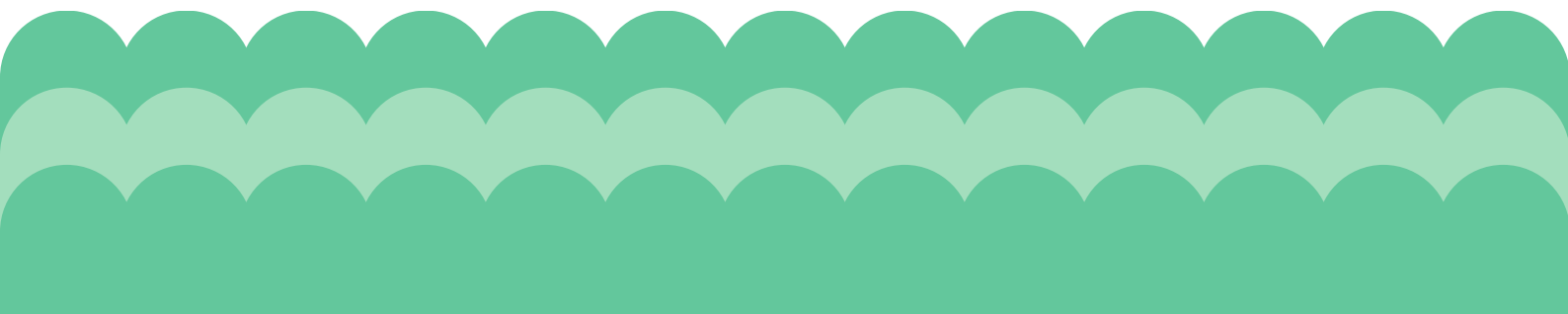


Puurakentaminen tasavertaiseksi vaihtoehdoksi kaupungin suunnitteluprosessia kehittämällä

-Työkirja puurakentamisen
ominaisuuksista ja ohjaamisesta

17.6.2021



Sisällysluettelo

1. Johdanto	3
2. Termit	4
3. Nykytilakartoitus	6
3.1 PUURAKENTAMISEN ROOLI HANKKEEN RAKENNUKSESSA	6
3.2 JÄRVENPÄÄN KAUPUNGIN PUURAKENTAMISEN TILANNEKUVA	11
3.3 TOTEUTETTUA PUURAKENTAMISEN HANKKEITA SUOMESSA	14
4. Puurakentamisen vaikutukset ympäristölle, käyttäjälle, yhteiskunnalle ja toteuttajalle.....	18
4.1 PUURAKENTAMISEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLKI JA HIILIKÄDENJÄLKI	18
4.2 PUURAKENTAMISEN KUSTANNUKSET	21
4.3 HIILIJALANJÄLKILASKENNAN PILOTTIHANKKEET JÄRVENPÄÄSSÄ	26
4.4 PUURAKENTAMISEN AKUSTIIKKA	36
4.5 PUURAKENTAMISEN PALOTURVALLISUUS.....	37
4.6 PUURAKENTAMISEN VAIKUTUKSET SISÄILMAAN	38
4.7 PUURAKENTAMISEN ARKKITEHTUURI JA VAIKUTUKSET ASUINYMPÄRISTÖÖN	40
5. Kaupungin ohjauskeinot puurakentamisen edistämiseksi.....	42
5.1 ASEMAKAAVOITUS VÄHÄHIILISYYDEN OHJAAMISESSA.....	42
5.2 TONTINLUOVUTUKSEN MAHDOLLISUUDET OHJATA HANKKEEN VÄHÄHIILISYYTTÄ	44
5.3 RAKENNUSLUPAAN LIITTYVÄT KEINOT VÄHÄHIILISYYDEN OHJAAMISESSA	48
5.4 KAAVOITUKSEN MAHDOLLISUUDET JA RAJOITTEET PUURAKENTAMISEN VAUHDITTAMISESSA	48
5.5 ERILAISET TOTEUTUSMUODOT PUURAKENTAMISESSA	49
5.6 PUURAKENTAMISEN KILPAILUTUS JULKISISSA HANKINNOISSA	51
6. Johtopäätökset	54
7. Yhteenveto	57
LÄHTEET.....	58

1. Johdanto

Valtioneuvosto on asettanut Suomen julkisen puurakentamisen markkinaosuustavoitteeksi 45 % vuoteen 2025 mennessä ja puun käytön edistäminen julkisessa rakentamisessa on yksi Ympäristöministeriön Puurakentamisen ohjelman painopisteistä. Tukeakseen kuntien mahdollisuuksia hillitä ilmastonmuutosta Ympäristöministeriö on myöntänyt avustuksia puurakentamisen kehittämiseksi.

Tämän työkirjan tarkoituksena on tukea Järvenpään kaupunkia sen tavoitteessa tuoda puurakentaminen todelliseksi vaihtoehdoksi rakentamisessa suunnitteluprosessia kehittämällä. Kaupungissa on tiedostettu, että betonirakentamisella on hallitseva rooli nykyrakentamisessa, ja että puurakentamisen saattamiseksi tasavertaiseksi vaatii ymmärryksen lisäämistä puurakentamisesta sekä haitallisten toimintatapojen tunnistamista. Työkirja koostuu nykytilakartoituksesta ja selvitystyöstä. Nykytilakartoituksessa on käsitelty puurakentamisen tämänhetkistä tilannetta yleisesti, puurakentamista Järvenpään kaupungin näkökulmasta ja toteutettuja pilottihankkeita eri puolilta Suomea.

Selvitystyössä on keskitytty puurakentamisen ominaisuuksiin olemassa olevan tutkimustiedon avulla. Lisäksi kahdesta Järvenpään kaupungin valitsemasta pilottikohteesta on laadittu hiilijalanjälkilaskelmat, joiden avulla on tuotettu tietoa erilaisten vaihtoehtojen vaikutuksista hiilijalanjälkeen. Olemassa olevan tutkimustiedon avulla on koottu yhteen tietoja puurakennusten akustisista ominaisuuksista, paloturvallisuudesta ja sisäilman laadusta.

Puurakentamisen ohjauskeinoja on tutkittu eri osapuolten näkökulmista. Ohjaamista hiilijalanjäljen raja-arvoilla ja kaavoituksen keinoin on selvitetty. Lisäksi on esitetty Järvenpään kaupungin prosessin kehittämiskohtia, joiden avulla puurakentamista voitaisiin kaupungissa lisätä. Lopuksi on koottu yhteen selvitystyön johtopäätökset ja esitetty työkirjan yhteenveto.

Ohjausryhmän ja työryhmän kokoonpanot

Ohjausryhmä

Maria Suutari-Jääskö, Järvenpään kaupunki
Sampo Perttula, Järvenpään kaupunki
Eira Linko, Järvenpään kaupunki
Juhana Hiironen, Järvenpään kaupunki
Juho Mattila, Järvenpään kaupunki
Jouni Vastamäki, Järvenpään kaupunki
Taija Karjalainen, Järvenpään kaupunki
Arja Korhonen, Järvenpään kaupunki
Martina Jerima, Järvenpään kaupunki
Salla Niemelä, Järvenpään kaupunki
Minna Ranki, Järvenpään kaupunki
Mikko Autere, Järvenpään kaupunki
Heidi Saarenpää, Järvenpään kaupunki
Lea Kurki, Järvenpään kaupunki
Veikko Simunaniemi, Mestaritoiminta
Jani Kervinen, Mestaritoiminta
Jemina Suikki, Ympäristöministeriö

Työryhmä

Roosa Leino, A-Insinöörit Rakennuttaminen Oy
Liisa Jäätvuori, A-Insinöörit Rakennuttaminen Oy
Annina Komulainen, A-Insinöörit Rakennuttaminen Oy
Henri Salonen, A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Annukka Laurila, A-Insinöörit Rakennuttaminen Oy

2. Termit

Cleantech -ratkaisut	Tuotteet, palvelut, prosessit ja teknologiat, jotka edistävät luonnonvarojen kestävää käyttöä ja ehkäisevät tai vähentävät liiketoiminnan kielteisiä ympäristövaikutuksia. [11]
Elinkaaren hiilijalanjälki	Elinkaaren hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tuotteen tai hankkeen elinkaaren aikana syntyvien ilmastovaikutusten suuruutta. Rakennuksen osalta elinkaaren hiilijalanjälki kattaa ilmastopäästöt tuotteiden valmistuksesta, rakentamisesta, rakennuksen käytöstä ml. huollot ja energia sekä rakennuksen purusta elinkaaren lopussa. [1]
Energiakäytön hiilijalanjälki	Rakennuksessa energiankäytöstä aiheutuvat ilmastopäästöt (ml. polton sekä energian tuotantoketjujen päästöt). [1]
Hiilidioksidiekvivalentti	Ilmastovaikutusta kuvaava suure, joka kuvaa eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävän vaikutuksen muunnettuna hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi.
Hiilijalanjälki	Hiilijalanjälki kuvaa tuotteen tai palvelun ilmastovaikutusta muunnettuna hiilidioksidiekvivalenteiksi. Rakennus- ja infrahankkeiden osalta hiilijalanjäljellä tarkoitetaan yleensä elinkaaren hiilijalanjälkeä, mutta termiä käytetään myös kuvaamaan esimerkiksi organisaation vuotuisia päästöjä. [1]
Hiilijalanjälkilaskelma	Hiilijalanjälkilaskelma esittää kaikki rakennushankkeen elinkaaren ilmastovaikutukset hiiliekvivalenteiksi (CO ₂ -e) eli kuin ne olisivat hiilidioksidipäästöjä. Hiilijalanjälkilaskelman pohjaksi valitaan jokin laskentamenetelmä, kuten Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmä, jonka määrittää reunaehdot laskelmalle.
Hiilikädenjälki	Tuotteesta tai palvelusta syntyvien potentiaalisten ilmastohyötyjen summa muunnettuna hiilidioksidiekvivalenteiksi. Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmässä hiilikädenjäljellä tarkoitetaan koko elinkaaren aikana syntyviä absoluuttisia päästöhyötyjä, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Muissa määritelmässä hiilikädenjäljellä voidaan kuvata myös esimerkiksi positiivista ilmastohyötyä verrattuna tuotetta tai palvelua vastaavaan, tavallisen tason tuotteeseen tai palveluun. [1]
Hiilinegatiivinen	Tilanne, jossa toiminta poistaa ilmasta enemmän kasvihuonekaasuja kuin toiminta tuottaa elinkaarensa aikana, jolloin nettoilmastopäästö on negatiivinen. [1]
Hiilineutraali / hiilineutraalius	Tilanne, jossa toiminnan tuottamat ilmastopäästöt ja toiminnan ilmasta poistamat kasvihuonekaasut (hiilinielut) ovat tasapainossa, jolloin nettoilmastopäästö on nolla. (hiilijalanjälki – ilmastopäästöhyödyt = 0). Hiilineutraaliustermiä käytettäessä tulee aina ilmoittaa myös, mistä tarkasteluajanjaksosta puhutaan, miten laskenta on rajattu ja mitä laskentamenetelmää on käytetty. [1]
Hiilineutraaliuslaskelma	Laskelma, jossa esitetään hankkeen elinkaaren laskennallinen hiilineutraaliustase siten, että arvioidaan hankkeen elinkaaren hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki erikseen.
Hiilinielu	Toiminto, joka poistaa ilmasta hiilidioksidiä. Hiilinielu voi olla joko luonnollinen (kuten kasvava metsä), kemiallinen (kuten sementin karbonisoituminen) tai keinotekoinen (kehitettävät teknologiat). [1]
Ilmastopäästö	Ilmastopäästöillä (yleiskielessä myös hiilipäästö) tarkoitetaan ilmastomuutosta aiheuttavia kasvihuonekaasupäästöjä (kts. myös kasvihuonekaasu). [1]
Ilmastoselvitys	Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen ja siihen liittyvien uusien säädösten myötä suomalaisen rakentamiseen tulee uusi käsite, ilmastoselvitys. Tämä tarkoittaa rakennusluvan yhteydessä tehtävää selvitystä rakennuksen koko elinkaaren ilmastovaikutuksista, eli hiilijalanjäljestä ja -kädenjäljestä. Rakennusluvan saaminen vuonna 2025 edellyttää ilmastoselvityksen laatimista ja riittävän alhaista hiilijalanjälkeä. [2]

Kiertotalous	Kiertotalous on talousmalli, jossa kulutus perustuu omistamisen sijaan palveluiden käyttämiseen: jakamiseen, vuokraamiseen ja kierrättämiseen. Siinä materiaaleihin sitoutunut arvo säilyy mahdollisimman pitkään yhteiskunnassa. [3] Rakentamisessa tähän päästään mm. minimoimalla neitseellisten materiaalien käyttö, maksimoimalla käytettyjen materiaalien uusiokäyttö ja suunnittelemalla tuotteet (rakennukset) mahdollisimman helposti uudelleen käytettäviksi.
Kiertotaloussuunnitelma	Kiertotaloussuunnitelmalla varmistetaan, että kiertotalouteen liittyvät tekijät huomioidaan hankkeen kaikissa vaiheissa. Kiertotaloussuunnitelmaan voidaan sisällyttää esimerkiksi suunnittelun eri vaiheissa huomioitavat kiertotalouden osa-alueet, materiaalitehokkuuden vaatimukset, materiaalipassin/materiaaliselosteen laadinnan ohjeistus sekä työmaan kierrätysasteen saavuttamiseen tarvittavat toimenpiteet.
Kierrätys	Jätteiden käyttäminen raaka-aineena tai materiaalina. (Tilastokeskus) Jätelaissa jätteen kierrätyksellä tarkoitetaan toimintaa, jossa jäte valmistetaan tuotteeksi, materiaaliksi tai aineeksi joko alkuperäiseen tai muuhun tarkoitukseen; jätteen kierrätyksenä ei pidetä jätteen hyödyntämistä energiana eikä jätteen valmistamista polttoaineeksi tai maantäyttöön käytettäväksi aineeksi. [4] Kierrätys on yksi kiertotalouden keinoista tai ”kierroista”.
Purkamisen hiilijalanjälki	Rakennuksen purkuvaiheessa purusta, kuljetuksista, jätteiden käsittelystä ja loppusijoituksesta syntyvät päästöt. Sisältää elinkaaren vaiheet C1-C4. [1]
Puurakentaminen	Puurakentamisessa on paljon erilaisia materiaali-, runkojärjestelmiä- ja rakennustapavaihtoehtoja. Puurakentamisella viitataan tässä työkirjassa sellaisiin rakennuksiin, joiden rungon kantavista rakenteista suurin osa on puuta.
Rakentamisen hiilijalanjälki	Rakentamisen ja rakennustuotteiden kuljetusten valmistajalta työmaalle aiheuttamat ilmastovaikutukset. Sisältää elinkaaren vaiheet A4-A5. [1]
Vähähiilinen rakennuttaminen	Vähähiilinen rakennuttaminen tarkoittaa hankkeen ohjaamista siten, että hankkeelle asetetaan hiilijalanjälkitavoitteet ja hankkeen suunnittelua ja toteuttamista ohjataan määrätietoisesti tavoitteita kohti kaikissa vaiheissa. Jos kansalliset raja-arvot hankkeiden vähähiilisuudelle asetetaan, vähähiilinen rakennuttaminen tähtää niiden saavuttamiseen/alittamiseen.

