

Arto Vehviläinen

**VÄHÄHIILINEN PUURAKENTAMINEN**  
Puun käytön hyödyt Tampereen  
ilmastostrategiassa

Arkkitehtuurin kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Markku Karjalainen  
Pekka Passinmäki  
Huhtikuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Arto Vehviläinen: Vähähiilinen puurakentaminen: Puun käytön hyödyt Tampereen ilmastostrategiassa  
Low-carbon wooden construction: Benefits of using wood in the climate strategy of Tampere.

Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Arkkitehtuuri  
Huhtikuu 2020

---

Kandidaatintyössäni tutkin vähähiilisen puurakentamisen roolia Tampereen ilmastostrategiassa, jonka päätavoitteena on Tampereen hiilineutraalius vuoteen 2030 mennessä. Vähähiilinen rakentaminen on noussut vahvasti esille vuosina 2018 ja 2019, johtuen kasvavasta ilmastokriisistä ja -keskustelusta. Ilmastonmuutoksesta on tiedetty jo 90-luvulla, mutta vasta hiljattain korjaavien toimenpiteiden tekeminen on aloitettu. Ilmastonmuutoksen ja rakentamisen yhteyksiä on tutkittu paljon, mutta isoja kokoavia tutkimuksia on vain muutamia. Valtaosa vähähiilisen rakentamisen tutkimuksista ja arviointimenetelmistä on julkaistu viime vuosien aikana. Aiheen uutuu- den vuoksi lähteiden löytäminen osoittautui vaikeaksi. Useat tutkimukset käsittelivät vähähiilistä rakentamista, mutta turhan kevyesti. Aiheeseen pystyi onneksi liittämään puurakentamisen eri- laisia tutkimuksia, joita on tehty usean vuoden ajan. Puuinfo Oy:n ja ympäristöministeriön tarjoa- mat tiedot olivat tämän kandidaatintyön kannalta välttämättömiä. Kandidaatintyössäni yhdistän puurakentamisen uusimpia tutkimustietoja sekä vähähiilisyiden arviointia, ja työtäni voi tarkas- tella Tampereen vähähiilisen rakentamisen avauksena.

Työni jakautuu kolmeen osaan. Ensimmäisenä käsittelen vähähiilisyiden tarkastelussa huo- mioitavat seikat, jotka ovat työni ymmärtämisen kannalta tärkeässä roolissa. Puurakentamisen ilmastohyötyjen ja käytön aikaisten päästöjen tarkastelussa on oleellista, että lukija tietää mitä vähähiilisyidellä tarkoitetaan. Kandidaatintyössäni keskityn uudisrakennuksien vähähiilisyiden arvioimiseen, ja rajaan tietoisesti tarkastelusta pois energiateollisuuden hiilidioksidipäästöjen vai- kutuksen. Rakennuksen lämmitykseen käytettävän energian määrä on suurin yksittäinen päästö- tekijä rakennuksen elinkaaren aikana, minkä vuoksi energiateollisuuden tuottamat päästöt ovat hallitsevassa roolissa rakennetun ympäristön hiilijalanjälkeä tarkastellessa. Lämmitysmuodon val- linnalla vaikutetaan eniten rakennuksen elinkaaren päästöihin, minkä vuoksi uusiutuvan energian suosiminen edesauttaa ilmasatostrategian tavoitteita. Työssä en tarkastele yksittäisen rakennuk- sen fossiilisia hiilipäästöjä, vaan keskitys yleisesti vähähiiliseen uudisrakentamiseen.

Kandidaatintyöni osoittaa, että Tampereen ilmastostrategia on mahdollinen hanke, mutta se vaatii nopeita ja kestäviä ratkaisuja. Tampereen olemassa oleva puurakennuskanta on jo sitonut suuren määrän hiilidioksidia itseensä, mutta lämmityksen aiheuttamat päästöt ovat oletetusti ylit- täneet varastoituneen hiilen määrän. Uusien puurakennusten valmistuminen lisää Tampereen hiilivarastoja, näin kasvattaen rakennuskannan hiilensidontakykyä.

Avainsanat: Vähähiilinen rakennus, hiilijalanjälki, elinkaari, puurakentaminen, uudisrakentaminen, korjausrakentaminen.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. VÄHÄHIILISYYS .....	2
2.1 Esirakentaminen .....	2
2.2 Rakentaminen .....	3
2.3 Käyttö ja purkaminen .....	5
3. PUINEN UUDISRAKENTAMINEN .....	7
3.1 Suunnittelun merkitys vähähiilisessä rakentamisessa .....	8
3.1.1 Materiaalivalinnat .....	9
3.1.2 Käyttövaiheen valinnat .....	10
3.1.3 Kierrätyksen mahdollisuudet .....	11
3.2 Puukerrostalo ilmastostrategian näkökulmasta .....	13
3.3 Lisäkerrosrakentaminen ja korjausrakentaminen .....	15
4. ENERGIAN KÄYTTÖ .....	17
4.1 Rakennuksen lämmitys .....	17
4.2 Käyttäjän oman toiminnan merkitys .....	19
5. TAMPEREEN PUURAKENNUSKANNAN HIILIVARASTOINTIKYKY .....	20
5.1 Rakennusten hiilivarastot .....	21
5.2 Tampereen hiilivarastointi vuosina 1980-2020 .....	21
6. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	23
7. LÄHTEET .....	25

# 1. JOHDANTO

Tampereen kaupunki on vuonna 2010 hyväksynyt oman ilmastostrategiansa, jonka tavoitteena on Tampereen hiilineutraalius vuoteen 2030 mennessä<sup>1</sup>. Hiilineutraalissa kaupungissa rakennuskanta ja metsät sitovat vähintään yhtä paljon hiiltä kuin hiilipäästöjä tuotetaan. Tampereen mittakaavassa hiilineutraalius on vahva kannanotto ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, ja tavoite onkin kunnianhimoinen. Hiilineutraalius, tai vaihtoehtoisesti vähähiilisyys, vaatii laajamittaisia kaupungin infrastruktuurin muutoksia, mikä tarkoittaa kehitystä jokaisella sektorilla. Kandidaatintyössäni rajaon tutkimuksen vähähiiliseen uudisrakentamiseen ja sen eri osa-alueisiin. Yksinomaan globaalin rakentamisen sektori muodostaa 39% koko maapallon kasvihuonepäästöistä<sup>2</sup>. Tästä johtuvien ilmastotavoitteiden vuoksi rakennusala on merkittävässä uudistumisvaiheessa.

Vähähiilisessä rakentamisessa otetaan huomioon koko rakennuksen elinkaari, materiaalien valmistuksesta rakennuksen purkuun asti. Vähähiilisyyden arvioiminen ja laskeminen on haastavaa, mikäli laskennasta puuttuu tarkka raja. Järkevien arviointimenetelmien puuttuessa voidaan kärjistetysti pohtia yksittäisen naulan hiilijalanjälkeä kokonaisen kerrostalon mittakaavassa. Arvioinnissa oleellista on kuitenkin suurien kokonaisuuksien tarkastelu, ei jokaisen pienen materiaalin huomioiminen.

Materiaalien valmistus, rakentaminen, käyttö ja purku aiheuttavat oleellimmat päästöt rakennuksen hiilijalanjäljelle. Hiilijalanjälki ilmaisee tietyn tuotteen vapauttamien kasvihuonekaasujen määrän. Tutkimuksessani tarkastelen puurakentamisen ilmasto-työtyjä, ja pääsääntöisesti vertaan puurakentamista betonirakentamiseen. Betoni on teollista rakennusala dominoiva rakennusmateriaali, jonka negatiiviset ilmastovaikutukset ovat hiljattain nousseet vahvasti esille. Puurakentamisella on Suomessa pitkät perinteet, ja voikin sanoa, että puurakentaminen on osa suomalaista kulttuuria. Puu onkin aina ollut pientalorakentamisen yleisin käyttömateriaali. Uudet tekniikat ovat hiljattain mahdollistaneet puun käytön myös teollisessa rakentamisessa. Puurakentamisen positiivisia ilmastovaikutuksia on tutkittu paljon, ja tutkimustuloksien pohjalta voidaan todeta, että puu on optimaalisin rakennusmateriaali vähähiilisessä rakentamisessa. Käsittelem aiheutta tarkemmin kappaleessa 3.

---

<sup>1</sup> Tampereen kaupunginhallitus, 2018. s.3

<sup>2</sup> Adams, M. et al, 2019s. 7

## 2. VÄHÄHIILISYYS

Vähähiilisillä rakennuksilla on ratkaiseva rooli tulevaisuudessa, jotta Suomen tavoite olla hiilineutraali vuonna 2035<sup>3</sup> toteutuisi. Tampere on yksi Suomen nopeimmin kasvavista kaupungeista, joka on asettanut itselleen Suomen ilmastotavoitteita tiukemman päämäärän. Tampere pyrkii olemaan hiilineutraali jo vuonna 2030. Suomen sekä Tampereen tavoitteen saavuttaminen vaatii nopeita toimia merkittävien päästökelijöiden vähentämisessä. Vähähiilisessä rakentamisessa materiaalien valinnoilla ja kestäväällä suunnittelulla pyritään pitämään rakennuksen hiilijalanjälki mahdollisimman pienenä. Kestävässä suunnittelussa painotetaan kestävä kehityksen huomioimista, ja pyritään siirtymään perinteisestä käyttöikäajattelusta elinkaariajatteluun. Rakennuksen käyttöiällä tarkoitetaan ajanjaksoa, jonka päätyessä rakennus on purkukunnossa. Vähähiilisen rakentamisen tarkastelussa huomioidaan rakennuksen elinkaaripäästöt, jotka ulottuvat rakennusmateriaalien raaka-aineiden hankinnasta rakennuksen osien kierrätykseen tai purkuun.

Hiilijalanjälkilaskennassa tarkastellaan hyvin laajaa aluetta, mistä johtuen selkeille laskentamenetelmille on ollut suuri tarve. Materiaalipäästöjä tarkasteltaessa huomioidaan niin raaka-aineiden hankinta sekä rakennusmateriaalin valmistus, kuin myös laajamittaiset kuljetukset edellä mainittujen toimenpiteiden yhteydessä. Rakennusvaihe tuottaa suuria päästöjä rakennuksen elinkaaren alussa. Merkittävimmät päästöt muodostuvat rakennuksen rungon, välipohjien ja julkisivujen materiaalien kasvihuonepäästöistä. Suunnitteluvaiheen kestävillä päätöksillä tehdään merkittäviä päästövähennyksiä rakennuksen materiaalien avulla, ja täten luoda vähähiilistä rakennuskantaa. Hyvällä suunnittelulla myös taataan rakennuksen pitkä elinikä ja vähennetään rakennuksen käyttövaiheen kustannuksia ja päästöjä.

