

Ville Koskinen

## **METALLISET JULKISIVUVERHOUKSET PIENTALOISSA**

# **METALLISET JULKISIVUVERHOUKSET PIENTALOISSA**

Ville Koskinen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2020  
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Tutkinto-ohjelma, Rakennusarkkitehti

---

Tekijä(t): Ville Koskinen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Metalliset julkisivuverhoukset pientaloissa

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Metal Facade Claddings on Detached Houses

Työn ohjaaja(t): Seppo Perälä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020

Sivumäärä: 48

---

Rakennuksen sääkuorman vastaanottajana toimii vesikaton lisäksi julkisivuverhoukset. Julkisivun tehtävä ei ole vain talon arkkitehtuurin määrittely vaan se toimii myös sisärakenteiden suojana ulkoilman olosuhteita ja rasituksia vastaan.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin pientalon eri julkisivuverhouksia, niihin kohdistuvia säärasituksia sekä eri metallien teknisiä ominaisuuksia ja mahdollisuuksia toimia ulkoverhouksena. Metalliverhousten suurta ympäristökuormaa lähestyttiin kierrätettävyyden, kestävyuden sekä ympäristöystävällisen teknologian kautta. Työn lopuksi teräsverhousta vertailtiin teknisiltä ominaisuuksiltaan puu- ja tiiliverhoukseen.

Työssä havaittiin metalliverhousten olevan vielä kaukana puun ympäristöystävällisyydestä. Haasteita tuottivat teräksen suhteellisen suuret päästöt, jotka johduvat pääosin koksen ja hiilen käyttöön nojaavista tuotantoprosesseista. Päästöihin on kuitenkin reagoitu jo valmistajatasolla ja uusia vähähiilisiä vetyyn nojaavia tekniikoita on kehitteillä. Metallien eduiksi voitiin mainita erityisesti niiden kierrätettävyyden ja hyvä säänkestävyys. Vertailussa peltiverhouksen työmenekin, painon ja hinnan todettiin olevan selvästi alhaisemmalla tasolla kuin tiili- tai puuverhouksen.

Opinnäytetyössä todettiin metalliverhouksen sopivan niin teknisiltä kuin taloudellisilta ominaisuuksiltaan myös pientalon julkisivuverhoukseksi. Haasteita metallijulkisivujen yleistyminen tulee vielä tuottamaan, sillä ne on yleisesti nähty teollisuus- ja toissijaisten rakennusten ulkokuorena.

---

Asiasanat: julkisivu, metallijulkisivu, pientalo, rakennussuunnittelu, kierrätys

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree program, Bachelor of Construction Architecture

---

Author: Ville Koskinen  
Title of thesis: Metal Facade Claddings on Detached Houses  
Supervisor: Seppo Perälä  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020  
Pages: 48

---

The function of the facade is not only to determine the architecture of the house but also to protect the interior against weather conditions and stresses. In addition to the roof, the facade cladding also receives the weather load of the building.

This thesis dealt with the various facade claddings of the single-family house, the related and increasing weathering, as well as the properties and possibilities of different metals to serve as external cladding. The high environmental load of metal cladding was approached through recyclability, durability and environmentally friendly technology. At the end of the work, steel cladding was compared from many different angles against wood and brick cladding.

The thesis found that metal cladding is still far from environmentally friendly in terms of emissions. This was due to production processes based on the use of coke and coal. Among the advantages of the metals were the high recyclability, which was found to be excellent. The comparison found that the work amount, weight and price of sheet metal cladding were much lower than that of brick or wood cladding. The relatively high emissions of steel posed challenges. However, emissions have already been addressed at the manufacturer level and new low carbon hydrogen-based technologies are being developed.

The thesis stated that metal cladding is also suitable as a facade cladding for a single-family house. The proliferation of metal facades will still pose challenges, as they are commonly seen as the exterior of industrial and secondary buildings.

---

Keywords: facade, cladding, single-family house, building design, recycling

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 JULKISIVU	8
2.1 Julkisivu ja lähiympäristö	8
2.2 Julkisivu ja ilmastonmuutos	9
2.3 Julkisivun säärasitukset	10
2.3.1 Sade ja kosteus	11
2.3.2 Lämpötilan vaihtelu ja säärasitus	12
2.3.3 UV- ja lämpösäteily	13
2.4 Rakennusmääräykset ja kaavoitus	13
2.5 Pientalojen julkisivuverhoukset	13
2.5.1 Puuverhous	14
2.5.2 Kuorimuuri	15
2.5.3 Rappaus	15
3 RAKENTAMISESSA KÄYTETYT METALLIT	17
3.1 Teräs	17
3.2 Alumiini	19
4 METALLIEN KORROOSIO	20
4.1 Ruostuminen	21
4.2 Galvaaninen korroosio	21
4.3 Pistekorroosio	22
4.4 Rakokorroosio	22
5 METALLIEN ELINKAARI	23
5.1 Metallien kierrätys ja ekologisuus	25
5.1.1 Teräksen kierrätys ja ekologisuus	25
5.1.2 Alumiinin kierrätys ja ekologisuus	27
5.1.3 Kuparin kierrätys ja ekologisuus	27
5.2 Vetytelkistysprosessi – terästeollisuuden vastaus ekologisiin haasteisiin	28

6 METALLIT JULKISIVUISSA	31
6.1 Maalipinnoitettu teräs	31
6.2 Sinkkipinnoitettu teräs	32
6.3 Säänkestävä teräs eli Cor-Ten	33
6.4 Kupari	34
6.5 Ruostumaton teräs	34
6.6 Alumiini	35
6.7 Julkisivujen ilmastorasitusluokat	36
7 JULKISIVUVERHOILUJEN VERTAILU	38
7.1 Materiaalikustannukset	38
7.2 Julkisivurakennustöiden työmenekit	40
7.3 Painovertailu	43
7.4 Hiilidioksidiekvivalentti	44
8 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	49

# 1 JOHDANTO

Rakennuksen julkisivun pääasiallisena tehtävänä on suojata sisä rakenteita ulkoilman säärasituksilta. Julkisivun ulkonäkö ja materiaalit sitovat rakennuksen vallitsevaan miljööseen sekä määrittävät rakennuksen luonteen. Ranskan kielestä johdettu sana fasadi, jota käytetään Suomessakin kuvaamaan talon julkisivua, tarkoittaa rakennuksen kasvoja tai muuta koristeellista osaa rakennuksen julkisivussa. (1.)

Suomen sääolosuhteet altistavat ulkorakenteet hyvin ankaralle koetukselle. Pohjoinen sijainti väli-ilmastossa Golfvirran tuoman kosteuden ja Siperian pakkasten välillä luo hyvin vaihtelevat olosuhteet. Tilannetta ei helpota voimistuva ilmastonmuutos, jonka vaikutukset tulevat ennusteiden mukaan olemaan suurimpia pohjoisilla pallonpuoliskoilla. Tämä tarkoittaa lisääntyviä tuulia, lämpötilan muutoksia ja sademääriä, jotka altistavat Suomen rakennuskannan ja niiden julkisivurakenteet entistä kovemille rasituksille. (2.)

Tässä työssä pohditaan ja vertaillaan pääasiassa teräspinnan ja muiden julkisivurakentamiseen kelpaavien metallien teknisiä ominaisuuksia ja sopivuutta pientalon julkisivupinnaksi. Pientalojen ulkoverhoilujen kestävyys ilmastonmuutoksessa herättää kysymyksiä, joten erityistä huomiota kiinnitetään metallirakenteiden kilpailukykyyn puu- ja tiilirakenteisia julkisivuja vastaan. Vertailussa huomioidaan niin kustannukset kuin ympäristöystävällisyys ja kestävä rakentaminen.

Työssä paneudutaan myös teräksen tuotannon energiavaltaisuuteen ja sen oletettuun epäekologisuuteen. Asiaa tarkastellaan sekä tuotannollisten haasteiden että tulevaisuuden tekniikoiden kannalta. Teräksen kierrätettävyyttä ja kestävyyttä käsitellään myös kiertotalouden näkökulmasta.

Työssä paneudutaan tarkastelemaan pääosin tekniseltä kannalta pientalojen julkisivuverhosten ominaisuuksia. Keskeinen kysymys on, pärjääkö teräs tulevaisuudessa julkisivumateriaalina ilmastonmuutoksen voimistumisen aikana.

## 2 JULKISIVU

Julkisivu on arkkitehtonisesti rakennuksen tärkein osa, koska se näkyvimpänä pintana määrittää rakennuksen luonteen ja arvon ulkopuoliselle tarkastelijalle. Julkisivu sitoo rakennuksen historiallisesti omalle aikakaudelleen, jonka erityispiirteistä se tulee muistuttamaan tuleville sukupolville. (3.)

Rakennusteknisesti julkisivun tehtävänä on suojata rakenteita säärasituksilta, kuten tuulelta, sateelta, ilmansaasteilta ja ilmankosteudelta. Vuosien kuluttaessa rakennuksen julkisivupintaa korostuvat julkisivun huollon tarve sekä sen huollettavuus. (3.)

Korkealla paikalla talo on alttiimpana tuulelle, joka aiheuttaa paine-eroa rakennusvaipan sekä julkisivun yli. Vesistön läheisyydessä talon rakenteita kuormittavat sisämaata korkeampi kosteus sekä voimakkaammat tuulet. Talo kannattaa sijoittaa mahdollisimman aurinkoiselle ja tuulensuojaiselle paikalle, mutta on kannattavaa huomioida myös auringon ultraviolettisäteiden julkisivua kuormittava vaikutus. (4.)

Valittu julkisivumateriaali ja ulkoverhoilun laadukas suunnittelu sekä toteutus ovat tärkeä osa pientaloa rakennettaessa. Julkisivun tulee palvella taloa ja sen asukkaita vuosikymmenten ajan kaikissa olosuhteissa. (5.)

### 2.1 Julkisivu ja lähiympäristö

Julkisivun tehtävä on toimia sekä aktiivisesti että passiivisesti. Sen toiminnallinen tehtävä on erottaa sisätilat kosteasta ulkomaailmasta sekä antaa suojaa talon rakenteille, kuten eristeille, kosteutta, tuulta, sadetta ja auringon UV- ja lämpösäteilyä vastaan. Suomessa lämpötilojen ja kosteuden suuret vaihtelut vuodenojittain vaativat materiaalien kestävyydeltä paljon. (7.)

Julkisivun aktiivinen tehtävä tarkoittaa julkisivun tuomaa sade- ja tuulensuojaa, ja yleensä se käsittää myös lämmöneristyksen. Passiivisesti julkisivu on rakennuksen persoonallisuuden antava ulkokuori, jonka tehtävänä on kertoa talon arkki-



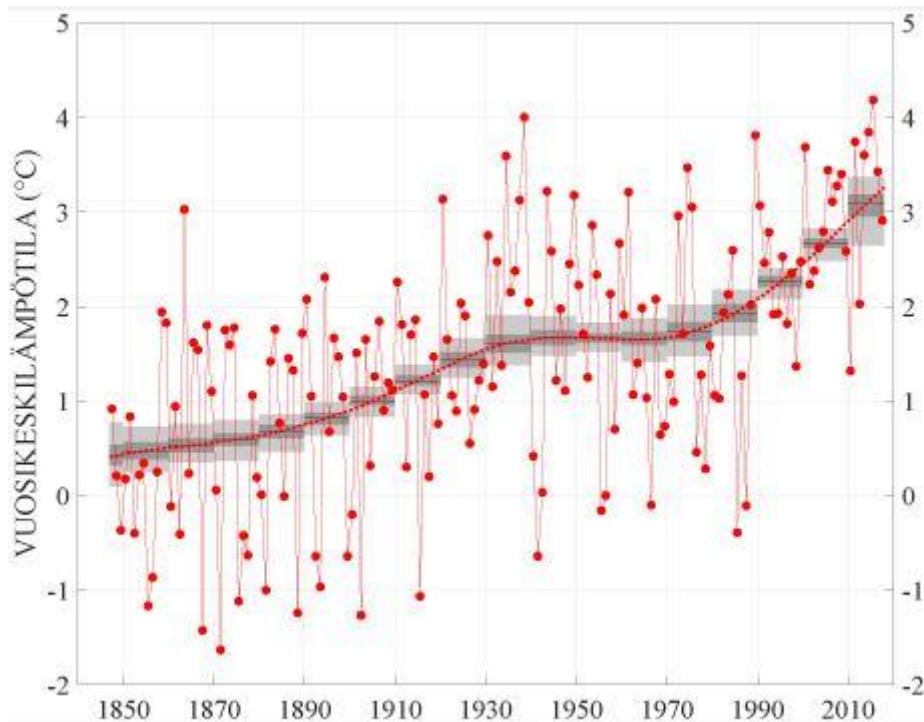
tehtuurista, sisällöstä, merkityksestä ja käyttötarkoituksesta. Se kertoo talon rakennusajan tai viimeisen muutosvaiheen rakentamistavoista, materiaaleista ja arkkitehtuurista. (6.)

## **2.2 Julkisivu ja ilmastonmuutos**

Ilmastonmuutos aiheuttaa useita haasteita rakennuksille ja pientaloille, jotka on Suomessa toteutettu suurimmaksi osaksi sekä kantavilta rakenteiltaan että julkisivuiltaan puusta. Talvien lämpeneminen ja lumisateen korvautuminen yhä useammin vesisateella saattavat aiheuttaa puurakenteille pahenevia home- ja lahoamisongelmia sekä metallipinnoille sadeveten liuenneiden kemikaalien vuoksi kiihtyvää kulumista ja korroosiota. Yhä useammat tuhoeläimet ja hyönteiset voivat myös jatkossa talvehtia Suomen leveysasteella, jolloin ne voivat aiheuttaa vahinkoa erityisesti puisille rakennusosille. Mekaanista rasitusta rakennusten julkisivuille puolestaan voi syntyä voimistuvista viistosateista, voimakkaista tuulista sekä kiihtyvistä jäätymisen ja sulamisen syklien vaihteluista. (2.)

Ilmastonmuutoksen uskotaan johtuvan osittain ihmisen toiminnasta johtuvista hiilidioksidipäästöistä. Sää ja ilmasto eivät ole synonyymejä ja tarkoita samaa asiaa. Säässä voi olla hyvinkin paljon vaihtelua ja se kuvaa hetkellistä säätilannetta. Säähän liittyviä ominaisuuksia ovat esimerkiksi lämpötila, ilmanpaine, ilmankosteus ja tuulen nopeus. Ilmasto kuvaa taas pitkän aikavälin tyypillistä säätilaa. Ilmastossa tapahtuvat muutokset näkyvät pitkän ajan kuluessa säännöllisten säähavaintojen kautta. (9.)

Sääolosuhteissa on aina vuosittaista vaihtelua, mutta tilastot osoittavat, että maapallon ilmasto on ollut hitaasti lämpenevässä muutoksessa koko mittaushistorian ajan. Suomen vuosikeskilämpötila noussut noin kaksi astetta vuodesta 1844 lähtien, kun Ilmatieteen laitos aloitti ympärivuorokautisen havaintotoiminnan (kuva 1). (10.)



KUVA 1. Suomen vuosikeskilämpötilan nousu vuodesta 1847 lähtien (11)

Sademäärien odotetaan kasvavan Suomen alueella vuosina 2040 - 2069 1 – 28 prosenttia ja vuosien 2070 – 2099 välillä jopa 6 – 37 prosenttia. Koska tulevaisuudessa ilmakehän otaksutaan olevan lämpimämpi, se voi sisältää suuremman määrän kosteutta, ja näin sateiden arvioidaan lisääntyvän. Useiden säämallien mukaan syviä matalapaineita syntyy nykyistä enemmän. (2.)

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta keskimääräinen tuulen nopeus kasvaa jonkin verran Suomessa. Lämpenemisen johdosta myös meriveden lämpötilan odotetaan kohoavan, minkä seurauksena talven merijääpeite vähenee. Tämän seurauksena tuulen keskinopeuden voi olettaa kasvavan ainakin talvikuukausina merialueilla merenpinnan läheisyydessä. (13.)