3. Nykytilakartoitus

3.1 Puurakentamisen rooli hankkeen rakennuttamisessa

Ilmastomuutoksen hillitsemiseksi Suomi on osana Euroopan Unionia sitoutunut Pariisin ilmastopimuksen mukaisiin tavoitteisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä. Ilmastopimuksen osapuolet sitoutuvat sopimuksessa valmistelemaan, tiedottamaan, ylläpitämään sekä saavuttamaan kansalliset päästötavoitteensa. Suomen hallituksen vuoden 2019 hallitusohjelmassa on rakentamisen hiilineutraaliuden ja päästötavoitteiden osalta asetettu seuraavia kansallisia tavoitteita:

- Suomi on hiilineutraali vuonna 2035
- Hiilinieluja ja -varastoja vahvistetaan lyhyellä ja pitkällä aikavälillä
- Pienennetään asumisen ja rakentamisen hiilijalanjälkeä

Tavoitteiden saavuttamiseksi ja hallituksen ilmastopolitiikan ohjaamiseksi ministeriöryhmillä on käynnissä useita kehityshankkeita energia- ja ilmastostrategian valmistelun pohjaksi sekä lainsäädännön uudistamiseksi.

Lainsäädännön uudistukset

Kansainvälisten ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi Ilmastolain sekä Maankäyttö- ja rakennuslain vähähiilisyyden ohjausvaikutusta vahvistetaan.

Ilmastolakiin sisällytetään hiilineutraaliuspolkua vastaavat päästövähennystavoitteet vuosille 2030 ja 2040 sekä 2050 tavoitetta päivitetään. Lisäksi lakiin lisätään maankäyttösektoria ja hiilinielujen vahvistamista koskevat tavoitteet. Vaikutukset lakiuudistuksesta puurakentamisen näkökulmasta koskevat rakentamisaikaisia päästöjä ja päästölaskentaa sekä metsäsektorin muodostamien hiilinielujen kestävä käytön ohjausta.

Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen tavoitteena on huomioida säädösohjauksessa ilmastomuutoksen lisäksi yhteiskunnalliset ilmiöt kuten aluerakenteen erilaistuminen, kaupungistuminen, digitalisaatio, liikumisen murros ja siirtyminen puhtaan energian käyttöön. Rakentamisen sääntelyyn ollaan tuomassa vaatimus rakennuksen elinkaarisen hiilijalanjäljen arvioimisesta sekä valtuus antaa asetus hiilijalanjäljen rakennustyyppikohtaisista raja-arvoista. Käytännössä arviointimenettely tulisi sisältymään osaksi hankkeen rakennuslupavaihetta, jolloin luvan kohteena olevalle rakennukselle laadittaisiin ilmastaselvitys sisältäen kohteen hiilijalanjäljen ja mahdollisten kompensatioiden laskennalliset arvot.

Vähähiilisen rakentamisen tiekartta

Ympäristöministeriön vuonna 2017 teettämän, rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä koskevan selvityksen tuloksista todettiin, että rakennusmateriaalien osuus rakennuksen elinkaaren aikaisista kasvihuonekaasupäästöistä on merkittävä. Energiatehokkuuden ja puhtaan energian käytön lisääntyessä materiaalien suhteellinen merkitys rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljessä tulee lisääntymään.

Hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä tavoitellaan ohjattavaksi lainsäädännöllä vuoteen 2025 mennessä. Ympäristöministeriön hallinnoimaa päästöohjausmenetelmän valmistelua alettiin toteuttaa vuonna 2017 vaikutusarvioinneilla ja päästötietokannan kehittämällä. Vaikutusarvioiden mukaan säädösohjausta lähdettiin kehittämään kohti raja-arvoihin perustuvaa laskentamallia ja ohjausta. Pilottihankkeiden ja säädösten valmistelun tuloksena ympäristöministeriö julkisti vähähiilisyyden arviointimenetelmän ja laskentatyökalun ensimmäisen version syksyllä 2019.

Pilottivaiheen arviointimenettely voidaan tehdä kaikille rakennuksille ja sitä voidaan soveltaa sekä uudis- että korjausrakentamisen. Arvioinnissa huomioidaan koko rakennus, tontin rakenteet sekä keskeinen osa taloteknisistä järjestelmistä. Arviointi tehdään rakennuksen koko elinkaaren ajalle sisältäen rakennustuotteiden valmistuksen, kuljetukset ja työmaatoiminnot, käytön ja korjaukset sekä rakennuksen purun ja kierrätyksen. Laskentamalli huomioi myös hankkeessa mahdollisesti syntyvät päästövähennykset (hiilikädenjälki).

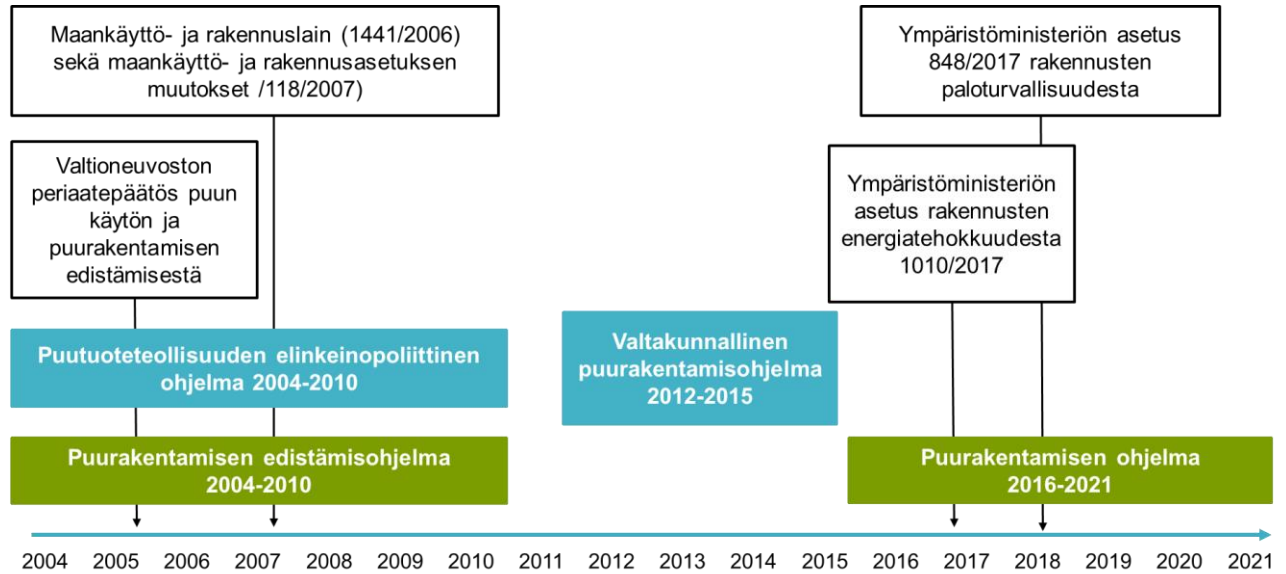
Pilotointikierroksella saatavien todellisten hanketietojen ja käyttäjäpalautteen perusteella menetelmää päivitetään kohti sitovaan sääntelyyn tähtäävää menetelmää. Rakennuskohtaisiin raja-arvoihin siirrytään asteittain vapaaehtoisen pilotoinnin ja julkisten hankintojen kautta.



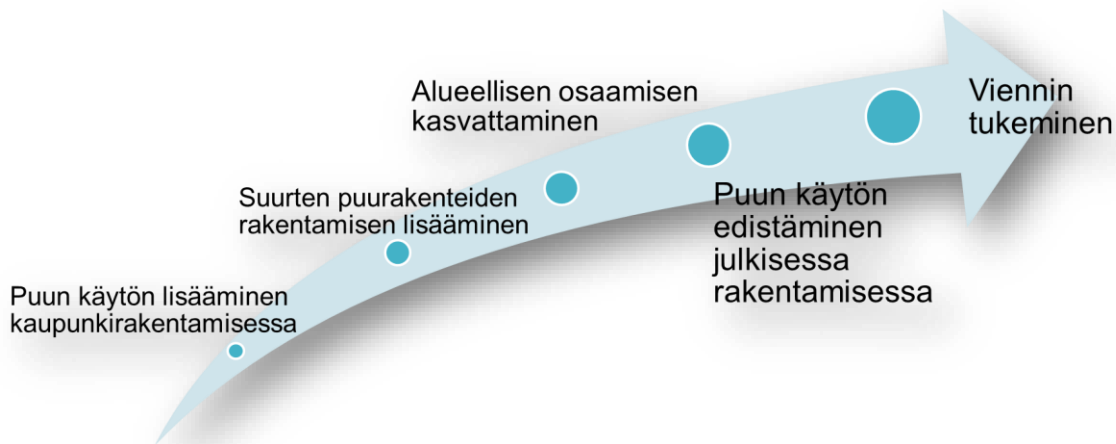
Kuva 1: Elinkaaren vähähiilisyyden arviointi [5]

Puurakentamisen ohjaus

Kansainvälisten päästötavoitteiden tueksi puurakentamisen mahdollisuuksia on tutkittu Suomessa jo yli 20 vuoden ajan erilaisin politiikkatoimenpitein ja ohjelmin. Käynnissä olevan, ympäristöministeriön koordinoiman Puurakentamisen ohjelman toimintakausi päättyy vuonna 2022. Ohjelman tavoitteena on edistää puun ja puuhun pohjautuvien tuotteiden käyttöä rakentamisessa sekä kehittää puutuotteisiin liittyviä rakenteita ja järjestelmiä. Puun jalostusarvon ja osaamisen kehittämisen tavoitteena on myös puutuotteisiin ja -osaamiseen liittyvän viennin kasvattaminen. Toimenpideohjelma aloitettiin kaupunkirakentamisen, suurrakenteiden ja alueellisen osaamisen kasvattamisen painopisteillä ja hankekauden päättävät aiheet keskittyvät puun käytön edistämiseen julkisessa rakentamisessa.



Kuva 2: Esimerkkejä puurakentamisen edistämisen politiikkatoimenpiteistä. [6]



Kuva 3: Puurakentamisen ohjelman 2016-2022 kehitysteemat. [7]

Julkisten toimijoiden merkitys puurakentamisen edelläkävijöinä on merkittävä. Useat kunnat ja kaupungit ovat asettaneet kansallisten tavoitteiden lisäksi myös paikalliset päästötavoitteensa. Vuoden 2019 hallitusohjelmassa julkiselle puurakentamiselle on asetettu kansalliset tavoitteet puunkäytön kaksinkertaistamisesta hallituskauden aikana ja jopa kolminkertaistaa puun käyttö julkisissa rakennuksissa vuoteen 2025 mennessä.