### 2.1 Esirakentaminen

Esirakentaminen käsittää rakennuksen materiaalien valmistuksen ja niiden aiheuttaman hiilijalanjäljen. Materiaalien valmistus koostuu raaka-aineiden hankinnasta, kuljetuksesta tehtaalle sekä lopullisten rakennusmateriaalien valmistuksesta. Raaka-aineiden valinnassa tulee huomioida alkuperämaa, hankintaan vaadittava työ sekä kuljetus. Verrattaessa puun ja betonin valmistusvaiheita, voidaan huomata materiaalien esirakentamisessa samankaltaisuuksia, mutta myös merkittäviä eroja.

---

<sup>3</sup> Valtioneuvosto, 2019. s. 34

Betonin raaka-aine, kalkkikivi, louhitaan tarvittaessa maaperästä joko Suomesta tai ulkomailta. Betonin valmistukseen käytetään myös murskattua ja kierrätettyä kiviainesta. Kalkkikivi tai murskattu kiviaines kuumennetaan uunissa, jolloin lopputulokseksi saadaan sementtiä, betonin pääraaka-ainetta. Erilaiset valmistuksen välivaiheet lisäävät materiaalin esivalmistuksen aiheuttamaa hiilijalanjälkeä, joka rakenteellisella betonilla vastaa noin  $200\text{kg}/\text{m}^3$ , mikä on esimerkiksi 8% teräsbetonin painosta<sup>4</sup>.

Puutavaran valmistuksessa runko kaadetaan, kuivataan ja sahataan halutuksi rakennemateriaaliksi. Puutuotteiden valmistuksella on vastaava määrä valmistusvaiheita kuin betonilla. Puumateriaalien aiheuttama hiilijalanjälki on keskimäärin  $0,3\text{kg CO}_2/\text{kg}$ , ja puu varastoi itseensä noin  $1,8\text{kg CO}_2/\text{kg}$ <sup>5</sup>. Betonilla ei ole vastaavaa biogeenistä ominaisuutta. Verrattaessa materiaalivalmistuksia keskenään huomataan, että rakennusmateriaaleilla on samankaltaiset valmistustoimenpiteitä, mutta lopputuotteen aiheuttama hiilijalanjälki on eri suuruinen. Vähähiilisessä rakentamisessa kasvihuonepäästöt ovat tarkastelun keskiössä, jolloin rakennusmateriaalin hiilijalanjäljellä on suuri merkitys.

## 2.2 Rakentaminen

Rakentamisvaihe muodostaa selkeän hiilijalanjäljen rakennuksen elinkaaren alussa. Tästä johtuen sen tulisi olla nopea ja hyvin suunniteltu, jotta työmaan ajallinen kesto ei aiheuttaisi kohtuuttomia hiilidioksidipäästöjä. Jyväskylässä sijaitseva korkean puurakentamisen pioneirirakennus Puukuokka toimii tästä hyvänä esimerkkinä. Puukuokan rakennusvaihe kesti poikkeuksellisesti vain noin 6 kuukautta<sup>6</sup>. Hanke toteutettiin CLT -tilaelementeistä, jotka esivalmistettiin kontrolloiduissa olosuhteissa, mikä minimoi sääolosuhteiden aiheuttamat riskit rakenteille. Myös rakennusvaiheen ajoittamisella lämpimään vuodenaikaan voidaan välttyä huomattavasti vaihtelevilta sääolosuhteilta, jotka hidastavat rakentamista.

Työmaavaiheen suurimmat päästöt muodostuvat työmaalaitteista ja -tiloista, joiden pitkäkestoinen käyttö lisää kasvihuonekaasujen kokonaismäärää. Työmaavaiheen aikaiset jätteet ovat yksi osatekijä rakennusvaiheen hiilijalanjäljessä. Jätteet tulisi arvioida kierrätettävyyden ja uudelleenkäyttömahdollisuuksien näkökulmasta, jotta jätteiden aiheuttamat päästöt saataisiin minimoitua. Rakennusjätteiden kierrätyksen esimerkkinä voidaan käyttää betonirakentamisen apuna käytettävää puutavaraa. Erilaisia lautoja käyt-

---

<sup>4</sup> Karjalainen, M., 2020a. s. 5

<sup>5</sup> Vares, S. et al, 2017. ss. 4-5

<sup>6</sup> Lassila, A., 2020. s. 25

tetään työmaalla erilaisiin väliaikaisiin rakenteisiin, jotka takaavat työturvallisuuden. Käytön jälkeen täysin käyttökelpoinen puumateriaali kerätään sekajäteastioihin tai kasataan työmaa-alueelle sekajättekasoiksi. Käytännössä uusiokäytettävä puutavaraa käsitellään purkujätteenä.

Työmaatilojen ja työmaalla sijaitsevien taukotilojen käyttö vaatii energiaa lämmitykseen, valaisemiseen sekä sähkölaitteiden hallintaan. Tilojen lämmitykseen kuluu eniten energiaa. Lämmityksen energiankulutukseen voidaan vaikuttaa vuodenajan valinnalla. Talvisin lämmitys ja suurempi valaistuksen tarve lisäävät energiakustannuksia. Kesäisellä rakennustyömaalla lämmityksen, valaisemisen ja kuivaamisen tarve on huomattavasti pienempi kuin talvella toimivalla työmaalla. Toisaalta kesällä tilojen tuuletus ja viilentäminen voivat nostaa energiatarvetta, etenkin poikkeuksellisen kuumina hellepäivinä, mutta tästä huolimatta kesäisin toimiva työmaa on energiatehokkaampi.

Työmaalaitteiden polttoainekustannuksien pienentäminen on mahdollista, mutta käytännössä se voi olla haastavaa. Laitteiden käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat yhdessä tilojen energiankulutuksen kanssa suurimmat päästökijät rakennusvaiheen aikana. Mitä vähemmän, sekä ajallisesti että toiminnallisesti, laitteita käytetään, sitä pienempi on rakennustyömaavaiheen hiilijalanjälki. Usein työmaavaiheen aikana ilmenee uusia ja yllättäviä haasteita, jotka pidentävät laitteiden käyttötarvetta. Tyypillinen haaste on suunnittelussa unohdettu yksityiskohta, mikä ilmenee työmaavaiheen aikana. Työmaa ei voi edetä, ennen kuin rakenteellinen ongelma on ratkaistu. Suunnitelmien muuttuminen aiheuttaa yleisesti työmaavaiheen kokonaispäästöjen kasvamisen, sekä tuo lisäkustannuksia rakennushankkeen budjettiin. Lisäkustannukset muodostuvat laitteiden vuokrakustannuksista, ostoenergian kuluista, mahdollisista lisätöistä sekä yleisesti rakennustyömaan keston pitenemisestä.

Rakennusvaiheessa on hyvä myös vertailla erilaisten käytännöllisyyttä lisäävien toimenpiteiden tuomia hyötyjä ja lisäkustannuksia keskenään. Työympäristöön panostaminen voi helpottaa rakennusvaihetta, ja nopeutumisen kautta pienentää päästöjä sekä kustannuksia. Työmaavaiheessa voidaan esimerkiksi käyttää nostettavaa suojatelttaa, joka eristää rakennustyömaan ulkoisilta sääolosuhteilta, mikä parantaa työn tehokkuutta ja nopeutta. Suojateltan käyttö tuo selkeän lisäkustannuksen rakennusvaiheeseen, mutta nopeuttaa rakennusvaihetta niin, että kokonaiskustannukset pienenevät selkeästi. Lähtökohtaisesti rakennusvaiheen ajallisen keston pienentäminen tuo parhaimman hyödyn päästöjen vähentämiseen.

## 2.3 Käyttö ja purkaminen

Rakennuksen valmistumisen jälkeisestä ajasta voidaan käyttää nimitystä jälkirakentaminen, joka sisältää rakennuksen käyttövaiheen ja purkamisen. Jälkirakentaminen on rakennuksen pitkäkestoisin ajanjakso, mistä johtuen sen tuottamat kokonaispäästöt ovat hallitsevin tekijä rakennuksen vähähiilisyudessa. Tästä huolimatta esirakennusvaiheen ja suunnittelun valinnoilla voidaan vaikuttaa huomattavasti käytön aiheuttamien päästöjen kokonaislukemaan. Käyttövaiheessa hiilijalanjälki muodostuu pääosin ostoenergian päästöistä. Ostoenergian tarve jakautuu rakennuksen lämmittämiseksi ja yleiselle energiantarpeelle. Ostoenergian määrään voidaan vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuudella, jota parantamalla vähennetään rakennuksen sisäistä energiankäyttöä. Rakennukseen tulevan energian tuotannon päästöihin ei voida suoranaisesti vaikuttaa suunnitteluratkaisuilla, sillä ostoenergia on ulkoinen tekijä. Ulkoisten tekijöiden päästöihin voidaan vaikuttaa kestävien yhteistyösopimusten kautta.

Rakennuksen lämmityksen energiantarpeeseen pystytään vaikuttamaan koko käyttövaiheen ajan. Lisäämällä rakennuksen ulkoseinien paksuutta saadaan rakennuksen lämmöneristystä korotettua rakennusmääräyksien vaatimaa tasoa korkeammaksi. Parempi lämmöneristys pienentää lämmityksen tarvetta, mikä vähentää ostoenergian määrää. Lämmöneristystä ei voida kuitenkaan nostaa määräänsä enempää, sillä liiallinen seinän paksuus voi aiheuttaa rakenteisiin kosteusteknisiä ongelmia. Rakenteisiin kohdistuu ylimääräistä kosteusrasitusta, jos rakenteiden väliin jää ilmavuotoja. Liiallinen rakennepaksuus hidastaa rakenteen luonnollista kuivumista. Hidas kuivuminen altistaa rakenteessa olevan puun kosteusvaurioille ja sitä kautta laajojen korjaustoimenpiteiden tarve saattaa lisääntyä.

Käyttövaiheen aikainen kunnossapito ja korjaaminen, pienessä ja isossa mittakaavassa, ovat väistämättömiä rakennuksen elinkaaren aikana. Rakenteiden huoltotoimenpiteillä tarkkaillaan ”rakennuksen pulssia”. Sen seuraamisella pyritään välttymään laajoilta korjaustoimenpiteiltä tai ennenaikaiselta purkamiselta. Käyttövaiheen päätyttyä rakennuksen purku on viimeinen hiilidioksidipäästöjä aiheuttava vaihe rakennuksen elinkaaren aikana, mistä johtuen purkamisesta aiheutuvat päästöt huomioidaan vähähiilisyden tarkastelussa. Purkuvaiheessa työmaakoneiston käytöstä ja purkujätteiden käsittelystä syntyy päästöjä, sekä kustannuksia.