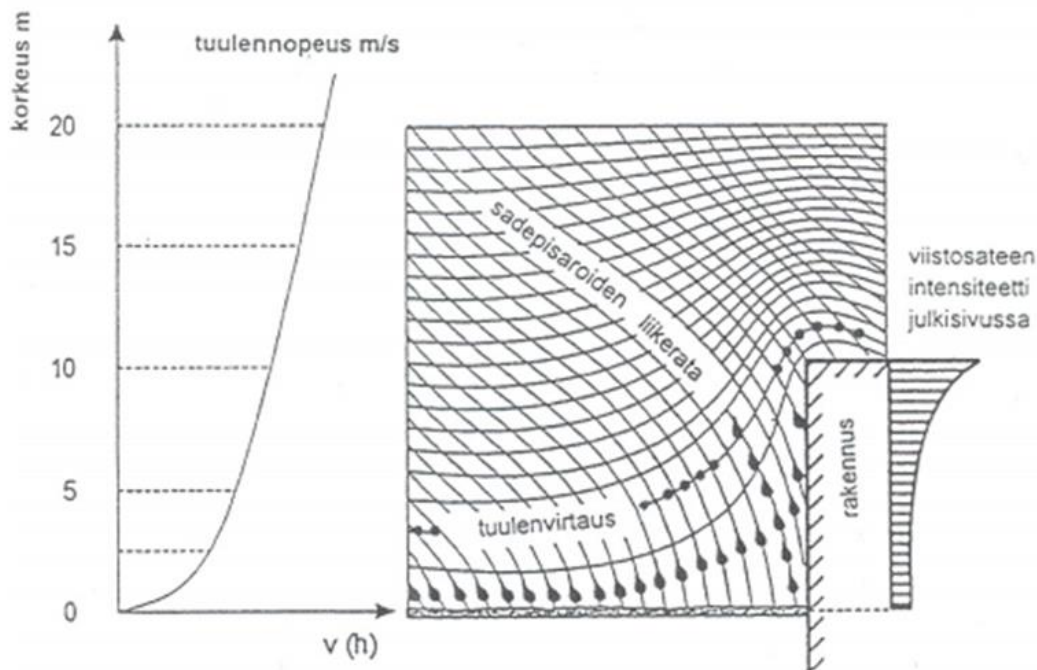
### 2.3 Julkisivun säärasitukset

Ulkoseinään kohdistuva säärasitus riippuu rakennuksen sijainnista, muodosta ja korkeudesta sekä rakenteen yksityiskohdista. Korkeat rakennukset ovat alttiimpia säärasituksille suuremman ja olosuhteille vaikutuksen alaisemman julkisivun takia. (14.)

### 2.3.1 Sade ja kosteus

Sade ja kosteus ovat julkisivun rasitustekijöistä suurimmat. Sateen aiheuttama vedenpaine kohdistuu erityisesti vesikattoon, vaakapintoihin sekä seinien ulko-verhouksiin. Sade voi esiintyä vetenä, räntänä tai lumena, joista kaikkein kastelevin on räntä, koska se jää usein pitkäksi aikaa vaikuttamaan loiville ja vaakasuorille pinnoille. Julkisivuille tulevan sateen määrä on noin puolet vaakapinnoille satavan veden määrästä. Eli jos teoriassa vettä sataa 100 millimetriä vaakapinnalle, niin siitä määrästä 50 millimetriä osuu rakennuksen julkisivuun. (14; 17.)

Merkittävin saderasitus on tuulen ja sateen yhteisvaikutus eli viistosade, joka ei kohdistu tasaisesti eri rakennuksiin ja seiniin. Viistosaderasitukseen vaikuttavat rakennuksen korkeus ja muoto, lähiympäristön rakennukset ja kasvillisuus sekä maastonmuodot. Korkeat rakennukset ovat alttiimpia suuremmalle viistosaderasitukselle. Rasitus on suurin seinän yläosissa ja nurkissa (kuva 2). (15.)



KUVA 2. Tuulen ja sateen yhteisvaikutus eli viistosaderasitus (19)

Pahimmassa tapauksessa ulkopinnat vaurioituvat sateen ja tuulen yhteisvaikutuksesta. Tämän seurauksena vesi pääsee tunkeutumaan julkisivupinnan läpi seinän sisäpuolisiin rakenteisiin. Vettyneet ulkoseinän sisärakenteet heikentävät

lämmöneristävyyttä ja altistavat rakenteet kosteuden aiheuttamille ongelmille, kuten mikrobikasvustoille ja lahottajasienille. (16.)

Yleisiä ulkoseinän kosteusvaurioiden syitä ovat

- ylösvetojen virheet
- puutteelliset pellitysten ulottumat
- puutteet tippanokissa
- ulkopinnan liian tiivis tai muuten sopimaton pinnoitus
- puutteelliset kallistukset
- metalliverhouksen vääränlaiset kiinnikkeet tai kiinnitystapa. (18.)

Suomessa sateet tulevat yleensä etelän ja lännen ilmansuunnista. Pohjoisesta tulevat sateet satavat yleensä lumena ja lumisateesta ei ole sellaisenaan haittaa julkisivulle, koska se ei imeydy julkisivun ulkopintaan. Pohjoiset julkisivut ovat osittain siitä syystä paremmassa kunnossa, kuin eteläpuoleiset. (17.)

Talvisateiden lisääntyminen ja ilmastonlämpeneminen tulevat altistamaan rakenteet entistä pahemmalle säärasitukselle. Sateen olomuodon vaihtuminen talviaikaan lumesta rännäksi tai vedeksi kastelee julkisivua, kun kuivumisolosuhteet ovat huonoimmillaan. (17.)

### **2.3.2 Lämpötilan vaihtelu ja säärasitus**

Julkisivun herkin kohta on auringolle altis eteläsivu. Päivän korkean lämpötilan ja yön matalan lämpötilan vaihtelu aiheuttaa jännityksiä rakenteeseen. Jännitykset saattavat aiheuttaa rakenteen halkeiluja, jotka ovat yleisiä kivipohjaisille materiaaleille. Lämpötilan vaihtelut aiheuttavat julkisivuissa tasonsuuntaisia siirtymiä korkeus- ja pituussuunnassa. (15.)

Alueilla, joilla on kosteaa ja kylmää, pakkasrasitus on hyvin tavallista. Julkisivun huokosiin jäänyt kosteus jäätyy ja laajenee ilman mennessä pakkasen puolelle. Laajentunut jää rikkoo rakenteita, aiheuttaa pinnan säröilyä sekä kaarruttaa betonirakenteita. (21.)

### **2.3.3 UV- ja lämpösäteily**

UV-säteily heikentää erityisesti orgaanisten materiaalien ominaisuuksia. Vaikutukset ovat nähtävissä erityisesti orgaanisissa pinnoitteissa, kuten maaleissa, joissa UV-säteily aiheuttaa värien haalistumista. Säteily aiheuttaa myös halkeilua, värimuutoksia ja rakkuloitumista. (22.)

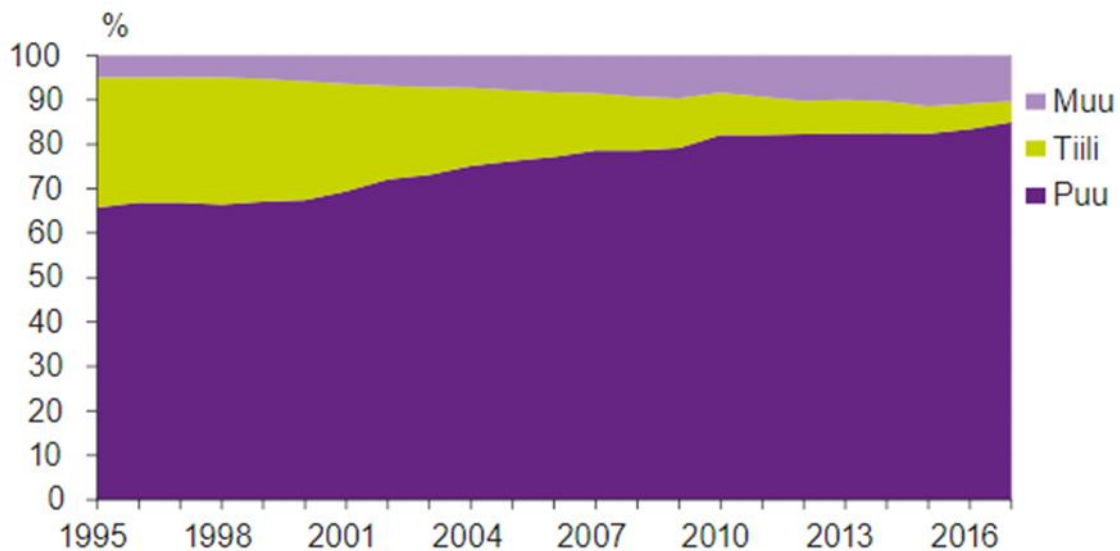
### **2.4 Rakennusmääräykset ja kaavoitus**

Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999, MRL) määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta. Olennaiset tekniset vaatimukset koskevat rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä energiatehokkuutta. (23.)

Asemakaavalla pyritään sitomaan rakennuskanta toisiinsa, jotta alueesta tulee arkkitehtonisesti yhtenäinen ja kaunis. Asemakaavoitukseen liittyvät rakentamistapaohjeet tarkentavat asemakaavan tarkoitusta. Rakentamistapaohjeet määrittelevät muun muassa asuinalueen julkisivun ja vesikaton materiaalit sekä niiden värit. (24; 26; 27.)

### **2.5 Pientalojen julkisivuverhoukset**

Pientalojen yleisin julkisivumateriaali Suomessa on puu yli 80 prosentin osuudella, ja se on kasvattanut suosiotaan läpi 2000-luvun. Tiilellä oli 2000-luvun alkuun vakiintunut asema julkisivurakentamisessa, minkä jälkeen sen osuus on supistunut noin 5 prosenttiin. Muiden materiaalien, kuten kiven ja betonin suosio on kasvanut hiljalleen 5 prosentista 10 prosenttiin vuodesta 1995 vuoteen 2017 (kuva 3). (28.)



KUVA 3. Pientalojen julkisivuverhoilujen osuus Suomessa (28)

Tyypillinen pientalo on omakotitalo, niiden osuus valmistuneista pientaloasunnoista on 78 prosenttia. Loput lähes 22 prosenttia koostuu paritaloista ja muutama pientalo luokiteltiin erityisluokkaan muut erilliset pientalot. (28.)

### 2.5.1 Puuverhous

Puu on ollut vuosikymmenten ajan suosituin ulkoverhousmateriaali Suomessa. Syitä suosioon ovat muun muassa ulkonäkö, helppo saatavuus, ekologisuus, helppo rakennettavuus ja rakenteen uusittavuus. Oikein tehtynä ja pintakäsiteltynä sekä hyvin huollettuna puuverhous on erittäin pitkäikäinen vaihtoehto. Hyvin suunniteltu, tehty, pintakäsitelty ja huollettu puujulkisivu kestää kymmeniä vuosia, jopa vuosisadan. (29; 30.)

Puujulkisivuihin käytetään pääasiassa kuusipaneelia, sillä sen säänkesto on mäntyä parempi ja sen kosteuseläminen vähäisempää. Kuusen solukkorakenne ”sulkeutuu” kuivessaan ja se on pintapuusta sydänpuuhun samanlaista vastaten vedenläpäisevyydeltään männyn sydänpuuta. Verhouslautojen riittävä paksuus on keskeistä puujulkisivun kestävyyskannalta, koska paksummat laudat selviävät kosteus- ja lämpötilanvaihteluista ohuita lautoja paremmin. Kyllästettyä puutavaraa ei käytetä julkisivun rakentamiseen, sillä oikeat rakenneratkaisut ja huolellinen pintakäsittely antavat laudoitukselle riittävän kestävyyskannan. (31; 32.)

Maalaamaton puutavara harmaantuu ulkokäytössä auringon ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta. Puun harmaantumista voidaan ehkäistä ja puun väri palauttaa uv-suojan antavalla pintakäsittelyllä. Puun pintakäsittelyyn soveltuvat puu öljyt, kuuluvat ja peittävät puunsuojat sekä ulkokäyttöön tarkoitetut maalit. Homekasvu voidaan ehkäistä käsittelemällä pinta homeenestoaineella. (33.)

### **2.5.2 Kuorimuuri**

Kuorimuuraus on ulkoseinän ulkopuolinen muurattu pintarakenne, joka on kiinnitetty rakennuksen runkoon. Kuorimuuri on valmistettu useimmiten poltetusta tiilestä. Vaihtoehto perinteiselle punatiilelle kuorimuurin rakenteena on kalkkihiekkatiili, joka on ekologisesti poltettua tiiltä kestävämpi materiaali. (34; 35; 36.)

Tiilirakenteiden yleisin käyttökohde ovat julkisivut, ja oletustasi myös julkisivumuuraus suunnittelussa on otettava huomioon ilmankosteus ja sade. Tavanomaisissa olosuhteissa tiilimuuri imee itseensä seinäpinnalle satavan veden ja muuri kuivuu ulospäin aurinkoisilla ilmoilla. Viistosadetilanteissa kosteus saattaa päästä kuorimuurin taakse julkisivun epätiivetyshohdistasta, joten viistosateille alttiissa seinissä on aina järjestettävä veden ulosjohtaminen. Talviaikaan rasituksena voi olla erityisesti kastuneen kuorimuurin ulkopinnan toistuva jäätyminen ja sulaminen, mikä aiheuttaa tiilirakenteen rapautumista. (37.)

Kuorimuurin tyypillisin vaurio on saumaus- ja muurauslaastin pakkasrasituksen aiheuttama rapautuminen. Rapautumaa on erityisesti rannikkoalueilla sijaitsevien korkeiden rakennusten runsaasti saderasitusta saavien julkisivujen yläosissa. Rapautuminen vaikuttaa kuorimuurin hoikkuuden kasvamiseen, joka taas vähentää rakenteen stabiilisuutta sekä kantavuutta. Rapautunut laasti paljastaa tiilen huokoisen saumapinnan, joka on imukykyisempi kuin julkisivupinta. Tämä voi aiheuttaa tiilen kastumisen. (17.)

### **2.5.3 Rappaus**

Julkisivun rappaus on satoja vuosia vanha tapa. Se on pintakäsittely, jolla ulkorakenteelle saadaan laastilla haluttu ulkonäkö ja suojakuori. Rappauksella saadaan tasoitettua pinnan epätasaisuudet ja luotua julkisivulle yhtenäinen kuori. Se

suojaa alusrakennetta sään rasitukselta ja mekaaniselta kulumiselta. Rappaus antaa julkisivulle ilmeikkään, maalattavan ja vapaasti muotoiltavan pinnan. (39.)

Rappaus oli 1980-luvulle asti lähes täysin käsityövaltaista ja työtavat periytyivät ammattimiehiltä toisille ilman kirjallisia ohjeita. Nykyään käytössä ovat myös koneelliset rappausmenetelmät, joita käytetään sekä korjaus- että uudisrakentamisessa. (39.)

Vesi ja pakkanen ovat suurimmat laatua heikentävät ja mahdollisia vaurioita aiheuttavat tekijät. Tummentumat rappauksessa kielivät kosteusongelmista tai yksityiskohtien virheellisistä materiaalivalinnoista. Rappauspintojen ennaltaehkäisevinä hoitotoimenpiteitä ovat pintojen säännöllinen tarkastus, vedenohjausrakenteiden kunnon seuranta ja pienten vaurioiden korjaus ennen laajojen vaurioiden syntyä. (39; 40.)



### 3 RAKENTAMISESSA KÄYTETYT METALLIT

Metallit ovat yhdisteistä tehtyjä materiaaleja, joita yhdistävät lujuus, sitkeys, lämmönjohtavuus, sähkönjohtavuus ja muokattavuus. Metallit ovat yksi vanhimmista materiaaleista, joita ihminen on hyödyntänyt ja muokannut. Niitä on käytetty vuosituhansia kovuuden ja monipuolisuuden vuoksi. Metalleista on tehty työkaluja, aseita ja erilaisia käytännön objekteja. Toisin kuin puu tai kivi, metallit ovat kierrätettäviä, uudelleen muovattavia ja toisiinsa sekoitettavia. (41, s.145.)

Raudattomat metallit, eli alumiini, kupari ja titaani, ovat helposti muovattavia ja ne ovat arkkitehtonisesti suosituimpia metalleja. Näillä metalleilla on pienempi taipumus oksidoitua mutta ne ovat kalliimpia, joten niiden kierrätysprosentti on korkeampi. Ferriittiset rautaa sisältävät metallit, kuten teräs, ovat kestävimpiä, mutta niillä on suurin korroosiotaipumus eli ne reagoivat helposti ilmankosteuden ja hapen kanssa. (41, s.145–146.)