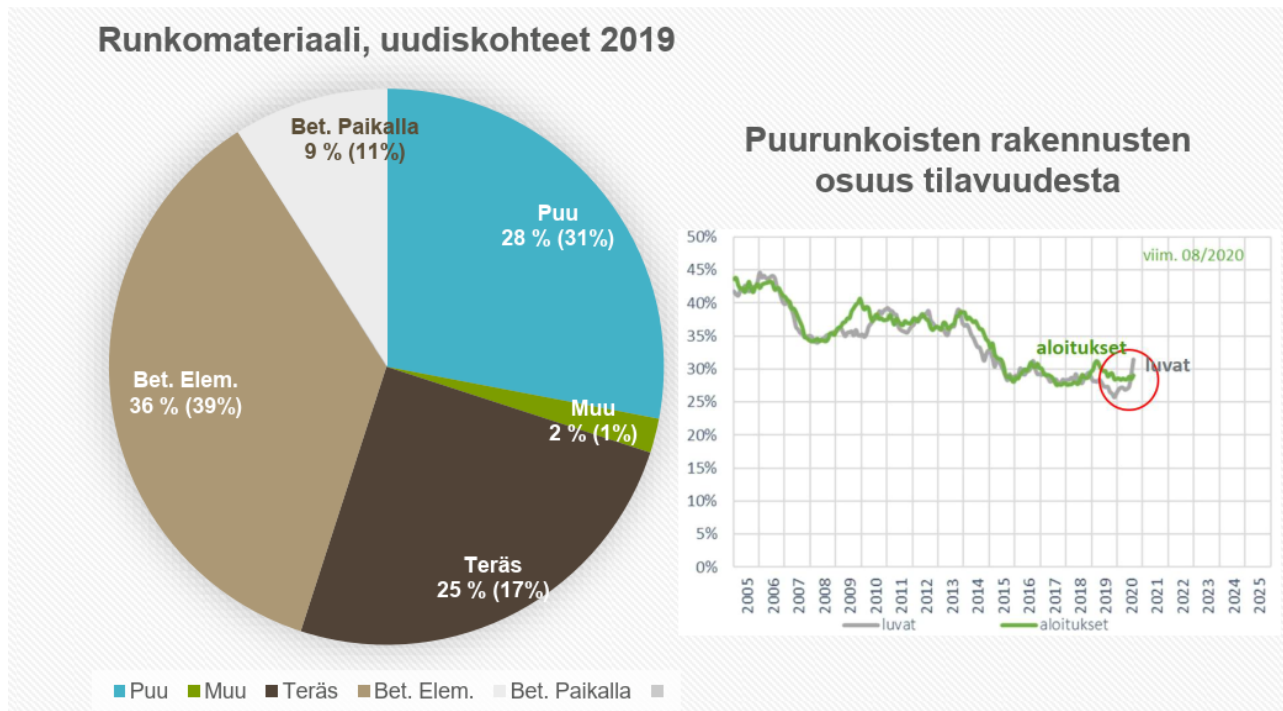
Puurakentamisen ohjelman toimenpiteillä pyritään edistämään kuntapäätäjien tietämystä puurakentamisesta ja puun erityisominaisuuksista sekä tuomaan keskusteluun perusteltua riskiarviointia, jolla vähennetään puun käytöstä vallitsevia ennakkoluuloja. Hankintaviranomaisten käyttöön pyritään tuottamaan osaamista tukevaa materiaalia puurakennusten hankintojen suunnitteluun ja kilpailutukseen.

Puurakentamisen ohjelman konkreettisia toimenpidetavoitteita:

- kansalliset tavoitteet julkiselle puurakentamiselle
- hankintaohjeistus julkisille puurakennushankinnoille
- sähköiset hankintatyökalut
- rakennusten puun hiilivaraston ja hiilijalanjäljen laskenta- ja arviointityökalujen testaus puurakentamisen kohteissa
- Hiilivarasto puutuotteissa -selvitys

Puurakentamisen määrä ja ennuste

Puurunkoisten talojen osuus koko uudistalotuotannosta on ollut laskusuunnassa 2000-luvulla. Puun osuus kaikista runkomateriaaleista vuonna 2019 oli 28 %. Puun osuuden muutosta selittää rakentamisen sisältövaihtelu, sillä esimerkiksi pientalorakentaminen on vähentynyt viime vuosina rajusti. Puun osuus pientalorakentamisessa on tunnetusti ollut korkea ja vapaa-ajan asuntojen rakentamisessa selvästi johtava runkovaihtoehto. Myönnettyjen rakennuslupien (08/2020) perusteella odotettavissa on kuitenkin puurunkoisten rakennusten osuuden kasvua tarkasteltaessa kaikkia rakennustyyppejä.



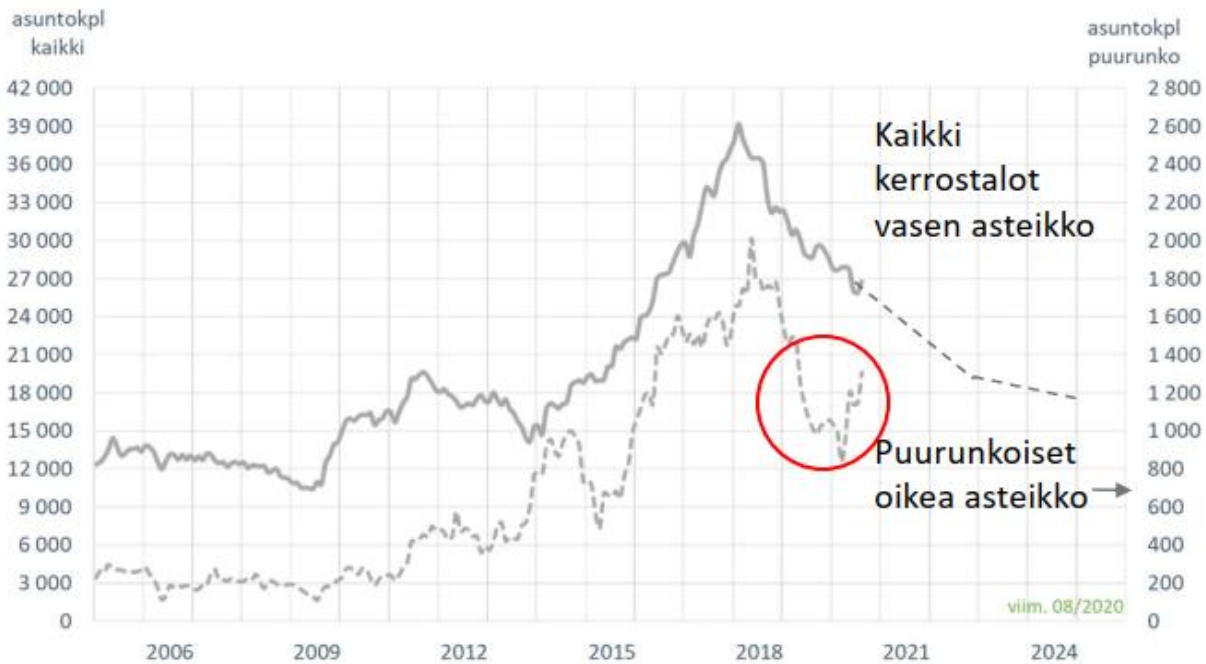
Kuva 4: Runkojakauma ja puurunkoisten rakennusten osuus kaikkien rakennusten tilavuudesta. [8]

Puurakentamisen suurimmat kasvumahdollisuudet Suomessa ovat suurimittakaavaisessa rakentamisessa sekä korjaus- ja täydennysrakentamisessa. Teollisen puurakentamisen kehittyessä ja esijalostusasteen voimakkaan nousun vuoksi puurakentamisen kilpailukyky kerrostaloissa ja suurrakenteissa voimistuu. Puukerrostalojen osuus vuosittaisesta uudiskerrostalotuotannosta on yleisesti ollut 4 - 5 %. Ympäristöministeriö on ylläpitänyt puukerrostalojen hankekantaa vuodesta 2012 lähtien. Hankekanta koostaa kaikki suunnitteilla tai rakenteilla olevat vähintään 3-kerroksiset puukerrostalohankkeet sekä kaikki merkittävät suuren mittakaavan puurakenteiset julkiset rakennukset Suomessa.

Kartoitus jakaa hankkeet toteutumispotentiaalin mukaan kolmeen erilliseen ryhmään: varmat, todennäköiset ja mahdolliset. Hankekannan kerrostaloasuntojen aloituksissa on vuoden 2020 aikana tapahtunut nousua 1600 asunnon verran, joista suurin osa on toteutukseltaan varmoiksi luokitelluissa

hankkeissa. Hankekannan, arvioidun lupakehityksen ja kerrostalorakentamisen määrän mukaan puurunkoisten kerrostalojen osuuden on mahdollista kasvaa 15 prosenttiin.

Julkisen rakentamisen osuus uudisrakentamisesta on ollut vahvassa kasvussa koko 2010-luvun ajan ja edustaa tällä hetkellä noin viidesosaa maamme vuosittaisesta uudisrakennustuotannosta. Julkisten hankkeiden kokonaisaloituksissa on ennustettavissa laskua, mutta puurunkoisten rakennusten osuuden oletetaan kasvavan merkittävästi kansallisten tavoitteiden myötä.



Kuva 5: Kaikkien ja puurunkoisten kerrostalojen osuus. [8]

Puun markkinaosuus julkisessa uudisrakentamisessa oli 15 % vuonna 2019. Rakennustyypeittäin puurunkoisten osuus julkisessa uudisrakennustuotannossa oli seuraava:

- opetusrakennukset 31 %
- hoitoalanrakennukset 6 %
- asuinkerrostalot 3 %
- kokoontumisrakennukset 7 %

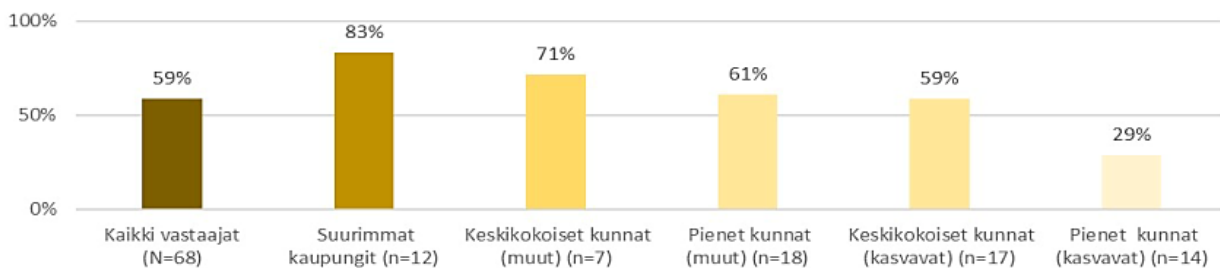
Kaikki rakentaminen	Rakentamisen kokonaismäärä 1000 m ³	Puurunkoiset rakennukset 1000 m ³	Puun markkinaosuus %
2019	6 907	1 039	15 %
2022	5 661	1 760	31 %
2025	5 221	2 296	45 %

Kuva 6: Julkisen puurakentamisen kansalliset tavoitteet. [9]

Merkittävintä kasvua odotetaan syntyvän puukerrostalorakentamisessa, jonka tavoiteosuudeksi nykyisen hallituskauden loppuun on asetettu 31 %. Puukerrostalojen kasvuennustetta tukee teollisen puurakentamisen ratkaisujen kehittyminen sekä taloudelliset kannustimet asuntorakentamisen osalta.

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA myöntää korotettua käynnistysavustusta puurakenteisiin vuokra-asuntokohteisiin. Seuraavaksi suurinta kehitystä odotetaan hoitoalan- ja kokoonntumiskäytösten osuuksissa, joissa tavoitteena on jopa kolminkertaistaa puurakenteiden osuus vuoden 2019 tasoon nähden.

Vähähiilisyys ja päästötavoitteiden huomioiminen kuntastrategioissa korostuu kansainvälisten ilmastotavoitteiden ja lakimuutosten myötä. Puurakentamisen edistäminen on keino vähentää rakentamisen materiaalipäästöjä ja edesauttaa kuntien vähähiilistä hankintaa. Useat kunnat ovat kirjanneet puurakentamisen edistämisen osaksi visiota tai kuntastrategiaa (kuva 7). Strategisen päätöksen lisäksi kunnilla on mahdollisuus ohjata puurakentamista maankäytön suunnittelulla ja kaavoituksella sekä vähähiilisen tontinluovutuksen ohjauksella.



