvion oli laatinut NCC:n oma kustannuslaskija. Kustannusarvion lisäksi osittaisesta peruskorjauksesta oli olemassa tarkat raportit kustannuksien todellisista toteumista osittaisen peruskorjauksen osalta.

4.1.1 Laskelmien lähtötiedot ja toteutus

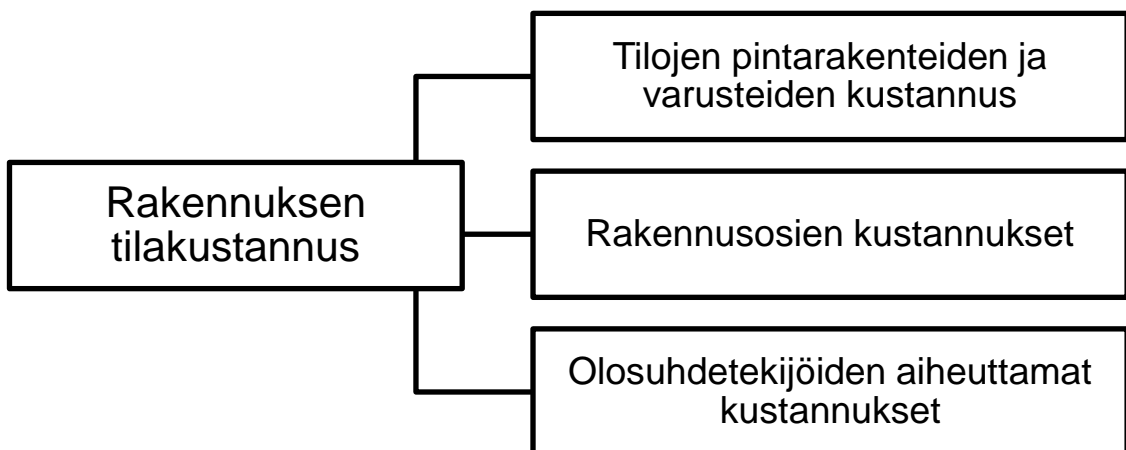
Kustannuslaskennassa tuli perehtyä asiakirjoihin, jotta esimerkkikohteesta sai käsityksen yleiskuvasta ja sen laatutasosta, sekä ymmärryksen kustannuksiin vaikuttavista keskeisimmistä toimenpiteistä. Näiden lisäksi oli selvitettävä lähtötietojen mahdolliset ristiriidat.

Hankekohtaiset asiakirjat toimivat lähtötietoina eli laskenta-asiakirjoina määrälaskentaa sekä kustannuslaskentaa varten. Korjauskohdetta varten tuli laskenta-asiakirjoina toimineiden tutkimustuloksien sisältää kuntoon liittyviä selvityksiä. Teknisillä selvityksillä kuten kuntotutkimuksella sekä tarveselvitys ja hankesuunnitelmalla oli olennainen rooli korjauslaajuuksien toimenpiteiden ja vaurioiden määrittelyssä ja laajuuksien selvittämisessä. Teknilliset asiakirjat kuten rakennustapa-, sähkötyö- ja LVIA-selostus kuvailivat yksityiskohtaisemmin osittaisen peruskorjauksen toimenpiteitä sekä niille asetettuja vaatimuksia.

Määrälaskennan kannalta oli tärkeää, että kohteella oli Talo 80 -määrälaskentaohjeen mukaiset vähimmäissuunnitelmat ja -piirustukset, perustusleikkaukset sekä rakennusselostus. Esimerkkikohteella oli alkuperäiset sekä osittaista peruskorjausta varten laaditut luonnos- ja toteutussuunnitelmat, joiden perusteella

pystyttiin laskemaan tarkat määrät. Yleensä hankesuunnitteluvaiheen aikana, kustannuslaskentaa varten on ainoastaan alustavat suunnitelmat sekä rakennustapaselostus, joiden perusteella tuotettaisiin mahdollisimman tarkat kustannusarviot.

Kustannuslaskelmat ovat pohjautuneet hankesuunnittelussa yleisesti käytettyyn laskentamenettelyyn eli tilalaskentaan. Sen takia kustannuslaskennan työkaluksi on sopinut hyvin ESTIModel-kustannuslaskentaohjelma, jolla pystyttiin laskemaan tilaohjelmaan perustuvia tilakohtaisia kustannuksia. Tilakustannus eli tilalaskelman tulos muodostui monista korjaushankkeen tekijöistä. Kuvassa 14 esimerkkejä näistä tekijöistä, joiden lisäksi kustannuksiin vaikuttivat myös erilaiset yritys-, tilaaja- ja kohdekohtaiset sisällöt.



Kuva 14. Tilakustannuksen muodostuminen [14, s.85].

Tilalaskentaa varten kohde mallinnettiin tilapohjaisesti rakennuskustannuksien jakautumiseksi. ESTIModelissa kohderakennus mallinnetaan kaksikulotteisesti vaadittavien lähtötietojen, kuten mittojen, käyttötarkoitusten sekä huonesijaintien avulla. Mallinnuksessa auttavat myös tyypillisen, ominaisuuksiltaan tavoitteellisen rakennuksen ennalta määrätyt tilakohtaiset varusteet, kalusteet, pinnat

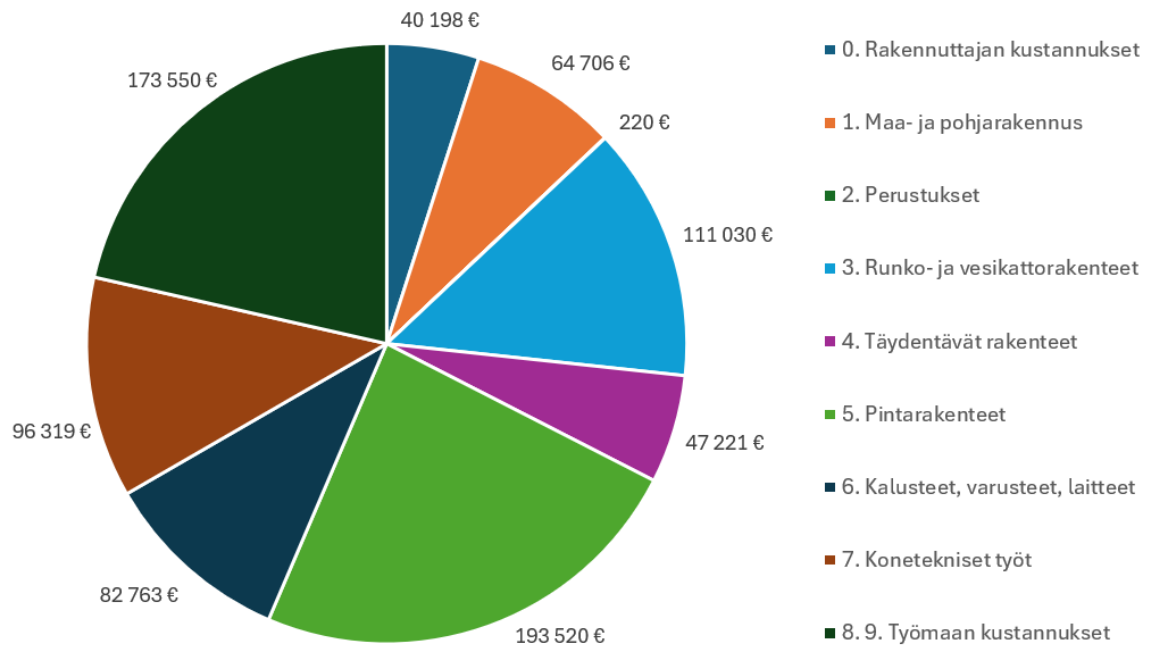
sekä tekniikka, jotka vastaavat niiden tilojen käyttötarkoitusta sekä tilavaatimuksia. [14, s.85.]

Tavoitteellisten tilojen lisäksi tilalaskentojen muodostamisessa auttoivat muut referenssihankkeet sekä osittaisen peruskorjauksen suunnitelmat, joiden avulla pystyttiin ottamaan rakennuksen tilakohtaiset vaatimukset täsmällisemmin huomioon.

4.1.2 Laskentatulokset

Laskentatuloksina syntyi neljä erillistä kustannusarviota, joiden lisäksi osittaiselle peruskorjaukselle VE2 oli olemassa alkuperäinen ammattilaisen toimesta laskettu kustannusarvio, jonka perusteella esimerkkikohteen peruskorjaus toteutettiin vuonna 2024. Alkuperäisen kustannusarvion lisäksi esimerkkikohteen peruskorjauksesta oli dataa sen lopullisesta kustannustoteumasta, jota pystyi hyödyntämään todenmukaisen arvion laatimisessa. Osittaisen peruskorjauksen kustannusarvio toimi lähtökohtana myös muiden korjauslaajuuksien arvioille.

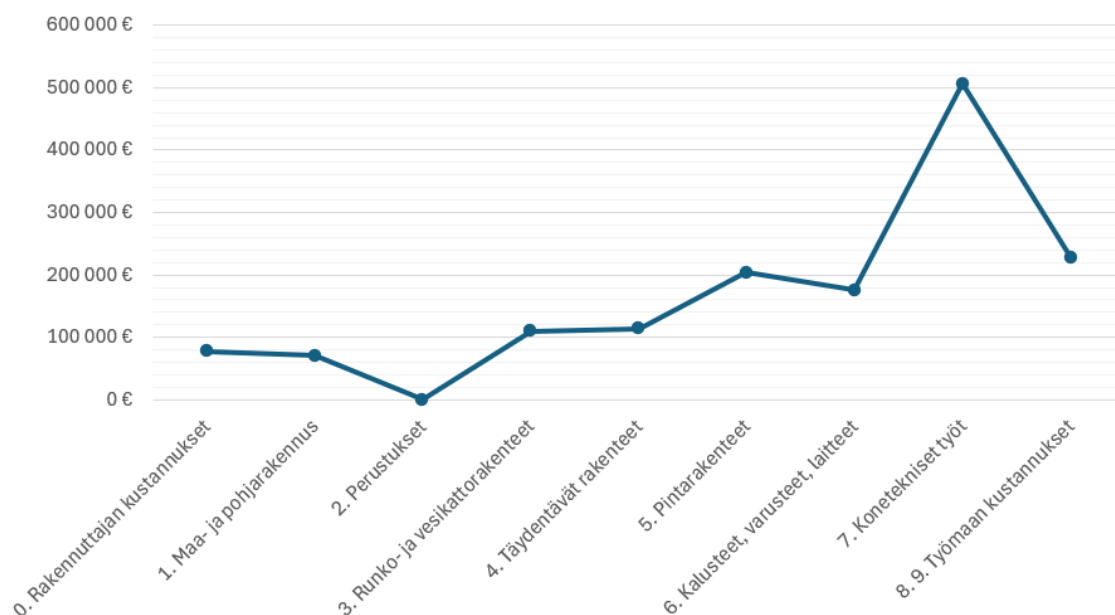
Kevyen korjauksen eli korjauslaajuusvaihtoehdon VE1 tekniseksi hinnaksi muodostui 809 527 € liitteen 2 mukaisesti. Korjauslaajuudessa suurimmat kustannukset muodostuivat pintarakenteiden uusimisesta, joka vastasi kuvan 15 mukaisesti noin 24 % osuutta korjauksesta. Pintarakenteiden uusimisessa korostuu mahdollisuus korjata ja parantaa rungon sekä vaipparakenteiden toiminnallisuutta esimerkiksi rakenteiden tiivistyksellä ja suojauksella. Pintojen korjaamisen lisäksi kohteessa tehtiin välttämättömiä toimenpiteitä sekä yleisiä kevyen korjauksen mukaisia huoltotoimenpiteitä, jotka muodostivat loput korjauskustannuksista.



Kuva 15. Kevyen korjauksen VE1 teknisen hinnan muodostuminen.