Teollisessa rakentamisessa vallitsee ajatusmalli, jossa vain uudella rakennusmateriaalilla on arvoa ja käytetty rakennusmateriaali nähdään lähtökohtaisesti jätteenä. Käyttövaiheen päätyttyä rakennusmateriaali voi kuitenkin olla moitteettomassa kun-



nossa. Siitä huolimatta materiaalit luokitellaan useimmiten sekajätteiksi ja siirretään sekundaariseen hyödyntämiseen. Sekundaarinen hyödyntäminen on usein jätteenpolttota tai murskaamista. Purkujätteen hävityksestä syntyy päästöjä, joihin sisällytetään jätteen kuljetus jatkokäsittelylaitokselle sekä jatkokäsittelytoimenpiteet.

Rakennuksen purkumateriaalien jatkokäsittelyssä tulisi ottaa huomioon myös materiaalien kierrätys- ja uusiokäyttömahdollisuudet. Tämä pienentäisi rakennetun ympäristön kokonaispäästöjä vähentämällä uusien materiaalien valmistuksen tarvetta. Vähähiilisyiden näkökulmasta puurakenteiden mahdollistama purkaminen, ilman rakenteellisia vaurioita, luo erittäin hyvän alustan rakenteiden mahdolliselle uusiokäytölle. Massiivipuurakenteista on mahdollista luoda kuvan 2.1 mukaisia innovatiivisia rakenteita, joiden purkaminen on vaivatonta kiertotaloutta ajatellen. Puurakentamisen kierrätyksen mahdollisuuksia ja ominaisuuksia käsittelemme tarkemmin kappaleessa 3.1.3



*Kuva 2.1* Hammastettu massiivipuulevy, joka siirtää tehokkaasti rakenteellisia kuormia ilman teräsovia (*Puuinfo Oy, 2018. s. 93*).

### 3. PUINEN UUDISRAKENTAMINEN

Osana Kestävä Tampere 2030 -ohjelmaa on vuonna 2014 aloitettu puurakentamisen kehittämissuunnitelma. Puurakentamista pyritään edistämään Tampereella vuoteen 2022 mennessä, jotta Tampereen tavoite hiilineutraaliudesta toteutuisi vuonna 2030. 1960 -luvusta lähtien teollisen rakentamisen yleisin rakennusmateriaali on ollut betoni, jonka suosiminen hidastaa Tampereen hiilineutraaliustavoitteen saavuttamista. Puulla ja betonilla on samankaltaisia rakenteellisia ominaisuuksia, mistä johtuen puuta voidaan käyttää ongelmitta teollisessa rakentamisessa. Betonilla suurin haitta hiilineutraaliuden tavoittelemisessa on materiaalin valmistuksesta aiheutuvat päästöt. Myös puutavaran valmistuksessa vapautuu fossiilipäästöjä, mutta ilmastonmuutoksen näkökulmasta puuhun sitoutunut hiili vähentää puurakentamisen hiilidioksidipäästöjä. Kuivan puun massasta noin puolet on hiiltä, mikä laskennallisesti tarkoittaa noin 1000kg CO<sub>2</sub> sitoutumista kuutiometriin puuta<sup>7</sup>.

Suurin rakenteellinen ero vallitsevan ja suosioon nousevan rakennusmateriaalin välillä on paloturvallisuus. Toisin kuin betoni, puu on palava materiaali. Paloturvallisuuden vuoksi puun käyttö on jäänyt vähäiseksi teollisessa rakentamisessa verrattuna betonin käytön määrään. Puurakentamisen paloturvallisuutta on usean vuoden ajan pyritty saamaan kilpailukykyisemmäksi betoniin nähden, mikä nykytekniikan ja rakennustapojen kehittymisen myötä alkaa näkyä puisissa julkisissa rakennuksissa. Betonin toinen hyvä puoli on pitkäikäisyys. Betonirakenne on teoriassa ikuinen, koska materiaalina on käytetty kiveä. Puu sen sijaan on orgaaninen materiaali, ja siten alttiimpi vaurioitumiselle. Todettakoon, että pelkkä materiaalin pitkäikäisyys ei tee rakennuksesta ikuista. Suurin osa 50 vuotta vanhoista betonikerrostaloista on tällä hetkellä lähes purkukunnossa, johon rakentamisajankohdan ajatusmallista, jossa rakennusten käyttöäksi suunniteltiin 40 vuotta. Vertailun vuoksi voidaan mainita, että pohjoismaissa on useita erittäin vanhoja puurakennuksia, jotka ovat edelleen käyttökunnossa. Suomalaisena esimerkkinä pitkäikäisestä puurakennuksesta toimii Tornion vuonna 1686 valmistunut puukirkko, joka on edelleen säännöllisessä käytössä.

Suomalaiset ovat maailmanlaajuisesti tunnettuja metsistä ja puurakennuksista. Meillä on vahva historiallinen kokemus puurakentamisesta, joka tulisi ottaa huomioon

---

<sup>7</sup> Karjalainen, M., 2020a. s. 4

teollisessa rakentamisessa. Kehittyneen teknologian avulla voidaan mahdollistaa innovatiivisempia puumateriaaleja, joita voidaan käyttää kustannustehokkaasti teollisessa rakentamisessa. Kasvavien kaupunkien, kuten Tampereen, tarve tarjota asuntoja uusille asukkaille lisää uudisrakentamisen painetta. Paineesta huolimatta uudisrakentamista ei pidä toteuttaa huolimattomasti. Pitkällä aikavälillä viisaasti ja kestävästi suunniteltu uudisrakennus palvelee tarkoitustaan, asukastaan sekä Tampereen ilmastostrategiaa.

### **3.1 Suunnittelun merkitys vähähiilisessä rakentamisessa**

Suunnittelulla voidaan määrittää rakennuksen elinkaaren kestoja sekä käytön aikaisten päästöjen suuruutta. Suunnitteluratkaisuilla vaikutetaan lähtökohtaisesti 75 vuoden ajan, jonka oletetaan olevan uudisrakennusten käyttöikä. Suunnitteluvaiheessa pystytään vaikuttamaan rakennuksen elinkaaren aikana aiheutuviin päästöihin ilman heikentävää vaikutusta rakennuksen vähähiilisyyteen. Puurakentamiselle on koottu oma PES 2.0 -järjestelmä, josta voidaan tarkastella standardisoituja puurakentamisen ratkaisuja. Valmiin järjestelmän avulla rakenteiden suunnittelu on helpompaa. Suomessa on useita eri tahoja, jotka edistävät puurakentamista. Näistä tunnetuin on Puuinfo Oy, joka on puurakentamiseen ja sen tiedonjakamiseen keskittyvä yritys.

Ympäristöministeriö on luonut hiilijalanjäljen tarkasteluun avoimen laskurin, jonka avulla suunnitteluvaiheessa pystytään vertailemaan uudisrakennuksen elinkaaren kokonaispäästöjä. Ympäristöministeriö on myös julkaissut vähähiilisen rakentamisen oppaat, joilla pyritään ohjaamaan suunnittelua kohti vähähiilisiä ratkaisuja. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmät (ympäristöministeriön julkaisu 2019:22) kertoo kattavasti rakennuksen eri vaiheiden suunnittelun merkityksestä vähähiilisyyden näkökulmasta. Julkaisujen lisäksi ympäristöministeriö on vuonna 2017 julkaissut vähähiilisen rakentamisen tiekartan. Tiekartan mukaan elinkaaren vähähiilisyys tulee osaksi Suomen rakennusmääräyksiä vuoden 2020 puoliväliin mennessä<sup>8</sup>. Tämä uudistus vaikuttaa merkittävästi Suomen teollisen rakentamisen suunnitteluun. Suunnittelun lähtökohtien on tarkoitus muuttua nopeasta ja halvasta rakentamisesta kestävään ja energia- viisaaseen rakentamiseen.

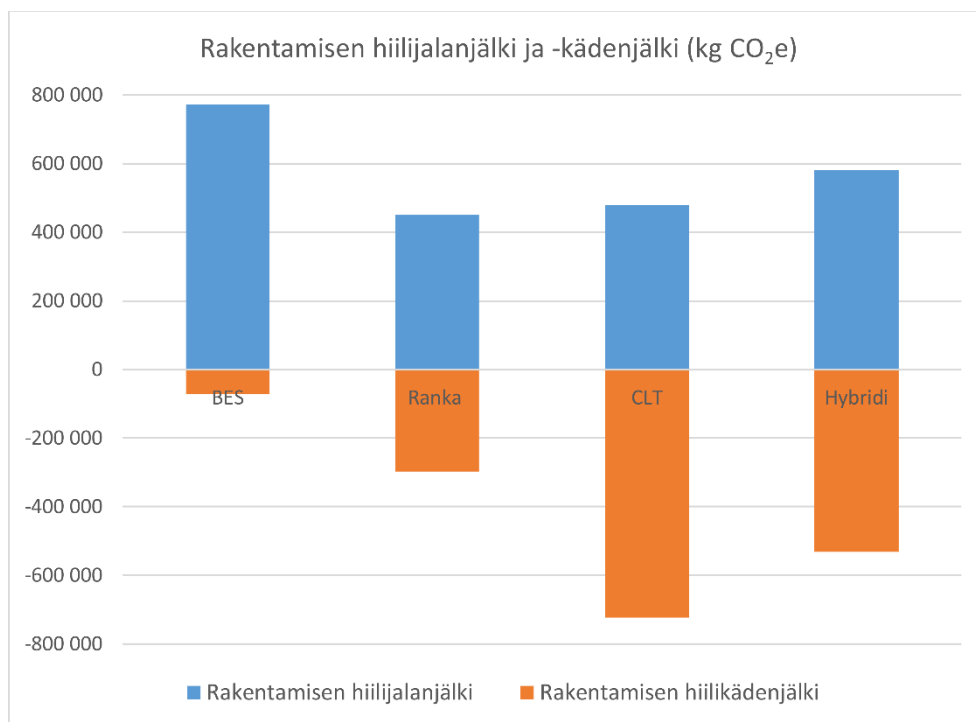
Seuraavissa kappaleissa käsittelen eritellysti kolmen eri rakennusvaiheen vaikutuksia vähähiiliseen rakentamiseen. Nämä kolme vaihetta käsittelevät materiaalivalintojen, käyttövaiheen toimintojen sekä kierrätyksen merkitystä puurakennuksen elinkaaren aikana. Jokainen vaihe tulisi huomioida ekologisen uudisrakentamisen suunnittelussa.