Kuva 7: Puurakentamisen edistäminen kirjattu kuntastrategiaan. [10]

Kuntastrategiaan kirjatut tavoitteet tullee huomioida myös kunnan hankintaohjeissa, jolloin ne ohjaavat konkreettisten hankintojen toteuttamista. Esimerkiksi Pudasjärven kaupungin kaupunkistrategiassa, joka hyväksyttiin vuonna 2012, julkisia hankintoja ohjataan siten, että ekologiset tekijät ja arvot otetaan huomioon päätöksenteossa ja niitä käytetään laatuksena hankinnoissa. Vuonna 2015 kaupungissa hyväksyttiin kehittämisohjelma, jonka mukaan julkisen rakentamisen hankkeissa selvitetään aina ensin hirsirakentamisen mahdollisuus, ja vasta tämän jälkeen on mahdollista harkita muita vaihtoehtoja. Vuonna 2012 tehdyn päätöksen jälkeen kaupunkiin on rakennettu mm. maailman suurimmat modernit hirsiset koulukampus, päiväkotit ja ikäihmisten palvelukotit sekä muita hirsikohteita. [59]

3.2 Järvenpään kaupungin puurakentamisen tilannekuva

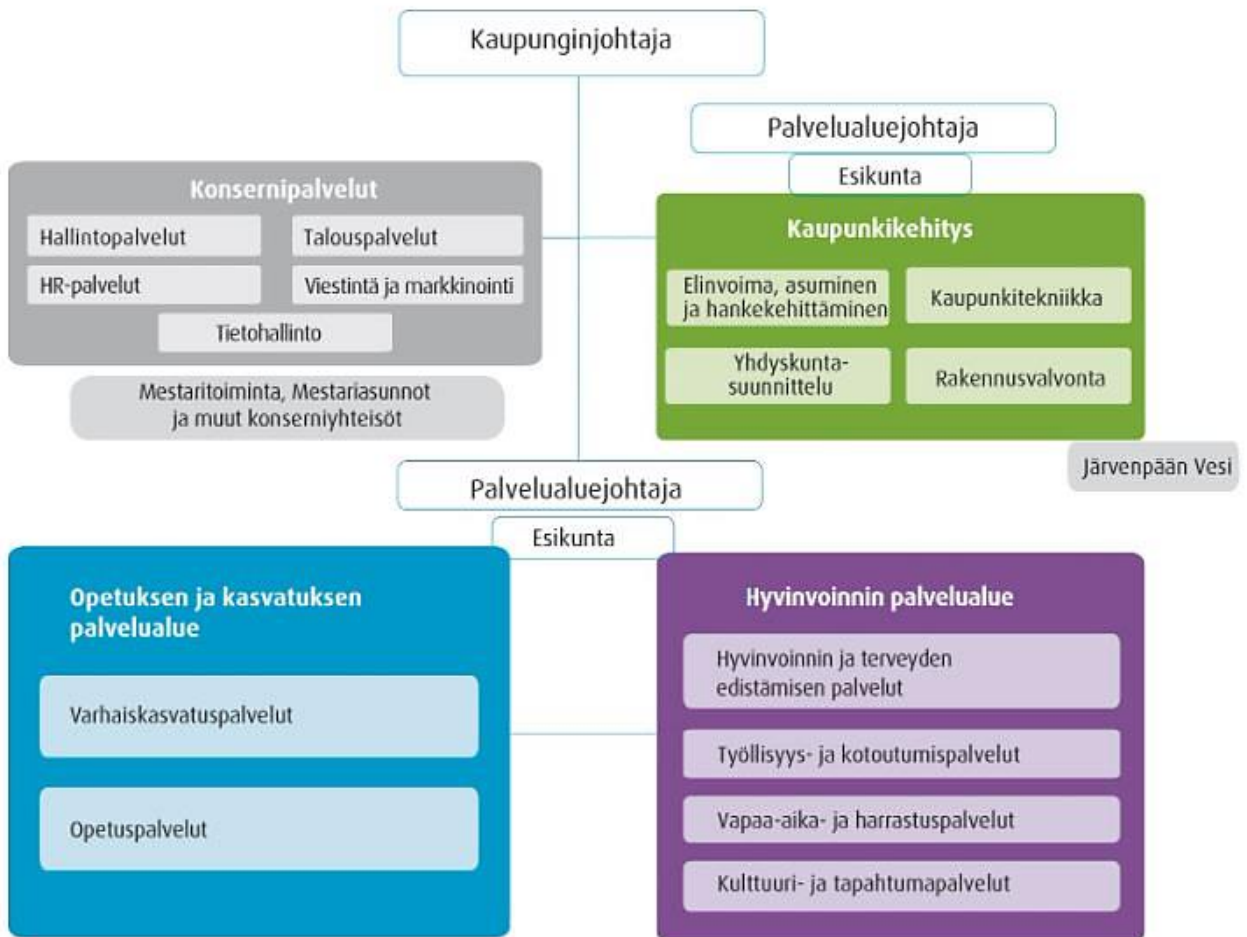
Osana nykytilakartoitusta haluttiin selvittää, mikä puurakentamisen tilanne Järvenpään kaupungissa on tällä hetkellä ja miten eri kaupungin toimijat näkevät puurakentamisen edistämisen mahdollisuudet. Selvitys toteutettiin noin tunnin mittaisilla keskusteluilla kunkin tahon edustajan tai edustajien kanssa. Keskusteluihin osallistuivat esimerkiksi kaavoituksen, hankekehityksen, kaupunkitekniikan, kokonaispalvelutuottajan (Mestaritoiminta & Mestariasunnot) sekä opetuksen ja kasvatuksen palvelualueen edustajia. Keskusteluissa käsiteltiin puurakentamisen lisäämiseen motivoivia tekijöitä, riskejä, etuja sekä lisätietotarpeita. Lisäksi keskusteltiin Järvenpään olemassa olevasta rakennuskannasta, toteutetuista puurakentamisen hankkeista, aluetaloudellisista vaikutuksista ja puurakentamisen lisäämisen ongelmakohdista nykyisessä prosessissa. Kuvassa 8 on esitetty Järvenpään kaupungin organisaatiokaavio.

Puurakentamisen ympäristöystävällisyys houkuttaa, ylläpito ja hankekojien nopea kasvu mietityttävät

Keskusteluissa puurakentamisen eduksi ja puurakentamisen lisäämisen motivaattoreiksi koettiin selkeästi ilmastomuutoksen torjuminen sekä puun paremmaksi koettu laatu ja materiaali esimerkiksi betoniin verrattuna. Puun ympäristöystävällisyys koettiin etuna pienemmän hiilijalanjäljen ja yleisen ekologisuuden

näkökulmasta, sekä sijoittajien kasvaneen mielenkiinnon vuoksi. Puun etuna nähtiin myös monipuolisemmat arkkitehtoniset ratkaisut sekä positiivinen vaikutus kaupunkikuvaan ja sen vaihtelevuuteen. Materiaalina puu koettiin luonnon- ja ihmisläheisenä ja houkuttelevana erilaisille käyttäjille, kuten koulun oppilaille tai asunnon ostajille.

Järvenpään kaupungin organisaatio



Kuva 8: Järvenpään kaupungin organisaatiokaavio.

Puurakennuksien potentiaalisesti parempi sisäilman laatu ja terveellisyys nousivat keskusteluissa esiin, mutta niiden todenmukaisuudesta ei ollut kokemuksia. Vanhan rakennuskannan huonon kunnon sekä puuteollisuuden kasvun koettiin lisänneen mielenkiintoa puurakentamista ja sen mahdollisuuksia kohtaan. Myös moduulirakenteisten puurakennusten lyhyempi rakennusaika koettiin etuna puurakentamisen edistämiseksi.

Puurakentamisen riskeinä nähtiin puumateriaalin kestävyys, paloturvallisuuden riskit, pienten toimijoiden ja puurakentamisen nopean kasvun välinen ristiriita, yleinen kokemattomuus sekä suurien jännevälien toteuttaminen esimerkiksi koulurakennuksissa. Lisäksi puurakentamisen korkeammista kustannuksista, toimijoiden välisistä eroista ja akustiikasta puhuttiin keskusteluissa paljon. Erityisesti rakennuksen ulkovaipan, ulkoeristyksen ja liitosten kestävyys ja ylläpidon kustannukset käytön aikana mietityttivät. Paloturvallisuuteen liittyvien ongelmien nähtiin olevan ratkaistavissa, mutta suojaverhouksena käytettävän kipsilevyn koettiin vähentävän puun tuomia mahdollisia sisäilmahyötyjä rakennukselle.

Suurena riskikokonaisuutena nähtiin myös puurakentamisen nopea kasvu ja rakentamistavan kokemuksen puute esimerkiksi betoniin verrattuna. Tähän teemaan liitettiin pienien toimijoiden, sekä rakentajien että

tehtaiden, kapasiteetin ja liikevaihdon suuruuden riittävyys kilpailuun ja toteutukseen. Pientalojen rakentaminen koettiin tutuksi ja turvalliseksi, mutta hankekokojen nopea kasvu nähtiin selkeänä riskinä. Erityisesti koulurakennuksien toteutukseen liittyvät haasteet muuntojoustavuuden ja kustannusten kannalta tuotiin esiin, mutta myös kerrostalorakentamisen lisääminen mietitytti.

Puurakentamisen paremmaksi koettu laatu ja sen todenmukaisuus mietityttivät myös keskusteluissa. Korkeaksi tavoitellun laadun ja korkean arkkitehtuurin nähtiin olevan keskeinen tekijä oletettujen korkeampien kustannusten muodostumisessa. Kuitenkin korkealla laadulla markkinoinnin ja epärealististen mielikuvien kääntöpuolena nähtiin rakennuksen kyvyttömyys vastata kaikkiin odotuksiin. Erityisesti koulurakennusten akustiikka koettiin haasteelliseksi, eikä vaatimustenmukaista tasoa nähty riittäväksi puusta rakennetuille kouluille.

Kustannukset prosessin suurin haaste

Kaikissa keskusteluissa keskeisenä haasteena puurakentamisen lisäämiselle suurissa, julkisissa kohteissa nähtiin sen selkeästi suuremmat kustannukset tavanomaiseen rakennustapaan verrattuna. Isoissa julkisissa hankkeissa puurakentamisen vaihtoehto oli hylätty usein jo alkuvaiheessa ilman erillistä arviota perustuen oletukseen, että puurakentaminen on noin 10 % betonirakentamista kalliimpaa. Tilamuutoksilla puurakentamisen ja betonirakentamisen kustannusten välistä eroa oli saatu pienennettyä, mutta tilaohjelman koettiin olevan jo lähtökohtaisesti melko kustannustehokas, eikä siinä välttämättä ole varaa optimointiin.

Tontinluovutuskilpailussa puurakentamisen suurempaa kustannusta ei ole huomattu, sillä puurakentajat ovat pystyneet tekemään kilpailukykyisiä tarjouksia. Pohdittiin kuitenkin, onko kustannusten taustalla toimijoiden halu saada kokemusta ja siksi esimerkiksi pienempi katetavoite.

Puurakentamisen ja yleisesti julkisen rakentamisen haasteena tuotiin esiin myös yhteisen näkemyksen saavuttaminen ja haasteet rakennuskannan tulevien tarpeiden ennustamisessa. Kaupungin keskusta-alueille koettiin olevan järkevämpää rakentaa ns. kivijalkakouluja, mutta puurakenteisen rakennuksen muuntojoustavuuden toteuttamisen mahdollisuudet mietityttivät. Reuna-alueilla moduulikoulujen ja siirrettävissä olevien rakennusten rakentaminen koettiin järkevämmäksi ja kustannustehokkaammaksi. Yhteisen näkemyksen saavuttaminen nähtiin erityisesti haasteena kustannusten kannalta: jos ei olla samaa mieltä siitä, mitä halutaan, ei myöskään olla valmiita sitomaan kustannuksia samoihin asioihin.

Puurakentamiseen suhtaudutaan myönteisesti, mutta faktatietoa kaivataan

Järvenpään kaupungissa suositaan kaavoituksessa kumppanuuskaavoitusta, joka nähtiin edesauttavana tekijänä puurakentamisen lisäämisessä. Tontinluovutuskilpailutukseen on lisätty pisteytettäväksi tekijäksi resurssiviisaus, jonka koettiin lisänneen puurakentamisen tarjoajien määrää. Tontinluovutuskilpailuun oltiin myös valmiit käyttämään enemmän aikaa ja vaivaa, jotta voitaisiin aktiivisesti lisätä puurakentamista.

Järvenpään kaupungilla on omat, kunnianhimoiset ilmastotavoitteensa ja Järvenpään kaupunki aikoo olla hiilineutraali vuonna 2035. Järvenpään pienemmän koon, esimerkiksi pääkaupunkiseudun isoihin kaupunkeihin verrattuna, nähtiin nopeuttavan päätöksentekoa ja edesauttavan tavoitteiden saavuttamista.

Puurakentamiseen liittyvälle faktapohjaiselle tiedolle koettiin olevan iso tarve. Erityisesti puurakentamisen kustannuksista haluttaisiin todellista ja tarkemmin eriteltyä tietoa. Myös puurakentamisen ympäristöhyödyistä haluttaisiin todellista dataa. Näitä todenmukaisia tietoja haluttaisiin erityisesti vietäväksi päättäjille päätöksenteon tueksi. Dataan pohjautuvien arvojen lisäksi päättäjien tietoon haluttaisiin tuoda myös puurakentamisen ns. pehmeitä arvoja. Tietoa toteutetuista kohteista ja niiden onnistumisista myös kaivattiin.

Koska puurakennuksien kunnossapito ja kestävyys mietityttävät, on luonnollista, että puun elinkaaresta verrattuna betonin elinkaareen haluttiin myös lisää tietoa. Puurakentamiseen liittyvät käynnissä olevat tutkimukset kiinnostivat myös. Puurakentamisen riskeistä ja niihin vaikuttamisesta toivottiin todellista tietoa. Koettiin, ettei puurakentamiselle pystytä vielä luomaan selkeitä rajauksia, mutta suuntaviivat hankkeiden soveltuvuudesta puurakentamiseen koettiin tarpeelliseksi.

3.3 Toteutettuja puurakentamisen hankkeita Suomessa

Suomalais-venäläinen koulu, Helsinki

Vuonna 2021 valmistuva Suomalais-venäläinen koulu on Suomen suurimpia ja moderneimpia puukouluja. Se tulee olemaan 700 oppilaalle monimuotoinen oppimisympäristö, jota on suunniteltu vuodesta 2015 lähtien yhdessä koulun opettajien ja oppilaiden kanssa. Senaatti-kiinteistöjen rakennuttama kaksikerroksinen koulurakennus rakennetaan ristiinliimatusta massiivipuulevystä ja liimapuurakenteista, ja sen laajuus on noin 6400 bruttoneliömetriä.

Hankesuunnitelmassa asetettiin tavoitteeksi, että 10 % maanpäällisistä rakentamisen kokonaismenoista on cleantech -ratkaisuja, eli tuotteita tai prosesseja, jotka edistävät luonnonvarojen kestävää käyttöä. Lisäksi hankkeelle asetettiin tavoitekustannus ja numeerinen arvo energiankulutuksesta. Suunnittelukilpailuun osallistuneiden ehdotusten rungon ja vaipan elinkaaren hiilijalanjälki arvioitiin numeerisesti ja tuloksia hyödynnettiin arvioinnissa. Kilpailuehdotuksista kaksi valittiin jatkoon, ja niitä kehitettiin kustannusten ja käyttäjien toiminnallisten tavoitteiden näkökulmasta.