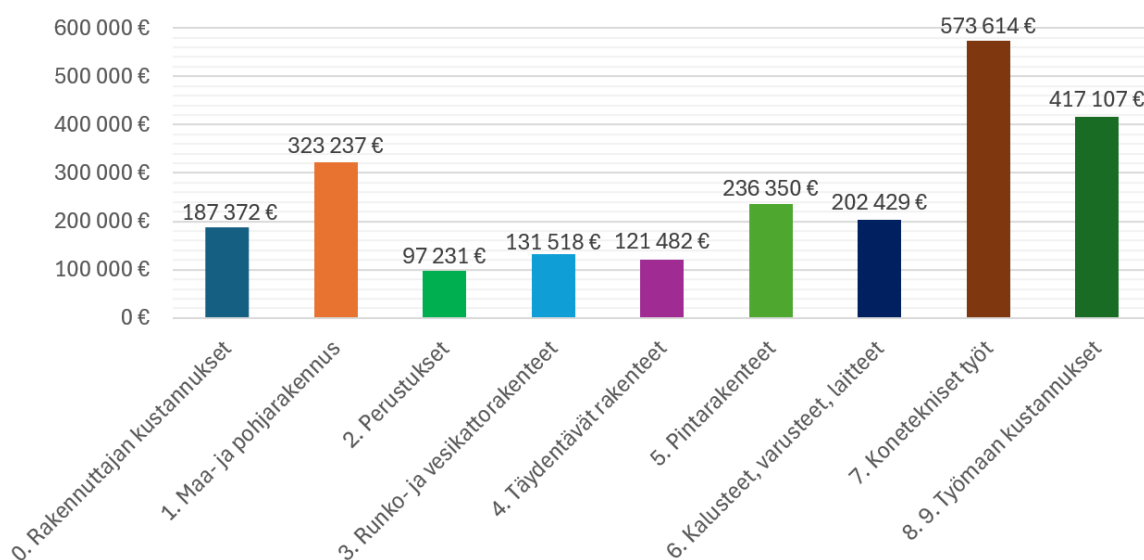
Tilapohjaisella laskentamenetelmällä toteutettu osittaisen peruskorjauksen VE2 kustannusarvio perustui alkuperäiseen kohdetta varten laadittuun kustannusarvioon sekä todenmukaiseen kustannustoteumaan. Tutkimuksessa peruskorjauksen kustannusarvion laadinnassa otettiin huomioon sekä alkuperäinen arvio että hanketoteuma. Sen lisäksi tilalaskennalla pyrittiin saamaan mahdollisimman todenmukainen ja muista aineistoista riippumaton arvio, jota pystyi hienosäätämään.

Tilalaskennalla vaihtoehdon tekniseksi hinnaksi saatiin 1 485 333 € kuvan 16 mukaisten pääryhmien perusteella. Tilalaskennan arviot olivat hyvin lähellä alkuperäistä arviota, jossa rakennustekninen hinta oli 1 487 137 €. Vaihtoehdon urakkasummat myös täsmäsivät, ja sen kannalta alkuperäisessä arviossa tuli huomioida, että arvio oli laadittu vuonna 2024 kesäkuussa, jolloin laskelmassa käytetty arvonlisävero oli vielä 24 %.



Kuva 16. Osittaisen peruskorjauksen VE2 kustannukset.

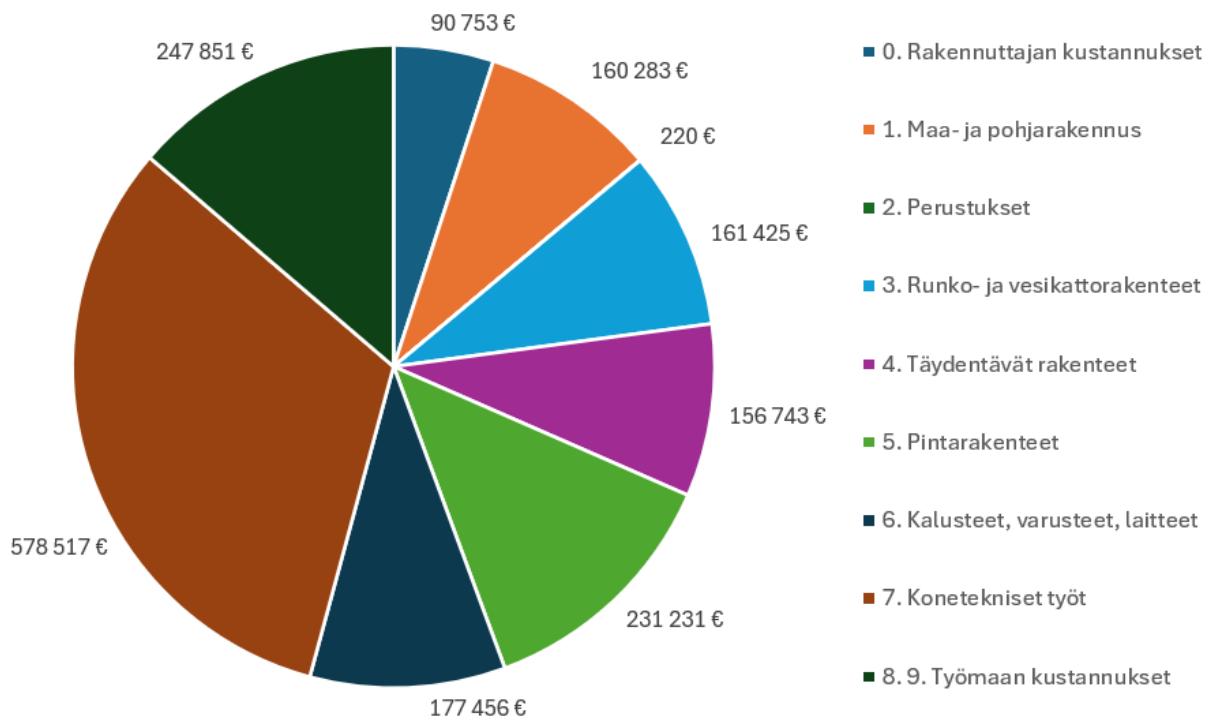
Uudisrakennuksen vaihtoehto VE3 oli selkeästi kustannuksiltaan korkein sekä toimenpiteiltään laajin vaihtoehto. Kustannuksia nosti etenkin vanhan rakennuksen kokonaispurku, sekä uusien materiaalien, kuten CLT:n käyttö ulkoseinien kantavana rakenteena. Vaihtoehdossa käytettiin myös huomattavasti enemmän betonia, minkä vaikutus näkyy suoraan pääryhmien 1 ja 2 kustannuksissa kuvassa 17. Uudisrakennuksen tekniseksi hinnaksi muodostui lopulta 2 290 340 €.



Kuva 17. Uudisrakennusvaihtoehdon VE3 teknisen hinnan muodostuminen.

Korjauslaajuudessa korostui laajoista purkutöistä johtuvat korkeammat maa- ja pohjarakenteiden kustannukset sekä suunnittelun laajuudesta johtuvat korkeammat suunnittelukustannukset. Kustannuksien lisäksi uudisrakennuksessa tuli huomioida, että sen bruttopinta-ala oli 20 brm² laajempi rakennuksen teknisten tilojen uudelleensijoitusten vuoksi.

Raskasta korjausta vastaava energiaremontti VE4 oli toimenpiteiltään laajin korjausvaihtoehto, mikä rakennukselle oli mahdollista toteuttaa. Korjauslaajuudessa otettiin kaikki energiatehokkuutta parantavat tarpeelliset toimenpiteet huomioon. Kustannuksen kannalta oli tärkeää sisällyttää korjauslaajuuteen toimenpiteet, jotka olisi voitu toteuttaa jo VE2 mukaisessa osittaisessa peruskorjauksessa. Korjauslaajuuden tekniseksi hinnaksi muodostui 1 804 479 € kuvan 18 pääryhmien kustannuksien perusteella.



Kuva 18. Laajan korjauksen VE4 teknisen hinnan muodostuminen.

Kustannuslaskelmien kaavioiden tiedot pohjautuivat liitteen 2 kustannusarvioiden yhteenvetoihin. Kustannusarvioissa esitettiin Talo 80 -nimikkeistön pääryhmien muodostamat tekniset kustannukset. Teknisten kustannuksien ohella

vaihtoehtoista voidaan yleisesti esittää myös urakka- tai tarjoussumma, joka muodostuisi teknisestä hinnasta, insinöörikatteesta sekä arvonlisäveron määrästä. Tutkimuksen tarkoituksena oli kuitenkin keskittyä pelkästään korjauslaajuuksien teknisiin hintoihin.

4.2 Hiilijalanjätkilaskelmat

Kaikille neljälle korjauslaajuudelle laadittiin kustannusarvioiden lisäksi tarkemmat hiilijalanjätkilaskelmat. Kustannusarvioiden yhteydessä ESTIModel-ohjelmalla saatiin kuvan 7 mukaisten tuotevaiheiden A1-A3 hiilidioksidipäästöarviot, joita pystyttiin tarkastelemaan vertailun tukena. Yksityiskohtaisemmat hiilijalanjätkilaskelmat ja niiden tulokset laadittiin ulkopuolisten konsulttien toimesta, joilla oli aiempaa kokemusta vastaavista projekteista ja hankkeista.

4.2.1 Laskelmien lähtötiedot ja toteutus

Esimerkkikohteen hiilijalanjätkilaskelmat laadittiin ulkopuolisella hiilijalanjätkiasiantuntijoilla. Hiilijalanjätkiasiantuntijat käyttivät OneClick LCA -työkalua rakennuksen mallintamiseen sekä hiilijalanjätkien selvittämiseen.

Laskelmien lähtötietoina toimivat kohdekohtaiset suunnitelmat sekä erilliset ohjeistukset korjauslaajuuksien sisällöistä ja toimenpiteistä. Korjauslaajuuksien sisällöistä oli muodostettu kattava lähtöaineisto hiilijalanjätkilaskijoita varten, jossa esiteltiin muun muassa rakennuksen perustiedot, korjauslaajuuksien yleiskuvaukset sekä kohteen tekniset aineistot. Lisäksi lähtötiedoissa määriteltiin laskennalle tiettyjä oletuksia aikaisemman referenssikohteen tuloksien pohjalta:

- peruskorjauksen ja uudisrakentamisen päästöt (A1-A5) tapahtuvat vuonna 0
- energiakäytön päästöt (B6) tapahtuvat tarkasteluvuosina 1–50
- rakennusosien vaihdot (B4) on huomioitu vaihtoehtoissa arvioituna rakennuksen elinkaarelle

- purkamisen päästöjen oletetaan tapahtuvan vaihtoehdossa VE3 vuonna 0 sekä vuonna 51
- purkamisen päästöjen oletetaan tapahtuvan muissa vaihtoehdoissa vuonna 51.

Hiilijalanjälkeen liittyvän määrälaskennan pääasiallisena aineistona toimi kohteen ARK-tietomalli, mutta kohteella oli myös monia aineistoja, joita pystyttiin hyödyntämään, kuten valokuvia, selostuksia, uusia sekä vanhoja digitoituja piirustuksia. Lähtötietojen ohella hiililaskelmissa korostuivat lisäksi laskijan ammattitaito sekä laskentarutiinit.

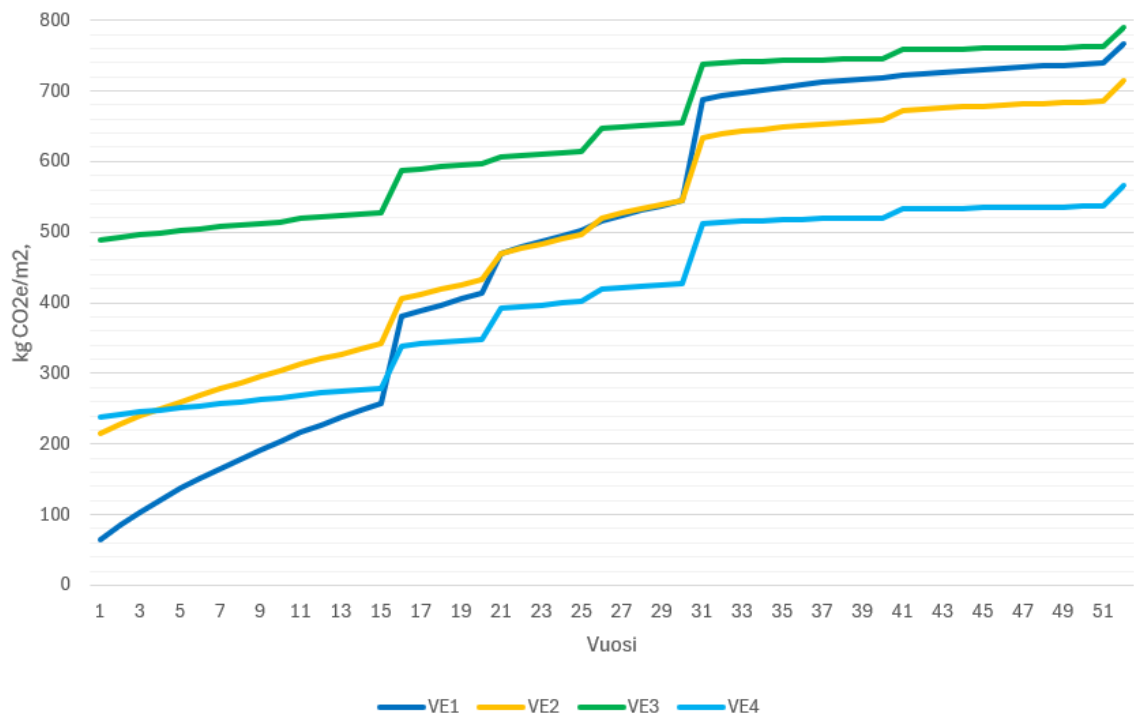
4.2.2 Laskentatulokset

Korjauslaajuuksia määriteltäessä kohteen hiilijalanjätkilaskelmille asetettiin ennalta määriteltäviä laskentatuloksmalleja. Laskentatulokset pohjautuivat aiempaan referenssikohteeseen, johon oli myös laadittu hiilijalanjätkivertailu samojen hiilijalanjätkiasiantuntijoiden toimesta. Tavoitteena oli, että saataisiin laskelmien lopputuloksina energiankäyttökohtaisia lukuarvoja sekä rakennusosakohtaisia hiilipäästöjä.