Metalleista on liian yleistävää puhua vain pelkinä metalleina, sillä jokaisella metallilajilla on omat ominaisuutensa, värinsä ja käyttötarkoituksensa. Rakenteellisesti metallit ovat keveitä, helposti muovailtavia ja kovia sekä niillä on monia eri pintoja, värityksiä ja laatuja. Pinnoittamattoman metallin luontainen ikääntyminen on nähty positiivisena asiana, kuten esimerkiksi kuparipinnan patinoituminen tai säänkestävän teräksen ruostuminen. Pinnan ikääntyminen saattaa olla haluttu arkkitehtoninen ja rakennustekninen ominaisuus monessa kohteessa. (41, s.147.)

Seuraavaksi käsitellään lyhyesti kahden metallin, teräksen ja alumiinin, ominaisuuksia ja valmistustapoja. Materiaaliominaisuuksiensa takia teräs on ollut jo pitkään tärkeimpiä materiaaleja rakentamisessa. Alumiini on taas yksi taloudellisesti ja rakenteellisesti tehokkaimmista metalleista. Teräs ja alumiini ovat tärkeitä käyttömetalleja, joten niiden vaikutus nyky-yhteiskuntaan on merkittävä. (94; 95.)

#### 3.1 Teräs

Rauta on teräksen pääkomponentti. Kun rautaan lisätään maksimissaan 2,1 prosenttia hiiltä, tulee siitä seos, joka tunnetaan teräksenä. Se on käyttömetalleista

yleisin. Teräksen tärkein ominaisuus on lujuus, jonka ansiosta se poikkeaa muista yleisistä rakennusmateriaaleista, kuten tiilestä ja puusta. Teräksen ominaisuuksia pystytään säätämään muuttamalla sen koostumusta ja valmistusprosessia. Lujuuden ohella teräksen suurimpina rakenteellisina vahvuuksina pidetään kestävyyttä sekä tulen- ja korroosionkestävyyttä. (41, s. 148; 43.)

Teräslajeja on olemassa useita tuhansia. Niistä suurin osa on kehitetty viimeisen 20 vuoden aikana. Terästuotteet on standardisoitu eli niitä valvotaan laadullisesti virallisten järjestöjen kautta. (4, s. 148; 43.)

Teräksen valmistuksessa on kaksi tapaa, jotka poikkeavat toisistaan eniten siinä, mitä raaka-ainetta niissä käytetään. Vaihtoehdot ovat joko louhittu rautamalmi tai kierrätysmetalli. Teräksen tuotannosta kierrätysteräs kattaa noin 30 prosenttia ja loppuosuus louhituista raaka-aineista. (44.)

Teräksestä noin 98 prosenttia on rautaa ja loppuosa on seosaineita. Teräksen hiilipitoisuuden kasvaessa myös kovuus ja lujuus kasvavat. Suuremman hiilipitoisuuden huonoina puolina on iskutheyden heikkeneminen, muovattavuuden ja hitsattavuuden huononominen sekä sulamislämpötilan laskeminen. (43.)

Suuri hiilipitoisuus nostaa lujuutta. Maksimilujuus saavutetaan noin 0,6 prosentin pitoisuudella. Matala hiilipitoisuus puolestaan parantaa teräksen sitkeyttä. Teräksen valmistuksessa tavoitellulla lujuudella on vaikutusta valmistuksen energiankulutukseen ja hiilidioksidipäästöihin. Lujempien terästen käyttö mahdollistaa kevyempien rakenteiden suunnittelun ja valmistuksen sekä vähentää tarvittavan materiaalin määrää ja samalla pienentää koko elinkaaren hiilijalanjälkeä. (45; 46; 96.)

Lisäämällä teräkseen muita metalleja voidaan siihen lisätä ominaisuuksia seuraavasti:

- Kromi lisää korroosionkestävyyttä ja kovuutta.
- Kupari lisää korroosionkestävyyttä ja lujuutta.
- Volframi lisää kovuutta ja kimmoisuutta.

Teräksen lujuusominaisuudet ovat riippuvaisia lämpötilasta. Lämpölaajeneminen aiheuttaa teräksessä pituuden muutoksia, jotka tulee huomioida asennusvarojen suunnittelussa. Lämpötilan laskiessa teräs kovenee ja haurastuu. Lämpötilan noustessa teräs pehmenee ja menettää lujuutta. Teräs ei ole palava materiaali, mutta kantavien rakenteiden mitoituksessa 600 asteen lämpötilaa pidetään kriittisenä, minkä jälkeen teräs alkaa menettää kantokykyään. (47.)

### **3.2 Alumiini**

Bauksiitti, joka on alumiinin pääraaka-aine, on maapallon kolmanneksi yleisin malmi. Maankuoressa on enemmän alumiinia kuin rautaa, ja alumiinimalmiresurssit riittävät ihmiskunnan tämän päivän kulutusmäärillä sukupolvien ajaksi. (50.)

Alumiini on kevyt metalli verrattuna teräkseen. Se painaa vain kolmanneksen teräksen painosta. Alumiinin keveys helpottaa sen käsittelyä tehtailla ja työmailla ja sen kuljetusten energiankulutus on alhainen. (50.)

Alumiini on erittäin muovailtava metalli. Sitä voi sekä kuuma- että kylmäkäsitellä ja sitä voi muovailta polkupyörien rungoista aina levyjäisiin julkisivuihin asti. Alumiinin ominaisuuksia parannetaan seostamalla sitä muiden alkuaineiden kanssa. Yleisimpiä alumiinin kanssa käytettäviä seosaineita ovat kupari, sinkki, mangaani, magnesium ja pii. Nämä aineet parantavat alumiiniseoksen lujuutta, kiiltoa ja muotoiltavuutta. (50.)

Hapen kanssa reagoiessaan alumiini muodostaa pinnalleen oksidikerroksen, joka suojaa alumiinia ja tekee siitä korroosionkestävän. Tämä tarkoittaa ulkopinnan vähäistä huollontarvetta, mikä on hyvä taloudellisesti kuin myös ekologisesti. (50.)

Alumiinin valmistus hiileen perustuvalla sähköntuotannolla on paljon energiaa kulluttavaa, joten moni valmistaja etsii vaihtoehtoja uusiutuvasta energiasta. Näitä ovat esimerkiksi tuuli, vesi- ja aurinkovoima. (51.)

## 4 METALLIEN KORROOSIO

Korroosio on luonnollinen prosessi, jonka syntyyn vaikuttaa kolme ehtoa, joista jokaisen täytyy täytyä. Ne ovat

- metallipinta
- kosteus
- hapettava aine.

Korroosio syövyttää metallirakenteita ja heikentää sekä muuttaa rakenteet alttiimmiksi hajoamiselle. Korroosioprosessin seurauksena metalli muuttuu yhdeksi sen suoloista, eli joko sulfideiksi, oksideiksi tai hydroksideiksi riippuen materiaalista. Teräksen ruostuessa muodostuu punaista hilseilevää ainetta, rautaoksidia. Korroosiotuote, kuten ruoste, voi olla hyvin häiritsevää muuttuvan ulkonäön ja tahraavuutensa vuoksi. (53; 54.)

Korroosion torjunnassa ohutlevyrakenteiden eli ohuiden vähintään 0,5 millimetriä paksujen tasomaisten levyjen kohdalla on erityistä huomiota kiinnitettävä seuraaviin kohtiin:

- Vesi ei saa jäädä seisomaan pinnoille.
- Veden on virrattava metallipinnalta jännitesarjassa jalompaan metalliin.
- Pidetään huoli, että rakoja ja onkaloita ei esiinny rakenteessa.
- Korjataan mahdolliset lommoutumiset ja vauriot mahdollisimman pian, koska sileä ja ehjä pinta on edullinen korroosioneston kannalta. (54.)

Metalliverhouksen käyttöikä riippuu seuraavista kohdista:

- ympäristöolosuhteista
- suunnitteluratkaisusta
- UV-säteilystä
- pinnoiteaineista
- kunnossapidosta. (54.)

## 4.1 Ruostuminen

Suojaamattomana metallit reagoivat ilman hapen kanssa ja oksidoituvat eli ruostuvat. Ruostuessaan metalli palaa takaisin luontoon. Suojaamaton teräs ruostuu ulkona ilmastosta riippuen noin 0,05 – 0,2 millimetriä vuodessa. Ruostuminen kiihtyy lämpimässä ympäristössä, ja sen voimakkuutta vahvistavat suola- ja happoliuokset, metallin pinnalle tiivistyvä kosteus sekä ilman rikkiyhdisteet. Korroosio eli kansankielellä ruostuminen edellyttää, että ilman suhteellisen kosteuden on oltava vähintään 60 prosenttia. Suomen ilmastossa tämä suhteellisen kosteuden raja-arvo ylittyy lähes aina. (43.)

Ruosteen tilavuus on suurempi kuin sen syrjäyttämän raudan tilavuus, joten ruoste voi edetessään rikkoa siihen kiinteästi liittyviä materiaaleja, kuten maali-pinnan. Metallin syöpyminen eli ruostuminen on vastakkainen ilmiö kuin metallin valmistaminen malmista. Energia pyrkii poistumaan puhtaasta metallista takaisin malmiksi. Teräksen korroosionkestävyyttä voidaan vahvistaa erilaisin pintakäsittelyin. Se voidaan maalata, galvanoida eli päällystää sinkillä tai käsitellä kemiallisesti, jolloin se kestää korroosiota. (43; 55.)

## 4.2 Galvaaninen korroosio

Galvaanisessa korroosiossa syöymistä aiheuttaa koostumukseltaan erilaisten metallien välinen jalousero. Epäjalompi metalli asettuu anodiksi ja syöpyy. Jalompi asettuu katodiksi säilyen ehjänä ja samalla nopeuttaa epäjalomman metallin syöymistä. Esimerkiksi jos yhdistää alumiinia sinkityn teräksen kanssa, alumiini alkaa syöymään sinkin sijasta, koska se on epäjalompi. Terästen epäjalona pinnoitemateriaalina käytetään usein sinkkiä, joka oksidoituu teräksen sijasta galvaanisen korroosio seurauksena (kuva 4). (55; 56.)

Jalot metallit					Epäjalot metallit	
ruostumaton teräs	kupari (Cu)	messinki	lyijy (Pb)	teräs	alumiini (Al)	sinkki (Zn)

*KUVA 4. Metallien jalousjärjestys jalosta epäjaloon (54)*

Galvaanisen korroosion merkitys on erittäin tärkeä tiedostaa muun muassa kiinnikemateriaaleja valittaessa. Kiinnikkeiden tulee olla aina yhtä jaloa tai jalompaa metallia kuin kiinnitettävän metallimateriaalin. (93.)

Korroosio voidaan pysäyttää esimerkiksi katkaisemalla korroosiota aiheuttavan sähkökemiallisen reaktion virtapiiri. Virtapiiri katkeaa, kun estetään kosteuden pääsy metallipinnoille. Ulkona tämä saadaan aikaan eristämällä metallipinta ympäristöstä pinnoitteiden avulla. (43; 55.)

### **4.3 Pistekorroosio**

Pistekorroosio synnyttää metallin pinnalle pistemäisiä kuoppamaisia syvänteitä. Paksuissa rakenteissa se harvoin on ongelma, sillä korroosio pysähtyy kuoppien saavuttaessa tietyn syvyyden, mutta ohutseinämaisissä rakenteissa korroosio voi läpäistä seinämän ja aiheuttaa ongelmia, kuten vesivuotoja. (58.)

Korroosio saa yleensä alkunsa metallipinnan urista tai passiivikalvon vauriosta mekaanisen törmäyksen seurauksena. Kloridipitoinen hapan liuos liuottaa passiivikerrosta korjaavia metalli-ioneja, jotka normaalisti liittyvät osaksi passiivikerrosta. Liuenneet metalli-ionit jättävät passiivikerrokseen aukon, josta metallin pistekorroosio alkaa. Merivesi ja klooripitoiset liuokset ovat yleisiä syöpymisen aiheuttajia. (58.)

Pistekorroosio on yleistä metalleille, joiden korroosionkestävyys perustuu passiivoinnin tuomaan pinnan suojaan. Erityisesti ruostumaton teräs ja alumiini ovat alttiita pistekorroosiolle. (58.)

### **4.4 Rakokorroosio**

Rakokorroosio on yleistä tilanteissa, joissa liuos pääsee tunkeutumaan ahtaaseen rakoön, mutta se ei pääse vaihtumaan samalla nopeudella kuin muilla metallipinnan alueilla. Alhaisempi liuoksen vaihtuvuusnopeus aiheuttaa happamuuden lisääntymistä ja korroosion kiihtymistä. Korroosio on yleistä erilaisissa liitoksissa, kuten ruuvi- ja hitsausliitoksissa. Myös metallipinnan likaisuus vaikuttaa epäsuotuisasti tilanteen kehitykseen. (58.)

Rakokorroosiota esiintyy lähes kaikilla metalleilla kuparista alumiiniin, mutta herkimpiä sille ovat metallit, joiden korroosionkestävyys perustuu passiivikerrokseen. Rakokorroosion vaarallisimpia aiheuttajia ovat kloridi-ioneja sisältävät liuokset, mutta myös luonnonvedet voivat aiheuttaa korroosiota. (58.)

## 5 METALLIEN ELINKAARI

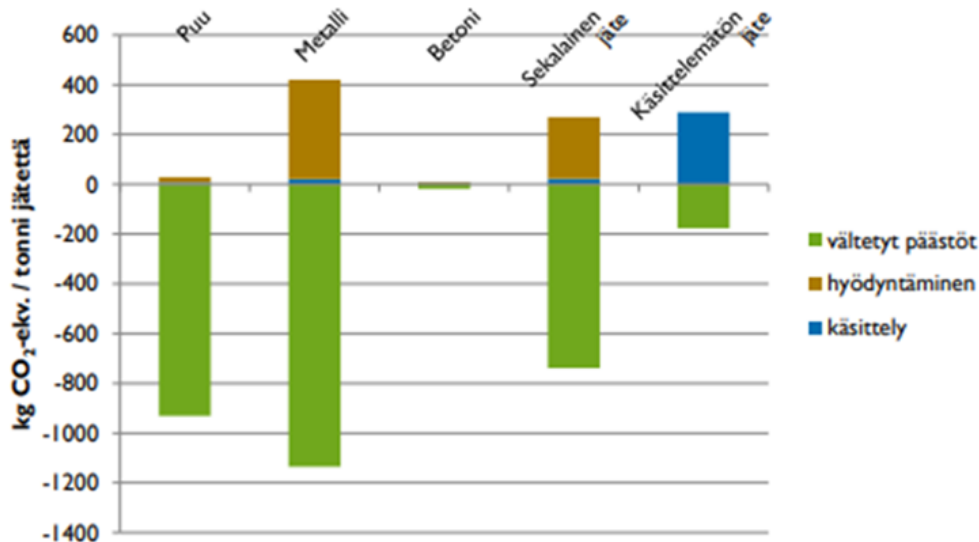
Elinkaariarvio selvittää, kuinka paljon energiaa ja materiaaleja kulutetaan tuotteen koko elinkaaren aikana ja sen vaiheissa. Metallien kohdalla se alkaa malmien louhinnasta aina käytöstä poistamiseen, jossa materiaali päätyy joko hävikiin tai kierrätykseen. Kierrätys jatkaa metallien elinkaarta ja näin ollen se säästää sekä raaka-aineita että energiaa. (Kuva 5). (67.)