Suomalais-venäläinen koulu on toteutettu allianssimallisena hankkeena, jonka avulla varmistettiin yhteinen näkemys hankkeen kustannustasosta ja pystyttiin suunnitteluryhmän ja palveluntuottajan yhteistyönä kehittämään kustannustehokkaita rakenne-, palo-, kosteusteknisiä ja akustisia ratkaisuja. Välipohjiin lisättiin teknisistä syistä myös jonkin verran betonia, mutta elinkaarikustannuslaskennan perusteella puuta lisättiin julkisivuissa, sillä sen ylläpitokustannukset osoittautuivat odotettuja pienemmiksi.

Päästöjen numeerisen arvioinnin aloittaminen varhaisessa vaiheessa todettiin merkittäväksi tekijäksi päästöjen vähentämisessä. Energiankulutuksen päästöjä ei hankkeessa erityisemmin ohjattu, joten päästövähennyspotentiaalia on sen osalta saattanut jäädä käyttämättä. Lopulliseksi koulun hiilijalanjäljeksi saatiin 10,6 kg CO₂e/m²/a, joka oli noin 10 % pienempi kuin alkuperäisissä suunnitelmissa esiintynyt suurimman hiilijalanjäljen vaihtoehto. Alkuperäisiin laskelmiin verrattuna työmaan hiilijalanjäljen todettiin olevan suurempi kuin oletusarvoilla laskettu.

Hankkeen lopulliseksi kustannusarvioksi rakennusvaiheessa on arvioitu 26 505 000€ ja puurakentamisen kustannusten arvioitiin olevan noin 2-3 % suuremmat kuin vastaavassa toteutuksessa betonirakenteisena. Suunnittelukustannusten todettiin kasvaneen 2 % ja rakentamisen 1 %. Suomalais-venäläisen koulun case-raportin mukaan ei voida kuitenkaan suoraan sanoa tätä puurakentamisen hinnaksi, sillä mahdollisia hintavampia ratkaisuja on kompensoitu säästämällä toisaalla. [11]

Tuupalan puukoulu, Kuhmo

Vuonna 2018 käyttöön otettu Tuupalan koulu on ensimmäinen Suomessa koskaan kokonaan CLT-massiivipuulevystä rakennettu koulu. 350 oppilaalle ja 60 esikoululaiselle rakennetun koulun arkkitehtuuri on palkittu moneen kertaan, ja se on herättänyt kiinnostusta sekä kansallisesti että ulkomailla. Päätös 6 165 bruttoneliömetrin laajuudesta kouluhankkeesta oli Kuhmon päättäjille vaikea ja arkkitehti- sekä rakennesuunnittelijoille ajoittain haastava. Hankkeen toteutusmuotona tutkittiin allianssi- ja elinkaarimalleja, mutta rakennusliikkeiden vähäisen kiinnostuksen vuoksi toteutusmuodoksi valittiin lopulta jaettu urakkamalli.

Lähtökohta koulun rakentamiselle syntyi, kun vanha sisäilmaongelmainen koulu laitettiin käyttökieltoon. Uuden koulun suunnittelussa lähdettiin siitä, että koulu rakennetaan puusta. Vaikka Kuhmo oli identifioitunut puurakentamisen edistäjäksi ja Woodpolis-hanke oli luotu puutuoteklusterialueen kehittämiseksi, niin päätös ei ollut helppo ja vastustusta puun käyttöön isossa kohteessa oli. Päättäjillä oli kuitenkin kova halu rakentaa puusta ja hyödyntää oman kaupungin ja alueen voimavaroja. Hanketta tukivat puurakentamiseen liittyvä kehitystyö sekä CLT-massiivipuulevyjä toimittavan tehtaan aloittaminen Kuhmossa.

Hanke suunniteltiin alusta asti CLT-elementein, mikä oli suunnittelijoille ja arkkitehdeille tässä mittakaavassa täysin uutta, vaikka kokemuksia puurakentamisesta muuten olikin. Koulun suunnittelun tekivät työlääksi rakennedetaljien suuri määrä ja standardien sekä suomenkielisen lähdemateriaalien puuttuminen. Rakennustekniikka oli uutta myös urakoitsijoille ja rakennuttajille. Keskeisin hankkeen onnistumiseen vaikuttanut tekijä oli koko rakennuksen rakentaminen perustusten jälkeen sääsuojateltan alla. Teltan avulla pystyttiin varmistamaan CLT-elementtien kuivana pysyminen koko rakennusajan ilman että työpäivien aikaa kului rakenteiden suojaamiseen ja suojausten purkuun. Lisäksi teltan sisässä työskentelyolosuhteiden koettiin olevan loistavat. Sääsuojan osuus koko hankkeen kustannuksista oli 1,8%.

Suurimmat ennakkoluulot Tuupalan puukoulun hankkeessa koskivat koulun paloturvallisuutta. Palomääräysten vuoksi koulun korkeus rajattiin kahteen kerrokseen, mutta muuten määräykset eivät rajoittaneet suunnitelmia. Paloturvallisuus saavutettiin toiminnallisen palosuunnittelun avulla ja näin onnistuttiin jättämään puupintoja näkyville. Sprinklerijärjestelmää ei olisi määräysten puolesta vaadittu kouluun, mutta tilaajan halusta se asennettiin. Vaikka Tuupalan puukoulun hankkeessa kaikki onnistui hyvin, Kuhmon kaupungin rakennustarkastajan mukaan muissa kaupungeissa pelätään, että puurakentamisen määräysten kanssa tulee ongelmia.

Yhteistyön urakoitsijoiden, suunnittelijoiden ja käyttäjien välillä koettiin onnistuneen hankkeessa hyvin ja käyttäjäpalaute on ollut sekä oppilailta että opettajilta myönteistä. Koulu on saanut kiitosta esimerkiksi akustiikasta, sisäpinnoilla laajasti näkyvästä puusta, lämmينhenkisyydestä, levollisuudesta ja hyvästä sisäilmasta. Koulurakennuksessa on huomattu myös, että oppilaat kunnioittavat puupintoja, eikä niitä ole esimerkiksi sotkettu yhtä helposti kuin pintoja aiemmin. Hanke on toiminut suurena työllistäjänä ja näyteikkunana sekä puutuotannolle, rakentajille ja puutoimittajille.

Puurakentamisen haittapuolina koettiin suunnittelijoiden vähäisyys sekä standardien puute. Kustannuslaskentatiedon vähäisyys ja epätarkkuudet hintatiedoissa hankaloittivat kohteen kustannusarvion muodostamista. Rakenteellisesti haasteelliseksi osaksi koettiin puiset välipohjarakenteet. Puurakentamisen etuina todettiin kuiva, hiljainen ja lähes pölytön työmaa. Kevyet puuelementit eivät vaadi suurta nostokalustoa ja asennusvaiheen nostotyöt oli mahdollista toteuttaa sääsuojan sisällä. Puumateriaalin työstettävyyys on helppoa verrattuna kivirakenteisiin ja valmiiden puupintojen pintakäsittelytyö vähäisempää.

Tuupalan puukoulun kokonaiskustannukset olivat 11 600 000€. Kustannuksia nostaneina tekijöinä tunnistettiin mm. kolmen eri rakennusmassan aiheuttama ulkoseinärakenteiden määrä, talotekniset ratkaisut (tilaajan vaatima laatutaso ja sprinklerijärjestelmän lisäys) sekä korkeiden aulatilojen arkkitehtuuri. Koulun rakentaminen oli tavanomaiseen tapaan verrattuna jonkin verran kalliimpaa, mutta halu rakentaa paikallisesta puusta johti lopulta siihen, että puurakentamisen sijoitettu yksi euro synnytti 2,7€ vaikutuksen Kuhmon aluetalouteen. ^[12] Tuupalan puukoulun hiilijalanjälki on noin 0,64 t CO₂e/m² 50 vuoden arviointijaksolla laskettuna. ^[67] Hankkeen onnistuminen osoittaa, että teollisen puurakentamisen teknologia ja toimintatavat alkavat olla valmiita. ^[12]

DAS Kelo, Rovaniemi

DAS Kelo on vuonna 2019 käyttöön otettu Domus Arctica -säätien rakennuttama opiskelija-asuinkerrostalo. Se on Suomen ensimmäinen kahdeksankerroksinen CLT-rakenteinen opiskelija-asuinkerrostalo, jonka laajuus on 4 504 brm². DAS Kelon hankkeessa on huomioitu vähähiiliset ratkaisut, kiertotalous ja resurssitehokkuus. Materiaalien hiilijalanjäljen lisäksi hankkeessa on huomioitu myös käytönaikaiset päästöt, ja aurinkopaneelien lisäksi rakennuksessa on myös viemärivereden lämmöntalteenotto ja edistysellisiä tapoja hyödyntää aurinkopaneelien virtaa sähköauton latauksessa. Rakennuksen sisällä puupintaa on alakatoissa ja porrashuoneen lattiapinnoissa.

Lähtökohtana hankkeen suunnittelussa ja rakentamisessa ovat olleet Rovaniemin kaupungin kiertotalousstrategia, kestävän kehityksen periaatteet, digitalisaation tuomat innovaatiot ja vaihtoehtoiset energiantuottamislähteet. Alueen ja tontin kaavoituksen kehittäminen kumppanuusperiaatteella ja keskustelu Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen kanssa hankkeen alkuvaiheessa olivat ensimmäisiä askelia kohti hanketta. Lähtökohtainen ajatus oli toteuttaa hanke puurakenteisena, vaikka myös betonirunkoa ja hybridimallia mietittiin. Eri runkovaihtoehtojen välillä suoritettiin vertailulaskelma rakennuttajakonsultin ja puurakentamisen asiantuntijan toimesta. Vertailulaskelman tulosten perusteella CLT-tilaelementit olivat edullisin vaihtoehto. Vertailulaskelman kustannusarvioit olivat:

- CLT-tilaelementit 3215€/as-m²
- CLT-puurunko 3597€/as-m²
- puiset suurelementit 3465€/as-m²
- betonirunko 3260€/as-m²

Hanketta päätettiin lähteä viemään eteenpäin CLT-tilaelementein ja urakkamuodoksi valittiin jaettu urakka. Urakkamuodon valintaan vaikutti tilaelementtien myötä tilaajalle tullut merkittävä osuus hankinnoista. Tilaajan tulee varautua siihen, että hankkeen taloudellinen eteneminen riippuu tilaelementtitoimitusten rytmistä.

CLT-tilaelementit olivat entuudestaan tuntemattomia hankkeen osapuolille, ja tietoisuutta aiheesta lisättiin sekä rakentajille että tilaajille CLT-rakentamiseen liittyvien työpajojen ja tehtaalla vierailun avulla. Suunnittelunohjauksen tärkeänä osana toimi rakennuttajakonsultti, jolla oli vahvaa osaamista teollisesta puurakentamisesta. Kustannustehokkuus, tilaelementtien vaatimukset ja paloturvallisuusmääräykset ohjasivat suunnittelua vahvasti, ja tarkan suunnitteluvaiheen todettiin lisäävän suunnittelun kustannuksia. Suunnittelussa kiinnitettiin huomiota puurakentamisen etuihin, kuten rakenteiden keveyteen ja tilaelementtitekniikan nopeuteen, sekä näiden säilyttämiseen.

Rakennuksen ensimmäinen kerroksen runko on toteutettu betonirakenteisena ja kerrokset 2-8 CLT-tilaelementein. Hankkeessa päädyttiin kustannustehokkuussyistä käyttämään neljää erilaista tilaelementtiä. Vesikattoelementit tehtiin työmaalla valmiiksi ennen tilaelementtien tuloa, ja niitä hyödynnettiin rakentamisen sääsuojana. Vesikattoelementit nostettiin asennettujen tilaelementtien päälle työpäivän päätteeksi ja seuraavan kerran tilaelementtejä asennettaessa vesikattoelementit nostettiin pois. Tällöin erillisen sääsuojan kustannus poistuu. Tilaelementtien asennuksessa kiinnitettiin erityistä huomiota asennustarkkuuteen, ja asennukset saatiin toteutettua suunnitellussa kerros/viikko -tahdissa. Betoni- ja CLT-rakenteiden rajapinnan kosteudenkehittymistä seurattiin tarkasti. Työmaa koki tilaelementtien eduksi nopeuden ohella vähäisen jätteen tuoton.