Lopulliset tulokset saatiin elinkaaren kumulatiivisena hiilijalanjälkenä 50 vuoden käytölle sekä elinkaaren vaiheittain jaoteltuna. Kuvan 19 kumulatiivisessa kuvaajassa korostuu, että elinkaaren hiilijalanjälkeen vaikuttaa merkittävästi tuotevaiheen päästöt vuonna 0. Lisäksi energiaratkaisujen vaikutus pienentyy käyttövuosien myötä päästökerrointen pienentyessä. Kuvaajan mukaisesti suurimmat neliöhintaiset päästöt elinkaaren aikana ovat VE3 uudisrakennuksen vaihtoehdolla ja pienimmät VE4 laajalla korjauksella. Suurin muutos neliöpohjaisissa päästöissä on kevyellä korjauksella, jonka vuotuinen neliöpohjainen päästö on alle 100 kg CO₂ e/m² vuonna 1, mutta jo yli 750 kg CO₂ e/m² elinkaaren päässä vuonna 51. Peruskorjauksen ja energiaremonttien vuotuinen neliöpohjainen päästö on elinkaaren alussa noin 200–250 kg CO₂ e/m², kun taas uudisrakennuksen päästö on melkein 500 kg CO₂ e/m². Energiaremontin vuotuinen neliöpohjainen päästö on vuonna 51 alle 600 kg CO₂ e/m², tarkemmin noin 550 kg

CO₂ e/m², kun taas muilla vaihtoehdoilla luku vaihtelee 700-800 kg CO₂ e/m² välillä.

Kumulatiivisessa kaaviossa voi myös huomata erilaiset hiilipiikit vuosien 15 ja 30 aikana, jolloin vaihtoehdoille oli laskelmoitu mahdollisten korjaus- ja huolto-toimenpiteiden aiheuttamat päästöt. Korjaustoimien päästöt jaettiin mahdollisimman realistisesti teknisten käyttöikien perusteella esimerkkikohtaisesti. Kuvaajasta pystytään päättelemään, että kevyen korjauksen korjaus- ja huolto-toimenpiteet nostattavat vaihtoehdon päästöjen kertymää huomattavasti enemmän kuin muissa vaihtoehdoissa.

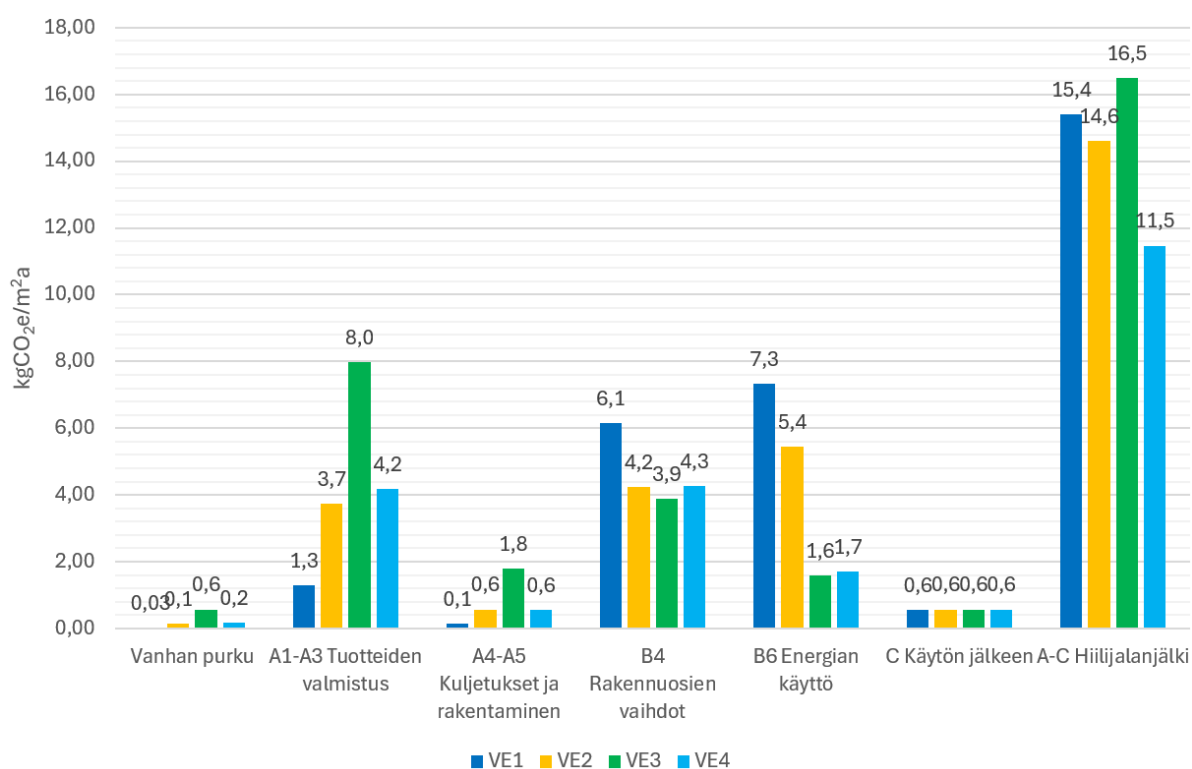


Kuva 19. Elinkaaren kumulatiivinen hiilijalanjälki [46].

Kumulatiivisen kuvaajan lisäksi hiilijalanjälkivaikutukset jaoteltiin kuvan 6 mukaisesti elinkaaren päästövaiheisiin. Kuva 20 kuvailee eri vaihtoehtojen vaikutusta hiilijalanjälkeen. Kuvaajasta pystyy päättelemään energiaremontin olevan ympäristöystävällisin ja vähähiilisin vaihtoehto 11,5 kg CO₂ e/m²/v tuloksella. Muiden vaihtoehtojen elinkaaren aikainen hiilijalanjälki onkin yli 14,5 kg CO₂ e/m²/v

luokkaa. Suurimpana hiilijalanjälkivaikutus on uudisrakennuksella, sen ollessa 16,5 kg CO₂ e/m²/v.

Kevyen korjauksen hiilijalanjäljessä korostuivat B4 ja B6 vaiheiden päästöt, joista energiankäytöllä oli jopa 48 prosentin osuus kokonaispäästöistä. Kevyessä korjauksessa A1-A5 osuus kokonaispäästöistä oli vain 8 prosenttia. Peruskorjauksen vaihtoehdossa päästöt jakaantuivat tasaisemmin eri vaiheiden kesken, joiden päästövaikutukset ennen rakennuksen käyttöä olivat jopa alle 50 prosenttia uudisrakennuksen A1-A5 päästöistä. Uudisrakennuksen A1-A5 päästövaikutuksien osuus oli 60 prosenttia eli 9,8 kg CO₂ e/m² a kokonaispäästöistä. Laajan korjauksen päästövaikutukset ennen käyttöä olivat noin puolet uudisrakennuksen vaiheesta, mutta kummankin energiankäytön päästöt olivat suunnilleen samaa luokkaa. Kuitenkin purkamisen sekä käytön jälkeiset päästöt olivat korjauslaajuuksien välillä samaa suuruusluokkaa.



Kuva 20. Korjauslaajuuksien hiilijalanjälkivaikutus elinkaaren eri vaiheissa [46].

Hiilijalanjätkälaskennan lisäksi korjauslaajuuksille toteutettiin energialaskenta, jonka avulla saatiin selville rakennuksen energiaan liittyviä tuloksia, kuten energiakäytön päästöt. Taulukossa 6 esitetyt energialaskennan tulokset pohjautuivat työn alussa määriteltyjen rakenteiden u-arvoihin, jonka lisäksi loput u-arvot laskettiin erillisellä IDA ICE -ohjelmalla. Dokumentoimattomista lähtötiedoista huomioitiin arvot energiatehokkuusasetuksen 1048/2017-taulukon rakentamislupavuoden mukaisilla oletusarvoilla. Tämän lisäksi ilmativeys arvioitiin asetuksen 1010/2017-ohjeen mukaisiin taulukkoarvoihin perustuen. Energiakäytön päästökertoimet huomioitiin kansallisen päästötietokannan päästöskenaarioiden mukaisesti tarkastelujaksolle 2025–2074.

Taulukko 6. Energialaskennan tulokset [46].

Tulokset	VE1	VE2	VE3	VE4	Yksikkö
E-lukulaskennan ostoenergia, sähkö	29 200	12 200	38 200	41 100	kWh/a
E-lukulaskennan ostoenergia, kaukolämpö	143 800	116 400	0	0	kWh/a
E-luku	145	99	62	67	kWh _e /m ² , a
Energialuokka	C	B	A	A	-
Energiakäytön päästöt	7,3	5,4	1,6	1,7	kg CO _{2e} /m ² , a

Tuloksissa korostuivat uudisrakennuksen sekä energiaremontin energiatehokkuuteen liittyvät ratkaisut ja toimenpiteet. Kummankin vaihtoehdon energialuokiksi saatiin paras A-luokka, jonka lisäksi kyseisten vaihtoehtojen energiankäyttöjen päästöt olivat selkeästi alhaisimmat. Energiamuodon takia näissä korjauslaajuuksissa kaukolämmön ostoenergiaa ei ollut, ja sen sijaan sähkön ostoenergia oli hieman suurempi. Sähkön keskimääräinen päästövaikutus oli 30,85 kg CO_{2e}/MWh ja kaukolämmön 31,55 kg CO_{2e}/MWh. Vaihtoehtojen E-luku vaihteli korjauslaajuuksien välillä merkittävästi ja kaikki, paitsi kevyt korjaus VE1, läpäisivät opetusrakennuksille ja päiväkodeille asetetun E-luvun raja arvon 100 kWh_e/m², a.

5 Vaihtoehtojen vertailut ja havainnot

Tutkimuksessa vertailtiin korjauskustannuksia sekä hiilijalanjälkipäästöjä keskenään esimerkkikohteen korjauslaajuuksien välillä. Vertailussa korostui korjaustasojen vaikutus sekä korjaus- ja uudisrakentamisen välinen ero päiväkotirakennuksen suhteen. Rakennuksen energiatehokkuuden toimenpiteet, kuten energiamuodon muutokset kasvattivat eroavaisuuksia vaihtoehtojen kesken. Vertailuissa korostuivat korjauslaajuuksien kokonaisuuksien eroavaisuudet ympäristöystävällisyyden sekä kustannustehokkuuden osalta.

5.1 Kustannusvertailu

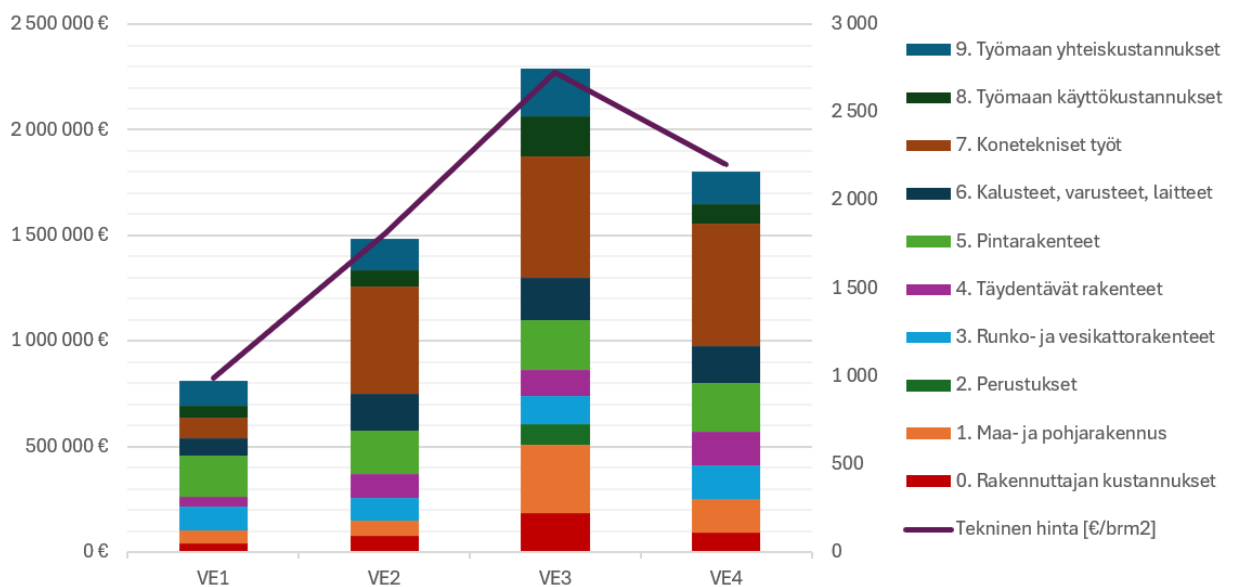
Korjauslaajuuksien tilapohjaisissa kustannusarvioissa oli tärkeää vertailukelpoisuuden suhteen, että laskelmissa käytettiin samaa nimikkeistöä ja hinnoitteluperusteita. Vertailukelpoisuuden lisäksi laskelmien laajuuksien periaatteena oli, että huomioidaan kaikki kustannukset, jotka aiheuttivat eroja korjauslaajuuksien välillä. Laskelmissa ei kuulunut huomioida prosentuaalisia lisiä, jotta laskelmatulokset pysyivät yksinkertaisina, eivätkä kasvattaneet korjauslaajuuksien välisiä eroja. [14, s.108–111.]