KUVA 5. Metallin elinkaari (68)

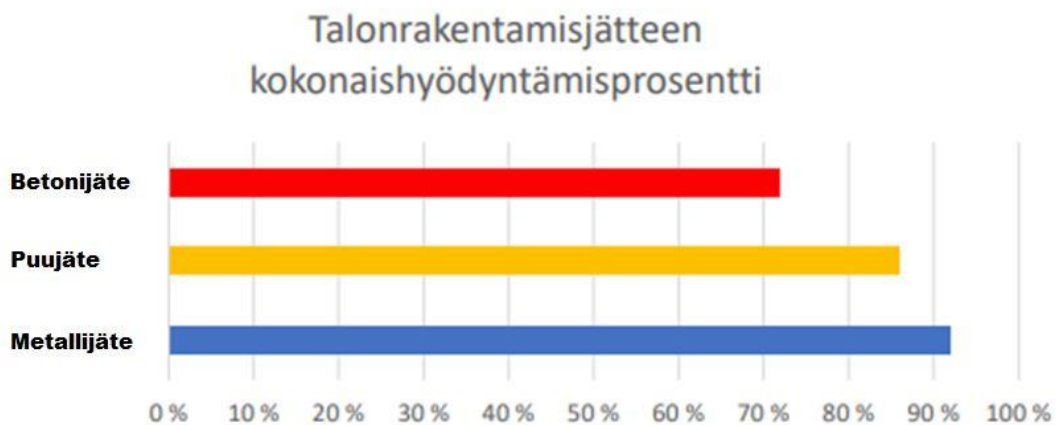
Teräs, kuten muutkin metallit, ovat tärkeitä kierrätystuotteita. Rakennuksista poistettu teräs ja muut metallituotteet voidaan kierrättää käytön jälkeen uuden metallin valmistuksessa. Rakennuksissa käytettyjen metallien elinkaariaikaiset kasvihuonepäästöt eroavat merkittävästi toisistaan. Saman metallin elinkaariarviointitiedot voivat vaihdella paljon tuotteen koostumuksen ja jatkojalostusasteen perusteella. Esimerkiksi teräspalkin kasvihuonepäästöt ovat 1 090 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia valmistettua kiloa kohden, mutta kuumamuokatulla teräslevyllä vastaava päästö on 730 grammaa. (65.)

Kierrätys säästää raaka-aineita ja välttää tarpeetonta energiantuotantoa sekä siihen kiinteästi liittyviä päästöjä. Metallimateriaalien suuri vältettyjen päästöjen osuus johtuu pääosin kierrätysteräksen louhittua terästä huomattavasti pienemmästä hiilijalanjäljestä (kuva 6). (63.)



KUVA 6. Rakennusmateriaalien vältetyt päästöt ja hyödyntäminen (67)

Talonrakentamisessa tuli jätettä vuonna 2010 noin kaksi miljoonaa tonnia, josta metalliromu hyödynnettiin lähes 92 prosenttisesti. Puujätteen hyödyntämisprosentti oli noin 86 prosenttia ja betonijätteen noin 72 prosenttia (kuva 7). (67.)



KUVA 7. Talonrakentamisjätteen kokonaishyödyntämisprosentti vuonna 2010 (67)

Metalliromu käytetään suurelta osin vastaavan metallin tuoteryhmän tuotteiden valmistukseen. Romua käytetään jonkin verran myös muihin tarkoituksiin kuin



metallin valmistukseen. Esimerkiksi monissa kemiallisissa prosesseissa käytetään lähtöaineena metalleja metallittomia materiaaleja valmistettaessa. Metallin kierrätyksen kannalta tällainen romun hyötykäyttö merkitsee sen poistumista kiertokulusta. (65.)

Metallien kierrätys ei ole kertakäyttöisyyden vaihtoehto vaan se on oleellinen ja erottamaton osa joidenkin metallien valmistusta ja käyttöä. Erityistä huomiota olisi kiinnitettävä niiden metallijätteen ympäristövaikutuksiin, joita ei vielä kierrätetä ja jotka eivät palaudu takaisin kierto, kuten esimerkiksi yhdyskuntajäte, josta on vaikea erotella hajallaan olevia pieniä metallimääriä. (65)

Pääosa rakennuksen elinkaaresta liittyy sen käyttövaiheeseen ja purkamiseen, ja siksi laskenta pitäisi tehdä koko elinkaaresta eikä pelkästään rakennusvaiheesta. Teräksen kierrätettävyyttä ei oteta huomioon nykyisissä ympäristölaskelmissa, vaikka samalla korostetaan kiertotaloutta ja sen merkitystä. Esimerkiksi puuta voi rakennuksen purkamisen jälkeen hyödyntää lähinnä polttamalla. (66, s. 12.)

Kierrätykseen liittyvän kiertotalouden päämääränä on pitää rakennusten raaka-aineet ja materiaalit mahdollisimman kauan käytössä. Materiaalien arvo säilyy ja haitalliset ympäristövaikutukset vähenevät. Kiertotalouden visiona on jätteen synnyn vähentäminen ja lopulta jopa jätteen loppuminen. Näillä toimenpiteillä säästetään koskemattomia raaka-aineita sekä vältetään tarpeetonta energiantuotantoa ja siihen kiinteästi liittyviä päästöjä. (63.)

## **5.1 Metallien kierrätys ja ekologisuus**

Seuraavaksi käsitellään kolmen tärkeimmän ja yleisimmän käyttömetallin, teräksen, alumiinin ja kuparin, kierrätystä ja ekologisuutta. Teräksen, alumiinin ja kuparin tuotannon päästöt ovat korkeita, joten ekologisuudella ja kierrätyksellä sekä siihen liittyvällä kiertotaloudella on suuri rooli päästöjen vähentämisessä.

### **5.1.1 Teräksen kierrätys ja ekologisuus**

Teräksen tuotannon hiilidioksidipäästöt syntyvät pääosin masuuniprosesseissa itse raaka-aineista, jotka ovat hiilipitoisia. Tällä hetkellä teräksen valmistuksessa

malmista masuuniprosessilla ei kaksin käytölle pelkistäjänä ei ole todellista vaihtoehtoa valmiina. Hiilidioksidipäästöt ovat suorassa suhteessa käytetyn hiiliraaka-aineen eli kaksin kanssa. (60.)

Teräs on yksi harvoista materiaaleista, jota kierrätetään aidosti suljettuna, mikä tarkoittaa sitä, että terästä ei kierrätyksen yhteydessä kuluteta. Terästä käytetään yhä uudelleen laadun tai vahvuuden heikentymättä. Monista materiaaleista poiketen teräksen laatua ja lujuutta pystytään parantamaan kierrätyksen yhteydessä. Tästä syystä teräs on ekologisesti kestävä materiaali. (59.)

Valmis teräsrakenne ei kuormita ympäristöä, koska se ei eritä epäpuhtauksia. Teräksestä yli 40 prosenttia on kierrätysromua. Suomessa teräksestä valmistetuista käytöstä poistetuista tuotteista noin 94 prosenttia saadaan uusiokäyttöön terästeollisuuden raaka-aineeksi. (43.)

Teräksen isoimmat ympäristövaikutukset syntyvät tuotannon alkupäässä masuuniprosessissa eli terästehtaassa. Kierrätysteräksen valmistus kuluttaa energiaa vain viidesosan verrattuna malmista tehtävään teräkseen, ja sen valmistuksessa käytettävä valokaariuuniprosessi ei juurikaan tuota hiilidioksidipäästöjä, koska raaka-aine eli kierrätysteräs on jo kertaalleen pelkistetty. Mahdollisia hiilidioksidipäästöjä syntyy sulatuksessa käytettävän sähköenergian lähteestä riippuen. Koko maailman kasvihuonepäästöistä noin seitsemän prosenttia syntyy terästeollisuudesta. (60.)

Teräksen tuotannon sivutuotteena syntyy kuonaa, jota käytetään muun muassa betoniteollisuudessa sekä maa- ja tierakentamisessa. Kuonaa syntyy noin 200 kiloa tuotettua terästönna kohden. Masuuniprosessissa syntyvää lämpöä käytetään ympäristökuntien kaukolämpönä. Masuuni- ja koksikaasuja käytetään tuotannon polttoaineena ja koksikaasun puhdistuksessa syntyvät kaasut myydään kemian teollisuudelle. Parhaimmillaan sivutuotteita voidaan hyötykäyttää yli 90-prosenttisesti. (43.)

### **5.1.2 Alumiinin kierrätys ja ekologisuus**

Alumiinioksidi on suurin yksittäinen kustannuserä alumiinin tuotannossa. Bauksiitti on alumiinioksidin lähde ja sen ensisijainen malmi. Alumiinin osuus bauksiitista on noin 25 prosenttia. Bauksiittia louhitaan pääosin trooppisilta alueilta, joilla maaperän rapautuminen on riittävää bauksiitin syntyä varten. Suomesta primaarialumiinia eli bauksiittia ei ole saatavissa. Suomea lähin kaivos sijaitsee Unkarissa. (61.)

Primaarialumiinin eli niin sanotun neitseellisen alumiinin päästöt aiheutuvat elektrolyyssissa eli prosessissa, jossa sähkövirran avulla bauksiitista erotetaan alumiinioksidi. Muita päästöjä ovat prosessin tarvitseman energian tuotanto sekä itse tuotantoprosessi. Merkittävimmät päästöt ovat hiilidioksidi, hiilimonoksidi ja fluoridi. Primaarialumiinin tuotannon päästöt ovat noin 2 prosenttia autoliikenteen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä maailmanlaajuisesti. Energiaa kuluu alumiinikilogrammaa kohden noin 45 kWh/kg, joka on huomattavasti suurempi kuin teräksen 5,5 kWh/kg. (62.)

Alumiini on tehokkaasti kierrätetty metalli. Se on kiertotalouden raaka-aineena ylivertainen, sillä sen ominaisuudet pysyvät lähes samana riippumatta sulatuskertojen määrästä ja sen uusiokäyttö vie vain vähän energiaa. Alumiinista arvioidaan palautuvan kierrätyksen kautta uudelleen käytettäväksi noin 75 prosenttia. Alumiinin sulatus vie vain viisi prosenttia energiaa siitä, mitä primäärialumiinin valmistus ja kuljetus Suomeen vaatisi. Alumiinin sulatuksessa ei vapaudu haitallisia kaasuja, ja prosessissa kuluu vain viisi prosenttia siitä energiasta, jota tarvitaan vastaavan alumiinimäärän valmistamiseen bauksiitista eli noin 2 kWh/kg alumiinia. (62.)

### **5.1.3 Kuparin kierrätys ja ekologisuus**

Kuparin esiintyminen luonnossa täysin puhtaana on harvinaista. Valtaosa kuparista on tuotettu oksidi- ja sulfidimalmeista. Suomen maaperän kuparimalmi on kuparikiisua. (63.)

Kupari on 100 prosenttisesti kierrätettävä metalli. Se ei menetä ominaisuuksiaan kierrätysprosessissa, kuten moni muu metalli. Noin 45 prosenttia Euroopassa

käytettävästä kuparista saadaan kierrätyksen kautta ja se on tehokas tapa saada arvokas ja monipuolinen materiaali takaisin hyötykäyttöön. Arvellaan, että kaikesta kuparista, jota ihmiskunta on vuosituhansien aikana käyttänyt, jopa 80 prosenttia on edelleen käytössä. (63; 64.)

Kierrätetyn kuparin tuotannossa tarvitaan noin 15 prosenttia siitä energiasta, jota tarvitaan primaarituotannossa. Kierrätys säästää maailmanlaajuisesti vuosittain jopa 85 miljoonaa MWh sähköenergiaa ja 30 miljoonaa tonnia hiilidioksidia. (64.)

Kuparin arvo nyky-yhteiskunnan tarpeissa on korvaamaton, mistä johtuen sitä käytetään sulatettuna ja kierrätetään yhä uudelleen ja uudelleen. Kuparin tunnettuja seoksia ovat messinki ja pronssi. (64.)

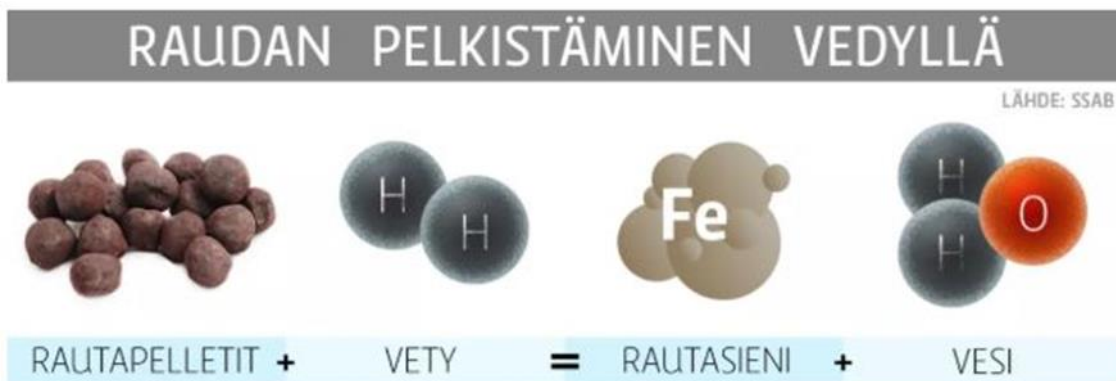
## **5.2 Vetypelkistysprosessi – terästeollisuuden vastaus ekologisiin haasteisiin**

Metallinjalostus on yksi Suomen suurimmista kasvihuonepäästöjen aiheuttajista mutta myös yksi teknologiateollisuuden tärkeimmistä toimialoista. Teknologiateollisuus on sitoutunut hallitusohjelman mukaisesti tavoittelemaan hiilineutraalia Suomea vuoteen 2035 mennessä. (70.)

Väestönkasvun ja kaupungistumisen odotetaan kasvattavan teräksen kysyntää vuoteen 2050 mennessä. Tämänhetkinen kierrätysmetallin hyödyntämisprosentti ei riitä vastaamaan teräksen kysyntään, joten terästeollisuuden hiilijalanjälki luo merkittävän haasteen koko maailmalle. Tällä hetkellä maailman terästuotannon päästöt ovat noin seitsemän prosenttia maailman kokonaispäästöistä. (69.)

SSAB:n Raahen terästehdas tuottaa tällä hetkellä 7,5 prosenttia Suomen hiilidioksidipäästöistä ja 98 prosenttia näistä päästöistä liittyy metallurgisiin prosesseihin eli koksien ja hiilen käyttöön masuuniprosessin pelkisteinä. SSAB on ottanut omat päästönsä vakavasti ja alkanut miettimään vaihtoehtoja koksien korvaajaksi. Teräsyhtiö lupaa, että vuonna 2026 SSAB alkaa tuottaa fossiilivapaata terästä. Tämä tarkoittaisi sitä, että Suomen hiilidioksidipäästöt vähenisivät lähitulevaisuudessa jopa seitsemän prosenttia. (69; 70.)

SSAB tavoittelee fossiilisista polttoaineista vapaata terästä Hybrit-nimellä kulkevassa hankkeessa. Hankkeen tavoitteena on raakauraudan tuotannossa käytettävän saastuttavan koksen ja hiilen korvaaminen päästöttömällä vetykaasulla. Tavoitteena on Hybrit-hankkeen mahdollisen onnistumisen kautta muuttua osaksi ratkaisuja, joilla vähennetään ilmastonmuutosta kiihdyttävää päästöongelmaa. Onnistuessaan uusi vetypelkistysteknologia laskisi teräksen tuotannon hiilijalanjäljen käytännössä nolnaan ja terästehtaan savupiipun päästöt koostuisivat hiilidioksidin sijaan uuden prosessin tuottamasta vesihöyrystä (kuva 8). Vedyn käyttö raakauraudan tuotannossa laskisi valtavasti päästöjä, sillä rautaa tuotetaan kymmenen kertaa enemmän kuin muita metalleja yhteensä. (71; 72.)