DAS Kelossa on kahdeksan kerrosta ja yhteensä 103 kappaletta 26-32,5m² kokoista asuntoa sekä yhteistilat. Hankkeen kokonaiskustannukset olivat 8 000 000€, ja sen voidaan sanoa olevan kustannuksiltaan ja toteutukseltaan hyvin onnistunut CLT-tilaelementti kohde. [13,14]

Taulukko 1: Aiemmin toteutettujen hankkeiden yhteenveto. [11,12,13,14]

	 SUOMALAIS- VENÄLÄINEN KOULU	 TUUPALAN PUUKOULU	 OPISKELIJA- ASUINKERROSTALO DAS KELO
RAKENNUSVUOSI	2021	2018	2019
LAAJUUS	6 400 brm ²	6 165 brm ²	4 504 brm ²
RAKENNUS- MATERIAALI	CLT-massiivipuulevy, liimapuurakenteet, teknisistä syistä välipohjissa myös betonia	CLT-massiivipuulevy	CLT-tilaelementit kerrokset 2-8, 1. kerros betonirakenteinen
HYVÄKSI TODETUT KÄYTÄNNÖT	+ Allianssimalli, yhteinen näkemys kustannuksista ja toteutuksesta + Numeeriset hiilijalanjälkivertailut heti hankkeen alussa + Elinkaarikustannuslaskennan avulla puujulkisivun määrää voitiin lisätä	+ Yhteistyö suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja käyttäjien välillä oli sujuvaa + Kuiva, hiljainen ja pölytön työmaa + Koko rakennuksen kattava sääsuojatelta + Hyvä palaute puupinnoista ja akustiikasta	+ CLT-materiaalien tietoisuuden lisääminen työpajojen ja tehdasvierailun avulla + Lopullisten vesikattorakenteiden hyödyntäminen rakennusaikaisena sääsuojana + Työmaan vähäinen jätteen määrä
KEHITTÄMIS- KOhteet	△ Energiankulutuksen päästöjen vahvempi ohjaaminen △ Työmaan hiilijalanjälki suurempi kuin oletusarvoihin perustuva arvio	△ Osaavien suunnittelijoiden vähäisyys △ Standardien puute △ Kustannusarvion muodostamisen hankaluus	△ Suunnitteluvaiheen haastavuus kasvattaa kustannuksia △ Betoni- ja puurakenteiden rajapintojen kosteudenhallinta
HIILIJALANJÄLKI	10,6 kg CO ₂ e/m ² /a (100 vuoden arviointijakso)	0,64 t CO ₂ e/m ² (50 vuoden arviointijakso)	-
KUSTANNUKSET	26 505 000€	11 600 000€	8 000 000€

4. Puurakentamisen vaikutukset ympäristölle, käyttäjälle, yhteiskunnalle ja toteuttajalle

4.1 Puurakentamisen elinkaaren hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki

Puurakentamisen hiilijalanjälki

Puusta rakentaminen näyttäytyy ympäristöystävällisempänä kuin betonirakentaminen ja sen hiilijalanjälki on nykyisissä laskentamenetelmissä selvästi pienempi, sillä sen tuotantoprosessi ei tuota yhtä paljon päästöjä kuin esimerkiksi betonin ja teräksen. Lisäksi laskentamenetelmissä puurakentamisen etuna on myös suuri hiilikädenjälki.

Puurakentamisen hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen todelliset hyödyt ovat alkaneet kuitenkin puhuttaa, ja on esimerkiksi pohdittu sitä mikä puurakentamisen todellinen ilmastovaikutus on, kun huomioidaan puun kaatamisesta syntyvä hiilinielun pienentyminen ja puurakenteiden käyttöikä ja loppusijoitusmahdollisuudet.

Vahvasti puunkäytön puolesta puhuu se, että puu on uusiutuva materiaali. Se tarkoittaa, että uutta puuta kasvaa koko ajan. Suomen Luonnonvarakeskuksen mukaan puuston vuotuinen kasvu Suomessa on keskimäärin 105,5 miljoonaa kuutiometriä. [15] Vuosittaisen puuhakkuun määrän on arvioitu olevan keskimäärin 68,4 miljoonaa kuutiometriä. Yhden puukerrostalon rakentaminen vaatii puuta noin 1 000 m³ ja vuodessa puurakenteisiin kerrostaloihin kuluu puuta noin 520 000 m³, mikä tarkoittaa alle prosenttia hakkuupuun kokonaismäärästä.

Puurakentamisella saatavat hyödyt vaativat kuitenkin, että metsänhoitotoimenpiteet ovat kestäviä. Puun käytöllä tuetaan metsänhoitoa ja metsätaloutta, jolla pystytään myös lisäämään metsien hiilinielua, kun metsät pystytään pitämään hyvässä kunnossa. Metsä toimii hiilinieluna, kun kasvu on poistumaa suurempi. Puurakentamisessa käytettävän puun on tultava alueilta, joissa metsien hoitoon ja hyödyntämiseen kiinnitetään huomiota. Tämä on tärkeä tekijä hiilinielun ja puunkäytön tasapainossa, sillä vain noin 10 % maailman metsistä on sertifioituja. Suomen metsistä lähes 100 % on sertifioituja. Suomessa ELY-keskus ja Suomen ympäristökeskus ovat kuitenkin irrottautuneet PEFC -sertifikaatista, joka noin 90 prosentilla Suomen metsistä on, sillä tutkijoiden mukaan sertifikaatti ei huomioi riittävästi metsien tilaa eikä edistä ekologista kestävyyttä. Sertifikaatteja kehitetään, mutta on hyvä tiedostaa, ettei sertifioitu metsä suoraan tarkoita ympäristöystävällistä metsää.

Puurakentamisen ympäristövaikutuksia tuleekin arvioida pelkkää hiilijalanjälkeä laajemmin, sillä pelkkä hiilijalanjälki saattaa antaa liian yksipuolisen näkemyksen ympäristövaikutuksista. Tarkastelun ulkopuolelle jäävät esimerkiksi vaikutukset maahan, veteen ja biodiversiteettiin. Esimerkiksi Suomen uhanalaisista lajeista yli kolmasosa on metsälajeja, ja metsäluonnon monimuotoisuutta heikentää voimakkaimmin metsätalous. Monimuotoisuutta voidaan kuitenkin ylläpitää myös talousmetsissä esimerkiksi mukaillemalla metsän luontaisia häiriöitä (metsäpalot, myrskynkaadot), säästämällä lahoppuustoa hakkuissa ja tukemalla eri-ikäistä metsänkasvua.[51]

Puurakentamisen vaatima vähäisempi veden määrä on eduksi, sillä vettä paitsi kuluu vähemmän, myös päätyy vesistöihin työmaan aikana vähemmän. Metsätalouden vaikutukset veden määrään ja saatavuuteen Suomessa taas ovat melko pieniä, ja metsienhakkuun vaikutukset näkyvät enemmän esimerkiksi pintavesien laadussa ja lisääntyneenä ravinnekuormituksena. Metsillä on myös lukuisia positiivisia vaikutuksia pinta- ja pohjavesien laatuun.[52] Metsien hakkuun ympäristövaikutuksiin on kiinnitetty Suomessa huomiota, ja metsätalouden vaikutuksia tutkitaan aktiivisesti. Metsätaloutta halutaan jatkuvasti kehittää luonnolle edulliseen suuntaan, mikä puhuu rakentamisessakin lähellä kaadetun, suomalaisen puun puolesta.

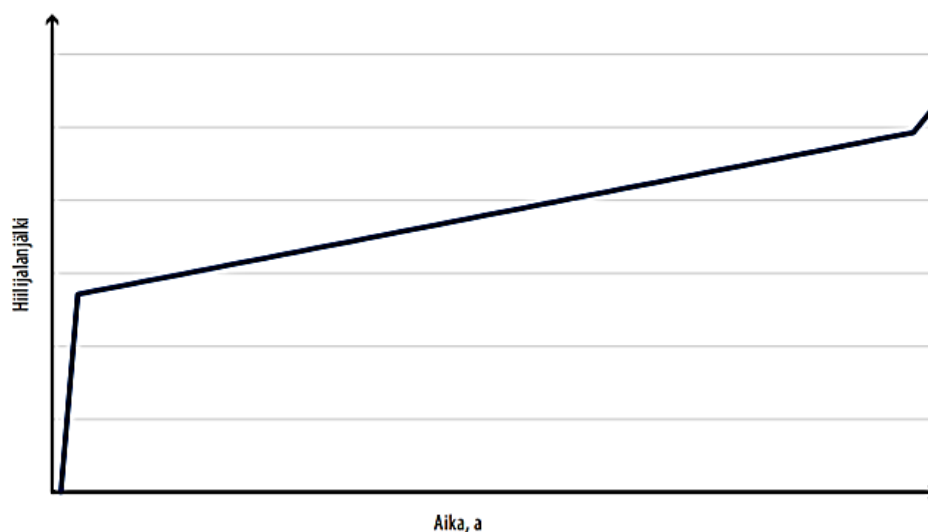
Hiilijalanjäljen käyttö päätöksenteossa on perusteltua, kun vertaillaan esimerkiksi erilaisia runkoratkaisuja, rakennuspaikkoja tai rakennusmateriaaleja. Työkaluna se on kuitenkin melko uusi, eikä vakiintuneita toimintatapoja ole ehtinyt vielä syntyä. Tämä saattaa näkyä esimerkiksi eri laskijoiden saamina erilaisina tuloksina, jotka perustuvat erilaisiin oletuksiin sekä joskus myös osaamattomuuteen ja tiedon puutteeseen. Hiilijalanjälkilaskennan yhtenäisyyttä edistää Suomessa vahvasti Ympäristöministeriö, jonka julkaiseman rakentamisen päästötietokannan (co2data.fi) tavoitteena on yhdenmukaistaa ilmastovaikutusten laskentaa.

Puurakentamisen hiilikädenjälki

Rakennuksen hiilikädenjäljellä tarkoitetaan päästöhyötyjä, joita ei ilman rakennushanketta syntyisi. Kun rakennuksen tai alueen hiilikädenjälki on yhtä suuri kuin sen hiilijalanjälki, puhutaan hiilineutraalisuudesta, ja kun hiilikädenjälki on suurempi kuin hiilijalanjälki, puhutaan hiilinegatiivisuudesta. Termien käytössä tulee kuitenkin muistaa, ettei hiilikädenjälkeä voi todellisuudessa vähentää hiilijalanjäljestä, eikä se itsessään hidasta ilmastomuutosta. Pitkäikäisissä tuotteissa, kuten rakennuksissa puun luontainen kyky sitoa hiilidioksidia kasvaessaan tekee siitä kuitenkin hiilijalanjäljeltään ja erityisesti hiilikädenjäljeltään ainutlaatuisen. Yksi kuutiometri puuta varastoi n. 750 kg hiiltä tehden puurakennuksesta pitkäaikaisen hiilivaraston.

Puun vahva kyky sitoa itseensä hiiltä saattaa nousta lähitulevaisuudessa myös laskentamenetelmien näkökulmasta merkittävämpään asemaan, kun yritykset ja julkiset toimijat siirtyvät vähähiilisyyden tavoittelusta hiilineutraalisuuden ja jopa hiilinegatiivisuuden tavoitteluun. Tämä tarkoittaa, että hiilijalanjäljen lisäksi myös hiilikädenjälki tullaan esittämään hiilineutraalislaskelmissa, joiden avulla ei vain haeta keinoja pienentää hiilijalanjälkeä vaan myös kasvattaa hiilikädenjälkeä. Rakennuksen hiilijalanjäljen pienentämiseen on muitakin keinoja kuin puurakentaminen, mutta hiilikädenjäljen ja hiilitaseen näkökulmasta puu ja sen kyky sitoa hiiltä pitkäaikaisesti erottaa sen muista materiaaleista.

Hiilikädenjäljen ei voida ajatella täysin korvaavan rakentamisen aiheuttamaa hiilijalanjälkeä, sillä se ei vähennä rakennuksen elinkaaren alussa syntyvää hiilipiikkiä, vaan jakautuu tasaisesti rakennuksen elinkaaren ajalle. Kuvasta 9 nähdään, että hiilijalanjälki jakautuu elinkaaren ajalle epätasaisesti ja suurin osa päästöistä syntyy arviointijakson alussa, eli ennen rakennuksen käytön alkua. Näin ollen puurakennuksen hiilikädenjäljestä saatava hyöty ei pienennä rakennuksen hiilijalanjäljen aiheuttamaa hiilipiikkiä. Sen sijaan puurakennuksen ennen rakennuksen käyttöä syntyvä pienempi hiilijalanjälki näkyy pienempänä alun piikkinä esimerkiksi betonirakennukseen verrattuna.

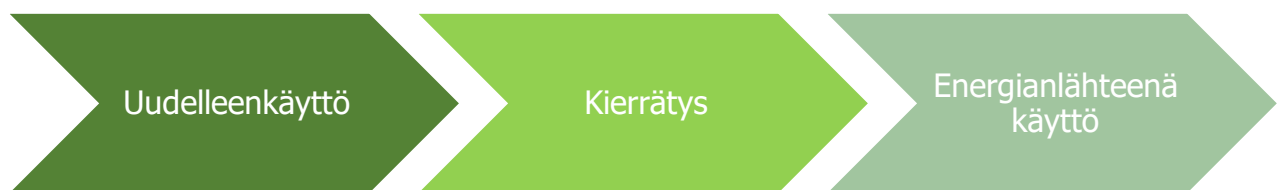


Kuva 9: Rakennuksen hiilijalanjäljen jakautuminen sen elinkaaren ajalle [50].

Puutuotteiden hyödyntäminen elinkaaren päättyessä

Kiertotalouden näkökulmasta puun etuna on se, että puutuotteiden valmistuksessa syntyvän jätteen määrä on vähäinen, sillä kaikki sivutuotteet pystytään hyödyntämään raaka-aineina tai energiana. Esimerkiksi sahatavaran tuotannossa syntyviä tasauspätkiä, haketta ja sahanpurua voidaan hyödyntää lastulevyjen, selluloosan ja paperin valmistuksen raaka-aineina.

Puurakentamisen elinkaaren loppu ja se, mitä puulle tapahtuu käytön jälkeen, on myös oleellista puunkäytön lisääntyessä. Mitä pidempään puu pysyy kierrossa, sitä suurempi hyöty saadaan pidemmästä hiilen varastoitumisajasta sekä energian ja luonnonvarojen säästymisestä. Kuvassa 10 on esitetty järjestys, jota tulisi suosia puutuotteiden ensimmäisen elinkaaren päättyessä.