Korjauslaajuuksien kustannusarvioita pystyttiin vertailemaan parhaiten niiden teknisten neliöhintojen perusteella, sillä osittaisen peruskorjauksen arviossa oli käytetty arvonlisäverona 24 % sekä uudisrakennuksen vaihtoehto VE3 oli laajuudeltaan 20 brm² isompi kuin muut toimenpidevaihtoehdot. Teknistä neliöhintaa käytettäessä korjauslaajuudet olivat vertailukelpoisimpia keskenään. Sen lisäksi neliöhinnan avulla kustannuksia pystyttiin vertailemaan myös muihin vastaavanlaisiin kohteisiin.

Korjauslaajuudet pystyttiin jakamaan kolmeen korjausluokkaan taulukon 4 mukaisesti. Uudisrakennus toimi lisävaihtoehtona korjausluokille, jonka lisäksi uudisrakennuksen kustannukset toimivat hyvänä vertailupohjana eri korjausluokkien kustannuksille. Sisäilmaongelmaista koulua varten laadittu korjausvaihtoehtojen vertailutaulukko sopi käyttötarkoitukseltaan, laajuudeltaan sekä

korjaustavoitteiltaan hyvin opinnäytetyön esimerkkikohteelle hyödynnettäväksi. [35, s.135.]

Taulukon 4 mukaisesti kevyen korjauksen kustannuksien tulisi vastata noin 10–30 % osuutta uudisrakennuksen hinnasta, kun taas keskiraskaan noin 30–80 %. Raskaan korjauksen kustannuksien tulisi vastata uudisrakennuksen tasoa. Kuvan 21 tietojen mukaan uudisrakentaminen oli vaihtoehtoista kallein ja sen tekniseksi hinnaksi muodostui 2 290 340 €. Kevyen korjauksen VE1 kustannukseksi muodostui 35,3 % uudisrakennuksen hinnasta. Osittaisen peruskorjauksen VE2 eli korjausluokaltaan keskiraskaan vaihtoehdon hinta oli 64,8 % uuden vastaavan rakennuksen hinnasta. Raskaan energiaremontin tekniseksi hinnaksi muodostui 1 804 479 €, joka oli noin 78,8 % korjauslaajuuden VE3 kustannuksesta.

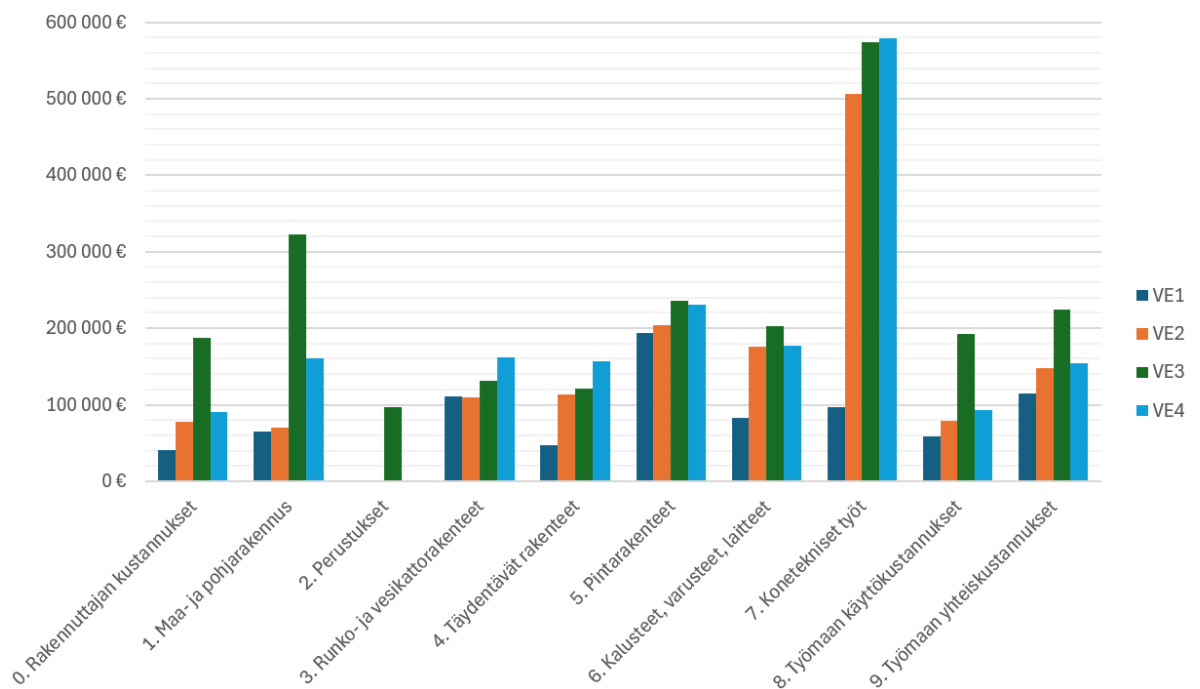


Kuva 21. Korjauslaajuuksien teknisten hintojen muodostuminen.

Korjauslaajuuksien tekniset hinnat sekä niiden eroavaisuudet johtuvat Talo 80 -nimikkeistön pääryhmien muodostamista kustannuksista, jotka on esitetty kuvassa 21. Vaihtoehtojen tekniset neliöhinnat on kuvattu trendiviivan avulla, joka on ottanut huomioon pääryhmistä muodostuneen kokonaiskustannuksen sekä korjauslaajuuden bruttopinta-alan. Kokonaiskustannuksien tavoin, kevyen

korjauksen neliöhinnasta muodostui korjausluokkien alhaisin, arvolla 987 €/brm², kun taas ääripäänä uudisrakennuksen neliöhinnaksi saatiin 2 727 €/brm². Vaihtoehtojen VE2 ja VE4 neliöhinnat tekniset kustannukset olivat hyvinkin lähellä toisiaan, sillä peruskorjauksen VE2 neliöhinta oli 1 811 €/brm² ja laajemman korjauksen VE4 neliöhinta oli 390 €/brm² peruskorjausta suurempi. Muihin korjauslaajuuksiin verrattuna teknisten neliöhintojen eroavaisuus oli huomattavasti suurempi energiaremontin ja peruskorjauksen kustannuksissa. Peruskorjauksen ja kevyen korjauksen välinen ero oli 824 €/brm², kun taas peruskorjauksen ja uudisrakennuksen ero oli jopa 916 €/brm².

Korjausvaihtoehdoissa, pois lukien kevyt korjaus VE1, suurimmaksi kustannukseksi muodostui konetekniset työt eli talotekniikkaan liittyvät toimenpiteet yli 500 000 € osuudella. Kevyessä korjauksessa kustannuksiltaan laajin toimenpide oli pintarakenteisiin liittyvät työt. Muuten kustannukset muodostuivat tasaisesti kasvaen korjauslaajuuksien toimenpiteiden lisääntyessä. Poikkeuksena olivat kuvassa 22 esitettyjen maa- ja pohjarakennustöiden sekä perustuksien kustannukset, jotka olivat uudisrakennuksella VE3 selkeästi suuremmat kuin muilla vaihtoehdoilla.



Kuva 22. Korjauslaajuuksien pääryhmien kustannukset.

Korjauslaajuuksien aiheuttamia kustannuksia ja niiden eroavaisuuksia oli hyvä vertailla kustannusarvioista tehtyjen yhteenvetojen sekä niiden perusteella laadittujen kaavioiden avulla. Kustannuskaaviot ilmaisivat selkeästi toteutuneet kustannukset ja niiden perustella pystyttiin hahmottamaan helpommin korjauslaajuuksien samankaltaisuuksia sekä poikkeavuuksia.

5.2 Hiilijalanjätkivertailu

Hiilijalanjätkilaskemissa korostui vertailukelpoisuus, jolloin oli tärkeää, että kaikkien vaihtoehtojen laskelmat toteutettiin saman asiantuntijan käyttämällä yhdenmukaisilla menetelmillä. Käytettäessä samaa asiantuntijaa, tulokset olivat luotettavampia. Näin pystyttiin varmistamaan, että työmenetelmät sekä laskentaruutit olivat jokaisessa vaihtoehdossa samat.

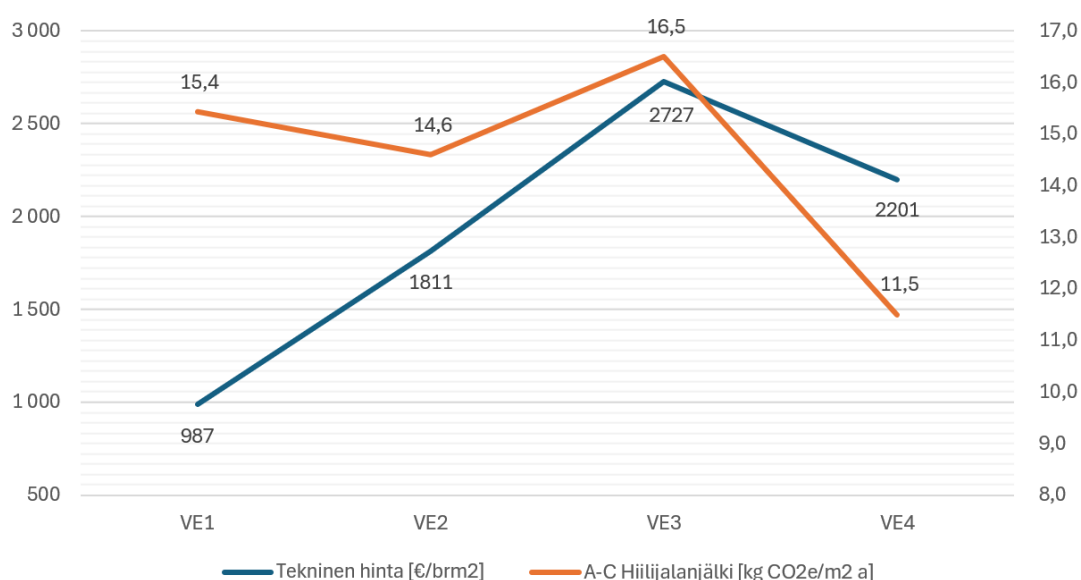
Hiilijalanjätkilaskentaa varten oli laadittu selkeä opas, jonka ansiosta laskentatuloksista saatiin mahdollisimman objektiivisia ja vertailukelpoisia. Laskentaperiaatteet olivat täysin samat kaikkien vaihtoehtojen kesken, ja niiden keskeisten eroavaisuuksien tuli pohjautua pelkästään korjaustoimenpiteisiin.

Hiilijalanjätkivaikutuksen perusteella laajan korjauksen vaihtoehto VE4 erottuu muista korjauslaajuuksista selkeästi. Energiaremontin A-C-vaiheiden hiilijalanjälki (11,5 kg CO₂ e/m² a) oli 29,4 prosenttia pienempi kuin laajimman ja kallemman, uudisrakennus VE3 vaihtoehdon hiilijalanjälki, mutta myös 25,3 prosenttia pienempi kuin halvimmän ja suppeimman kevyen korjauksen VE1 hiilijalanjälkivaikutus. Sen lisäksi laajan korjauksen vuosittaiset kumulatiiviset neeliöpäästöt olivat kaikista vaihtoehdoista alhaisimpia vuoden 13–51 välillä. Korjauslaajuuden kumulatiiviset päästöt kasvoivat tasaisen loivasti vuosien mittaan, kun taas esimerkiksi kevyessä korjauksessa oli hyvinkin jyrkkä kasvu päästöjen suhteen elinkaaren edetessä. Uudisrakentamisessa taas päästöjä nosti alkuvaiheen toimenpiteet, mikä näkyy kuvassa 19 esiintyvistä hiilipiikistä. Muutoin energiaremontin VE4 tavoin uudisrakennuksen alkuvaiheen jälkeiset päästöt kasvoivat hyvin maltillisesti ilman suuria vaihteluita.