---

<sup>8</sup> Ympäristöministeriö, 2019, s. 3

### 3.1.1 Materiaalivalinnat

Rakennuksen rungon ja vaipan verhouksen materiaalivalinnalla on merkittävä vaikutus vähähiilisuuden kannalta. Toinen suuri päästölähde on alapohjan materiaali. Suomessa yleisin alapohjarakenne on maanvarainen betonilaatta, minkä vuoksi alapohjan päästöt ovat monissa rakennushankkeissa samantyyppiset. Sen sijaan rungon ja julkisivun materiaalit vaihtelevat hankekohtaisesti. Rungon ja verhouksen päästöt johtuvat suuresta materiaalmäärästä. Puusta ja betonista runkoa verrattaessa, betonirungon aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti suuremmat kuin puun. Puumateriaalia voidaan käyttää monella eri tavalla rakentamisessa, kuten massiivipuun- ja rankarakenteissa. Kuvassa 3.1 on esitettyä, kuinka kumpikin puurunkoisista rakenteista on betonista runkoa ekologisempi. Hybridirakenteessa on käytetty sekä puuta että terästä. Puun ekologisuus johtuu puuhun sitoutuneesta hiilestä, joka kompensoi rakentamisesta aiheutuneita päästöjä. Sitoutunutta hiiltä kutsutaan puun hiilivarastoksi. Hiilivarastojen ansiosta puusta on mahdollista rakentaa vähähiilisiä ja jopa hiilineutraaleja rakennuksia. Nyrkkisääntönä voidaan ajatella, että mitä enemmän uudisrakennuksessa on käytetty puuta, sitä ekologisempi rakennus on kyseessä.



Kuva 3.1 Rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen vertailun taulukko (Viljakainen, M. et al., 2019. s. 17).

Massiivipuumateriaaleihin käytettävä suuri puumäärä tekee materiaalista todella suotuisan vaihtoehdon vähähiiliselle rakentamiselle. Suomessa yleisiä massiivipuumateriaaleja ovat CLT (Cross Laminated Timber) ja LVL (Laminated Veneer Lumber). Helpon liitostekniikan, rungon jäykistyksen, ilmatiivyyden sekä vähäisen painuman vuoksi materiaalit ovatkin suosiossa korkeassa puurakentamisessa<sup>9</sup>. CLT:n ja LVL:n käytettävä liima tekee materiaaleista kaksiaineisen, mikä heikentää materiaalin kierrätyksen mahdollisuuksia, mutta ei ratkaisevasti. Massiivipuumateriaaleja kehitetään jatkuvasti, jotta myös yksiaineisia materiaaleja voitaisiin käyttää teollisessa rakentamisessa. Hyvä esimerkki innovatiivisesta massiivipuumateriaalien kehityksestä on suomalainen WLT® Aaltopuu (Wave layered timber), joka on liimaton ja lisäaineeton 100%:sti kierrätettävissä oleva rakennusmateriaali.

Eristäminen vaatii suuria määriä materiaalia, joten rakennuksen päästöihin voidaan vaikuttaa materiaalin valinnoilla. Hiilijalanjälkeä pystytään pienentämään esimerkiksi vaihtamalla mineraali- tai lasivilla rankarakenteisissa ratkaisuissa kierrätettyyn EKO-villaan. Luonnonkuiduista valmistettu eristemateriaali on myös kosteusteknisesti kannattavampi puurakenteissa, sillä eristeen tekniset ominaisuudet ovat lähellä puun ominaisuuksia. Massiivipuorakenteissa seinän eristeiden käytön voi jopa jättää kokonaan pois pienhankkeissa, jos rakenteen paksuus takaa tarvittavan lämmöneristyksen.

Pienissä materiaalmäärissä päästövaikutusten huomioiminen on suotavaa, mutta rakennuksen elinkaaren aikana niiden vaikutus ei ole oleellinen. Hiilijalanjäljen tarkastelun sijaan nämä materiaalit tulisi valita niiden kestävyys- ja laadun puolesta, mikä vähentää korjauksen ja huoltamisen tarvetta. Suunnitteluvalinnoissa on syytä huomioida materiaalien pitkistä kuljetuksista aiheutuvat päästöt. Mitä kauempaa rakennusmateriaalit tuodaan, sitä suurempi negatiivinen vaikutus niillä on rakennuksen vähähiilisyydelle. Täten kotimaisten tuotteiden suosiminen on kannattavampaa, niin ympäristön kuin kansantaloudenkin puolesta.

### 3.1.2 Käyttövaiheen valinnat

Käyttövaiheen lämmityksestä aiheutuvilla päästöillä on suurin merkitys rakennuksen hiilijalanjäljessä. Rakennusta lämmitetään päivittäin koko käyttöajan, jotta rakennuksen sisällä pysyy tietty peruslämpö. Lämmön ylläpitämiseen kuluu energiaa, minkä takia energian tuotantotavalla on ratkaiseva rooli. Lämmitysjärjestelmän energianlähteen

---

<sup>9</sup> Karjalainen, M., 2020b. s. 2

vaihtaminen uusiutuvaan energiaan pudottaa ratkaisevasti rakennuksen elinkaaren aikaisia päästöjä. Energiatehokkuuden ja lämmitysjärjestelmien vaikutuksia käsitellen tarkemmin kappaleessa 4.

Energiankäytön lisäksi tulee huomioida rakennuksen lämmöneristävyyttä. Mitä paremmin rakennus on eristetty, sitä vähemmän syntyy hukkalämpöä. Lämmöneristykseen materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa ulkoseinän rakennepaksuuteen. Lämmöneristystä ei silti voi tehdä määrättömästi, sillä liiallinen eristäminen voi aiheuttaa kosteusteknisiä ongelmia ulkoseinän rakenteisiin. Liiallinen eristäminen estää ulkoseinän verhouksen kuivumisen pienen lämpövuodon kautta, mikä lisää korjaamisen tarvetta.

Puukerrostaloissa palomääräykset asettavat rakenteiden palonsuojaksi suuren määrän palokipsilevyjä, jonka valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat korkeat. Kipsilevyn tarvetta voidaan vähentää nostamalla puurungon palonkesto tunnista 90 minuuttiin (R90), jolloin paljasta puupintaa saa näkyä sisätilan kantavissa rakenteissa ja osastovissa seinissä 80%<sup>10</sup>. Palomääräyksiin mukaan myös jokainen huoneisto, ja puurakenteinen parveke, tulee sprinklata, mistä aiheutuu päästöjä ja lisäkustannuksia. Korkeapainevesisumuspinklauksessa on paljon etuja koko talon kattavana sprinklausjärjestelmänä. Korkeapainevesisumuspinklauksessa käytetään rakenteiden läpi kulkevaa vesiverkostoa, joka on liitettyä korkeapainevesisäiliöyksikköihin. Palotilanteessa sprinklerissä oleva ampulli rikkoutuu ja paineistettu vesi vapautuu huoneistokotaisesti, sammuttaen tulen. Palotilanteen päätyttyä sprinklerissä oleva ampulli vaihdetaan uuteen, minkä jälkeen sprinkleri on jälleen täysin käyttökunnossa. Korkeapainevesisumujärjestelmiä on aikaisemmin käytetty laivoissa, joissa nopea palon sammuttaminen on elintärkeää. Vastaava sprinklauslaitteisto takaa puukerrostaloihin luotettavan sammutusjärjestelmän.

### 3.1.3 Kierrätyksen mahdollisuudet

Rakennusteollisuudessa kierrätyksen suunnittelu on erittäin vähäisessä roolissa, mikä johtaa purkujätteiden suureen määrään rakennusten käyttöänsä päätyttyä. Kuten missä tahansa teollisuusalalla, jo valmistetun materiaalin hyödyntäminen tuottaa aina vähemmän päästöjä, kuin uuden vastaavan materiaalin valmistaminen. Kiertotalouden lähtökohtana on luonnonvarojen säästäminen, ja sitä kautta kasvihuonepäästöjen vähentäminen. Suunnitteluvaiheessa kierrätys voidaan huomioida materiaalivalintoina, sekä rakenteiden liitoksien purettavuuden suunnittelulla. Massiivisia ja yksiaineisia rakenteita on

---

<sup>10</sup> Puuinfo Oy, 2018. s. 38

helpompi kierrättää kuin monikerroksisia rakenteita, joissa lähes kymmenen eri kerroksen erottaminen toisistaan kierrätystä varten voi osoittautua liian työlääksi.

Suomessa massiivipuukurakennusmateriaalin kierrättäminen on helppoa, sillä puumateriaalille on jatkuvasti kysyntää yksityisellä sektorilla. Rakennusmateriaalien kierrätyksessä täytyy huomioida Euroopan rakennusmateriaalien laadun valvontaan luotu CE-merkintä. Julkisen rakentamisen sektorilla kierrätetyn purkumateriaalin hyödyntäminen voi olla haastavaa, johtuen rakentamisen tarkasta valvonnasta. Sen sijaan uusiokäytettävää rakennusmateriaalia voidaan käyttää yksityisissä pienulkorakennuksissa, joissa laadunvalvonta ei ole yhtä tarkka. Uusiokäytön näkökulmasta irrotettavien liitoksien suunnittelua tulisikin vielä kehittää. Verrattaessa betoni- ja puuliitoksia, betonielementtien liitokset on usein valettu elementteihin, jolloin liitoksien purkaminen rikkoo rakennetta. Puuliitokset sen sijaan voidaan toteuttaa ruuvein ja erilaisin liitospaloin, jolloin rakenteet ovat purettavissa, ilman rikkoutumisen vaaraa. Muutamassa Euroopan valtioissa, kuten Ruotsissa ja Hollannissa, on kierrätettyjen rakennusmateriaalien hyödyntämiseen panostettu Suomea enemmän. Hollannissa on käytössä urban mining -käsite, jossa arkkitehdit lisäävät kiertotalouden hyötykäyttöä uudisrakenteissa. Vastaavanlaisilla palveluilla voitaisiin Suomessakin saada lisättyä kierrätettyjen rakennusmateriaalien käyttöä rakentamisessa.

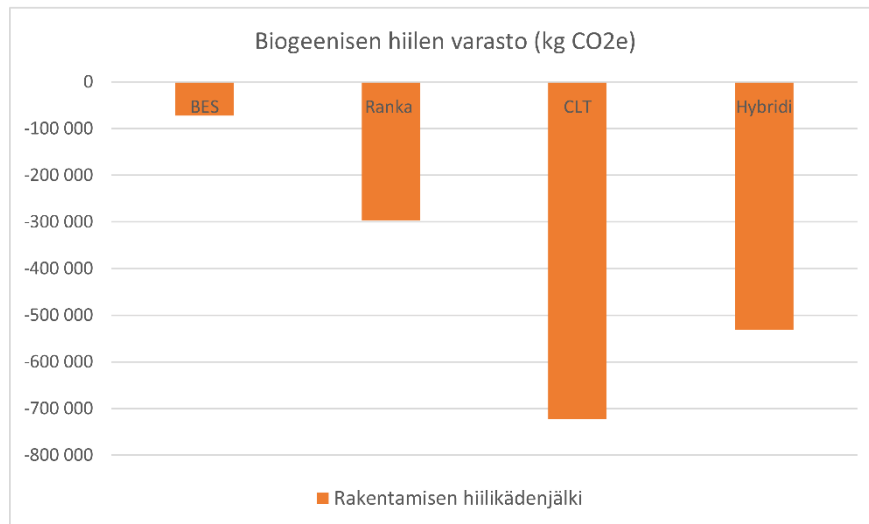
Rakennusten hiilijalanjäljestä keskustellessa nousee usein esiin muuntojoustavuus, joka jakaa arkkitehtien mielipiteitä. Muuntojoustavuus mielletään usein rakennuksen käyttötarkoituksen muuttamiseksi, kuten esimerkiksi tehdasrakennuksen muuntaminen asuinrakennukseksi. Asuinrakennuksissa huoneistojen välisiä seiniä purkamalla saadaan yhdistettyä pieniä asuntoja, ja näin uudistettua rakennuksen sisäistä käyttöä. Muuntojoustavuuden kannalta pilari-palkki -runkoinen rakennus on käytännöllisin ratkaisu. Kyseisessä rakenneratkaisussa kantavana runkona toimii pystysuuntaiset pilarit ja vaaka- palkit, jotka yhdessä kantavat rakennuksen kuormia. Tämän avulla lähes kaikki väliseinät ovat ei-kantavia seiniä, joiden sijoittelua voi muuttaa tarpeen mukaan. Rakennuksen runkoa jäykistäviä seiniä ei tosin voi poistaa ei-kantavien seinien tavoin.