Kuva 10: Puu- ja puupohjaisten tuotteiden hyödyntämisjärjestys ensimmäisen elinkaaren päättyessä.

Puun työstettävyys lisää puun uudelleenkäyttömahdollisuuksia, sillä puuta voidaan käyttää uudelleen myös muihin, kuin pelkästään alkuperäiseen tarkoitukseen. Puretuille puisille rakennusosille voidaan löytää erilaisia käyttökohteita rakentamisesta sekä sen ulkopuolelta. Rakennusten ja pienempien piharakenteiden (pihavajat, roskakatokset yms.) lisäksi puuta voidaan hyödyntää uudelleen esimerkiksi huonekaluissa, puisissa pienesineissä, kuormalavoissa tai erilaisissa tilapäisrakenteissa. Tehdasvalmisteisten elementtien valmistuksessa voitaisiin myös mahdollisesti hyödyntää lyhyttä, purettua puutavaraa.

Kestävä metsänkasvatus on oleellista paitsi puutuotteiden ekologisuuden, myös niiden uudelleenkäytettävyyden kannalta. Vanheneminen ei muuta puumateriaalin ominaisuuksia vaan aineksen laatu määräytyy pääosin jo puun kasvaessa. Laadukas ja tarkoin valikoitu puuaines on haluttua, ja se lisää uudelleenkäytön mahdollisuuksia. ^[16]

Ongelmia puun uudelleenkäytölle saattavat aiheuttaa haitta-aineet, kosteusrasitus tai lahovauriot. Puisten rakennusten haitta-aineet eivät yleensä kuitenkaan sijaitse välttämättä itse puussa, ja vaurioituneista rakennuksista saattaa löytyä uudelleenkäyttökelpoisia osia. Mikrobivaurioituneiden rakennusten osia tulisi kuitenkin käyttää vain toissijaisissa rakenteissa, jotta niistä ei aiheudu sisäilmariskiä. Seinä- ja tilaelementtien uudelleenkäytössä tulee ottaa huomioon eristeiden mahdolliset epäpuhtaudet.

Puunrakenteiden uudelleenkäytössä tulee huomioida myös rakentamismääräysten muutokset. Esimerkiksi usein uudelleenkäytetyissä puupalkeissa rakentamismääräykset eivät muodostu rajoittavaksi tekijäksi, mutta rakenteisiin voidaan joutua tekemään muutoksia, jotta rakennusosia voidaan käyttää esimerkiksi suuremmille kuormituksille tai taipumaa saadaan pienennettyä. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi jännevälin tai pituuden lyhentämistä tai jakovälin tihentämistä.

Erilaisten puurunkoratkaisujen ympäristövaikutukset

Puun hiilijalanjälki eroaa betonista selvästi, mutta myös puurunkoratkaisujen välillä on eroja. VTT:n tutkimuksessa on vertailtu erilaisten puurunkoratkaisujen välisiä hiilijalanjälkieroja ulkoseinissä, kantavissa

väliseinissä, välipohjissa ja yläpohjissa. Hiilijalanjälkierot puurakennejärjestelmien välillä ovat tutkimuksen mukaan pieniä. Esitettyjen laskelmien perusteella CLT-rakenteiset suurelementit ja CLT-rakenteiset tilaelementit ovat ympäristön kannalta paras vaihtoehto. Erot hiilijalanjälkien suuruudessa eivät ole suuria, mutta esimerkiksi CLT-rakenteisen tilaelementin ja rankarakenteisen tilaelementin ulkoseinän hiilijalanjäljen ero on 3 kg CO₂e/ulkoseinä-m². Luvussa 4.2 käsitellyissä pilottikohteissa tämä tarkoittaisi yhden pistetalon kohdalla noin 3,7 t CO₂e suurempaa hiilijalanjälkeä, jos rakennus rakennettaisiin CLT:n sijasta rankarakenteisena tilaelementtinä. [48] Tämä vastaa hieman yli keskivertosuomalaisen liikkumisen aiheuttamaa hiilijalanjälkeä vuodessa. [47] Merkittävämpi ero voidaan havaita rakenteiden sitomassa hiilen määrässä, joka on CLT-tilaelementin ulkoseinällä noin 30 % suurempi kuin rankarakenteisen tilaelementin ulkoseinällä. Näin ollen CLT-rakenteisten ulkoseinärakenteiden hiilitase (sitoutunut hiili - hiilijalanjälki) on lähes puolet suurempi kuin muilla puisilla runkoratkaisuilla. [48] Tavanomaisiin betonirakenteisiin verrattuna kaikkien tutkimuksessa käsiteltyjen puurunkovaihtoehtojen hiilijalanjälki on kuitenkin pieni ja hiilikädenjälki suuri.

Tulokset kantavien väliseinien ja yläpohjarakenteiden osalta vastaavat ulkoseinien tuloksia, mutta välipohjarakenteissa rankarakenteisen tilaelementin hiilijalanjälki on selvästi pienempi kuin muiden rakenteiden. CLT-tilaelementin välipohjarakenteen sitoman hiilen määrä taas on selkeästi suurin, ja CLT-rakenteiden hiilitase poikkeaa merkittävästi muista vaihtoehtoista. CLT-rakenteiden sitoma suuri hiilen määrä verrattuna muihin vaihtoehtoihin saattaa perustua esimerkiksi siihen, että massasta suurin osa on puuta, eikä muita levymäisiä rakenteita kuten eristeitä tai kipsilevyjä. [48]

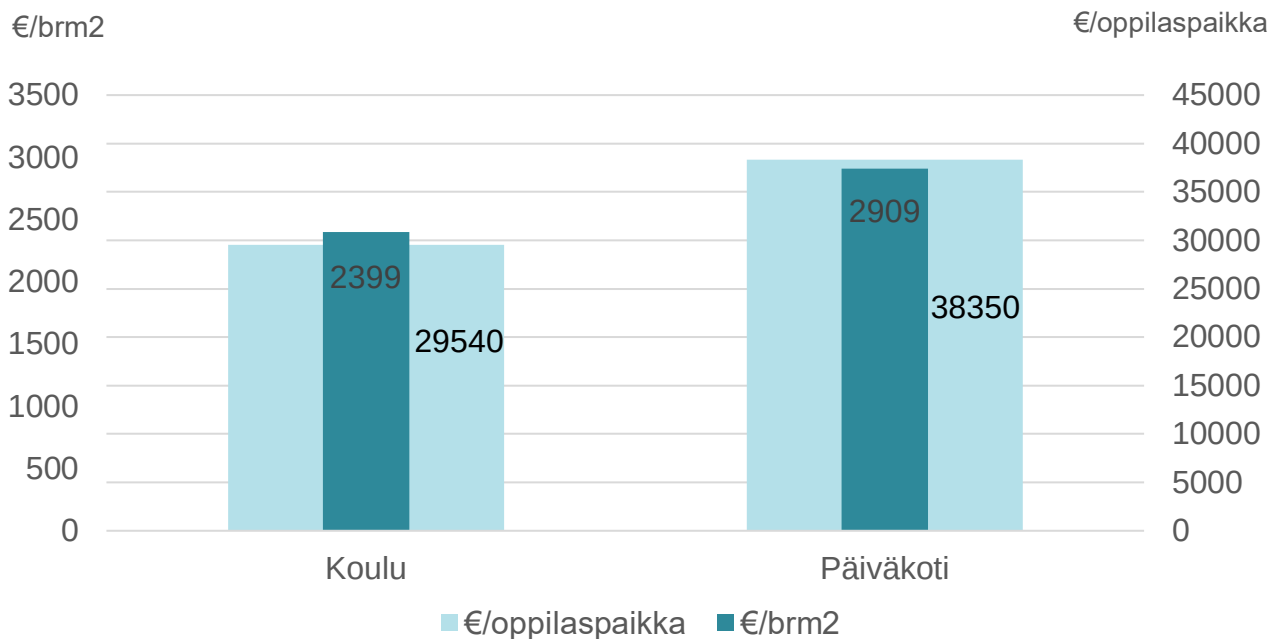
4.2 Puurakentamisen kustannukset

Puurakentamisen kustannuksista ei ole saatavilla yhtä paljon tietoa kuin betonirakentamisesta, eikä esimerkiksi alalla käytettävissä laskentaohjelmistoissa ole esitetty puurakentamiselle yhtä laajoja kustannuskatalogeja kuin muulle rakentamiselle. Tämä vaikeuttaa etenkin julkisessa rakentamisessa puurakentamisen lisäämistä, sillä kustannusten epävarmuuden takia ne saatetaan arvioida liian suuriksi ja riskivaraus saattaa olla korkeampi kuin rakentamisessa, josta hinnastot ovat olemassa.

Kustannukset jakautuvat puurakentamisessa, ja etenkin tilaelementtirakentamisessa eri tavalla kuin vastaavien kohteiden betonirakennuksissa. Puurakentamisessa suunnittelukustannukset ovat yleisesti suuremmat, mutta tilaelementtirakentamisessa rakentamisen kustannukset ovat jopa pienemmät kuin betonirakentamisessa, sillä rakennusaika on huomattavasti lyhyempi ja korkean valmiusasteen vuoksi rakentamisen aikaisiin kalliisiin muutostöihin ei tarvitse varautua.

Puurakenteisten koulu- ja päiväkotirakennusten kustannuksia

E-puu.fi -sivustolle on kerätty kustannustietoa toteutuneista puurakentamisen hankkeista, mutta rakennustyyppikohtaista kustannustietoa löytyy vain koulu- ja päiväkotirakennuksista. Koulujen kustannusten keskiarvot perustuvat kuuteen vuosina 2010-2018 rakennettuun referenssihankkeeseen, joiden laajuus vaihtelee noin 2 100m² -6 200m² välillä. Päiväkotien kustannuskeskiarvot perustuvat kymmeneen päiväkotihankkeeseen, jotka on rakennettu vuosien 2009-2017 välillä. Päiväkotirakennusten koot vaihtelevat noin 600 neliömetristä 1 800. Vaihteluvälit kustannuksissa ovat melko suuria, ja koulukohteissa vaihtelu on noin 1 850-3 770€/brm² ja päiväkotihankkeissa 2 040-3 480€/brm². Vaihteluvälit voivat selittyä esimerkiksi rakenneratkaisujen tai varustelutasojen välisillä eroilla. Kuvassa 11 on esitetty koulu- ja päiväkotirakennuksen keskimääräinen kustannus bruttoneliömetriä ja oppilaspaikkaa kohden.



Kuva 11: Suomalaisten, puurakenteisten päiväkotij- ja koulurakennusten kustannukset €/brm² (kapea pylväs) ja €/oppilaspaikka (leveä pylväs). Koulukohteiden keskiarvo perustuu kuuteen hankkeeseen ja päiväkotikohteiden kymmeneen hankkeeseen. [17]

Asuinrakennusten kustannusvertailuja

Puurakentamisen määrä on kasvussa Ranskassa, Saksassa, Sveitsissä, Itävallassa ja Ruotsissa. Ruotsissa puukerrostaloasuntoja on tällä hetkellä yli 20 000 ja joka viides uusi kerrostalo rakennetaan puusta. Suomessa puukerrostaloasuntoja on reilut 2 100 ja puukerrostaloja yhteensä noin 100. Ruotsissa puurakentamisen kustannuksia verrattuna betonirakentamiseen on tutkittu 123 000 asunnon rakentamisesta saadun kustannustiedon avulla. Ruotsissa on yleisesti ajateltu, että matalien rakennusten rakentaminen puurunkoisina on betonia halvempaa, kun taas korkeissa rakennuksissa betoni on edullisempi vaihtoehto. Tutkimuksen lähtökohtana on pidetty sitä, että Ruotsissa 8-kerroksisen kerrostalon rakentaminen puurunkoisena maksaa 20 % enemmän kuin betonirunkoisena rakennettuna.