*KUVA 8. Raudan pelkistäminen vedyllä (72)*

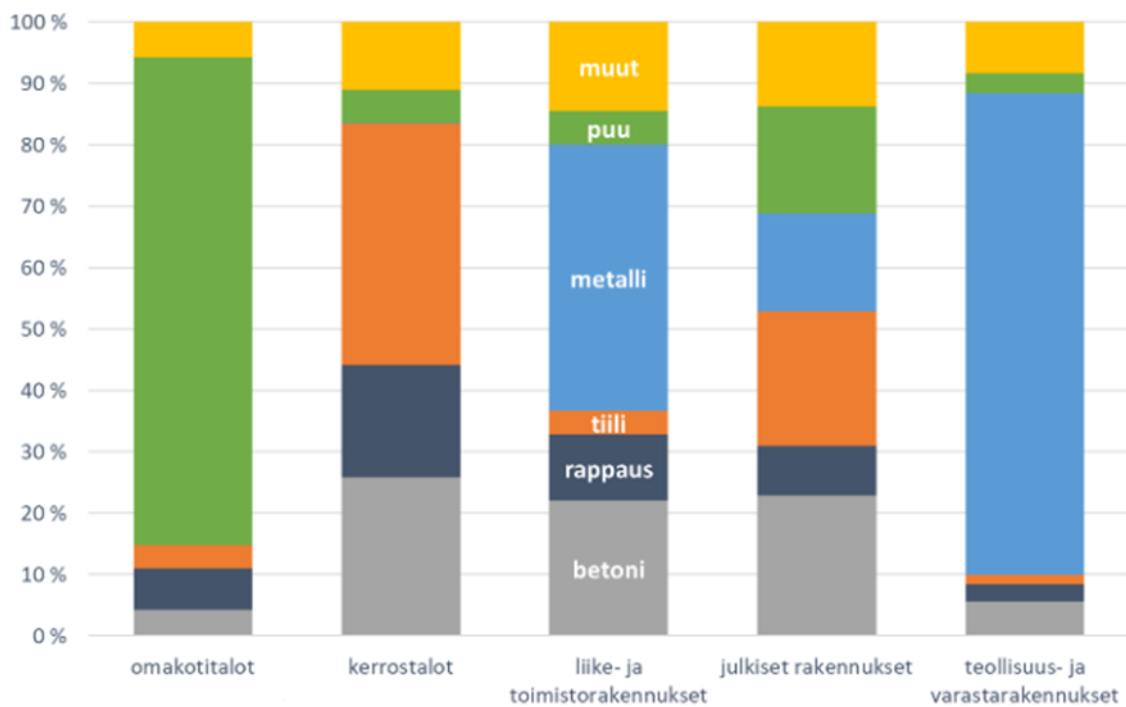
Haasteena uuden vetypelkistysteknologian ja kierrätysteräksen käytössä teräksen tuotannossa olisi teräsvalmistajien sähkönkulutuksen lisääntyminen jopa 6 - 7 - kertaiseksi. Uuden prosessin tarvitseman vedyn tuotanto vaatisi suuria määriä sähköä, sillä vetyä tuotetaan vedestä elektrolyysin eli sähkövirran avulla. Jotta tämä uusi teknologia olisi järkevä, olisi sähkön oltava hiilidioksidivapaasti tuotettua, kuten aurinko-, tuuli- tai ydinvoimaa. Uusi puhtaasti tuotettu teräs tulisi olemaan hinnaltaan kalliimpaa kuin perinteinen, mutta EU:n päästökauppa ja siihen liittyvä hiilidioksidipäästöjen hintojen nousu tulisi tulevaisuudessa hyödyttämään päästövapaasti tuotettua terästä. (70.)

Vedyn valmistamiseen kaavailtu tuulivoima luokitellaan täysin polttoaineenvapaaksi energiaksi, sillä sen käytöstä ei synny päästöjä. Tuulivoiman ainoat hiilidioksidipäästöt syntyvät sen rakennusaikaisista päästöistä, joita ovat valmistus, kuljetus

ja rakentaminen. Tuulivoima tuottaa takaisin sen valmistukseen kuluneen energian noin vuodessa. Vuoden 2017 lopussa Suomen tuulivoimakapasiteetilla tuotettiin sähköä noin 4,8 TWh, joka vastasi 5,6:ta prosenttia Suomen sähkönkulutuksesta. (89; 90.)

## 6 METALLIT JULKISIVUISSA

Metallijulkisivu on yleinen julkisivupinta liike- ja toimistorakennuksissa, noin 40 prosentin osuudella. Yleisimmin se on profiloitu teräsohutlevy joko elementtinä, kasettina tai levynä. Diagrammin mukaan omakotitaloissa ei käytetä tai käytetään hyvin vähän metalliverhouksia. Teollisuus- ja varastorakennuksissa metalliverhoukset muodostavat pääosan, lähes 80 prosentin osuudella. (Kuva 9.) (42.)



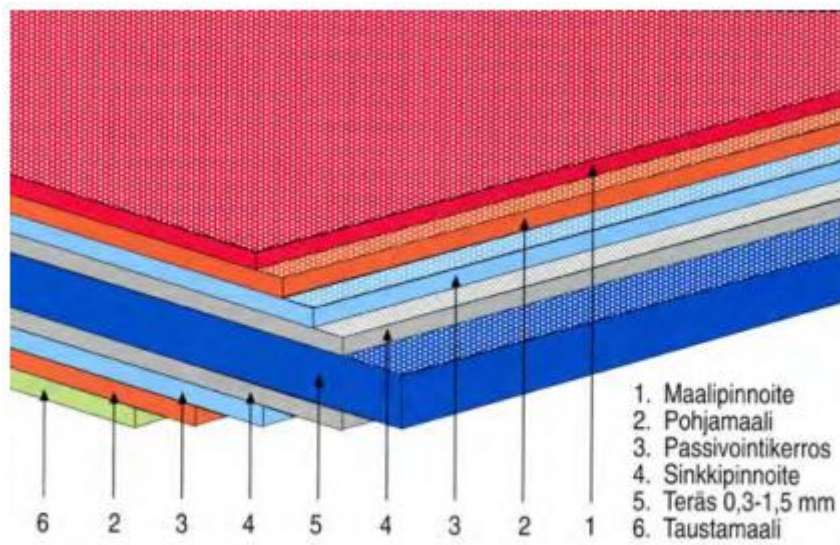
KUVA 9. Julkisivuverhousten osuudet Suomessa (42)

### 6.1 Maalipinnoitettu teräs

Teräksestä valmistettu julkisivupaneeli pyritään maalaamaan aina tehdasolosuhteissa, koska hallituissa sisäoloissa maalattu pinta on kestävä ja maalauksen laatu on tasainen. Tehdasmaalaus asettaa myös vaatimuksia kuljetukselle, kuten kolhujen ja naarmujen välttämistä. Maalin tyyppi valitaan aina kohteen vaatimusten, kuten maalauspinnan, kestoajan ja ulkonäön mukaan. Monet tehtaot käyttävät pinnoitetuissa paneeleissaan PVDF-maalipinnoitetta, eli kestumuovia, jonka kemiallinen kestävyys, mekaaninen lujuus ja lämmönkestävyys on todettu hyväksi. Paneelit on esikäsitelty sinkillä korroosion kestävyuden varmistamiseksi. PDVF-

pinnoitetut julkisivutuotteet on helppo pitää puhtaana maalipinnan pienen kitka-kertoimen ansiosta. Haittapuolena voidaan pitää pinnoitteen herkkyyttä mekaanisille rasituksille ja taivutuksille. (43.)

Maalaus parantaa myös sinkityn, säänkestävän ja ruostumattoman teräksen korroosionkestävyyttä. Orgaanisesti pinnoitetun ohutlevyn käyttöikä on yleensä yli 50 vuotta. Orgaanisia pintoja ovat esimerkiksi PVDF, polyesteri ja PVC-plastisoli (kuva 10). (43; 54.)



Maalipinnoitettu teräslevy

KUVA 10. Maalipinnoitettu teräslevy (43)

## 6.2 Sinkkipinnoitettu teräs

Julkisivuissa voidaan käyttää myös sinkittyä teräsohutlevyä, jota ei ole maalattu. Sinkitys tarkoittaa sitä, että teräslevyn pintaan lisätään ohut kerros puhdasta tai seostettua sinkkiä. Sinkillä on hyvä korroosionkestävyys, koska sen pintaan muodostuu ohut emäksinen sinkkikarbonaattikerros, joka estää hapettumisen. Tästä syystä sinkki soveltuu hyvin olosuhteille alttiina oleville pinnoille. Sinkkikerros hidastaa teräksen syöpymisnopeutta kymmenesosaan. Naarmujen ja kolhujen kohdalla sinkkipinta suojaa terästä sähkökemiallisesti, jolloin sinkkiyhdisteet kulkeutuvat katodille eli teräkselle ja saostuvat sekä muodostavat suojaavan kalvon. Sinkkipinta voidaan maalata jälkeempään. Sinkityn teräsohutlevyn kestoiäksi on arvioitu yli 60 vuotta suotuisissa olosuhteissa. (54; 73; 74.)



Ulko-olosuhteissa on käytettävä suunnitelma-asiakirjojen mukaisia kuuma-alumiinisinkittyjä tai kuumasinkittyjä teräsohutlevyjä. Levyjen on oltava teräsosaltaan vähintään 0,35 mm paksuja. Patinoititasoilla voidaan säädellä sinkkipinnan värisävyjä. Patinoituneen sinkin väritys on tummanharmaa. (Kuva 11.) (54; 74.)



*KUVA 11. Sinkin pintakäsittelyjä, joista keskimmäisenä on patinoituneen sinkin väritys (74)*

### **6.3 Säänkestävä teräs eli Cor-Ten**

Säänkestävä Cor-Ten on teräslaatu, johon on lisätty säänkestävyyden parantamiseksi seosaineita. Pieni määrä fosforia, kromia, nikkeliä ja kuparia teräksen joukossa muodostaa teräksen pintaan ohuen korroosiota hidastavan oksidi- eli ruostekerroksen, kun pinta saa vapaasti kastua ja kuivua ulkoilmassa. Kuivuminen on välttämätöntä ruostekerroksen muodostamiseksi. Ruostetta ei muodostu, jos olosuhteet ovat yksipuoliset eli kosteus pysyy alle 60 prosentissa. (43.)

Oksidikerros on väriltään punaruskea ja sen muodostuminen eli hapettumisprosessi kestää tavallisesti 2 – 6 vuotta, mutta sitä voidaan nopeuttaa pinnan säännöllisellä kastelulla. Oksidikerrosta kutsutaan myös patinaksi. Ajan myötä pinnan punaruskea väri muuttuu tummanruskeaksi (kuva 12). Säänkestävän ohutlevyverhouksen vähimmäispaksuudeksi suositellaan 1,5:tä millimetriä. (54; 73, s. 37; 76.)



*KUVA 12. Säänkestävän teräslevyn eli Cor-Tenin patina (77)*

## 6.4 Kupari

Kuparin ominaisuudet ei-ferriittisenä eli raudattomana materiaalina tekevät siitä hyvän vaihtoehdon alueille, jossa metalli on jatkuvassa kontaktissa veden kanssa tai se on altistettu vaativille sääolosuhteille. Kupari muodostaa pinnalleen oksideja sisältävän kerroksen, joka suojaa metallia syöpymiseltä. Ilmiönä se on sama kuin Cor-Ten-teräksen ruostuminen, jolla on materiaalia suojaava vaikutus. (41, s.152–154.)

Kupari on helposti työstettävä materiaali pehmeytensä ansiosta, mutta se ei sovi kantaviin rakenteisiin. Kuparin helppo muovailtavuus, korroosionkestävyys ja antibakteerisuus tekevät siitä oivan materiaalin talojen julkisivuun. Kupariorhutelevyn vähimmäispaksuus julkisivuissa on 0,6 millimetriä. (54.)

Kuparilevy voidaan esipatinoida monen väriseksi (kuva 13). Esipatinan hyödyksi voidaan nähdä pinnan vähempi muuttuminen ajan kuluessa. Uusi kupari on kiiltävää ja punertavaa. Kuparin luonnollinen patina on vihertävä. (73, s. 38.)



*KUVA 13. Kuparilevyn pintakäsittelyjä (78)*

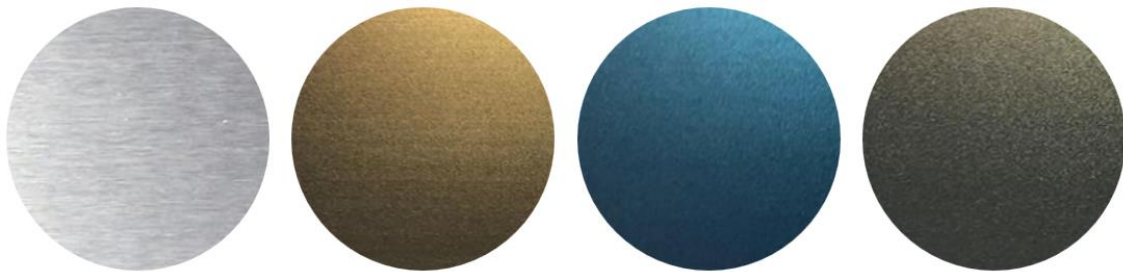
## 6.5 Ruostumaton teräs

Ruostumaton teräs eli kromiteräs on tiivis ja korroosionkestävä materiaali. Se on rautaseos, johon on seostettu vähintään 10,5 prosenttia kromia ja 1,2 prosenttia hiiltä. Kromi parantaa korroosionkestoa ja muodostaa hapen kanssa teräksen pinnalle passiivisen kromioksidikalvon, joka vahingoittuessa uusiutuu. (43.)

Ruostumatonta terästä käytetään silloin, kun rakenteen on kestettävä pitkään ja sen huollon on oltava helppoa. Ruostumattoman teräsohutelevyn vähimmäispak-

suus on 0,4 mm. Muihin teräksiin verrattuna ruostumattomalla teräksellä on pienempi lämmönjohtavuus, mutta vastaavasti lämpölaajeneminen on suurempaa, mikä on huomioitava erityisesti liitoksissa. (43; 54; 79.)

Ruostumattoman ohutlevyn pinta voidaan hioa eri tavoin tai käyttää erilaisia kuviointeja. Pintakäsittelyt tehdään yleensä käyttötarkoituksen ja ulkonäön perusteella. Ruostumattomien terästen ominaisuudet mahdollistavat ohuiden ainevahvuuksien käyttämisen olosuhteissa, joissa ilmastorasitus on merkittävä. Ruostumattomia teräsohutlevyjä on saatavilla useilla erilaisilla pintakäsittelyillä ja ne voidaan värjätä höyrytetyllä titaaniseoksella (kuva 14). (79.)



*KUVA 14. Ruostumattoman teräsohutlevyn pintakäsittelyjä (80)*

## **6.6 Alumiini**

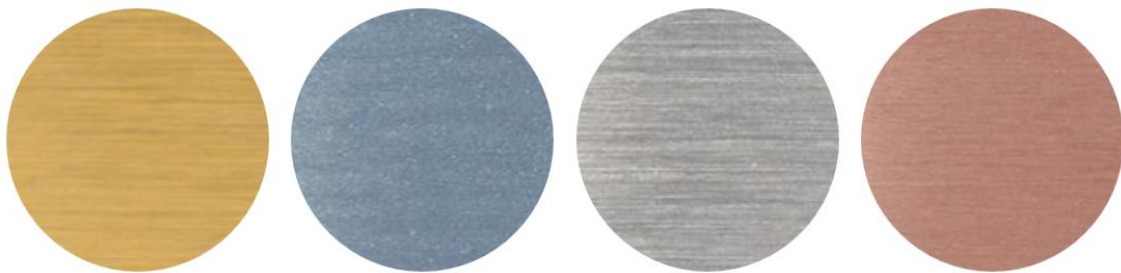
Alumiini on teräksen jälkeen käytetyin metalli rakentamisessa. Sen eduiksi voidaan luetella keveys, korroosionkestävyys sekä helppo työstettävyys. Alumiinin ollessa kosketuksissa hapen kanssa sen pintaan muodostuu ohut 5-10 nanometrin paksuinen oksidikerros. Tämä kerros suojaa metallia ja parantaa sen korroosionkestävyyttä. Kerros on veteen liukenematon ja se kestää monia syövyttäviä kemikaaleja. Oksidikerroksen kovuus vastaa lasin kovuutta. (62; 82.)

Alumiinin luonnollista oksidikerrosta voidaan lisätä sähkökemiallisella pintakäsittelyllä, elektrolyysikylvyllä, jota kutsutaan anodisoinniksi. Anodisointia voidaan käyttää myös alumiinin pinnan värjäämiseen. (83.)

Alumiinin kestävyys on erinomainen verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Se kestää useita vuosikymmeniä ilman huoltotoimenpiteitä useimmissa asuinympäristöissä. (84.)

Seostamaton puhdas alumiini on hyvin pehmeää, joten siihen useimmiten sekoitetaan vahvuuden lisäämiseksi muita metalleja. Kupari ja magnesium ovat yleisiä sekoitteita alumiinin kanssa. Kupari ja magnesium lisäävät alumiiniseoksen lujuutta ja kovuutta. Duralumiini on yleisesti ilmailussa käytetty alumiiniseos. Siinä seosaineena toimii magnesium. (82.)