Käyttötarkoituksen vaihtamisen lisäksi muuntojoustavuus käsittää myös rakennuksen LVI-laitteiden uudistamisen. Teknologian kehittyessä, myös talotekniikka kehittyy parempia ja energiatehokkaampia ratkaisuja kohti. Mikäli rakennuksissa ei ole mahdollisuutta uusimpien LVI-laitteiden asentamiseen, rakennuksen käyttömukavuus heikkenee. Tämä vähentää rakennuksen käyttöä, mikä usein johtaa rakennuksen eliniän päättymiseen. Ekologisin rakennus on lähtökohtaisesti uudistamiskelpoinen rakennus, jota ei tarvitse purkaa.

### 3.2 Puukerrostalo ilmastostrategian näkökulmasta

Puurakentamisen lisääminen on loogisin vaihtoehto Tampereen ilmastostrategia ja kasvu huomioiden. Kasvavana kaupunkina Tampereen tulee tarjota uusille asukkaille erilaisia palveluita sekä asuntoja, mutta samalla kuitenkin huomioida ilmastostrategian tavoitteet. Ilmastonmuutoksen näkökulmasta rakentamisen ja kuluttamisen selkeä vähentäminen olisi nopein ratkaisu tavoitteiden saavuttamiseksi, mutta myös kestäväillä valinnoilla päästään toivottuun lopputulokseen.

Puurakentamisen selkein etu ilmaston kannalta on puun varastoiman hiilidioksidin määrä. Suomen metsät kasvavat lähtökohtaisesti 100 vuorokautta vuodesta<sup>11</sup>, keräten kasvunsa aikana itseensä hiilidioksidia fotosynteesin avulla. Järkevillä hakkuilla Suomen metsien kasvu ylläpidetään kestäväenä, ja metsien hiilinielut saadaan pidettyä elinvoimaisina. Laskennallisesti yksi kuutiometri kasvavaa puuta kerää itseensä 1 tonnin ilman hiilidioksidia ja vapauttaa 0,7 tonnia happea<sup>12</sup>. Puun kuivasta massasta noin puolet on hiiltä<sup>13</sup>. Hiilivarastojen kautta voidaan ajatella, että rakennukseen käytetyn puumateriaalin kokonaispainosta puolet on hiilidioksidia. Tämä vastaa esimerkiksi noin 2000 kem<sup>2</sup> kokoisessa kerrostalossa noin 700 000kg hiilidioksidia, jos kerrostalon runko on toteutettu CLT:stä, tai vastaavasta massiivipuuratkaisusta. Vastaavan betonirunkoisen kerrostalon hiilivarasto olisi noin 80 000kg hiilidioksidia<sup>14</sup>, mikä on lähes yli 8 kertaisesti pienempi määrä.



Kuva 3.2 Havainnollistus rakennusten hiilivarastoinnista (Viljakainen, M. et al, 2019. s. 17).

<sup>11</sup> Karjalainen, M., 2020a. s. 9

<sup>12</sup> Karjalainen, M., 2020a. s. 2

<sup>13</sup> Karjalainen, M., 2020a. s. 4

<sup>14</sup> Viljakainen, M. et al, 2019. s. 17



Hiilivarastojen optimoimisessa tulee muistaa, että puukerrostalojen rakentaminen ei itsessään ole ongelman ratkaisu, vaan hiilen säilyttäminen rakennuksessa. Käyttöään päätyttyä, puumateriaali usein poltetaan energiaksi, jolloin puun sisältämä hiili vapautuu takaisin ilmakehään. Mitä kauemmin puurakenne säilytetään käytössä, sen parempi. Käytön aikana tehtävät määräaikaist tarkistukset varmistavat rakenteiden pitkän käyttöiän. Kosteusteknisillä ratkaisuilla on puurakenteiden käyttöiässä merkittävä rooli, johon puun sisäisestä biomassasta. Homehtuminen on kosteusteknisesti puun isoin ongelman. Hyvillä huoltotoimenpiteillä voidaan välttyä homeen aiheuttamilta suurilta korjaustarpeilta, jolloin rakennus pystyy palvelemaan käyttötarkoitustaan pidempään.

Puumateriaalin käytön lisääntyessä myös puiden hakkuiden määrät kasvavat, mikä ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta ei ole suotuisaa. Hakkuiden lisääntyessä Suomen metsien hiilinielut kärsivät, ellei hakkuita toteuteta koordinoitusti ja kestävästi. Hiilinielulla tarkoitetaan kasvavaa metsää, joka kerää itseensä suuria määriä hiilidioksidia ilmasta. Puun taimi sitoo parhaiten hiiltä kasvuvaiheen aikana, minkä jälkeen hiilen sidonta vakiintuu puun kasvettua täyteen mittaansa. Suomessa hakkuiden määrä on 2000-luvun aikana noussut, saavuttaen historiansa korkeimman huipun vuonna 2017<sup>15</sup>. Hakkuiden määrä ei tosin johdu puurakentamisen kasvavasta suosiosta, sillä 70% hakatusta puusta päätyy Suomessa paperiteollisuuteen<sup>16</sup>. Laajojen talousmetsien ansioista Suomen metsät kasvavat 27 tunnissa puurakentamisen tarvitseman puumassan, mikäli kaikki uudiskerrostalot rakennettaisiin puurunkoisina<sup>17</sup>. Puurakentamisen uusia ja innovatiivisia ratkaisuja kehitetään jatkuvasti, mikä mahdollistaa kaadetun puun hyödyntämisen nostamisen mahdollisimman korkeaksi.

Betonirakentamisessa puuta käytetään eniten rakennusvaiheessa, esimerkiksi valumuottien kehikkoina. Betonivalun valmistuttua puinen rakennusmateriaali käsitellään usein rakennusjätteenä, ja siirretään sekundaariseen kierrätykseen. Sekundaarinen kierrätys tarkoittaa puun tapauksessa usein polttoa energiaksi. Aiemmin todetun mukaisesti palamisreaktiossa puun sitoma hiili vapautuu takaisin ilmakehään, mikä kumoaa puumateriaalin ilmastohyödyn. Betonivalun valmistuminen kestää keskimäärin kuukauden betonimuotin koosta riippuen. Usein myös rakennusvaiheessa käytettynä ollut puumateriaali kierrätetään sekajätteenä, vaikka puutavaran käyttö olisi ollut lyhytaikaista. Täten voidaan todeta, että teollisessa rakentamisessa puumateriaalien käyttöä on mahdollista kehittää merkittävästi kohti ilmastoystävällisempää määränpäättä.

---

<sup>15</sup> Taegen, J. et al, 2019.

<sup>16</sup> Taegen, J. et al, 2019.

<sup>17</sup> Karjalainen, M., 2020a. s. 9

### 3.3 Lisäkerrosrakentaminen ja korjausrakentaminen

Korjaaminen ja kunnossapito ovat väistämättömiä toimia rakennuksen elinkaaren aikana. Lisäkerrosrakentaminen on suuri korjaustoimenpide, mikä lähtökohtaisesti toteutetaan vanhalle rakennukselle. Lisäkerrosrakentamisessa yläpohjan päälle rakennetaan yleensä kaksi tai useampi uudiskerros. Lisäkerroksien yhteydessä usein korjataan myös olemassa olevaa rakennusta, sekä energiatehokkuuden että ulkonäön osalta. Laajamittaisien korjauksien myötä rakennuksen käyttöikä useimmiten pitenee merkittävästi pienentäen uudisrakentamisen tarvetta.

Lisäkerrosrakentamisen hyöty näkyy ensisijaisesti uudisrakentamistarpeen vähenemisenä, mutta myös rakentamissektorin päästöjen pienenemisenä kaupungin mittakaavassa. Yleisesti käytetty maanvarainen betonilaatta on erittäin hyvä alusta lisäkerrosrakentamiselle kestävyytensä puolesta. Vaikka betonilaatalla on hiilidioksidipäästöjensä vuoksi selkeä negatiivinen vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen, on alapohjarakenne materiaaliltaan lähes ikuinen. Pitkäkestoisuutensa näkökulmasta olisi uudisrakentamisen sijaan järkevää painottaa lisäkerrosrakentamista, jossa hyödynnetään olemassa olevia alapohjia. Lisäkerrosrakentamisen voikin mieltää rakennuskannan tietäntyyppiseksi uusiokäytöksi.

Puunkäyttö lisäkerrosrakentamisessa on kannattava vaihtoehto, johtuen puun keveydestä ja ilmastohyödyistä. Puu on massaltaan betonia ja terästä kevyempi. Keveys johtuu puun sisäisestä isotrooppisesta rakenteesta, minkä vuoksi puun paino on neljäsosan betonin painosta<sup>18</sup>. Isotrooppisuudella tarkoitetaan puun sisäisiä pieniä onttoja huokosia, joihin puu kerää kasvaakseen vettä maaperästä. Keveyden ansiosta puusta on kustannustehokasta rakentaa esivalmistettuja tilaelementtejä, jotka kuljetetaan rakennuspaikalle valmiina kappaleina. Tilaelementtien käyttö sopii erityisesti lisäkerrosrakentamiseen, jossa elementit kuvainnollisesti vain pinotaan vanhan rakennuksen päälle. Kuten voidaan huomata, keveydestä huolimatta puu on erittäin monipuolinen ja kestävä materiaali, joka soveltuu erinomaisesti rakentamiseen. Keveyden lisäksi puurakentamisen kautta saadaan lisättyä kaupunkirakenteen hiilivarastoja, näin edistäen Tampereen ilmastotavoitetta.