5.3 Korjauslaajuuksien kokonaisvertailu

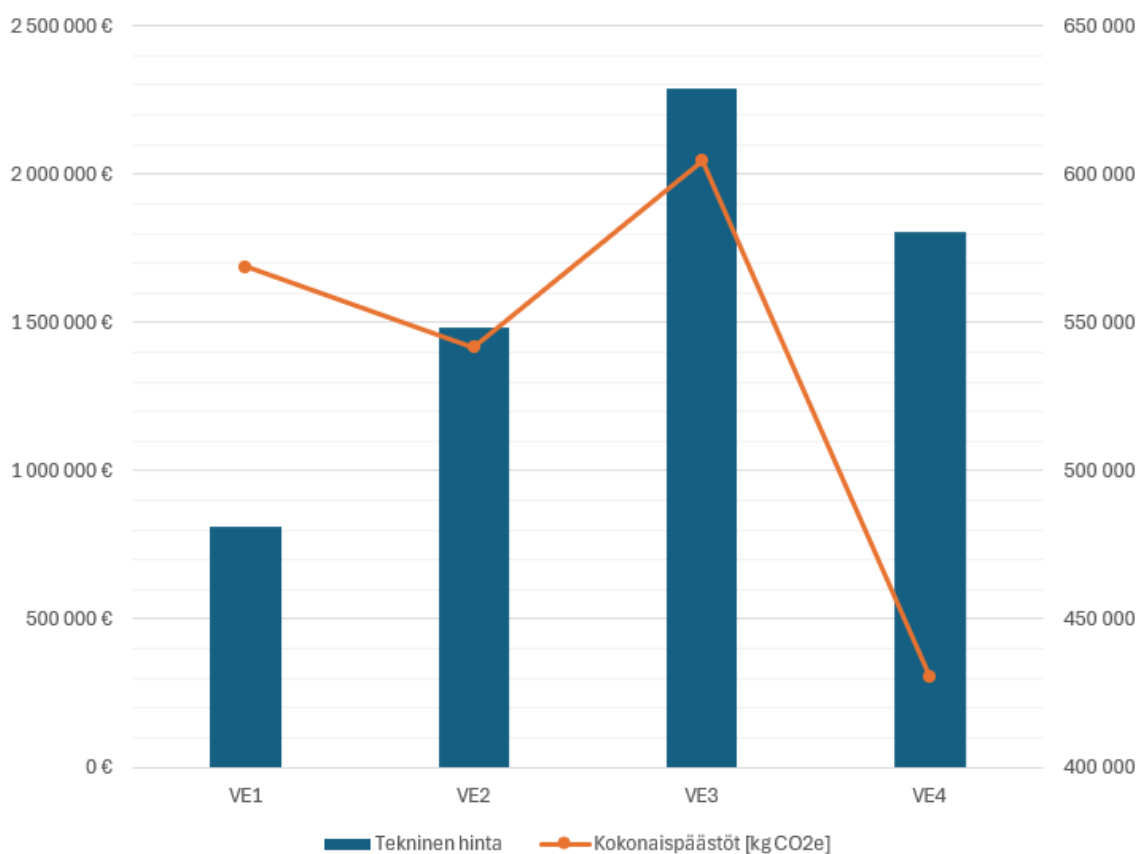
Korjauslaajuuksia pystyttiin vertailemaan keskenään hiilijalanjäljen sekä kustannusten perusteella. Näiden lisäksi korjauslaajuuksissa korostui energiankäytön ratkaisut, jotka olivat toimineet perusteena energiankäytön aiheuttamille päästöille. Energiankäytön osalta korjauslaajuuksissa korostui lämmöntuotantokeino sekä muut mahdolliset energiantuotantojärjestelmät. Lisäksi taloteknisillä sekä rakenteellisilla ratkaisulla oli merkittävä vaikutus kokonaisvertailun osalta.

Esimerkkikohteen energiamuotona toimi alun perin kaukolämpö, joka oli vaihdettu VE3 ja VE4 vaihtoehdoissa maalämpö- ja sähköjärjestelmiksi lämmöntuotannon osalta. Kaikissa paitsi kevyen korjauksen korjauslaajuuksissa oli toteutettu lisäenergiantuotanto aurinkosähköjärjestelmällä, joka pienensi entisestään energiankäytön päästöjä. Aurinkosähköjärjestelmän lisäksi muissa laajemmissa korjauslaajuuksissa tehtiin laajoja ilmanvaihtojärjestelmän töitä, joissa korostui varsinkin ominaissähkötehon ($1,7 \text{ kW/m}^3/\text{s}$) raja-arvo sekä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (70 %). Rakenteellisesti energiankäyttöön vaikuttivat eri rakenteiden u-arvot, jotka olivat poikenneet toisistaan eri korjauslaajuuksien välillä toimenpiteiden perusteella.



Kuva 23. Korjauslaajuuksien tekninen neliöhinta ja hiilijalanjälkivaikutus.

Korjauslaajuuksien merkittävimpiä tekijöitä olivat kustannus- sekä hiilijälkivaikutukset. Kuvan 23 mukaisesti suurin ero neliöpohjaisen hiilijalanjäljen sekä teknisen neliöhinnan välillä oli kevyellä korjauksella ja pienin ero uudisrakennuksella. Uudisrakennuksen vaihtoehto oli kuitenkin kallein sekä myös eniten päästöjä aiheuttava. Vähiten päästöjä aiheuttava vaihtoehto oli energiaremontti, joka taas oli toiseksi kallein rakennuskustannuksiltaan. Energiaremontin kustannusero peruskorjaukseen verrattuna oli vain 390 €/brm² isompi, mutta hiilijalanjälkivaikutus jopa 20,5 prosenttia pienempi. Kevyellä korjauksella oli suhteellisen edulliset rakentamiskustannukset, mutta sen hiilivaikutus oli hyvinkin suuri, varsinkin kun ottaen huomioon toimenpiteiden suppeuden.



Kuva 24. Korjauslaajuuksien tekniset hinnat ja kokonaispäästöt.

Korjauslaajuuksien kokonaispäästöt muodostettiin lämmitetyn nettoalan arvion sekä vakioidun arviointijakson (50 v) perusteella kuvassa 24. Kevyen korjauksen tekniseksi hinnaksi muodostui 809 527 € ja kokonaispäästöiksi noin 570

000 kg CO₂e. Vastakohtana energiaremontin kokonaiskustannukseksi muodostui 1 804 479 € ja päästöiksi noin 430 000 kg CO₂e. Osittaiseen peruskorjaukseen verrattuna kevyt korjaus oli edullisempi, mutta ympäristöä rasittavampi vaihtoehto, kun taas energiaremontti oli hieman kalliimpi ja huomattavasti ympäristöystävällisempi investointi. Uudisrakennus erottuu korjauspohjaisista vaihtoehdoista selkeästi ja sen tekninen hinta sekä hiilijalanjälkipäästöt olivat kaikista korkeimpia.

5.4 Keskeiset havainnot

Laskentatuloksista oli havaittavissa useita eroja ja poikkeavuuksia, mutta myös samankaltaisuuksia eri vaihtoehtojen välillä. Kustannukset jakautuivat loogisesti korjauslaajuuksien välillä – mitä enemmän toimenpiteitä, sitä korkeampi hinta. Tutkimuksessa ei kuitenkaan otettu kantaa rakennuksen pitkäaikaisiin elinkaarikustannuksiin, jolloin tulokset olisivat olleet mahdollisesti toisenlaisia. Hiilijalanjäljen suhteen taas vaikutukset oli otettu huomioon 50 vuoden elinkaaren perusteella.

Kevyessä korjauksessa korostui teknisen hinnan puolesta pintarakenteiden osuus muihin toimenpiteisiin nähden. Pintarakenteiden osuus oli selitettävissä rakennuksen kunnon perusteella, sillä suurin osa rakennuksen vaurioista ja niiden korjaamisesta vaativat pääsyn pintarakenteita syvemmälle. Korjaustoimenpiteelle oli siten välttämätöntä tehdä pintarakenteiden purku ja uusinta, jotta muun muassa tiivistystyöt sekä ulkoseinien korjaukset päästiin toteuttamaan sisäpuolelta. Vaurioiden tarkoista sijainneista ja laajuuksista ei myöskään ollut tietoa, joten korjauksella oli hyvä usia kaikki mahdolliset pinnat.

Pintarakenteiden uusimisen avulla pystyttiin toteuttamaan rakennuksen runko- ja vesikattorakenteiden töitä, joista koitui toiseksi suurin kustannus yhdessä työmaan yhteiskustannuksien kanssa. Muuten kevyen korjauksen toimenpiteet olivat odotetusti suppeampia kuin muissa vaihtoehdoissa, vaikka se ylittikin taulukon 4 asettaman kustannusarvion rajamäärän 5,3 prosentilla. Prosentuaalista ylitystä olisi pystynyt rajoittamaan muun muassa rajaamalla tarkemmin

toimenpiteet eri pintarakenteiden avauksien ja uusimisten suhteen. Korjauslaajuudessa korjattiin lähtökohtaisesti kaikkien primääristen tilojen pintarakenteet. Pintarakenteiden lisäksi kevyen korjauksen hintaa ja toimenpidelaajuutta olisi myös voitu rajoittaa jättämällä ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen pois korjauslaajuudesta. Korjauslaajuuden hinnaksi olisi silloin muodostunut 736 376 €, ylitäten taulukon 4 mukaisen rajamäärän yhä 3,2 prosentilla.

Kevyen korjauksen elinkaaripäästöissä korostui rakennusosien vaihtojen sekä energiankäytön aiheuttamat hiilijalanjälkivaikutukset. B4 ja B6 vaiheiden päästöt nostattivat kevyen korjauksen ympäristövaikutusta huomattavasti, lähes uudisrakennuksen tasolle. Kevyen korjauksen tekniseksi neliöhinnaksi muodostui kuitenkin vain 987 €/brm², joka oli melkein puolet osittaisen peruskorjauksen VE2 teknisestä neliöhinnasta.

Osittaisessa peruskorjauksessa kustannukset jakautuivat tasaisemmin eri pääryhmille ja korjauksessa tehtiin toimenpiteitä kaikilla osa-alueilla. Peruskorjausvaihtoehto sopi hyvin vertailutasoksi varsinkin muille korjauslaajuuksille ja se oli toteutukseltaan laajempi ja siten myös kustannuksiltaan korkeampi kuin kevyt korjaus VE1, mutta edullisempi kuin laaja energiaremontti VE4. Peruskorjauksen päästöt jakautuivat kevyen korjauksen päästöjä tasaisemmin eri vaiheille, eikä kyseisessä korjauslaajuudessa korostunut päästöjen suuruus missään vaiheessa.

Uudisrakentamisen vaihtoehto poikkesi korjausrakentamisen vaihtoehtoista huomattavasti muun muassa rakennuttajan, maa- ja pohjarakennuksien sekä perustuksien kustannuksissa. Näiden lisäksi myös elinkaaren hiilijalanjälki oli kaikista vaihtoehtoista korkein. Uudisrakennuksen osalta suurimmat hiilijalanjälkipäästöt syntyivät A1-A5 vaiheissa ennen rakennuksen käyttöä. Muut elinkaaren vaiheet taas olivat korjauslaajuuksista alhaisimpia.

Kustannusten suhteen muissa vaihtoehtoissa keskityttiin korjaustoimenpiteitä muiden pääryhmien kustannuksiin. Uudisrakentamisen vaihtoehtoon sisältyneen kokonaispurun takia, uudet maarakennus- ja perustustyöt toivat uusia

lisäkustannuksia muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Töiden lisääntyessä myös rakennuttajan kustannukset lisääntyivät toimenpiteiden laajennettua.

Laajan energiaremontin VE4 lopulliseksi tekniseksi hinnaksi muodostui 1 804 479 €, joka on vain 319 146 € korkeampi kuin kohteelle toteutettu peruskorjauksen VE2 kustannusarvio. Osittaisen peruskorjauksen ja uudisrakennuksen kustannuseroksi muodostui 805 007 €, joka on yli kaksinkertaisesti suurempi kuin peruskorjauksen ja energiaremontin välinen kustannusero. Laajan korjauksen rakentamiskustannus oli huomattavasti edullisempi kuin taulukossa 4 asetettu kustannustavoite raskaalle korjaukselle. Taulukon mukaisesti raskaan korjauksen tulisi vastata uudisrakennuksen hintatasoa, mutta lopulta energiaremontin kustannukseksi muodostui vain 78,8 % uudisrakennuksen hinnasta. Korjauslaajuuden kustannusarviosta selvisi, että jo pienellä lisäinvestoinnilla voidaan saada rakennukselle energiatehokkaita ratkaisuja, jotka tehostavat ja parantavat rakennuksen käyttöä monipuolisesti peruskorjauksen ohella.

Laajan korjauksen päästöt olivat osittaisen peruskorjauksen tavoin jakaantuneet tasaisemmin, jonka lisäksi energiankäytön osuus oli huomattavasti pienempi. Rakennusosien vaihdot vastasivat noin VE2 ja VE3 vaihtoehtojen luokkaa, jonka lisäksi päästövaikutukset ennen käyttöä olivat yhtä suuret peruskorjauksen kanssa.

Moduulin C aiheuttamat käytön jälkeiset päästöt olivat kaikissa korjausluokissa samaa suuruusluokkaa. Vanhan rakennuksen purkutöiden aiheuttamien päästöjen osuus vaihteli minimaalisesti eri laajuuksien välillä. Vanhan purun aiheuttamat päästöt olivat korkeimmillaan uudisrakennuksella, kun taas kevyen korjauksen purkutoimenpiteistä aiheutuvien päästöjen määrä oli lähes olematon.

6 Johtopäätökset

6.1 Laskentatuloksien pohdinta

Alkuodotusten mukaisesti kustannuksien perusteella kevyestä korjauksesta muodostui edullisin toteutusvaihtoehto ja uudisrakennuksesta kallein vaihtoehto. Kuitenkin peruskorjauksen sekä energiaremontin kustannuserot olivat loppujen lopuksi erittäin merkittäviä muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Kevyen korjauksen tekniseksi neliöhinnaksi saatiin 987 €/brm², osittaisen peruskorjauksen 1 811 €/brm², uudisrakennuksen 2 727 €/brm² ja energiaremontin 2 201 €/brm².