Alumiinimateriaalien pinnan sävyihin ja kuviointiin voi vaikuttaa harjauksella ja lakkapinnan värjäyksellä (kuva 15). Ulkoverhouksissa käytettävän alumiinilevyn vähimmäispaksuudeksi suositellaan 0,6:ta millimetriä. (54.)



*KUVA 15. Alumiinin pintakäsittelyjä (85)*

## **6.7 Julkisivujen ilmastorasitusluokat**

Julkisivumateriaalit reagoivat ilmakehän eri kaasujen ja elektrolyyttien kanssa. Reaktioiden taso ja reaktionopeus ovat riippuvaisia ilmastollisista olosuhteista ja julkisivumateriaalista. Ilmastollisia olosuhteita ovat muun muassa kosteus, ilman saasteet ja suolapitoisuus. (86.)

Ilmastorasitukset on jaettu eri luokkiin (taulukko 1). C1-luokka on kaikista lievin ja C5 ankarin. Materiaalien ja pinnoitteiden valmistajat voivat näiden luokkien avulla määritellä, millaiseen rasitusluokkaan heidän tuotteensa sopivat (taulukko 2). (86.)

**TAULUKKO 1. Ilmastorasitusluokat C1 – C5 ulkopinnoille (86)**

Ympäristöolosuhteiden luokka, SFS-EN ISO 12944-2	Ulkopinnat
C1, hyvin lievä	Kuiva ja lämmin tila.
C2, lievä	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä on pieni. Enimmäkseen maaseutualueita.
C3, kohtalainen	Kaupunki- ja teollisuusilmasto, jossa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.
C4, ankara	Teollisuusalueet, joilla kohtalainen suolapitoisuus.
C5-I, hyvin ankara (teollisuus)	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmastolla syövyttävä vaikutus.
C5-M, hyvin ankara (meri)	Rannikkoalueet ja rannikon ulkopuoliset alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.

**TAULUKKO 2. Pintakäsittelyt ja ilmastorasitusluokat Ruukki Oyj:n valmistamille julkisivuverhousmateriaaleille (91)**

Materiaali	Pintakäsittely	Ilmastorasitusluokka
Teräs	PVDF	C3
Alumiini	Harjattu, lakka	C4
Ruostumaton teräs	Harjattu, luonnollinen matta	C4
Kupari	Esipatinoitu	C4
Cor-Ten	Ei pinnoitetta	C4

## 7 JULKISIVUVERHOILUJEN VERTAILU

Opinnäytetyössä vertailtiin kahta pientalon perinteistä ulkoverhousta, puuverhoilua ja tiiliverhoilua, metalliverhoukseen. Vertailussa keskityttiin pääosin eri ulkoverhoustyyppien hintojen, painojen, työmenekkien ja hiilidioksidiekvivalenttien tarkasteluun. Vertailussa pyrittiin selvittämään metalliverhousten eri ominaisuuksien teknisiä arvoja perinteisiä verhouksia vastaan. Vertailun tavoitteena oli siis selvittää, kuinka kannattavaa on metalliverhouksen käyttö pientalon ulkoverhouksena niin kustannuksien kuin ympäristöarvojen kannalta.

Vertailun puu- ja tiiliverhous edustavat Suomen yleisimpiä pientalon julkisivuverhouksia ja metalliverhous pääosin teollisuusrakentamisesta tuttua ulkoverhousta. Metalliverhouksena käytettiin teräksestä tehtyä sinkkipohjamaalattua ja PVDF-pinnoitettua seinäpeltiä.

Materiaalien vertailussa käytettiin esimerkkinä kuvitteellista 100 neliömetrin pientaloa, jonka ulkoseinien yhteispinta-ala normaalissa harjakattoisessa mallissa on noin 150 neliometriä. Rakennuksen ulkoseinän aukotuksia, eli ikkunoita, ovia ja läpivientejä ei laskettu mukaan eikä rakennesuunnitelmia ja logistisia kustannuksia määritelty. 10 prosentin materiaalihukkaa ei otettu huomioon laskennassa.

### 7.1 Materiaalikustannukset

Materiaalien hinnoittelussa sekä niiden määrittelyssä käytettiin Taloon.comin ja Stark Oy:n verkkosivustoja. Edellä mainituista verkkokaupoista määritettiin ulkoverhousmateriaalien kustannukset ja ominaisuudet, kuten painot, määrät, hyötylevyydet ja yksikköhinnat. Kaikki vertailussa käytetyt hinnat ovat arvonlisäverollisia ja valitut tuotteet ovat kategoriansa halvimmasta päästä. Kuorimuurauksen materiaalimenekit laskettiin Rakennusmaailman tiili- ja laastilaskurilla, jolla saatiin suuntaa antavat lukemat tiilien ja muurauslaastin menekille.

Taulukossa 3 on esitetty kuorimuurauksessa käytettävät tuotteet, jotka valittiin tavanomaisimmista ja edullisimmista vaihtoehdoista. Näin voitiin välttää vääristymät hinnoittelussa eri julkisivuvaihtoehtojen välillä. Tiilimateriaaliksi valittiin moduulikokoinen reikätiili (MRT), joka oli mitoiltaan 285x85x60 millimetriä.

### TAULUKKO 3. Kuorimuurauksen materiaalikustannukset

KUORIMUURAUUS		
Tuote	Määrä	Hinta yht.
Tiili MRT	7050 kpl	4 300,50 €
Laasti	7755 kg	1 783,65 €
Tiilisidenaula	750 kpl	487,35 €
<b>Kokonaishinta yhteensä</b>		<b>6 571,50 €</b>

Metalliverhouslevyksi valittiin Taloon.com-kaupan valikoimista suomalaisen Weckman Oy:n valmistama 0,45 millimetrin paksuinen profiloitu seinälevy. Levyn kiinnitysalustaksi valittiin täyssärmäinen laatuluokka A:n kuusirima, joka on mitoiltaan 22x50 millimetriä. Taulukosta 4 voidaan todeta metalliverhoukseen valitut tuotteet kokonaishintoineen.

### TAULUKKO 4. Metalliverhouksen materiaalikustannukset

METALLIVERHOUS		
Tuote	Määrä	Hinta yht.
Seinälevy 0,45mm	150 m2	1 243,50 €
Kiinnityslauta 22x50 k600	250 jm	117,50 €
<b>Kokonaishinta yhteensä</b>		<b>1 361,00 €</b>

Puuverhoiluvaihtoehto valittiin Taloon.com-verkkokaupan valikoimista ja se oli suositeltu 23 millimetrin ulkoverhouspaneeli. Paneloinnin suunnaksi valittiin vaakanelointi, joka on hieman pystyverhoilua halvempi, koska koolaus tehdään vain pystysuuntaan. Paneloinnin kiinnitysalustaksi valittiin täyssärmäinen laatuluokka A:n kuusirima mitoiltaan 22x50 millimetriä. Taulukossa 5 on esitetty puuverhoukseen valitut tuotteet kokonaishintoineen.

### TAULUKKO 5. Puuverhouksen materiaalikustannukset

PUUVERHOUS		
Tuote	Määrä	Hinta yht.
Kiinnityslauta 22x50 k600	250 jm	117,50 €
Vaakapaneeli 23x120 UTV	1578 jm	3 092,88 €
<b>Kokonaishinta yhteensä</b>		<b>3 210,38 €</b>

Kuten taulukoista 3 - 5 voidaan nähdä, tuli metalliverhous materiaalikustannuksiltaan vaihtoehtoista edullisimmaksi. Metalliverhoukseen tarvittavien tuotteiden hinta oli noin 20 prosenttia kuorimuurin tekemiseen tarvittavien rakennusmateriaalien kustannuksista. Puuverhouksen tarvikkeiden kustannukset muodostuivat yli puolet suuremmiksi kuin metalliverhouksen. Taulukossa 6 on esitetty eri materiaalikustannusten erot verhoustyypeittäin.

### TAULUKKO 6. Vertailun julkisivuverhousten materiaalikustannukset

MATERIAALIKUSTANNUKSET VERHOUSTYYPEITTÄIN		
Verhoustyyppi	Verhousmateriaali	Hinta yht.
Kuorimuuraus	Tiili MRT 285x85x60	6 571,50 €
Metalliverhous	Seinälevy 0,45	1 361,00 €
Puuverhous	Vaakapaneeli 23x120 UTV	3 210,38 €

## 7.2 Julkisivurakennustöiden työmenekit

Tässä vertailussa käytettyjen julkisivuverhousmateriaalien, kuten peltiverhouksen, puuverhouksen ja kuorimuurausten, edeltävät työvaiheet on suoritettu (taulukot 7, 8 ja 9), joten niitä ei oteta laskennassa mukaan. Edeltäviin työvaiheisiin kuuluvat tarkastukset, liittyvät rakenteet, materiaalit ja kalustot, rakennustelineet ja suojaukset. Rakennusmateriaalit on jo siirretty työmaalle työpisteen välittömään yhteyteen. Ulkoverhousten työmenekkien laskennassa ei ole otettu huomioon asennusolosuhteita eikä 10 prosentin materiaalihävikkiä.

Työmenekit on laskettu Talonrakennusteollisuus Ry:n Rakennustöiden menekit 2020 -kirjan menekkitiedoilla. Jokaisen osion lopuksi laskettiin julkisivuverhoilun työveloitus, jonka arvioitiin olevan toiminimellä toimivalle yrittäjälle 35 euroa tun-



nilta. Työveloitus kattaa muun muassa työn teosta aiheutuneet kulut, työvälinehankinnat, arvonlisäverot, työnantajamaksut, vakuutukset ja loma- ja sairausajan toimeentulon.

Kuorimuurauksen työmenekki saadaan laskemalla kohteen työsisällöt (tth/m<sup>2</sup>) yhteen (taulukko 7). Työmenekistä johdetaan tehollinen työaika kertomalla se työn laajuudella (m<sup>2</sup>). Teholliseksi ajaksi eli työvuoroajaksi 150 neliön puhtaaksi muuratulle kuorimuuraukselle saatiin 106,5 tuntia. Sitä korjataan tiili-muurauksen suoritemääräkertoimella 1,10. Kerroin on suhteessa julkisivumuurauksen pinta-alaan, joka tässä tapauksessa on alle 200 neliötä. Suoritemääräkertoimella kerrottuna saadaan kokonaistyöaika eli työnvaihe aika, joka on 117,15 tuntia. Kokonaistyöaikaa kerrotaan tuntiveloituksella (35 €/tunti), josta saadaan kokonaistyöveloitus. Kuorimuurauksen kokonaistyöveloitukseksi saadaan noin 4 100 euroa.

#### *TAULUKKO 7. Kuorimuurauksen työmenekki*

KUORIMUURAUUS	
Työsisältö	
Laastin valmistus	0,32 tth/m <sup>2</sup>
Muuraustyö	0,38 tth/m <sup>2</sup>
Lopettavat työt	<u>0,01 tth/m<sup>2</sup></u>
yhteensä	0,71 tth/m <sup>2</sup>

Puuverhouksen työmenekki saadaan laskemalla kohteen työsisällöt (tth/m<sup>2</sup>) yhteen (taulukko 8). Työmenekistä johdetaan tehollinen työaika kertomalla se työn laajuudella (m<sup>2</sup>). Teholliseksi ajaksi eli työvuoroajaksi 150 neliön puuverhoukselle saatiin 52,5 tuntia. Sitä korjataan puuverhouksen suoritemääräkertoimella 1,025. Kerroin on suhteessa julkisivuverhouksen pinta-alaan, joka tässä tapauksessa on alle 200 neliötä. Suoritemääräkertoimella kerrottuna saadaan kokonaistyöaika eli työnvaihe aika, joka on 53,81 tuntia. Kokonaistyöaikaa kerrotaan tuntiveloituksella (35 €/tunti), josta saadaan kokonaistyöveloitus. Puuverhouksen kokonaistyöveloitukseksi saadaan noin 1 890 euroa.

#### *TAULUKKO 8. Puuverhouksen työmenekki*

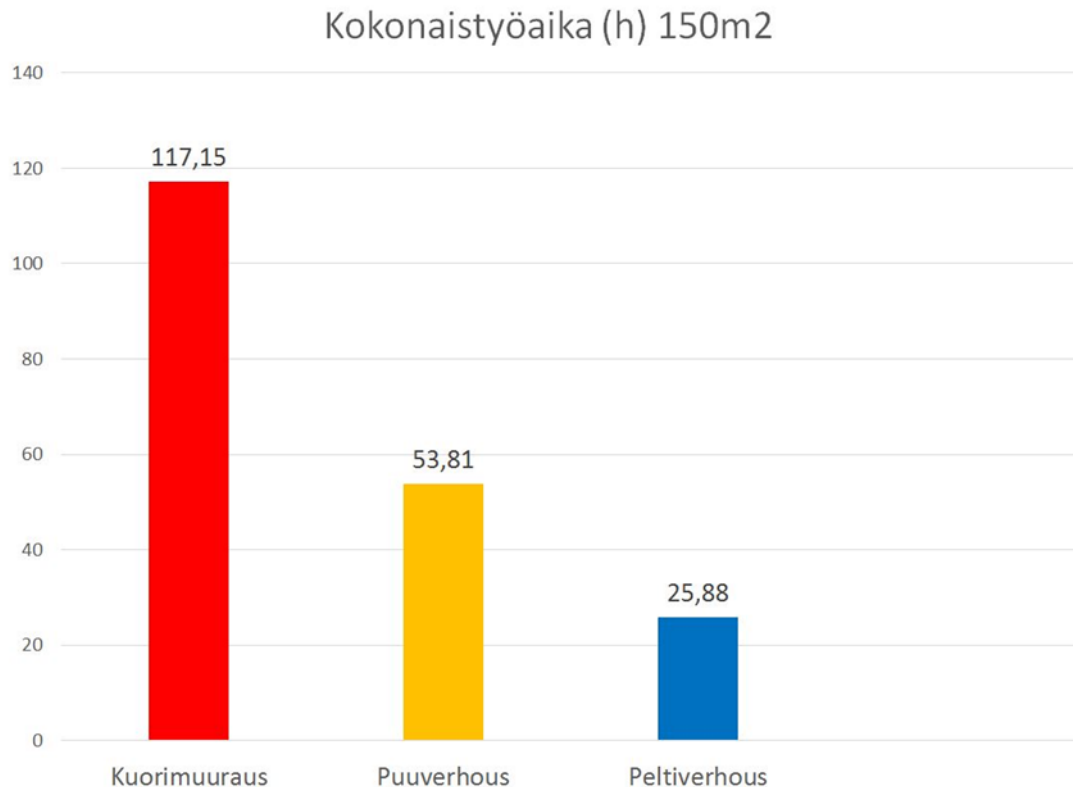
PUUVERHOUS	
Työsisältö	
Koolaus yksinkertainen	0,04 tth/m <sup>2</sup>
Ponttilaudoitus	0,30 tth/m <sup>2</sup>
Lopettavat työt	<u>0,01 tth/m<sup>2</sup></u>
yhteensä	0,35 tth/m <sup>2</sup>

Peltiverhouksen työmenekki saadaan laskemalla kohteen työsisällöt (tth/m<sup>2</sup>) yhteen (taulukko 9). Työmenekistä johdetaan tehollinen työaika kertomalla se työn laajuudella (m<sup>2</sup>). Teholliseksi ajaksi eli työvuoroajaksi 150 neliön peltiverhoukselle saatiin 22,5 tuntia. Sitä korjataan peltiverhouksen suoritemääräkertoimella 1,15. Kerroin on suhteessa julkisivuverhouksen pinta-alaan, joka tässä tapauksessa on alle 200 neliötä. Suoritemääräkertoimella kerrottuna saadaan kokonaistyöaika eli työnvaihe aika, joka on 25,88 tuntia. Kokonaistyöaikaa kerrotaan tunti-veloituksella (35 €/tunti), josta saadaan kokonaistyöveloitus. Kuorimuurauksen kokonaistyöveloitukseksi saadaan noin 910 euroa.

TAULUKKO 9. Peltiverhouksen työmenekki

PELTIVERHOUS	
Työsisältö	
Koolaus	0,05 tth/m <sup>2</sup>
Vaakaverhouksen asennus	0,09 tth/m <sup>2</sup>
Lopettavat työt	<u>0,01 tth/m<sup>2</sup></u>
yhteensä	0,15 tth/m <sup>2</sup>

Kuten kuvasta 16 havaitaan, on pelti kokonaistyömenekiltään pienin vertailtavista julkisivuverhouksista. Puuverhouksen noin 53,8 tunnin työmäärä on noin puolet suurempi kuin peltiverhouksen ja puolet pienempi kuin tiiliverhouksen.