Lisäkerrosrakentamisen yhteydessä toteutettavat laajamittaiset korjaustoimenpiteet pidentävät vanhan rakennuksen elinikää, ja ovat näin ekologisempi ratkaisu uudisrakentamiselle. Korjauksen yhteydessä toteutettavat julkisivujen materiaali- ja/tai väriuu-

---

<sup>18</sup> Puuinfo Oy, 2010. s. 1

distukset parantavat huomattavasti vanhankin rakennuksen ulkonäköä. Julkisivujen uudistuksen yhteydessä usein toteutetaan myös ulkoseinien lämmöneristyksen parannus. Vanhoissa kerrostaloissa on usein pienempi lämmöneristyskyky kuin nykyrakennuksissa, johtuen uudistuneista rakennusmääräyksistä. Lämmöneristystä nostamalla saadaan vanhaa rakennusta energiatehokkaammaksi, mikä vähentää jatkokäytön aiheuttamia lämmityskuluja.

Lisäkerrosrakentamisella vastataan myös Tampereen kaupungin kasvavaan asuntotarpeeseen, ilman keskustan tai keskustan lähiympäristön kulttuurihistoriallisesti arvokkaiden rakennusten purkamisen tarvetta. Purkaminen saattaa hävittää Tampereen kaupunkikuvasta arkkitehtonisesti tärkeitä rakennuksia. Vanhat rakennukset ovat osa jokaisen kaupungin historiallista ulkoasua. Puisen lisäkerrosrakentamisen avulla tiivistetään olemassa olevaa rakennuskantaa, luodaan historiallista kerrostumaa kaupungin katukuvaan visuaalisesti ja lisätään Tampereen rakennuskannan hilivarastoja. Tämä konkretisoituisi varsinkin Tampereen keskustassa, jossa on sekä useita historiallisesti tärkeitä rakennuksia, että suuri tarve uusille asunnoille. Kaikki yllä mainitut keinot kantavat ajatusta päästöjen vähentämisestä, jonka tarpeisiin puurakentamisen suosiminen vastaa. Ylläpitämällä ja huoltamalla olemassa olevia rakennuksia, hiilijalanjälki rakentamisen sektorilta pienenee merkittävästi. Korjaaminen on aina vähähiilisyiden kannalta kannattavampaa, kuin vanhan purkaminen ja uuden rakentaminen.

## 4. ENERGIAN KÄYTTÖ

Energiankäytöllä on olennainen osa rakennuksen elinkaaren aikaisia päästöjä. Rakennuksen käyttöikä on lähtökohtaisesti 75 vuotta. Rakennuksen suunnittelu voi kestää useamman vuoden, mutta se ei suoraan heikennä rakennuksen vähähiilisyttä. Materiaalien valmistus ja rakennusvaihe tuottavat ensimmäiset hiilijalanjälkeen vaikuttavat päästöt. Tavoitteellisesti näiden vaiheiden tulisi kestää korkeintaan noin 2 vuotta. Materiaalien valmistuksen ja rakennusvaiheen päästöt eivät vielä sisälly käyttövaiheeseen, mutta kuuluvat rakennuksen elinkaaren kokonaispäästöihin. Työmaavaiheen päätyttyä alkaa rakennuksen käyttövaihe, jonka aikana energiaa kuluu eniten lämmitykseen. Lämmityksen päästöt kertyvät 75 vuoden ajalta, mikä kasvattaa hiilidioksidin kokonaisarvoa elinkaaren hallitsevaksi tekijäksi. Näin ollen lämmitysjärjestelmän energialähteen valinnalla on oleellinen merkitys. Uusiutuvan ja uusiutumattoman energialähteen ero voi olla jopa  $600\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$  (uusiutuvan energian päästöt  $200\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$ , ja uusiutumattoman  $800\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$ )<sup>19</sup>.

Tulevaisuudessa energiantarve lisääntyy entisestään kasvavissa kaupungeissa, mikä korostaa energian käytön merkitystä. Energiatohokkuuden lisäksi myös yksilön valintojen vaikutus kasvaa. Kaupungin tasolla ei voida määrittää, mitä energialähteitä yksilön tulee käyttää, mutta jokainen voi itse päättää millä tavoin tuotettua sähkö ostaa. Kysynnän lisääntyessä myös ekologisten energialähteiden tarjontaa kasvaa, mikä laskee uusiutuvilla energialähteillä tuotetun energian hintaa. Hinnan aleneminen luo kestäväen kehityksen energiasta kilpailukykyisemmän perinteisten energialähteitä rinnalle.

### 4.1 Rakennuksen lämmitys

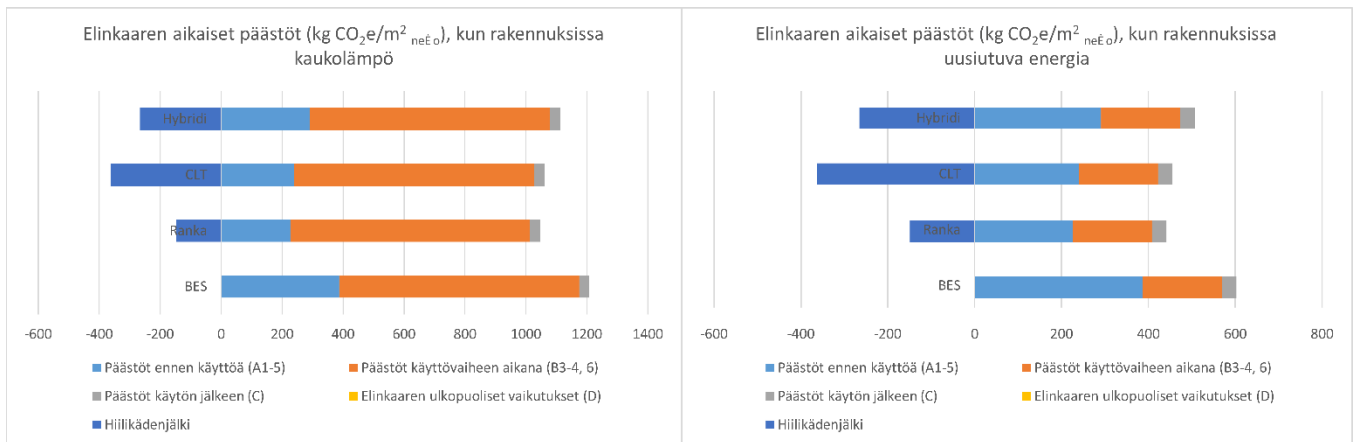
Lämmityksessä uusiutuvia energioita hyödyntämällä pystytään toteuttamaan vähähiilisiä rakennuksia. Vähähiilisyyden kannalta lämmitysmuodon vaihtaminen uusiutumattomasta energiasta uusiutuvaan energiaan on ratkaisevaa. Uusiutuviin energialähteisiin lukeutuvat tuuli-, vesi-, aurinko- ja geoenergia. Tuuli- ja aurinkoenergialla on Suomessa suuret potentiaaliset kasvumahdollisuudet, huolimatta energialähteiden vaihtelevasta tuotosta<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> Viljakainen, M. et al, 2019. ss. 14-15

<sup>20</sup> Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016. Ss. 11-12

Suomen yleisin lämmitysratkaisu on kaukolämpö, johon on liitetty 46,3% Suomen kaikista asuin- ja palvelurakennuksista. Suurissa kaupungeissa asuinrakennuksista yli 90% on liitetty kaukolämpöverkkoon<sup>21</sup>. Kaukolämmön energiantuotannolla onkin todella suuri merkitys Suomen rakennuksien hiilidioksidipäästöissä. Kaukolämpö aiheuttaa Suomessa kokonaisuudessaan noin 60% fossiilisten energianlähteiden päästöistä<sup>22</sup>. Kaukolämmön energiantuotantoon käytettävät hiilivoimalat muodostavat lämmitysmuodon hiilidioksidipäästöt. Hiilivoimaloiden vaihtaminen uusiutuvaan energiaan vähentäisi huomattavasti koko Suomen rakennuskannan aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä.



*Kuva 4.1 Lämmitysjärjestelmän vaikutus rakennuksen elinkaaren aiheuttamiin päästöihin (Viljakainen, M. et al, 2019. ss. 14-15).*

Erilaisia lämmitysmenetelmiä on hyödynnetty asuinrakennuksissa. Näistä yleisimpiä ovat sähkölämmitys, lämpöpumppu ja erilaiset lämmityskattilat, joita käytetään varsinkin pientaloissa. Lämmitysmuotona maalämpö on todella ilmastoystävällinen ratkaisu, joka kerää lähes päästövapaasti uusiutuvaa geoenergiaa maaperästä lämpöpumpun avulla. Päästöttömyydestä huolimatta perinteistä maalämpöä ei voida hyödyntää kaupunkirakentamisessa sen vaatimien laajojen maankäyttötoimenpiteiden takia. Vuoden 2020 alussa Espoossa käynnistettiin Suomen ensimmäinen geolämpölaitos, joka mahdollistaa maalämmön hyödyntämisen myös kaupunkiympäristössä<sup>23</sup>. Lämpölaitokset hyödyntävät maalämmön kaltaisesti päästötöntä geoenergiaa, mutta perinteisestä maalämmöstä poiketen, laitosten syvälämpökaivot porataan kilometrien syvyyteen.

<sup>21</sup> Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016. s 12

<sup>22</sup> Viljakainen, M. et al, 2019. s. 11

<sup>23</sup> Qheat, 2020.

Geolämpö kasvaa 20 astetta kilometriä kohti, minkä vuoksi syvien lämpökaivojen avulla pystytään lämmittämään jopa kokonaisia kaupunginosia<sup>24</sup>. Tampereelle on suunnitteilla kaksi geotermisen energian tuotantolaitosta, joissa lämpökaivot ulottuisivat yli 7 kilometrin syvyyteen, näin tarjoten uusiutuvan lämmityksen Tampereen asuntokannalle.

## 4.2 Käyttäjän oman toiminnan merkitys

Käyttäjien jokapäiväisillä valinnoilla on pieni merkitys hetkellisesti, mutta rakennuksen elinkaaren aikana päätökset voivat kertyvät isoksi tekijäksi. Suurimpana tekijänä on kulluttajan valitseman energianlähteen valinta, kuten voidaan huomata kappaleesta 4.1. Asuinrakennuksessa asuvien henkilöiden energiankäyttö kertyy päivä päivältä rakennuksen kokonaisenergiankäytöksi. Tätä kautta uusiutuvan energian suosiminen edesauttaa rakennuksen käyttöajan hiilijalanjäljen pienentämistä.