Korjauskustannukset olisivat kuitenkin mahdollisesti muuttuneet huomattavasti, jos kohteessa olisi tarkasteltu rakentamiskustannuksien lisäksi muita elinkaaren aikana tapahtuvia kustannuksia kuten käyttö- ja kunnossapitokustannuksia. Laajemmissa korjauksissa olisi todennäköisesti olleet pienemmät korjaus- ja käyttökulut myöhemmän elinkaaren osalta rakentamisen jälkeen kuin kevyesti korjatussa vaihtoehdossa.

Hiilijalanjäljen osalta ympäristöystävällisimmäksi vaihtoehdoksi muodostui energiaremontin korjauslaajuus, jonka elinkaaren hiilijalanjälki oli huomattavasti alhaisempi kuin muissa toteutusvaihtoehdoissa. Vaihtoehdossa painottuivat energiatehokkaat rakenteet ja järjestelmät, joiden ansiosta energiankäytön päästöt saatiin hyvin mataliksi. Energialaskenta kuitenkin tehtiin oletuksella, että ilmantiveyden q50-luku olisi 2,0. Mikäli laskennassa olisi käytetty arvoa 1,0, energiaremontin vaikutukset energiankulutukseen olisivat olleet entistä merkittävämpiä. Sähkön ostoenergia olisi laskenut tuhannella kilowattitunnilla vuodessa, jonka lisäksi E-luku sekä energiankäytön päästöt olisivat pienentyneet muutamalla prosentilla.

Uudisrakennuksen hiilivaikutus taas oli päinvastainen, vaikka uudisrakennuksessa korostui nykyaikaisten vaatimuksien ja määräyksien noudattaminen sekä energiatehokkaiden ratkaisujen hyödyntäminen. Uudisrakennuksen hiilijalanjälki oli kaikista korkein sen A1-A5 vaiheissa syntyneiden päästöjen takia. Ennen käyttöä syntyneissä päästövaikutuksissa vaikuttivat varsinkin uudet

maanrakennus-, perustus- ja runkotyöt, eikä vanhan rakennuksen purulla ollut huomattavaa vaikutusta vähähiilisyden kannalta.

Kevyen ja keskiraskaan luokkaisissa korjauksissa taas korostui alhaiset A1-A5 vaiheiden päästöt, mutta suhteellisen korkeat päästöt energiankäytön suhteen. Korjauslaajuuksien toimenpiteillä oli suora vaikutus näiden vaiheiden aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin. Energiankäytön päästöt voitiin suoraan selittää eri korjauslaajuuksien välillä lämmöntuotannon sekä mahdollisten lisäjärjestelmien avulla. Suurin energiankäytön päästö oli kevyellä korjauksella VE1, jossa ei muutettu alkuperäistä energiamuotoa eikä hyödynnetty aurinkosähköjärjestelmää. Osittaisen peruskorjauksen energiankäyttö oli sitä alhaisempi aurinkosähköjärjestelmän ansiosta. Muissa laajemmissa korjauslaajuuksissa energiankäyttö oli jopa 68 prosenttia pienempi juuri maalämpöjärjestelmän sekä muiden energiatehokkuutta tukevien toimenpiteiden ansiosta.

Kevyen korjauksen kustannuksiin sekä energialaskentaan vaikuttivat myös mahdollisuus rajata ilmanvaihtojärjestelmän toimenpiteet pois korjaustoimista. Tämän vuoksi ominaissähkötehokkuus ja lämmöntalteenotto pysyivät entisinä, mikä lisäsi taulukon 6 mukaisten ostoenergioiden määriä. Ostoenergioiden kasvun lisäksi E-luku olisi myös kasvanut ja aiheuttanut rakennuksen energialuokan tippumisen C-luokasta D-luokkaan. Energiankäytön päästöt olisivat myös nousseet jopa 25,2 prosentilla.

Kustannusarvioiden ja hiilijalanjälkilaskelmien avulla saatiin numeerista ja vertailukelpoista dataa eri korjauslaajuuksien aiheuttamista seurauksista. Kuvassa 23 korostuu korjauslaajuuksien vaikutusten sidonnaisuus, ja siitä voi helposti tehdä johtopäätöksiä korjauslaajuuksien ja niiden kannattavuuden suhteen. Kannattavuutta tulee pohtia ja tehdä johtopäätöksiä ympäristövaikutusten pienentämisen sekä kustannustehokkuuden kannalta.

Tulosten perusteella uudisrakennus VE3 korostui kalleimpana, epäekologisimpana sekä laajimpana toteutusvaihtoehtona. Sen takia uudisrakentamisen vaihtoehto ei vaikuttanut realistiselta ja taloudellisesti järkevältä ratkaisulta kun

huomioi alkuperäisen rakennuksen teknisen kunnan ja korjaamismahdollisuuden. Uudisrakennuksen vaihtoehto kuitenkin toimi hyvänä vertailuperustana korjausrakentamisen vaihtoehdoille. Laajin ja toimenpiteiltään eniten uudisrakennusta ja sen energiatehokkuuden toimia muistuttava vaihtoehto oli laaja energiaremontti VE4.

Energiaremontti oli kustannuksiltaan suurempi kuin nyt toteutettu osittainen peruskorjaus. Energiaremontin ja peruskorjauksen kustannusero oli kuitenkin huomattavasti pienempi kuin uudisrakennuksen ja peruskorjauksen välinen ero, jonka lisäksi energiaremontin päästöt olivat vaihtoehdoista alhaisimpia. Laajan korjauksen lisäinvestoinniksi muodostui noin 320 000 € peruskorjaukseen verrattuna ja sen kannattavuutta pystyttiin huomioimaan investoinnin takaisinmaksuajan avulla. Lisäinvestointi ja korjauslaajuus perustui suurilta osin lämmöntuotantojärjestelmän vaihtamiseen ja sitä tukeviin energiatehokkuutta parantaviin toimenpiteisiin. Laskennassa kuitenkin käytettiin vaihtoehdon VE4 investointikustannuksena pelkästään maalämpötöihin liittyviä kustannuksia, jotka perustuvat energiaremontin kustannusarviossa arvioituun määrään. 100 000 euron investoinnille saatiin laskettua takaisinmaksuajaksi noin 14 vuotta.

Takaisinmaksuaika laskettiin Motivan laskentatyökalun avulla, joka on esitettyä liitteessä 3. Laskentatyökalulla huomioitiin vain energianmuutoksen sekä aurinkosähköjärjestelmän aiheuttamat vuosittaiset säästöt, eikä muilla huolto- ja korjaustoimenpiteillä ollut suoranaista vaikutusta kustannuksiin ja säästöihin. Vuosittaisiksi nettosäästöiksi saatiin 8 732 €/a, ja ne perustuivat taulukossa 6 arvioituihin tietoihin. Energiamuodoille arvioitiin kahden prosentin vuotuinen hinnannousu, jonka lisäksi laskennassa käytettiin viiden prosentin reaalista laskentakorkoa. Hinnannousun ansiosta takaisinmaksuaika laski 17 vuodesta 14 vuoteen, jonka jälkeen investointi on maksanut itsensä takaisin, alkaen sen sijaan tuottamaan rahaa. Investoinnin lopullinen nettonykyarvo rakennuksen elinkaaren lopussa on 127 210 €. Toimenpiteen taloudellisen kannattavuuden ansiosta energiaremontin lisäinvestointikustannus peruskorjaukseen verrattuna onkin enää 192 790 €. [47.]

Energiaremontin toimenpiteillä voidaan olettaa olevan useita säästövaikutuksia loppuelinkaaren vaiheissa, kuten kunnossapito- ja käyttökustannuksissa, verrattuna kevyempiin korjauslaajuuksiin. Myös rakennusosien vaihdot sekä mahdolliset uudet korjaustoimenpiteet lisäävät kustannuksia tulevaisuudessa, joiden huomioiminen olisi oleellista ja tarpeellista varsinkin kevyen korjauksen VE1 vaihtoehdossa. Mahdolliset elinkaaren lisäkustannukset saattavat olla myös merkittävässä roolissa peruskorjauksen VE2 suhteen. Laajojen korjaustoimenpiteiden myötä kunnossapito- ja käyttökustannukset ovat hyvinkin alhaisia energiatehokkaammissa VE3 ja VE4 vaihtoehdoissa, joissa suurimmat kulut ja päästöt olivat muodostuneet jo rakentamisvaiheessa. Elinkaaren kustannuksia pystytään arvioimaan hyvin hiilijalanjälkivaikutuksien avulla, mutta tarkempiin elinkaaren kustannustarkasteluihin tarvitaan luotettavampaa tietoa, joka perustuu todenmukaisiin strategioihin, korjaussuunnitelmiin sekä investointipäätöksiin. Tarkempi analysointi sopii tutkimuksen jatkokehitysideaksi muun muassa toiselle esimerkkikohteelle, jolle olisi määritetty selkeä elinkaari ja tulevaisuuden investointisuunnitelma.

6.2 Hyödynnettävyys ja jatkokehitys

Tutkimusta pystytään hyödyntämään jatkossa kohteissa, joissa on oleellista mieltä ja punnita vaikutuksia ympäristön sekä kustannuksien välillä. Tutkimuksen tuloksia voidaan soveltaa useissa erirakenteisissa rakennus- ja kehityshankekohteissa - varsinkin julkisissa rakennuksissa, kuten opetustiloissa. Tutkimuksen hyötyjä voidaan soveltaa myös kohteissa, joissa suunnitellaan sisäilmaongelmien korjausta tai energiaremontin tekemistä esimerkiksi muuttamalla rakennuksen energiamuotoa.

Työssä laaditut vertailut ja niiden laskentatulokset voivat jatkossa toimia päätöksenteon tukena useissa erilaisissa rakennuskohteissa. Laskelmien vertailujen tarkoituksena on esittää ratkaisujen ja päätöksiä aiheuttamia seurauksia huomioiden kustannukset ja mahdolliset tuotot, joiden perusteella pystytään tekemään perusteltuja johtopäätöksiä. Tutkimuksessa saatu data auttaa varsinkin hankekehityksessä yritystä ja asiakkaita puntaroimaan eri vaihtoehtojen välillä

esittäen niiden mahdollisia seurauksia tarkkoina numeerisina tuloksina. Työtä ja sen esimerkkikohdetta voidaan pitää jatkossa myös referenssikohteena, joka toimii hyvänä vertailupohjana tuleville hankkeille. Tutkimus kuitenkin koskee vain esimerkkikohdetta, eikä sen tuloksia voi yleistää. [14, s.108–111.]

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää myös strategisessa suunnittelussa, erityisesti kestäväen kehityksen tavoitteiden ja investointien suuntaamisessa. Elinkaarivaikutuksiin perustuva tarkastelu tarjoaa arvokasta tietoa ilmastotavoitteiden suhteen ja auttaa vertailemaan vaihtoehtoja myös ympäristön kannalta. Tämä tukee sekä yrityksen vastuullisuustavoitteita että pitkántähtäimen resurssien hallintaa. Analyysin tuloksia voidaan hyödyntää asiakasviestinnässä, tarjoten selkeästi perusteltuja ja numeerisia vaihtoehtoja, joiden ympäristö- ja kustannusvaikutukset on avoimesti arvioitu. Näin tutkimus palvelee myös asiakaslähtöistä ja kestävään arvopohjaan perustuvaa suunnittelua.

Tutkimuksen jatkokehityksessä näkökulmia ja aihepiiriä voidaan rajata koskemaan myös käyttö- ja kunnossapitokustannuksien analysointia. Tutkimuksessa tutkittiin pelkästään rakentamiskustannuksia resurssien ja työkalujen tarjoamien mahdollisuuksien mukaisesti. Tulevaisuudessa tutkimusta voidaan laajentaa koskemaan myös muita elinkaaren aikaisia kustannuksia. Sen lisäksi tarkastelukohdetta voidaan tulevaisuudessa vaihtaa täysin erilaisen rakennemallin rakennukseen, jossa hiilijalanjäljen osuus olisi paljon suurempi kuin pienessä rankarakenteisessa päiväkodissa. Laskelmia, vertailuvaihtoehtoja sekä kohdelaajuuksia voidaan myös lisätä sopivissa määrin.

Lisäksi jatkokehityksessä voidaan hyödyntää uusia energiamuotoja, materiaaliratkaisuja ja erilaisia rakennusteknisiä innovaatioita, joiden avulla tarkastelua voidaan tehostaa muun muassa yrityksen omiin päästövähennystavoitteisiin. Tutkimuksen viitekehitystä voidaan käyttää pohjana mallien ja työkalujen kehittämiseksi, jotka helpottavat investointien arviointia eri laajuuksilla jo varhaisessa suunnittelu- ja hankekehitysvaiheessa. Tämä vahvistaisi tutkimustiedon ja yrityksen käytäntöjen suhdetta päätöksenteon välillä – tukien sekä strategista kehittämistä että asiakasarvon luontia.