*KUVA 16. Vertailun julkisivuverhousien kokonaistyöajat*

Peltiverhouksen työmenekin pienempään määrään vaikuttaa hyvin vahvasti sen asennusyksikköjen suurempi koko ja helpompi asennus sekä hyötyleveys verrattuna tiileen tai puuverhokseen.

### 7.3 Painovertailu

Painovertailua käytettiin lähinnä hiilidioksidiekvivalentin eli ulkoverhouksen hiilijalanjäljen laskentaan. Painot syötettiin VTT:n kehittämään rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökaluun, jota käsitellään luvussa 7.4 Hiilidioksidiekvivalentti. (92.)

Teräs on julkisivuverhouksista kevein, vaikka se on kuutiopainoltaan jopa kolminkertaisesti painavampaa kuin tiili. Peltiverhouksen painoksi saatiin 529,5 kilogrammaa. Puuverhoilun painoksi laskettiin 1 578 kilogrammaa, joka oli noin kolminkertainen peltiverhokseen nähden mutta reilusti kevyempi kuin kuorimuurin tiiliverhous, jonka painoksi saatiin 23 970 kilogrammaa.

Huomioitavaa on myös se, että painava julkisivumateriaali vaikuttaa myös logistiikkakustannuksiin ja rakennesuunnitteluun. Vaihtamalla kevyempään julkisivumateriaaliin voidaan mahdollisesti vaikuttaa materiaalikuljetusten kustannuksiin ja päästöihin sekä käytettäviin rakenneratkaisuihin. Talon perustukset eivät välttämättä joudu pelti- tai puuverhouksen alla niin suurelle rasitukselle kuin esimerkiksi painavamman tiiliverhouksen alla.

#### 7.4 Hiilidioksidiekvivalentti

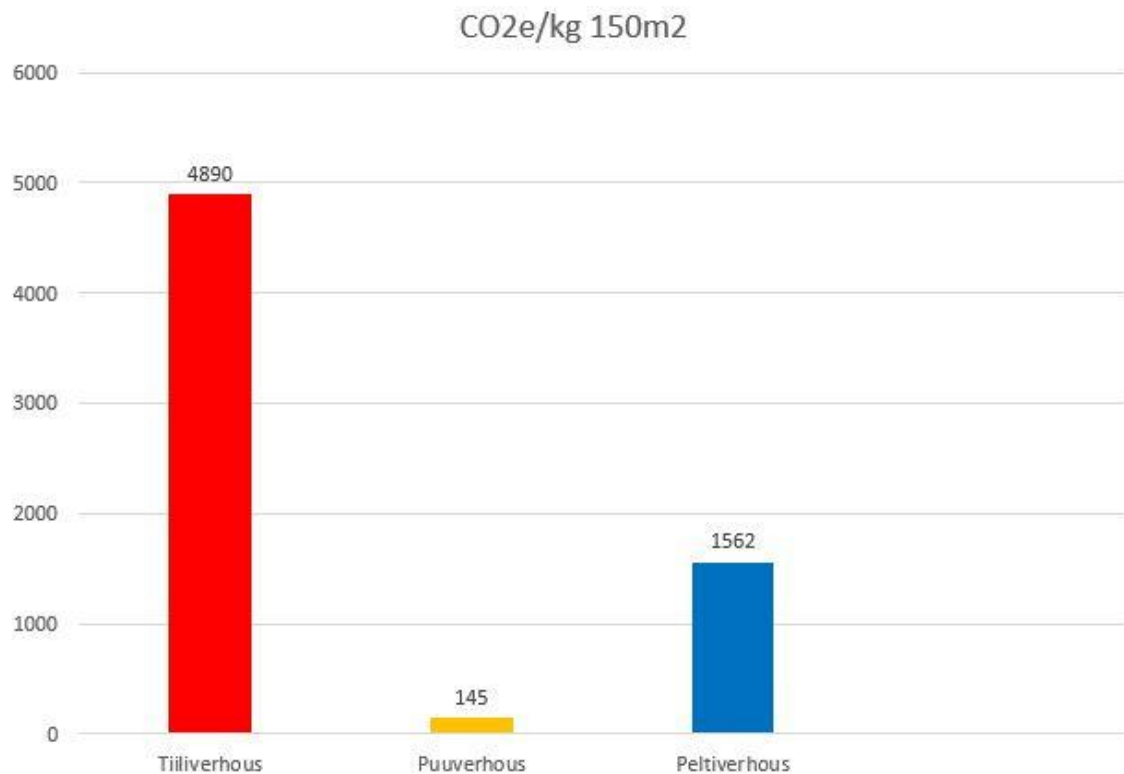
Hiilidioksidiekvivalentin laskennassa käytettiin VTT:n ja Ympäristöministeriön kehittämää rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalun luonnosversiota, joka on julkaistu 9.12.2019. Työkalu on tarkoitettu rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen arviointiin. (92.)

Hiilidioksidiekvivalentti on kasvihuonepäästöjen yhteismitta, jonka avulla lasetaan erityyppisten kasvihuonekaasujen vaikutusta kasvihuoneilmiön voimistumiseen. Ekvivalentti tarkoittaa päästöjen yhteismitallistamista eli niiden muuttamista hiilidioksidiksi lämmityspotentiaalikerroimen avulla. Lämmityspotentiaalikerroin ilmaisee kasvihuonekaasun aiheuttaman lämmitysvaikutuksen suhteellisen voimakkuuden tietyn ajan kuluessa verrattuna hiilidioksidin massayksikköä kohden. Hiilidioksidiekvivalentin yksikkö on kgCO<sub>2</sub>e/kg ja siihen lasketaan hiilidioksidi-, metaani- ja typpioksiduulipäästöt (taulukko 10). (88.)

*TAULUKKO 10. Laskennassa käytettyjen julkisivumateriaalien päästötiedot (92)*

Materiaalit	Hiilijalanjälki	Yksikkö	Vaihtoväli (a)
Teräslevy + maali	2,846	kgCO <sub>2</sub> e/kg	50
Muurattu rak.poltettu tiili	0,204	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Ei vaihdeta
Puupaneeli	0,092	kgCO <sub>2</sub> e/kg	50

Kuvan 17 graafi havainnollistaa kolmen eri julkisivuverhouksen tuottamia hiilijalanjälkiä. Graafiin on laskettu jokaisen ulkoverhouksen yhteismitalliset kasvihuonepäästöt, jotka on saatu kertomalla verhoilun kokonaispaino (kg) hiilidioksidiekvivalentilla (kgCO<sub>2</sub>e/kg).



*KUVA 17. Julkisivumateriaalien hiilidioksidiekvivalentti*

Kuvasta 17 havaitaan, että 150 neliömetrin tiiliverhous tuottaa 4 890 kilogramman hiilidioksidiekvivalenttipäästöillä yli kolminkertaiset päästöt verrattuna peltiverhoukseen ja yli 30-kertaiset päästöt verrattuna puuverhoukseen. Puun 145 CO<sub>2</sub>e/kg:n päästöt 150 neliötä kohden ovat vertailun alhaisimmat (kuva 17). Vaikka peltiverhouksen kilokohtaiset hiilidioksidipäästöt ovat kiloa kohti suuremmat kuin tiiliverhouksella, on se neliöpainoltaan huomattavasti kevyempi kuin tiiliverhous. Tästä syystä 150 neliömetrin peltiseinä on hiilidioksidiekvivalenttiltaan pienempi kuin tiiliseinä. Laskennassa ei otettu huomioon hiilikädenjäljen vaikutusta eli tuotteen tai prosessin ilmastohyötyjä.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja vertailla teräsverhoilua puu- ja tiiliverhoiluihin muun muassa materiaalikustannusten ja hiilijalanjäljen kautta. Ilmastonmuutoksessa perinteisten materiaalien säänkestävyys tuottaa kysymyksiä, minkä vuoksi haluttiin selvittää teräksen ja muiden julkisivurakentamiseen soveltuvien metallien mahdollisuuksia niin taloudellisin kuin ekologisin perustein.

Työssä käsiteltiin sateita ja tuulia sekä niiden vahvistumista ilmastonmuutoksen myötä. Ennustetut runsastuvat sateet ja tuulet sekä ennen kaikkea niiden yhdistelmä eli viistosaderasitus tulee ilmastonmuutoksen myötä yleistymään ja luomaan sääpainetta Suomen pientalokannalle, jotka ovat julkisivultaan pääosin tiili- ja puurakenteisia.

Suomen pientalojen julkisivut ja eritoten puu hygroskooppisena eli kosteutta imevänä materiaalina joutuu voimistuvien haasteiden eteen ilmastonmuutoksen edessä. Kosteuden aiheuttama puumateriaalin kutistuminen ja laajentuminen voi luoda riskialtista kosteuselämistä puisille ulkokuorille. Tulevaisuuden kosteammat sääolot tulevat nostamaan puisten julkisivurakenteiden lahoamisen ja homehtumisen riskiä. Puuverhousten käyttöikä eli elinkaari saattaa ilmastonmuutoksen myötä lyhentyä. Puuverhouksen tiheämmästä uusimisvälistä huolimatta se silti pärjää 200 vuoden vertailujaksollakin pelti- ja tiiliverhouksen elinkaaren hiilijalanjäljelle.

Tiilirakenteiden taipumus imeä kosteutta voi aiheuttaa ulko-olosuhteille alttiiden tiilirakenteiden lisääntyvää rapautumista ja halkeilua, jonka pääaiheuttaja on pakkasrasitus, joka talviaikaan jäädyttää tiilen ja laastin huokosiin jääneen kosteuden. Vesi jäätyessään ja laajentuessaan rasittaa, rikkoo ja rapauttaa rakenteita. Leudommat talvet ja lisääntyvät talvisateet tulevat lisäämään rapautumisen riskiä.

Työssä puun ja tiilen vaihtoehdoksi tarjotut metallimateriaalit ovat suurten päästöjensä takia osittain syyllisiä tämän hetken ympäristöongelmiin, mutta ne voivat tarjota myös ratkaisun. Lisääntyvä ympäristötietoisuus niin tuottajien kuin kuluttajien piirissä luovat painetta kehittää uusia ekologisesti kestäviä ratkaisuja niin

metallien tuotantoon kuin myös niiden kiertotalouden tehostamiseen. Huomioitavaa on myös se, että vaikka teräksen valmistus on suuripäästöinen suhteessa puuhun, on se kiertotalouden perspektiivistä nähden erinomainen. Käyttöikänsä jälkeen terästä voidaan kierrättää lähes ikuisesti ja siten vähentää sen tuotannon hiilijalanjälkeä. Puuta hyödynnetään käyttöikänsä jälkeen pääosin polttamalla sitä energiaksi, joka vapauttaa puuhun sitoutuneen kasvihuonekaasun, hiilidioksidin.

Metallimateriaalien kyky kestää ja vastustaa ilmankosteutta voi tarjota vaihtoehdon erityisesti sateisille ja tuulisille rannikkoalueille. Metallisten ohutlevyjen pinnat ovat sekä vedenpitäviä että lujia ja ne kestävät suhteellisen paljon säärasitusta. Täysin ongelmattomia eivät metallitkaan ole, sillä ennustettu tulevaisuuden kosteampi ilmasto ja ilmansaasteet voivat altistaa myös metallimateriaalit tavallista suuremmalle korroosioriskille. Korroosioriskejä aiheuttavat esimerkiksi ilmansaasteiden aikaansaamat happamat sateet ja metallisten ulkopintojen raot ja onkalot, joista epäpuhtaudet eivät huuhtoudu tarpeeksi tehokkaasti pois.

Tämän opinnäytetyön esimerkkinä käytetyn sinkkipohjamaalattun ja PVDF-pinoitetun teräslevyn osalta näyttää siltä, että se on kilpailukykyinen tavallisimmin käytetyille julkisivuverhouksille. Sen vähäiset materiaalikustannukset ja vertailtavia materiaaleja pienempi työmenekki ovat etuja edullisinta vaihtoehtoa haettaessa. Korkeahkot tuotantopäästöt ovat vielä metalliverhousten ongelmana, mutta niihin on jo valmistajatasolla reagoitu. Pohjoismaiden suurin raakateräksen tuottaja SSAB on kehittelemässä vedyn käyttöön pohjautuvalla Hybrit-hankkeellaan päästötöntä terästä, mutta prosessin tarvitsemaan suuren energiamäärän tuottamiseen täysin hiilidioksidivapaasti ei ole tällä hetkellä kapasiteettia ja se tuleekin tuottamaan suuria haasteita energiasektorille, joka on Suomen suurin kasvihuonepäästöjen aiheuttaja. (97.)

Metalliverhous voi tuntua vieraalta ratkaisulta pientalon julkisivuksi, koska se on pääosin totuttu näkemään suurten teollisuusrakennusten ja kauppakeskusten pintamateriaalina. Tulevaisuuden muuttuva ilmasto saattaa kuitenkin muuttaa tapaa nähdä metalliverhousten käyttöä myös pientalojen ulkoeristysena. Olosuhteiltaan rankemman ilmaston aiheuttama julkisivuverhousten suurempi säärasitus ja huollontarve voi esimerkiksi suosia metalliverhousta puuverhouksen sijasta.

Tuoko tulevaisuus metalliverhouksen myös osaksi pientaloa? Näkisin, että mahdollisuuksia teräksen ja muiden julkisivuun soveltuvien metallimateriaalien hyödyntämiseen olisi käyttää niitä suurimmalle sääkuormalle altistuvilla seinillä, jotka vuorattaisiin osittain tai jopa kokonaan metalliverhouksella.



## LÄHTEET

1. Julkisivu – iloksi ympäristölle ja suojaksi kodille. 2020. Rakenna Oikein. Saatavissa: <https://www.rakennaoykein.fi/rakenteet/julkisivu/luokka.html>. Hakupäivä 13.1.2020.
2. Berghäll, Jonna – Pesu, Minna 2008. Ilmastonmuutos ja kulttuuriympäristö. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38358/SY44\\_2008\\_Ilmastonmuutos\\_ja\\_kulttuuriymparisto.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38358/SY44_2008_Ilmastonmuutos_ja_kulttuuriymparisto.pdf?sequence=1). Hakupäivä 16.1.2020.
3. Talon koko, muoto ja sijoitus tontille. 2020. Energiatehokas koti. Saatavissa: [https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen\\_suunnittelu/talon\\_koko\\_muoto\\_ja\\_sijoitus\\_tontille](https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/talon_koko_muoto_ja_sijoitus_tontille). Hakupäivä 18.1.2020.
4. Rakennuksen sijoitus. 2020. Isover. Saatavissa: <https://www.isover.fi/suunnittelijalle/passiivirakentaminen/rakennuksen-sijoitus>. Hakupäivä 18.1.2020.
5. Vahtila, Jukka 2015. Julkisivu - tuo talollesi ilmeen nyt ja tulevaisuudessa. Saatavissa: <https://www.rakennaoykein.fi/julkisivu-tuo-talollesi-ilmeen-nyt-ja-tulevaisuudessa-91321/utiset.html>. Hakupäivä 17.1.2020.
6. Sahlberg, Marja 2010. Talon tarinat – Rakennushistorian selvitys-opas. Saatavissa: <https://www.museovirasto.fi/uploads/Arkisto-ja-kokoelmapalvelut/Julkaisut/talon-tarinat-opas.pdf>. Hakupäivä 7.5.2020.
7. Puurakentamisen opas. Siparila Oy. Saatavissa: <https://www.siparila.fi/wp-content/uploads/2019/06/Puurakentamisen-opas.pdf>. Hakupäivä 20.1.2020.
9. Tunnetko sään ja ilmaston eron. 2017. Yle. Saatavissa: <https://yle.triplet.io/articles/tunnetko-saan-ja-ilmaston-eron>. Hakupäivä 25.3.2020.