Rakennusten sisäiset LVI -laitteet huomioidaan rakennusten elinkaaren päätöissä. Talotekniikan osuus rakennuksen elinkaaren päästöistä on selkeästi vähäisin, joten talotekniikan päästöjen rajulla vähentämisellä ei mahdollisteta merkittävää muutosta rakennuksen kokonaispäästöihin. Ilmanvaihtojärjestelmän päästöt vaikuttavat LVI -laitteista eniten rakennuksen hiilijalanjälkeen. Järjestelmän asentamisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat noin 8 500kg CO<sub>2</sub>e luokkaa, ja vaikka ilmanvaihdon päästöt puolitettaisiin, sen osuus koko rakennuksen hiilidioksidipäästöistä vastaisi noin 1% parannusta<sup>25</sup>. Täten talotekniikka ei itsessään aiheuta suuria hiilidioksidipäästöjä, vaan laitteiden käyttäjällä on suurempi merkitys rakennuksen ja laitteiden elinkaaren kannalta. Huoneistojen lämmitys ja ilmastointi ovat välttämättömiä asuinmukavuuden ylläpitämiseksi, mutta niiden liiallista käyttöä voi harkiten vähentää. LVI -laitteiden käytön päästöjen vähentäminen pohjautuu pääsääntöisesti laitteiden energiankäyttöön, ja uusiutuvan energian suosimiseen.

---

<sup>24</sup> Yle, 2020.

<sup>25</sup> Viljakainen, M. et al, 2019. s. 22

## 5. TAMPEREEN PUURAKENNUSKANNAN HIILIVARASTOINTIKYKY

Tampereen puurakentamisen kehittämissuunnitelman myötä puuasuinkorjaaminen on selvässä nousussa. Tampereelle on suunnitteilla kolme puukerrostaloa, ja todennäköisiä puukerrostalohankkeita on yhteensä seitsemän<sup>26</sup>. Puukerrostalojen lisääminen sitoo suuremman määrän ilmaston hiilidioksidia rakennuksiin täten edesauttaen Tampereen ilmastostrategian tavoitteiden saavuttamista. Kestävä Tampere 2030 -ohjelman yhteydessä toteutettiin Tampereen puurakennusten hiilensidontakyvyn selvittävä hanke. Puurakentamisen ja hiilensidonnasta avoimen tietokannan kehittäminen, työnimellä 'puudigi', oli osana puurakentamisen kehittämissuunnitelmaa. Hankkeen tarkoituksena ei ollut tehdä uutta tutkimusta Tampereen puurakennuksien hiilensidonnasta, vaan yhdistää kaupungin avoin aineisto yhteen helposti luettavaan kolmiulotteiseen karttasovellukseen. Kaupungin avoin aineisto ulottuu vain tiettyjen rakennuksien osalta 1900 -luvun alkuun asti, mikä ilmenee kattavan analyysin toteutuksessa. Vanhojen rakennusten runkotyypeissä on tarvittaessa tehty oletuksia, minkä vuoksi loppuraportissa on laajamittaisia yleistyksiä ja arvioita Tampereen hiilivarastoista. Vaihtelevien arvioiden vuoksi tulokset eivät anna täysin totuudenmukaista lukemaa varastoidun hiilen määrästä. Hanke on ennemminkin avaus avoimen tiedon laajalle hyödyntämiselle, ja lähtökohtaisesti tarjoaa sille alustan.

Puudigin loppuraportti valmistui vuonna 2019, ja Tampereen kaupungille luotu kolmiulotteinen karttapalvelu löytyy puurakentamisen ohjelman nettisivuilta. Karttapalvelussa voi tarkastella Tampereen rakennuskantaa erilaisten rajauksien avulla. Palvelussa voi eritellä rakennusten runkotyyppit sekä julkisivumateriaalit kolmeen materiaaliin luokkaan, puu, tiili ja betoni. Muutamia yleistyksiä runko- ja julkisivumateriaalien joukossa on, mikä johtuu lähtötietojen laatuvirheistä. Tästä huolimatta hankkeen laajuus on todella kattava ja luo erinomaisen alustan Tampereen rakennuskannan jatkoseurannalle. Monipuolisen seurannan hyvänä esimerkkinä toimii Helsingin vastaava hanke, energia- ja ilmastoatlas, jossa karttapalveluna toimii sama alusta, Cesium. Helsingin karttapalvelusta löytyvät rungon ja julkisivumateriaalien lisäksi tietoa rakennuksien lämmitystavoista, tehdyistä peruskorjauksista sekä kaukolämmön ja veden kulutuksesta. Lisäämällä vastaavia tietoja Tampereen karttasovellukseen, pystyttäisiin keräämään tietoa rakennuskannan kunnossapitotoimenpiteistä, aurinkoenergiapotentiaalista sekä voitaisiin tarkentaa ja jatkaa puurakennusten hiilensidontakyvyn seuranta.

---

<sup>26</sup> Tolppanen, J., 2019. s. 1

## 5.1 Rakennusten hiilivarastot

Tampereen puurakentamisen hiilensidonnän tietokannan selvittämisessä hyödynnettiin VTT:n sekä Puuinfo Oy:n valmiita arvoja puurakennuksien hiilivarastointikyvyille. Rakentamisen hiilivarastot (Vares. S, Häkkinen. T, Vainio. T, 2017, VTT) tutkimuksessa puukerrostalon hiilivaraston arvioksi annetaan 287 tonnia hiilidioksidia, joka vastaa 4 -kerroksista pilari-palkki -runkoista kerrostaloa. Puuinfo Oy:n antama arvio suomalaisen pientalon hiilivarastolle on yleistettynä 30 tonnia<sup>27</sup>. Rivitalojen arvio hyödyntää pientalojen annettua arvoa ja se kerrotaan luvulla 2,2. Suhdeluku muodostuu rivitalojen ja pientalojen kokonaisaloista. Hankkeessa rakennuskannan hiilensidonnalle on kaksi laskukaavaa, joista käytän esimerkkilaskuissani laskukaavaa 1 selkeyden vuoksi. Laskukaava 1 pohjautuu annettuihin hiilivarastoarvoihin, jotka kerrotaan vastaavien rakennusten lukumäärällä. Tässä kaavassa pientalot oletetaan samanlaisiksi ja puukerrostalot laskeaan samalla arvolla, vaikka pääosa Tampereen puukerrostaloista on kaksikerroksia.

Tampereen rakennuskannassa on 13 285 puurunkoista pientaloa, 1 285 puurunkoista rivitaloa ja 697 puurunkoista kerrostaloa<sup>28</sup>. Laskukaavan 1 mukaan Tampereen puurunkoisen rakennuskannan hiilivarastointi kyky vastaa noin 683 kilotonnia hiilidioksidia. Pientalojen osuus on 400 kilotonnia, rivitalojen 85 kilotonnia ja kerrostalojen 200 kilotonnia. Arvojen vaihtelu johtuu pyöristämisestä.

Kuten huomataan, valtaosa puisesta rakennuskannasta on pientalorakennuksia, joista yli puolet on yksikerroksisia. Puurunkoisten pientalojen rakentaminen oli huipussaan 1980-1990, jolloin valmistui 3829 pientaloa. Toisin kuin pientalot, puukerrostalojen rakentaminen väheni radikaalisti 1960 -luvulla. Tampereen puukerrostaloista 77% on valmistunut ennen vuotta 1960<sup>29</sup>, minkä takia raportin tuloksien todenmukaisuus kärsii. Loppuraportin yleistyksistä huolimatta voidaan todeta, että puurakennusten hiilivarastointikyky on Tampereen mittakaavassa erittäin suuri.

## 5.2 Tampereen hiilivarastointi vuosina 1980-2020

Tarkasteltaessa vuosia 1980-2020, voidaan huomata puurakentamisessa merkittävä muutos. Puukerrostalojen rakentaminen väheni radikaalisti 1980 -luvulla, minkä jälkeen valmistui yhteensä 125 puurunkoista kerrostaloa, joista vain kuusi on 4 -kerroksisia. Sen sijaan betonirunkoisia kerrostaloja rakennettiin samoina vuosina yhteensä 1 645, ja niistä suurin osa on noin 8 -kerroksisia. Yksittäinen betonirunkoinen kerrostalo aiheuttaa

---

<sup>27</sup> Välimäki, P., 2019. s.7

<sup>28</sup> Tampereen kaupunki, 2020.

<sup>29</sup> Välimäki, P., 2019. s. 8



noin 124 tonnia hiilidioksidipäästöjä<sup>30</sup>, joten vuodesta 1980 lähtien valmistuneet betonirunkoiset kerrostalot ovat aiheuttaneet yhteensä noin 204 kilotonnia fossiilisia hiilipäästöjä. Verrattaessa tätä samalla ajanjaksolla rakennettuihin puurunkoisiin pien- ja kerrostaloihin, saadaan muodostuneiksi hiilivarastoiksi noin 212 kilotonnia. Varastoinnin luku on päästöjä suurempi, mikä on hyvä asia Tampereen ilmastostrategian kannalta, mutta ei ole ratkaisu vähähiilisyden tavoitteessa. 83% sitoutuneesta hiilestä on pientaloissa, joiden lisääminen ei ole mahdollista Tampereen keskustassa. Sen sijaan puukerrostaloja ja lisäkerrosrakentamista lisäämällä pystytään vastaamaan Tampereen kaupungin kasvavaan asuntotarpeeseen, samalla sitoen suuria määriä hiilidioksidia yksittäisiin rakennushankkeisiin.

Rakenteilla olevien hankkeiden esiin nostaminen on myös oleellista. Tampereen näkyvin rakennushanke, Kansiareena, on valtaosin rakennettu betonista, minkä hyvittäminen on huomioitava vähähiilisyystavoitteessa. Kansiareenan rakennusvaiheen aikana betonin käytön määrää on haastavaa arvioida, mutta suuntaa antavat laskelmat ovat mahdollisia. Kannen betonilaattaa on alaltaan 20 000 m<sup>2</sup>, ja painaa noin 20 kilotonnia. Kantavaan laattaan valetaan 8 000 m<sup>3</sup> betonia<sup>31</sup>, ja yhden betonikuution valmistamisesta aiheutuu noin 200kg hiilidioksidipäästöt<sup>6</sup>. Laskennallisesti Kansiareenan betonilaatan päästöt ovat jopa 1 600 tonnia. Betoni on rakenteessa merkittävässä roolissa, mutta sen tuottaman päästömäärän hyvittäminen vaatii 1 600 kasvavaa puuta tai laskukaavan 1 mukaisesti kuuden puukerrostalon tai 48 000 puurunkoisen pientalon rakentamisen.

Päästölukemia ja teoreettisia hiilivarastoja laskettaessa täytyy muistaa, että hiilivarastot eivät vähennä rakennuksen käytönaikaisia päästöjä. Vaikkakin Tampereen puurunkoiset rakennukset luovat teoreettisesti todella suuren hiilivaraston, rakennusten käytönaikaiset päästöt pienentävät hiilivarastojen tuomaa hyötyä. CLT -runkoinen puukerrostalo on hiilineutraali 12,5 vuoden lämmityksen ajan, jos lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö. Vastaavasti lämmityksen perustuessa uusiutuviin energianlähteisiin, hiilineutraalius kestää 55 vuotta<sup>32</sup>. Kappaleessa 4.1. todetaan, että 41,3% Suomen rakennuksista on liitettyä kaukolämpöverkkoon, joten voidaan olettaa, että noin puolet Tampereen puurakennusten hiilivarastoista on jo ”käytetty”. Puurunkoisten rakennusten, ja sitä kautta hiilensidonnallisuuden lisääminen ei yksinomaan ole päästöjen hyvittäminen ratkaisu. Vähähiilisyys vaatii puurakentamisen lisäksi kokonaisvaltaista suunnittelua ja kestävien ratkaisujen suosimista.