7 Yhteenveto

Nykyaikana on entistä tärkeämpää puntaroida rakennushankkeiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia, vaikka niillä on yleensä lisäävä vaikutus hankkeen kustannuksiin. Huomioimalla vähähiilisyiden sekä energiatehokkuuden ratkaisut, oikeanlaisella hankekehityksellä ja -suunnittelulla pystytään kuitenkin vaikuttamaan positiivisesti myös kustannuksiin ympäristön ja mainehyödyn lisäksi. Kaikki investoinnit eivät suoranaisesti vaikuta negatiivisesti talouteen, vaan ne toimivat pitkällä tähtäimellä sijoituksina sekä kuluissa että päästöissä.

Työssä tutkittiin esimerkkikohtetta ja sille laadittuja korjauslaajuuksia. Kohteelle määriteltiin neljä korjauslaajuutta, joista yksi oli muista poiketen uudisrakennuksen rakentaminen vanhan rakennuksen tilalle. Korjauslaajuuksissa korostuivat kevyen, keskiraskaan ja raskaan korjauksen toimenpiteet, korjaus- ja kustannustavoitteet. Korjausvaihtoehtojen lisäksi uudisrakennuksen vaihtoehto toimi mainiona vertailukohtana korjaustoimenpiteille. Uudisrakennuksen tarkoituksena oli havainnoida, kuinka paljon uusi vastaavanlainen, nykymääräykset läpäisevä rakennus poikkeaa alkuperäisen rakennuksen korjauksesta sekä kustannuksiltaan että päästöiltään.

Korjauslaajuuksien numeerista vertailua varten työssä laadittiin kustannusarviot ja hiilijalanjälkilaskelmat korjauslaajuuksien sisältöjen sekä muiden lähtötietojen perusteella. Laskennallisessa tarkastelussa kustannusarviot toteutettiin tilapohjaisella ESTIModel-laskentaohjelmalla, kun taas hiilijalanjälkilaskelmat tuotettiin ulkopuolisilla hiilijalanjälkiasiantuntijoilla. Laskelmia ohjasivat työn alkuvaiheessa määritetyt korjauslaajuudet ja niiden sisällöt sekä tavoitteet.

Lasketatuloksien valmistuttua, niitä vertailtiin keskenään yksittäisten seurausten ja kokonaisuuksien perusteella. Vertailun ohella pohdittiin ja analysoitiin korjauslaajuuksien samankaltaisuuksia, eroavaisuuksia ja poikkeavuuksia sekä niiden juurisyitä. Työssä saatiin numeerista ja vertailukelpoista dataa esimerkkohteesta ja sen korjauslaajuuksien aiheuttamista seurauksista.

Työssä havaittiin kevyen korjauksen olevan rakennuskustannuksiltaan edullisin ja vähäpäästöisin vaihtoehto, mutta pitkällä aikavälillä todennäköisesti energiaa kuluttavin sekä ylläpidoltaan kallein vaihtoehto. Osittaisen peruskorjauksen kustannukset ja hiilivaikutukset jakaantuivat tasaisemmin. Korjauslaajuudessa kuitenkin korostuivat vaurioiden korjaaminen eikä energiatehokkuuden tai energiankäytön parantaminen. Vaihtoehto VE2 toimi hyvin vertailupohjana varsinkin kevyemmälle ja laajemmalle korjausvaihtoehdolle, joista energiaremontti oli vain 390 €/brm² kalliimpi ratkaisuvaihtoehto.

Uudisrakennuksen vaihtoehto VE3 ja laaja energiaremontti VE4 olivat korjauslaajuuksista investoinneiltaan kalleimpia, mutta elinkaari huomioiden ympäristöystävällisimpiä ja kustannustehokkaimpia. Uudisrakennuksessa korostuivat rakentamisen aiheuttamat korkeat rakennuskustannukset sekä ympäristövaikutukset ennen rakennuksen käyttöönottoa. Energiaremontti taas pohjautui suurimmaksi osaksi osittaisen peruskorjauksen toimenpiteisiin, jonka lisäksi laajuudessa tehtiin täydentäviä energiatehokkuuteen positiivisesti vaikuttavia toimenpiteitä kuten kaukolämmön vaihtaminen maalämpöön sekä ikkunoiden ja ovien vaihto. Energiaremontissa korostui lisäinvestointikustannuksen määrä peruskorjaukseen nähden ja vastaavasti lisäinvestoinnin positiiviset vaikutukset ympäristöön ja elinkaareen. Vaihtoehdon kannattavuutta lisäsi myös takaisinmaksuajan vaikutus maalämpöön siirtymisen myötä.

Tutkimuksessa keskityttiin mahdollisuuksien mukaan rakentamiskustannuksien tarkasteluun kustannusarvioiden laatimisen avulla, eikä työssä käytetyllä kustannuslaskentaohjelmalla pyritty tarkastelemaan koko elinkaaren aikaisia kunnossapito- ja käyttökustannuksia. Tutkimusta pystyttäisiin kehittämään jatkossa elinkaaren kustannusten tarkemmalla kustannustarkastelulla, sillä tämän tutkimuksen aikana kustannuslaskentaohjelma ei ollut täysin sovellettavissa koko elinkaaren aiheuttamiin kustannuksiin ja niiden vertailuun. Kustannustarkastelujen laajuuden lisäksi tutkimusta voidaan kehittää muun muassa korjauslaajuusvaihtoehtojen lisäämisellä tai tarkastelukohteiden muuttamisella.

Elinkaaritarkastelujen lisäksi työn rajausta pystytään laajentamaan tarkastelemalla syvemmin eri ympäristövaikutuksia hiilijalanjäljen ohella. Tutkimuksessa olisi voitu tarkastella tarkemmin mm. vedenkulutusta tai kierrätettävyyttä, jotka olisivat vaikuttaneet hiilijalanjäljen tavoin korjauslaajuuksien ympäristöystävällisyyteen.

Tutkimuksessa korostui laskentamenetelmien ja niiden tulosten olevan arvioita, eikä niiden todenmukaisuutta voida luotettavasti varmistaa ilman laajempaa vertailua toteutuneiden referenssikohteiden kanssa. Arvioiden tarkastelua ja todenmukaisuutta voitaisiin testata korjauslaajuuksien jälkilaskennalla sekä toteutumien verifiointilla. Hiilijalanjälkilaskenta on kuitenkin vasta kehitysvaiheessa ja se kehittyy ajan myötä yhä tarkemmaksi ja luotettavammaksi. Tämän lisäksi tutkimus kosketti pelkästään esimerkkikohtetta, eikä tutkimuksen johtopäätöksiä tai tuloksia voi yleistää koskettamaan kaikenlaisia rakennuksia ja hankkeita.

Tutkimuksen tuloksia pystytään hyödyntämään tulevaisuudessa yrityksen erilaisissa rakennushankkeissa, joissa on tärkeää analysoida ja tehdä päätöksiä eri ratkaisuvaihtoehtojen välillä yhdessä tilaajan tai loppukäyttäjän kanssa. Rakennushankkeet voivat olla vastaavanlaisia tutkimuksen esimerkkikohteen kanssa tai hankkeet voivat sisältää samankaltaisia toimenpiteitä, joita esimerkkikohteessa tarkasteltiin, kuten energiamuodon vaihtamista tai kokonaispurun ja uudisrakennuksen mahdollisuutta. Tutkimus ja sen tulokset soveltuvat monipuolisesti eri elinkaaren vaiheessa oleville rakennuksille, mutta varsinkin sisäilmaongelmallisille koulu- ja päiväkotirakennuksille, jotka ovat saavuttaneet peruskorjauksiensa. Tutkimustuloksien ja esimerkkikohteen avulla yritys pystyy edistämään vähähiilistä ja kiertotaloudellista rakentamisstrategiaa.

Tutkimuksen ja sen tuloksien avulla pystytään tukemaan päätöksentekoa aikaisessa tarveselvitysvaiheessa rakennushankkeiden alussa. Insinööriyö tukee ja mahdollistaa eri vaihtoehtojen vertailumahdollisuuksia sekä talous- että ympäristönäkökulmasta. Kustannusten ja ympäristövaikutusten lisäksi tutkimuksen avulla voidaan todentaa energiatehokkaiden ratkaisujen vaikutukset rakennettuun ympäristöön.

Lähteet

1. Korjausrakentaminen. Verkkoaineisto. NCC Suomi Oy. <<https://www.ncc.fi/tarjontamme/rakennukset/korjausrakentaminen/>>. Luettu 14.1.2025.
2. NCC-konserni. Verkkoaineisto. NCC Suomi Oy. <<https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-konserni/>>. Luettu 14.1.2025.
3. Kestävä kehitys. Verkkoaineisto. NCC Suomi Oy. <<https://www.ncc.fi/tarjontamme/nain-toimimme/kestava-kehitys/>>. Luettu 14.1.2025.
4. Ympäristö ja ilmasto. Verkkoaineisto. Rakennettu teollisuus RT. <<https://rt.fi/tietoa-alasta/ymparisto-ja-ilmasto/>>. Luettu 23.2.2025.
5. Laine, Anna; Pohjalainen, Saara; Mäntylä, Iris; Eloranta, Aleks; Lehtomäki, Jenny; Raivio, Tuomas. 2024. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 - tiekartan päivitys. Helsinki: Gaia Consulting Oy. <https://rt.fi/wp-content/uploads/2024/06/Loppuraportti-RT-vahahiilisyys-7.6.2024_FINAL.pdf>. Luettu 23.2.2025.
6. Suomalaisten kulutuksen hiilijalanjälki. 2024. Verkkoaineisto. Ympäristöhallinto. <<https://www.ymparisto.fi/fi/suomalaisten-kulutuksen-hiilijalanjalki>>. Päivitetty 20.6.2024. Luettu 23.2.2025.
7. Sähkövuosi 2023: Puhdas sähköntuotanto kasvoi, päästöt ja hinnat romahtivat. 2024. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <<https://energia.fi/tiedotteet/sahko-vuosi-2023-puhdas-sahkontuotanto-kasvoi-paastot-ja-hinnat-romahtivat/>>. Luettu 24.2.2025.
8. Energian hankinta ja kulutus. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<https://stat.fi/tilasto/ehk#graphs>>. Luettu 24.2.2025.
9. Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050. 2020. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/S-uomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95-556530BA53-156573.pdf/37a549e9-b330-5f8c-d863-2e51f2e8239a/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf>. Luettu 24.2.2025.
10. Rakennuskanta ikääntyy ja korjausrakentaminen kasvaa. 2023. Verkkoaineisto. Helsinki: STT Tiedotteita. <<https://www.sttinfo.fi/tiedote/69976170/rakennuskanta-ikaantyy-ja-korjausrakentaminen-kasvaa?publisherId=69818543>>. Luettu 24.2.2025.

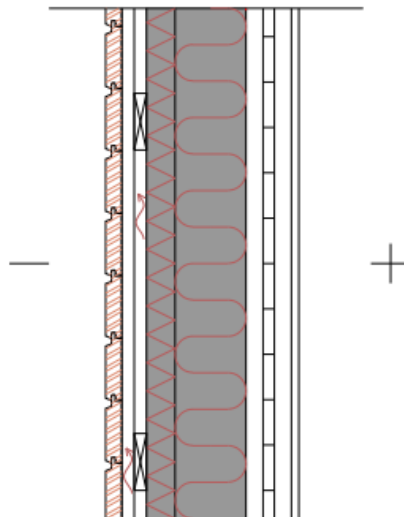
11. Holmijoki, Olavi. 2013. Korjausrakentaminen Suomessa. Espoo: Työterveyslaitos. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/114847/Korjausrakentaminen_Suomessa.pdf?sequence=1>. Luettu 25.2.2025.
12. Lampi, Jussi & Pekkanen, Juha. 2018 Terve ihminen terveissä tiloissa. Helsinki: Sisäilmayhdistys. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/137064/THL_RAP2018_8_sis%c3%a4ilma%20ja%20terveys_WEB_250319pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 25.2.2025.
13. Turvallinen ja terveellinen päiväkotij- ja koulurakennus. Verkkoaineisto. Opetushallitus. <<https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/turvallinen-ja-terveellinen-paivakoti-ja-koulurakennus>>. Luettu 25.2.2025.
14. Enkovaara, Esko; Haveri, Heikki; Jeskanen, Pekka. 1995 Rakennushankkeen kustannushallinta. Helsinki: Rakennustieto.
15. Kempainen, Jani. 2018 Rakennushankkeen kustannushallinta. Helsinki: Rakennustieto.
16. Mitä on kustannuslaskenta rakennusalalla ja Kuinka siitä hyötty? 2024. Verkkoaineisto. Admicom. <<https://www.admicom.com/fi/blogi/mita-on-kustannuslaskenta-rakennusalalla>>. Luettu 27.2.2025.
17. Perusopetuksen tilat. Rakennushankkeen valmistelun lähtökohtia. 2019. RT-103079. Rakennustieto. Luettu 27.2.2025.
18. Rakentamisen hankekehitys palveluksessanne. Verkkoaineisto. NCC Suomi Oy. <<https://www.ncc.fi/tarjontamme/rakennukset/hankekehityksen-yhteystiedot/>>. Luettu 14.1.2025.
19. Ilmastonmuutos: ilmaston lämpenemistä aiheuttavat kasvihuonekaasut. 2023. Verkkoaineisto. Euroopan parlamentti. <<https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20230316STO77629/ilmastonmuutos-ilmaston-lampenemista-aiheuttavat-kasvihuonekaasut>>. Päivitetty 17.34.2023. Luettu 27.2.2025.
20. CO2-termit tutuiksi. Verkkoaineisto. OpenCO2. <<https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa>>. Luettu 27.2.2025.
21. Kuittinen, Matti (toim.). 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Helsinki: Ympäristöministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 26.2.2025.
22. Rakentamislaki. 2023. 751/2023. <<https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskoelma/2023/751#Lidm46263583086816>>. Luettu 26.2.2025.