10. Ilmatieteen laitoksen historiaa. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/historia>. Hakupäivä 25.3.2020.
11. Suomen ilmasto on lämmennyt. 2019. Ilmasto-opas.fi. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/16266ad3-e5f5-4987-8760-2b74655182d5/suomen-ilmasto-on-lammennyt.html>. Hakupäivä 20.1.2020.
13. Ilmastonmuutos ja tuulienergia. Suomen tuuliatlas. Saatavissa: [http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus\\_9.html](http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus_9.html). Hakupäivä 20.1.2020.
14. Siikanen, Unto 2012. Rakennusten lämpö- ja kosteusfysikaalisia ominaisuuksia. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120401.pdf>. Hakupäivä 22.1.2020.
15. Lahdensivu, Jukka 2005. Rapatut julkisivut paikkaus- ja pinnoituskorjaukset – suunnitteluohjeet. Saatavissa: <http://julkisivuyhdistys.fi/wp-content/uploads/2019/01/H2-Suunnitteluohjeet-rapatun-julkisivun-paikkaus-ja-pinnoitu%E2%80%A6.pdf>. Hakupäivä 24.1.2020.
17. Lahdensivu, Jukka 2010. Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/37980/SY\\_17\\_2010.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/37980/SY_17_2010.pdf). Hakupäivä 21.1.2020.
18. Ulkoseinät. 2008. Sisäilmayhdistys ry. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/Ulkoseinat>. Hakupäivä 22.1.2020.
21. Suonketo, Jommi – Pentti, Matti. Todellisia ja luultuja ongelmia. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/ongelmia-ja-luuloja>. Hakupäivä 24.1.2020.

22. Yleistietoa ulkoseinien pintakäsittelystä. Teknos. Saatavissa: <https://www.teknos.com/fi-FI/ammattilaisille/suunnittelukohteet/uudis--ja-korjausrakentaminen/ulkoseinat/a-yleistietoa-ulkoseinien-uudis--ja-korjausrakentamisesta>. Hakupäivä 26.3.2020.
23. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2019. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>. Hakupäivä 27.1.2020.
24. Rakennusperintölailla suojele. Museovirasto. Saatavissa: <https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/rakennettu-kulttuuriymparisto/rakennusperintolailla-suojele>. Hakupäivä 27.1.2020.
25. Asuntosuunnittelu. 2020. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Asuntosuunnittelu](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Asuntosuunnittelu). Hakupäivä 27.1.2020.
27. Rakentamistapaohjeet. Lahden kaupunki. Saatavissa: <https://www.lahti.fi/palvelut/kaavoitus/rakentamistapaohjeet>. Hakupäivä 27.1.2020.
28. Lahtinen, Jose 2018. Uudet pientalot yhä pienempiä ja kaupunkikeskusten tuntumassa. Saatavissa: <http://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2018/uudet-pientalot-yha-pienempia-ja-kaupunkikeskusten-tuntumassa/?listing=simple>. Hakupäivä 22.1.2020.
29. Ulkoverhous. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/tee-se-itse/ulkoverhous>. Hakupäivä 28.1.2020.
30. Julkisivuksi puu. 2012. Rakentaja.fi. Saatavissa: [https://www.rakentaja.fi/artikkelit/2785/julkisivuksi\\_puu.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/2785/julkisivuksi_puu.htm). Hakupäivä 28.1.2020.

31. RT 82-10829. 2004. Puujulkisivut. Rakennustieto Oy. Saatavissa: [https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5fWAYBtNT/VawO8zYsd/RT82-10829\\_Puujulkisivut.pdf](https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5fWAYBtNT/VawO8zYsd/RT82-10829_Puujulkisivut.pdf). Hakupäivä 29.1.2020.
32. Talon julkisivu on monien toiveiden pinta. Suomela.fi. Saatavissa: <http://www.suomela.fi/rakentaminen/Julkisivu/Talon-julkisivu-on-monien-toiveiden-pinta-45792>. Hakupäivä 17.1.2020.
33. Puun pintakäsittely. 2016. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/tee-se-itse/puun-pintakasittely>. Hakupäivä 29.1.2020.
34. 1980-luvulla rakennettiin monimuotoisia Kahi-tiilitaloja. 2019. Raksystems. Saatavissa: <https://www.raksystems.fi/blogi/1980-luvulla-rakennettiin-monimuotoisia-kahi-tiilitaloja>. Hakupäivä 29.1.2020.
35. Tiilirakenteet. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2007. Saatavissa: [www.finlex.fi/data/normit/29521-B8\\_Tiilirakenteet\\_270907.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/29521-B8_Tiilirakenteet_270907.pdf). Hakupäivä 30.1.2020.
36. Julkisivumuurauksen suunnitteluohje. 2013. Tiili-info. Saatavissa: <http://www.tiili-info.fi/wp-content/uploads/2013/11/Julkisivumuurauksen-suunnitteluohje.pdf>. Hakupäivä 30.1.2020.
37. Laine, Markku 1997. Muurattujen tiilirakenteiden suunnittelu. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK98s402.pdf>. Hakupäivä 29.1.2020.
39. Pyysalo, Markku. Rapattujen julkisivujen suunnittelu. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK99s731.pdf>. Hakupäivä 31.1.2020.

40. Rappauspinnan huolto ja kunnossapito. Kestävä kivitalo. Saatavissa: <https://www.kivitalo.fi/muuratut-rakenteet/rappauspinnan-huolto-kunnossapito>. Hakupäivä 31.1.2020.
41. Rand, Paul – Bell, Victoria Ballard 2006. Materials for architectural design. Lontoo: Laurence King Publishing.
42. Laitinen, Tuomas 2017. Tehdäänkö rakennukset betonista, puusta vai teräksestä. Saatavissa: <https://www.forecon.fi/tehdaanko-rakennukset-betonista-puusta-vai-teraksesta>. Hakupäivä 3.2.2020.
43. Väisänen, Päivi 2007. Teräs – Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. Saatavissa: [http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras\\_web.pdf](http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf). Hakupäivä 31.1.2020.
44. Teräksen tuotanto. SSAB. Saatavissa: <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestavat-toiminnot/teraksen-tuotanto>. Hakupäivä 4.2.2020.
45. Hiili terästeollisuudessa. Hiilitieto. Saatavissa: <https://www.hiilitieto.fi/hiilitieto/perustietoa-hiilesta/hiili-terasteollisuudessa>. Hakupäivä 4.2.2020.
46. Varastoitunut hiili. Tata steel. Saatavissa: [https://www.tatasteelconstruction.com/fi\\_FI/Ekologinen-kest%C3%A4vyys/Varastoitunut-hiili/Varastoitunut-hiili](https://www.tatasteelconstruction.com/fi_FI/Ekologinen-kest%C3%A4vyys/Varastoitunut-hiili/Varastoitunut-hiili). Hakupäivä 4.2.2020.
48. Sipola, Timo 2019. Ruotsissa testataan ratkaisua, joka mullistaisi yhteiskunnan ja romauttaisi päästöt – ja idea voi tulla käyttöön ensimmäisenä Suomessa. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10942131>. Hakupäivä 6.2.2020.
50. Faktaa alumiinista. Hydro. Saatavissa: <https://www.hydro.com/fi-FI/alumiini/faktaa-alumiinista>. Hakupäivä 25.3.2020.

51. Uusiutuva energia ja alumiini. Hydro. Saatavissa: <https://www.hydro.com/fi-FI/alumiini/uusiutuva-energia-ja-alumiini>. Hakupäivä 25.3.2020.
53. Mitä on korroosio? 2019. WD-40. Saatavissa: <https://wd40.fi/ruos-teenesto/opas-korroosionestoon>. Hakupäivä 7.2.2020.
54. RT 80-11115. 2013. Täydentävät ohut- ja muotolevyrakenteet. Rakennus-tieto. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2080-11115> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 10.2.2020.
55. Korroosio. 2012. Teräsrakenneyhdistys. Saatavissa: <http://www.terasraken-neyhdistys.fi/document/1/151/8ac778e/korroosio.pdf>. Hakupäivä 7.2.2020.
56. Alumiinipinnan korroosio. Alumeco. Saatavissa: <https://www.alumeco.fi/asi-antuntemus-ja-teknikka/yleistae/alumiinipinnan-korroosio>. Hakupäivä 11.2.2020.
58. Korroosionesto: Esiintymismuodot. Opetushallitus. Saatavissa: [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_f2\\_korroo-sionesto\\_esiintymismuodot.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroo-sionesto_esiintymismuodot.html). Hakupäivä 11.2.2020.
59. Ekologinen kestävyys. Tata steel. Saatavissa: [https://www.tatasteelconstruc-tion.com/fi\\_FI/Ekologinen-kest%C3%A4vyys](https://www.tatasteelconstruc-tion.com/fi_FI/Ekologinen-kest%C3%A4vyys). Hakupäivä 26.3.2020.
60. Teräskirja. 2014. Metallinjalostajat ry. Saatavissa: [https://teknologiateolli-suus.fi/sites/default/files/teraskirja\\_flip/mobile/index.html#p=2](https://teknologiateolli-suus.fi/sites/default/files/teraskirja_flip/mobile/index.html#p=2). Hakupäivä 13.2.2020.
61. Bauksiitti ja alumiinioksidi. Hydro. Saatavissa: <https://www.hydro.com/fi-AX/tuotteet-ja-palvelut/bauksiitti-ja-alumiinioksidi/bauksiitti>. Hakupäivä 24.3.2020.

62. Janhunen, Kari 2004 Alkuaine Nro 13. Saatavissa: [https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file\\_attachments/jasenet\\_ryhmat\\_alumiinutuotteet\\_allu\\_13.pdf](https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/jasenet_ryhmat_alumiinutuotteet_allu_13.pdf). Hakupäivä 13.2.2020.
64. Kuparin kysyntä Euroopassa tyydytetään yhä enenevässä määrin kierrätyksellä. 2013. Copper Alliance. Saatavissa: <https://copperalliance.fi/kupari-ymparistossa-ja-yhteiskunnassa/kierratys>. Hakupäivä 14.2.2020.
65. Melanen, Matti – Palperi, Matti – Viitanen, Mikko – Dahlbo, Helena – Uusitalo, Seppo – Juutinen, Artti – Lohi, Tiina-Kaisa, Koskela, Sirkka – Seppälä, Jyri 2000. Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40376/SY\\_401.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40376/SY_401.pdf?sequence=3&isAllowed=y). Hakupäivä 17.2.2020.
66. Arkkitehtien pitäisi paneutua elämänlaatuun ja elinkaareen. 2019. Teräsrakenne. Saatavissa: [http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/2/900/716bdf5/terasrakenne\\_2019\\_04\\_lowres.pdf](http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/2/900/716bdf5/terasrakenne_2019_04_lowres.pdf). Hakupäivä 7.5.2020.
68. Metallin kierrätys. Ympäristöosaava. Saatavissa: <https://www.ymparistosaava.fi/kone-ja-metalliala/index.php?k=22621>. Hakupäivä 17.2.2020.
69. Hiilidioksiditehokkuus. SSAB. Saatavissa: <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestavat-toiminnot/hiilidioksiditehokkuus-ssablla>. Hakupäivä 18.2.2020.
70. Jätti-investointi vähentää 7 prosenttia Suomen hiilidioksidipäästöistä – SSAB:n investointi ja bisnes ovat mallikappale teknologia-teollisuuden kädenjäljestä. 2020. Teknologiateollisuus. Saatavissa: <https://teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/artikkeli/jatti-investointi-vahentaa-7-prosenttia-suomen-hiilidioksidipaastoista>. Hakupäivä 19.2.2020.

71. Kervinen, Elina 2020. Helsingin Sanomat. Teräsyhtiö SSAB haluaa hiilivapaan teräksen markkinoille jo 2026 – kirii tahtiaan liki kymmenellä vuodella. Saatavissa: <https://www.hs.fi/talous/art-2000006386910.html>. Hakupäivä 19.2.2020.
72. Koistinen, Antti 2017. Rautaruukin ostanut SSAB aikoo mullistaa vuosituhtaus-tavan tuottaa terästä – Jättimäiset hiilipäästöt jopa nolnaan. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9908906>. Hakupäivä 19.2.2020.
73. Miettinen, Esko 2004. Metallijulkisivut arkkitehtuurissa. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys.
74. Rheinzink. Ruukki. Saatavissa: <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/julkisivuverhoukset/julkisivuverhouksmateriaalit/rheinzink>. Hakupäivä 20.2.2020.
76. Cor-Ten teräs on suosittu vaihtoehto sekä rakennuksiin että taide-teoksiin. SSAB. Saatavissa: <https://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/ssab-weathering-steel/buildings-and-art>. Hakupäivä 21.2.2020.
77. Cor-Ten. Ruukki. Saatavissa: <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/julkisivuverhoukset/julkisivumateriaalit/cor-ten>. Hakupäivä 21.2.2020.
78. Kupari. Ruukki. Saatavissa: <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/julkisivuverhoukset/julkisivumateriaalit/kupari-messinki-ja-pronssi>. Hakupäivä 24.2.2020.
79. Miettinen, Esko 2004. Ruostumaton teräs arkkitehtuurissa. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys.
80. Ruostumaton teräs. Ruukki. Saatavissa: <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/julkisivuverhoukset/julkisivumateriaalit/ruostumaton-ter%C3%A4s>. Hakupäivä 25.2.2020.



82. Käsittelemättömän alumiinin ulkokäyttö. Alumeco. Saatavissa: <https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-teknikka/yleistae/kaesittelemaet-toemaen-alumiinin-ulkokaeyttoa?s=0>. Hakupäivä. 26.2.2020.
83. Anodisointi. Alumeco. Saatavissa: <https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-teknikka/pintakaesittely/anodisointi>. Hakupäivä 26.3.2020.
84. Matilainen, Jorma - Parviainen, Miikka – Havas, Taru – Hiitelä, Erja – Hultin, Sami 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: Teknologia-info Teknova.
85. Alumiini. Ruukki. Saatavissa: <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/julkisivuverhoukset/julkisivumateriaalit/alumiini>. Hakupäivä 26.2.2020.
86. Ilmaston sopiva materiaali. Ruukki. Saatavissa: [https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/julkisivuverhoukset/julkisivumateriaalit#right\\_material](https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/julkisivuverhoukset/julkisivumateriaalit#right_material). Hakupäivä 27.2.2020.
88. Hiilijalanjälki – mitä siitä pitää tietää? 2019. Optiwatti. Saatavissa: <https://www.optiwatti.fi/hiilijalanjalki-mita-siita-pitaisi-tietaa>. Hakupäivä 27.3.2020.
89. Tuulivoiman ympäristövaikutukset. Tuulivoimayhdistys. Saatavissa: <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoiman-vaikutukset/ymparistovaikutukset>. Hakupäivä 27.3.2020.
90. Suomen kumulatiivinen tuulivoimakapasiteetti. Tuulivoimayhdistys. Saatavissa: <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa>. Hakupäivä 27.3.2020.
91. Julkisivumateriaalit. Ruukki. Saatavissa: <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/julkisivuverhoukset/julkisivumateriaalit>. Hakupäivä 29.3.2020.

92. Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalu. 2019. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Vahahiilinen\\_rakentaminen/Rakennuksen\\_vahahiilisyyden\\_arviointimenetelma](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma). Hakupäivä 8.4.2020.
93. Teräs kosketuksissa muiden materiaalien kanssa- Korroosionkestävyys. 2015. Teräsrakenneyhdistys. Saatavissa: [http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/152/89718ce/teras\\_kosketuksissa\\_muiden\\_materiaalien\\_kanssa\\_1703\\_2015.pdf](http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/152/89718ce/teras_kosketuksissa_muiden_materiaalien_kanssa_1703_2015.pdf). Hakupäivä 16.4.2020.
94. Alumiinin ominaisuudet. Total materia. Saatavissa: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=AluminumProperties&LN=FI>. Hakupäivä 21.4.2020.
95. Teräksen ominaisuudet. Total materia. Saatavissa: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=SteelProperties&LN=FI>. Hakupäivä 21.4.2020.
96. Ultraluja teräs on ympäristöystävällisempi - tutkijat ja yritykset kehittämään uusia sovellustapoja. 2018. Oulun yliopisto. Saatavissa: <https://www oulu.fi/yliopisto/node/55996>. Hakupäivä 21.4.2020.
97. Energiantuotanto. Opetushallitus. Saatavissa: <https://www.oph.fi/fi/oppimateriaali/luovasti-luonnonvaroista/luonnonvarojen-kayttajia/energiantuotanto>. Hakupäivä 23.4.2020.