---

<sup>30</sup> Kuittinen, M., 2014. s. 12

<sup>31</sup> Vilonen, I., 2018.

<sup>32</sup> Viljakainen, M. et al, 2019. s. 17

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tampereen kaupungin hiilineutraalius vuonna 2030 on kunnianhimoinen, mutta täysin saavutettavissa oleva tavoite. Tavoite vaatii laajoja ja nopeita toimia monelta eri kaupungin sektorilta. Puurakentamisen edistämishjelma, joka on osa Kestävä Tampere 2030 -ohjelmasuunnitelmaa, on erinomainen hanke vähähiiliselle rakentamiselle. Biogeenisten ominaisuuksiensa ansiosta puu on rakentamisessa kannattavin vaihtoehto päästöjen hyvittämiselle. Kasvaessaan puu sitoo itseensä noin tonnin hiilidioksidia kuutiota kohti<sup>33</sup>. Puun hiilivarastot ylittävät materiaalivalmistuksen aiheuttamat päästöt, minkä vuoksi puun käyttäminen edesauttaa ilmastonmuutoksen hillitsemistä. Hiilivarastojen suuruus on riippuvainen runkotyypistä. Vähähiilisen rakentamisen näkökulmasta massiivipuura-kenteet ovat paras vaihtoehto, ja parhaimmillaan ne mahdollistavat jopa hiilineutraalin rakentamisen. Suurilla hiilivarastoilla ja kestäväillä ratkaisuilla mahdollistetaan vähähiilisen rakennuskannan toteutuminen myös Tampereen mittakaavassa.

Rakentaminen voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: esirakentamisvaihe, rakentamisvaihe ja jälkirakentamisvaihe. Vähähiilisydessä huomioidaan rakennuksen koko elinkaari, johon lukeutuvat rakennusmateriaalien, rakentamisen, käytön, ylläpidon, energian tuotannon ja sen primäärilähteiden, purkamisen sekä uudelleenkäytön päästöt. Selkeästi suurin vaikutus rakennuksen vähähiilisydelle on lämmitysjärjestelmän valinnalla ja sen energian tuotannon primäärilähteillä. Uusiutuvaan energiaan pohjautuvalla järjestelmällä pystytään vähentämään rakennuksen käyttöajan päästöjä jopa alle kolmannekseen, verrattaessa perinteiseen kaukolämpöön<sup>34</sup>. Tämä vuoksi uusiutuvan energian suosimisella on suuri rooli Tampereen kaupungin hiilineutraaliustavoitteessa.

Lämmityksen lisäksi rakennuksen elinkaaren aikaisiin päästöihin voidaan vaikuttaa suunnittelulla. Oikeilla materiaalivalinnoilla lisätään rakennuskannan hiilivarastoja, ja samalla tulisi pyrkiä pienentämään rakennuskannan uudistamistarvetta. Teollisen rakentamisen ajatusmalli, jossa vain uusi rakennusmateriaali on käyttökelpoista, on mielestäni epärationaalinen. Rakennusmateriaalit voivat joissain tapauksissa olla elinkaaren päätyttyä kierrätyskelpoisessa kunnossa, mitä pitäisi hyödyntää enemmän rakentamisen sektorilla. Mielestäni rakennusmaailmassa tulisi ajatella vastaavasti kuin käytettyjen hyödykkeiden kierrätyksessä, jossa selkein uusiokäytön esimerkki on pakkausmateriaalien

---

<sup>33</sup> Karjalainen, M., 2020a. s. 2

<sup>34</sup> Viljakainen, M. et al, 2019. ss. 14-15

kierrätys. Materiaalien uusiokäytöllä pienennetään materiaalivalmistuksen tarvetta, mikä vähentää rakennussektorin aiheuttamia päästöjä.

Puun suosiminen rakennusmateriaalina luo Tampereen kaupungin rakennuskantaan kattavia hiilivarastoja, joiden kautta hillitään ilmastonmuutosta. Puun käyttöä lisäämällä hyvitetään vanhan rakennuskannan aiheuttamat hiilidioksidipäästöt, sekä rakenteilla olevien hankkeiden tuottamia päästöjä. Huolimatta siitä, että Tampereen olemassa oleva puurakennuskanta on sitonut itseensä todella merkittävän määrän fossiilisia hiilipäästöjä, sidotun hiilen määrä pysyy muuttumattomana ilman uusia hiilivarastoja. Sen sijaan rakennuskannan aiheuttamat päästöt lisääntyvät vuosittain. Hiilivarastoja lisäämällä, kestäviä energialähteitä suosimalla ja metsien hiilinieluja suojaamalla ja kasvattamalla Tampereen vähähiilisyden tavoite vuodelle 2030 on täysin mahdollinen. Vähähiilisyyttä tarkasteltaessa tulee muistaa, että vähähiilisessä puurakentamisessa ei ole lähtökohtaisesti kyse puusta, vaan hiilestä.

## 7. LÄHTEET

Adams, M., Burrows, V., Richardson, S., Drinkwater, J., Gamboa, C., 2019. Bringing embodied carbon upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon. [pdf] World Green Building Council. Saatavilla: [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/World-GBC\\_Bringing\\_Embodied\\_Carbon\\_Upfront.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/World-GBC_Bringing_Embodied_Carbon_Upfront.pdf)

Kaupunginhallitus, 2018. Smart Tampere: Kestävä Tampere 2030 -ohjelmasuunnitelma. [pdf] Tampereen kaupunki. Saatavilla: [https://www.tampere.fi/tiedostot/k/5TKHioQeB/Kestava\\_Tampere\\_2030\\_ohjelmasuunnitelma.pdf](https://www.tampere.fi/tiedostot/k/5TKHioQeB/Kestava_Tampere_2030_ohjelmasuunnitelma.pdf)

Karjalainen, M., 2020a. Puurakentamisen ympäristönäkökohtia Suomessa. Tampereen Yliopisto

Karjalainen, M., 2020b. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet Suomessa. Tampereen Yliopisto

Kuittinen, M., 2015. Carbon storage in wood-based buildings. [pdf] Metsä Wood. Saatavilla: <https://www.metsawood.com/global/tools/materialarchive/materialarchive/article-carbon-storage-in-wood-based-buildings-matti-kuittinen.pdf>

Kuittinen, M., 2014. Rakennusten ilmastovaikutusten vertailu: Katsaus 200 -luvulla tehtyihin tutkimuksiin. [pdf] Rakennustuoteteollisuus ry, Puutuotejaoisto. Saatavilla: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Rakennusmaterian%20ilmastovertilu%202014-10-20.pdf>

Lahtela, T., 2018. Paloturvallinen puutalo: Asuin- ja toimitilarakentaminen. [pdf] Puuinfo Oy. Saatavilla: [https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Palokirja\\_LOW\\_p%C3%A4ivitetty%2021.2.20.pdf](https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Palokirja_LOW_p%C3%A4ivitetty%2021.2.20.pdf)

Lassila, A., 2020. Suomalaiset pioneerit. ARK -lehti, 2-2020, ss. 24-27

Mattila, J., 2014. Betoni ja ympäristö. Rakennustieto. Saatavilla: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150303.pdf>

Puuinfo Oy. 2010: Hyvä tietää puusta: Perustietoa puusta. [pdf] Puuinfo Oy. Saatavilla: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Hyv%C3%A4%20tiet%C3%A4%20puusta%20WEB.pdf>

Qheat, 2020. QHeat ja NREP käynnistivät Suomen ensimmäisen geolämpölaitoksen. Saatavilla: <https://www.qheat.fi/fi/qheat-ja-nrep-kaynnistivat-suomen-ensimmaisen-geolampolaitoksen/>

Taegen, J., Lammert, L., 2019. Ilmastonmuutos ja hiilinielut rakentamisen näkökulmasta, Eko-SAFA. Saatavilla: <https://www.spreaker.com/user/11380874/ilmastonmuutos-ja-hiilinielut-rakentamis>

Tampereen kaupunki, 2020. Puurakentamisen ohjelma. Saatavilla: <https://www.tampere.fi/smart-tampere/kestava-tampere-2030-ohjelma/puurakentamisenohjelma.html>

Tolppanen, J., 2019: Suomalainen puukerrostalohankekanta: Suunnitteilla ja rakenteilla olevat suomalaiset puukerrostalohankkeet, 11/2019. [pdf] Ympäristöministeriö. Puuinfo. Saatavilla: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puukerrostalohankekanta%2C%20p%C3%A4ivitetty%2011-2019.pdf>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2016: 100-prosenttisesti uusiutuviin energianlähteisiin perustuva energia järjestelmä. [pdf] Työ – ja elinkeinoministeriö. Saatavilla: <https://tem.fi/documents/1410877/3570111/100+prosenttia+uusiutuva+ tarkastelu.pdf/8e4ee341-77c5-4447-b6ce-1f2686a3daec/100+prosenttia+uusiutuva+ tarkastelu.pdf>

Vares, S., Häkkinen, T., Vainio, T., 2017. Rakentamisen hiilivarasto. VTT. Saatavilla: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B2859F537-ECD2-479D-A62B-F13AD75403F2%7D/136827>

Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31, 2019. Osallistava ja osaava Suomi: sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. [pdf] Valtioneuvosto. Saatavilla: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN\\_2019\\_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Viljakainen, M., Lahtela, T., 2019: Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu: Tapaus tutkimus rakennuksen hiilijalanjäljen laskennasta. Loppuraportti. [pdf] Puuinfo Oy. Saatavilla: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/RAKENTAMISEN%20HIILIJALANJ%20LASKENNAN%20LOPPURAPORTTI.pdf>

Vilonen, I., 2018. Tampereen Kansi kannattelee valtavaa kuormaa. Rakennustaito. Saatavilla: <https://rakennustaito.fi/tampereen-kansi-kannattelee-valtavaa-kuormaa/>

Välimäki, P., 2019. Puurakentamisen ja hiilensidonnann avoimen tietokannan kehittäminen. Tampereen kaupunki.

Yle, 2020. Suomen ensimmäinen geolämpölaitos käynnistyi – se saattaa korvata kivihiilen ja mullistaa lämmöntuotannon: "Olen suorastaan voitonriemuihen". Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-11158359>

Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22, 2019. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmät. [pdf] Ympäristöministeriö. Saatavilla: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM\\_2019\\_22\\_Rakennuksen\\_vahahiilisuuden\\_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisuuden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