23. Rakennustapaselostus. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. NCC Suomi Oy.
24. Tarveselvitys-hankesuunnitelma. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Vantaan kaupunki.
25. Digitoitu pohjapiirustus. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Arkkitehtitoimisto Kari Ristola Oy.
26. Karttapalvelu. Verkkoaineisto. Vantaan kaupunki. <<https://kartta.vantaa.fi/>>. Luettu 23.2.2025.
27. Perustusleikkaukset. 1984. Yrityksen sisäinen aineisto. Ins. Tsto Jouko Tuupanen Ky.
28. Räystäisleikkaukset. 1984. Yrityksen sisäinen aineisto. Ins. Tsto Jouko Tuupanen Ky.
29. Kuntotutkimus. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. AFRY Buildings Finland Oy.
30. Selvitys korjaustarpeista. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Vantaan kaupunki.
31. Tarkastuskertomus. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Vantaan kaupunki.
32. Kosteusvauriokartoitus. 2012. Yrityksen sisäinen aineisto. Raksystems Anticimex Insinööritoimisto Oy.
33. Asbesti- ja haitta-ainekartoitus. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. AFRY Buildings Oy.
34. Radon mittaus. 2020. Yrityksen sisäinen aineisto. AlphaRadon Teo.
35. Uotila, Ulrika; Teriö, Olli; Kero, Paavo; Marttila, Tero; Moisio, Malin. 2017. Sisäilmaongelmaisen koulun korjausvaihtoehtojen ja purkamisen vertailu – case-tutkimus. Tampere: TTY. <<https://research.tuni.fi/uploads/2019/02/c220a85a-uotila-et-al-2017-sisailmaongelmaisen-koulun-korjausvaihtoehtojen-ja-purkamisen-rakennusfysiikka-2017.pdf>>. Luettu 22.2.2025.
36. Energiatehokkuus korjausrakentamisessa. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus RT. <<https://rt.fi/tietoa-alasta/ymparisto-ja-ilmasto/vahahiillinen-rakentaminen/energiatehokkuus/energiatehokkuus-korjausrakentamisessa/>>. Luettu 22.2.2025.

37. Ojanen, Tuomo; Holopainen, Riikka; Viitanen, Hannu; Lehtovaara, Jorma; Vinha, Juha; Kero, Paavo. 2014. Methodology to integrate energy efficiency, safe moisture performance and indoor environment quality in building renovation projects. Full paper no: 149, s.1197–1204.
38. Ohjeita suunnittelijoille. 2020. Verkkoaineisto. Vantaan kaupungin tilakeskus. <https://www.vantaa.fi/sites/default/files/document/149718_Kiinteistot_ja_tilat_ohjeita_suunnittelijoille_yleisohje_2020-02-28.pdf>. Luettu 4.2.2025.
39. U-arvo PIR-eristeellä. Verkkoaineisto. Recticel. <<https://www.recticelinsulation.com/fi/u-arvo>>. Luettu 5.2.2025.
40. Massiivipuulevyrakenteet. Verkkoaineisto. Puuinfo. <<https://puuinfo.fi/tuotteet/insinooripuutuotteet/clt/>>. Luettu 5.2.2025.
41. ePuu. 2024. Puuinfo.
42. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus ja muutostöissä. 2013. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://www.motiva.fi/files/8355/Ymparistoministerion_asetus_rakennuksen_energiatehokkuuden_parantamisesta_korjaus-_ja_muutostoissa.pdf>. Luettu 1.3.2025.
43. Energiaremontit vähentävät tehokkaasti energiankulutusta. Verkkoaineisto. LämpöYkkönen. <https://lampoykkonen.fi/ratkaisut/uusiutuva-energia/energia-remontti-lampoykkonen/?srsltid=AfmBOorMD-ADy2H3ws5KM-jZpnbV0u_MZ12WrdLQ74eKZ-yC2Jukj1j>. Luettu 1.3.2025.
44. Ojanen, Tuomo; Nykänen, Esa; Hemmilä, Kari. Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa. 2016. <https://www.motiva.fi/files/18158/Rakenteellinen_energiatehokkuus_korjausrakentamisessa.pdf>. Luettu 22.2.2025.
45. Korjaushankkeet ja energiatehokkuuden huomioiminen. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/korjaushankkeet_ja_energiatehokkuuden_huomioiminen>. Luettu 22.2.2025.
46. Esimerkkikohteen hiilijalanjälkivertailut. 2025. Yrityksen sisäinen aineisto. Sweco.
47. Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/14771/Toimenpiteen_taloudellinen_kannattavuus_laskurin_ohje_2018.pdf>. Luettu 2.4.2025

Uudisrakennuksen VE3 rakennetyypit

Rakennuskohde Esimerkkikohde	Sisältö Lämpimän tilan ulkoseinä, CLT-massiivipuurunko, lautaverhous	
Suunnittelija Joonatan Hyvärinen	Työ nro PPK	US1
	Päiväys 31.1.2025	



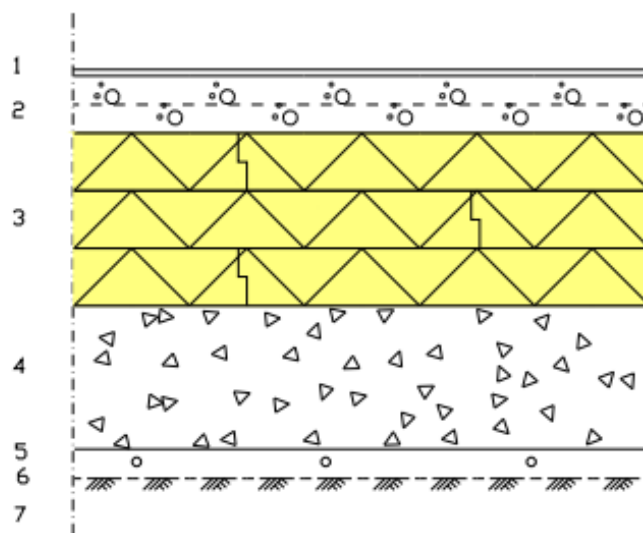
RAKENNE ULKOA SISÄLLE:

Ulkoverhous

- 44 mm Tuuletusrako ja ristiinkoolaus 22x100 k600
 - 50 mm Tuulensuoja ja lämmöneriste esim. ISOVER FACADE, saumat teipataan
 - 125 mm Lämmöneriste esim. ISOVER PREMIUM 33 ja koolaus 50x125 k600
 - 80 mm Kantava runko, ristiinlaminoitu massiivipuu – CLT-C3s
 - 13 mm Kipsilevy esim. GYPROC GN 13 tai GEK 13
- Pintakäsittely huoneselosteen mukaan

Lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus λ_d)
U-arvo 0,17 W/m²K

Rakennuskohde Esimerkkikohde	Sisältö Maanvarainen teräsbetoni-laatta	
Suunnittelija Joonatan Hyvärinen	Työ nro	AP1
	Päiväys	



- 1 Lattiapinnoite huoneselityksen mukaan
- 2 Teräsbetoni-laatta 80 mm, $\lambda_U = 1,7 \text{ W/mK}$, raudoitus rakennesuunnitelmien mukaan
- 3 Eriste esim. Finnfoam FL-300 2 x 100mm
 - Lämmönjohtavuus $\lambda_U = 0,036 \text{ W/mK}$
 - Lyhytaikainen puristuslujuus CS(10) 250 kPa
 - Veden imeytyminen upotuksessa $WL(T) 0,7$
 - Vesihöyrynläpäisevyys $\mu = 150$
 - Mittapysyvyys DS(70,90)
 - Kuormitusviruma CC(2/1,5/50) 130 kPa)
- 4 Sepeli 8...16 mm 200 mm
- 5 Hiekkakerros
- 6 Suodatinkangas
- 7 Perusmaa, kallistus salajiin 1:50

U-arvo rakennuksen geometriaa huomioimatta (RakMk C4 2012)

200 mm

0,16

Korjauslaajuuksien kustannusarviot**LASKENNALLINEN KUSTANNUSARVIO**

Esimerkkikohde VE1

Bruttoala yhteensä 820 brm2

Joonatan Hyvärinen 25.3.2025



	EUR	EUR/brm2	OS%
0 Rakennuttajan kustannukset	40 198	49	5,0
1 Maa- ja pohjarakennus	64 706	79	8,0
2 Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet	220	0	0,0
3 Runko ja vesikattorakenteet	111 030	135	13,7
4 Täydentävät rakenteet	47 221	58	5,8
5 Pintarakenteet	193 520	236	23,9
6 Kalusteet, varusteet, laitteet	82 763	101	10,2
7 Konetekniset työt	96 319	117	11,9
8, 9 Työmaan kustannukset	173 550	212	21,4
Yhteensä	809 527	987	100,0

LASKENNALLINEN KUSTANNUSARVIO

Esimerkkikohde VE2

Bruttoala yhteensä 820 brm2

Joonatan Hyvärinen 25.3.2025



	EUR	EUR/brm2	OS%
0 Rakennuttajan kustannukset	77 474	94	5,2
1 Maa- ja pohjarakennus	70 150	86	4,7
2 Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet	0	0	0,0
3 Runko ja vesikattorakenteet	110 080	134	7,4
4 Täydentävät rakenteet	113 791	139	7,7
5 Pintarakenteet	204 205	249	13,7
6 Kalusteet, varusteet, laitteet	175 747	214	11,8
7 Konetekniset työt	506 399	618	34,1
8, 9 Työmaan kustannukset	227 487	277	15,3
Yhteensä	1 485 333	1811	100,0

LASKENNALLINEN KUSTANNUSARVIO

Esimerkkikohde VE3

Bruttoala yhteensä 840 brm2

Joonatan Hyvärinen 25.3.2025



		EUR	EUR/brm2	OS%
0	Rakennuttajan kustannukset	187 372	229	8,2
1	Maa- ja pohjarakennus	323 237	394	14,1
2	Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet	97 231	119	4,2
3	Runko ja vesikattorakenteet	131 518	160	5,7
4	Täydentävät rakenteet	121 482	148	5,3
5	Pintarakenteet	236 350	288	10,3
6	Kalusteet, varusteet, laitteet	202 429	247	8,8
7	Konetekniset työt	573 614	700	25,0
8, 9	Työmaan kustannukset	417 107	509	18,2
	Yhteensä	2 290 340	2727	100,0

LASKENNALLINEN KUSTANNUSARVIO

Esimerkkikohde VE4

Bruttoala yhteensä 820 brm2

Joonatan Hyvärinen 25.3.2025



	EUR	EUR/brm2	OS%
0 Rakennuttajan kustannukset	90 753	111	5,0
1 Maa- ja pohjarakennus	160 283	195	8,9
2 Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet	220	0	0,0
3 Runko ja vesikattorakenteet	161 425	197	8,9
4 Täydentävät rakenteet	156 743	191	8,7
5 Pintarakenteet	231 231	282	12,8
6 Kalusteet, varusteet, laitteet	177 456	216	9,8
7 Konetekniset työt	578 517	706	32,1
8, 9 Työmaan kustannukset	247 851	302	13,7
Yhteensä	1 804 479	2201	100,0

Takaisinmaksuaikalaskelma



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

TOIMENPIDE:	Esimerkkikohde
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:	2.4.2025 Joonatan Hyvärinen

LASKENTA-ARVOT

Tarkastelu-aika	50 a
Reaalinen laskentakorko	5,0 %

TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

Kaukolämpö	Energian säästö	116,4 MWh/a
	Yksikköhinta	80,02 €/MWh
	Energian hinnan nousu	2,0 %/a
Sähkö	Energian säästö	-10,9 MWh/a
	Yksikköhinta	53,40 €/MWh
	Energianhinnan nousu	2,0 %/a
Energialaji 3	Energian säästö	MWh/a
	Yksikköhinta	€/MWh
	Energianhinnan nousu	%/a
Vesi	Veden säästö	m ³ /a
	Yksikköhinta	€/m ³
	Veden hinnan nousu	%/a
Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa	Summa	0 €/a

TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

Investoinnin suuruus	100 000 €
Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain	€/a
Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus	€/a
Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi	a

TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa	8 732 €/a
Toimenpiteen nettosäästö vuodessa	8 732 €/a
Suora takaisinmaksuaika	11,45 a
Nettonykyarvo	127 210 €
Sisäinen korkokanta	10,76 %

NETTONYKYARVON KUVAAJA