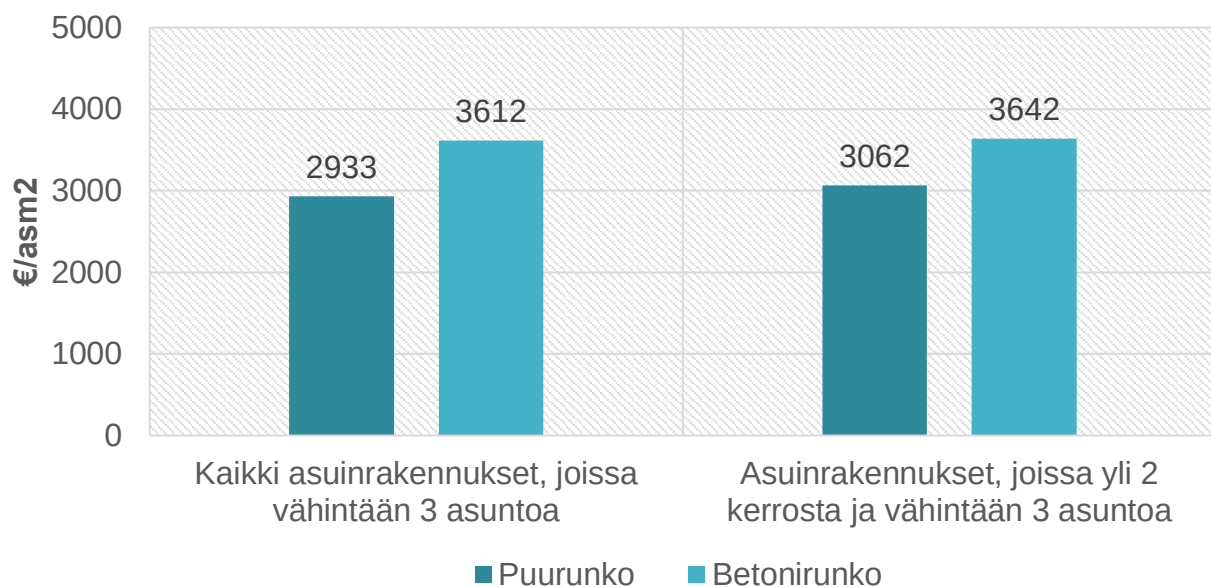
[18]

Tutkimuksen kohteena on ollut yhteensä reilut 2 000 rakennusprojektia, jotka on toteutettu vuosina 2013-2017. Vertailuun on huomioitu ne projektit, joissa on rakennettu vähintään kolme asuntoa. Vertailun pohjalta tulokseksi saatiin, että vuonna 2017 asuinrakennuksissa puurunkoisen rakennuksen hinta oli keskimäärin 29 675 kruunua (n. 2 933€) asuineliötä kohden ja betonirunkoisen rakennuksen hinta 36 550 kruunua (n. 3 612€) asuineliötä kohden. Vertailun mukaan ero puurakentamisen ja betonirakentamisen kustannusten välillä on pienentynyt noin 10 % vuoden 2013 tasosta eli suhteessa toisiinsa puurakentaminen on kallistunut ja/tai betonirakentaminen halventunut. [18]

Artikkelin mukaan kustannuksissa on kummallakin runkomateriaalilla selvää vaihtelua sen mukaan, missä päin maata rakennukset on rakennettu. Kaupungista riippumatta puurunkoisen rakennuksen kustannukset olivat kuitenkin betonirunkoista matalammat. Koska yksi- ja kaksikerroksisten rakennusten rakentaminen puusta on Ruotsissa melko yleistä, on ne haluttu poistaa vertailusta, jotta saataisiin tarkempia vertailutietoja. Kun yksi- ja kaksikerroksiset rakennukset poistettiin vertailusta, niin rakennusprojektien määrä tippui noin 20 %, mutta tulokset eivät muuttuneet. Tarkkaa tietoa näiden rakennusprojektien jakautumisesta esimerkiksi 3-, 4- tai 8-kerroksisiin rakennuksiin ei ole saatavilla. Ero kustannusten välillä pienentyi hieman, ja kun huomioidaan vain yli 2-kerroksiset asuinrakennukset, niin puurunkoisen

rakennuksen keskimääräinen kustannus on noin 30 987 kruunua (n. 3 062€) asuinneliötä kohden ja betonirunkoisen noin 36 846 kruunua (n. 3 642€) asuinneliötä kohden. [18]

Betong- lehden haastattelemat asiantuntijat korostavat sitä, että neliökohtaisten kustannusten asettaminen on vaikeaa, sillä projektit ovat erilaisia, ja sekä puisia että betonisia runkoratkaisuja on lukuisia erilaisia. SABO:n kiinteistöpäällikön mukaan puurunkoiset rakennukset ovat olleet keskimäärin 3-8 % betonisia kalliimpia, ja epäilee vertailussa saatujen tuloksien selittyvän rakennushankkeiden erilaisilla toteutustavoilla. Kiinteistöpäällikön mukaan mitä korkeampi rakennus on, sitä kalliimpi se on rakentaa puusta. Kuninkaallisen teknillisen korkeakoulun professorin mukaan vertailun tuloksia voi selittää myös puurunkoisten kerrostalojen korkea esivalmiusaste. [18] Kuvassa 12 on esitetty artikkelin vertailun tulosten yhteenveto.



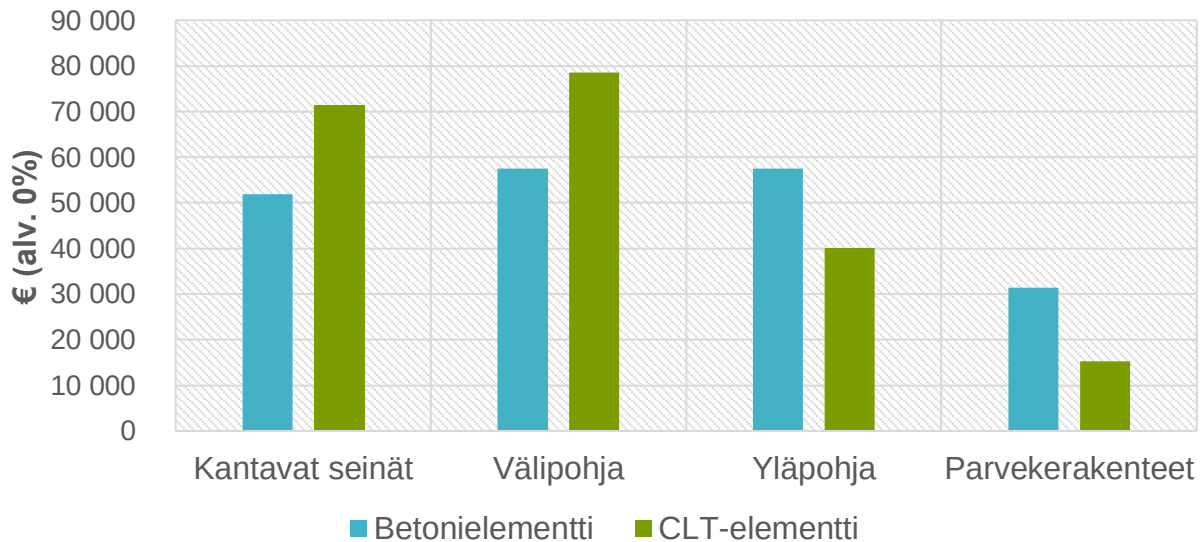
Kuva 12: Asuinkerrostalojen kustannukset Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan €/asm² puurunkoisena ja betonirunkoisena. Ensimmäisessä sarjassa on huomioitu kaikki tutkimuksen kohteena olleet rakennukset ja toisessa vain yli 2-kerroksiset rakennukset. [18]

Kuvan 12 perusteella nähdään, että ero puurunkoisen ja betonirunkoisen asuinrakennuksen välillä kaventuu noin 6 %, kun huomioidaan vain yli 2-kerroksiset rakennukset. Tämä viittaisi siihen, että mitä useampi kerros rakennuksessa on, sitä pienempi kustannusero puu- ja betonirakenteisten rakennusten välillä on. Lisäksi ei ole tietoa siitä, miten monta puurakentamisen hanketta yli 2-kerroksisten datajoukkoon mahtuu, ja miten hyvin joukko kuvaa kokonaisuutta. Tulokset on esitetty kuvassa 12 muodossa €/asm², mutta niitä ei voida suoraan ajatella voitavan hyödyntää Suomessa, sillä rakentamisen hintataso ei välttämättä ole samalla tasolla. Lisäksi Ruotsissa puukerrostalojen määrä on Suomeen verrattuna kymmenkertainen, joten puurakentamisen voidaan ajatella olevan vakiintuneempaa ja kustannustaso saattaa olla alhaisempi. Tutkimustuloksia voidaan käyttää kuitenkin suuntaa-antavana viitteenä siitä, ettei betonirakentaminen välttämättä ole aina edullisempi vaihtoehto, ja että puurakentamisen lisääntyessä sen kustannus saattaa pienentyä.

Suomessa vuonna 2016 toteutetun tutkimuksen mukaan puurunkoisen 2-kerroksisen asuinkerrostalon runko on CLT-elementein toteutettuna noin 3,5 % kalliimpi kuin betonielementtirakenteisena. Kuvassa 12 on esitetty betoni- ja CLT- rakenteiden runkorakenteiden kustannuserot. [19]

Kuvasta 13 nähdään, että kantavien seinien ja välipohjan osalta CLT-elementtivaihtoehto on selkeästi kalliimpi, kun taas yläpohjan ja parvekerakenteiden kustannukset ovat selkeästi pienemmät. Tehdyissä laskelmissa CLT -elementtien hinnat ovat teoreettisia, ja kustannukset on laskettu samoille tilaratkaisuille

ja betonielementtejä vastaaville määriille. Näitä kustannuksia ei voida suoraan peilata koko hankkeen kustannuksiin, sillä mukaan ei ole laskettu esimerkiksi paloturvallisuuden vaatimia lisäkustannuksia kuten automaattista palonsammutusjärjestelmää tai kipsilevyverhoilua. CLT- elementtien lyhyempi asennusaika on osittain huomioitu kustannuksissa, mutta rakennusajan kokonaissästöä ei voida näiden tulosten perusteella arvioida.



Kuva 13: Betonielementein ja CLT-elementein rakennetun rungon kustannuserot rakennusosittain noin 1000m² laajuudessa 2-kerroksisessa asuinrakennuksessa Suomessa. [19]

Kuvassa 13 esitettyjen materiaalikustannusten perusteella niin sanotulla hybridirakentamisella voitaisiin päästä kustannustehokkaaseen ratkaisuun lisätä puurakentamista. Vaikka kuvassa 13 esitettyjä kustannuksia ei voi käyttää yleispätevinä kaikissa hankkeissa, voidaan hybridirakentamisella saavuttaa kustannussäästöjä, sillä vaihtoehtoja ja tarjoajia on todennäköisesti enemmän. Toisaalta hybridirakentaminen sisältää samanlaisia riskejä kokemattomuuden ja vakiintumattomien käytäntöjen tapaan, ja siinä on huomioitava eri materiaalien välinen kosteuskäyttäytyminen erityisen tarkasti. Hybridirakentaminen kuitenkin pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä ja tarjoaa uusia mahdollisuuksia puuteollisuudelle. Erityisesti korkeiden kerrostalojen toteuttamiseen hybridirakentaminen tarjoaa uusia mahdollisuuksia. [65,66]

Puurakentamisen kustannukset ja niihin vaikuttavat tekijät

Puurakentamisen kustannuksista on olemassa jonkin verran tietoa, mutta kustannuksia arvioitaessa ei voida keskittyä pelkästään materiaalien välisiin kustannuseroihin. Rakennuskustannuksista ei ole olemassa kirjallisuudessa laajasti tutkittua tietoa, mutta maailmanlaajuisesti tehdyissä tutkimuksissa se, onko puurakentaminen kalliimpaa vai halvempaa kuin betonirakentaminen, vaihtelee. Joidenkin tutkimusten mukaan Suomessa muiden kuin pientalojen rakentaminen puusta näyttäytyy tällä hetkellä noin 5-10 % kalliimpana, kun taas Ruotsissa on halvempaa rakentaa puusta kuin betonista. Erot johtuvat sekä Ruotsin kehittyneestä puumoduulituotannosta sekä Suomen erinomaisesta betonituotannosta, mikä vaikeuttaa puun jalkauttamista rakentamiseen. Puurakentamisen on kuitenkin todettu olevan nopeampaa ja tehokkaampaa perinteiseen betonirakentamiseen verrattuna.[60]

Selkeää kustannuseroa rakennusmateriaalien välillä ei pystytä toteamaan. Eri rakennusprojekteissa käytetyt tekniikat johtavat erisuuruisiin kustannuksiin, ja vaikka puurakentamisen kustannusten uskotaan yleistymisen ja tekniikoiden kehittymisen myötä laskevan, on jo nyt olemassa keinoja puurakentamisen taloudellisen edullisuuden huomiointiin.[60] Esiselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheessa tehtävässä laskennallisessa arvioinnissa on huomioitava esimerkiksi seuraavat tekijät:

Toteutusmuodon ja hankintamallien säästövaikutusten arviointi

Mikäli puurakenne tutkitaan kohteen runkovaihtoehtona, osana hankkeen esiselvitystyötä on tarpeen arvioida mahdollisesti käytettävä runkoratkaisu. Käytettävän rakennejärjestelmän mukaan puuosatoimituksen osuus hankkeen kokonaiskustannuksista voi olla jopa yli 50%. Hankkeen toteutusmuodon ja hankintamallien vaikutus tilaajan rakentamiskustannuksiin palkkionmuodostumisen kautta voi olla tällöin merkittävä. Korkean esivalmistusasteen omaavissa järjestelmissä on tarpeen selvittää toteutusmuotovertailun avulla kohteeseen parhaiten soveltuva urakka- ja hankintamalli.

Suunnitteluosaamisen vaikuttavuuden ja vakiintuneiden ratkaisujen arviointi

Puurakenteiden suunnitteluosaamisella ja -kokemuksella voidaan aikaansaada suunnittelun ajallisia säästöjä. Vakiintuneiden rakennedetaljien käyttö ja puurakennejärjestelmien tuntemus vähentää rakenteiden uudelleensuunnittelun tarvetta. Suunnittelijoiden kilpailuttamisessa on kiinnitettävä huomiota laatupisteytykseen puurakenteiden ja tavoitellun järjestelmän suunnitteluosaamisen ja referenssien osalta. Toteutusmuodosta riippuen järjestelmätoimittajan osallistaminen suunnitteluprosessiin on arvioitava kilpailutuksen yhteydessä. Tällöin suunnittelun tehtäväsisältöjen ja vastuurajojen tarkastelu järjestelmätoimittajan sekä muiden suunnittelijoiden välillä on kilpailutusvaiheessa tärkeää.

Järjestelmätoimittajien kustannustehokkaiden rakenneratkaisuiden säästöpotentiaali jää usein hyödyntämättä tai aiheuttaa lisäsuunnittelutyötä, jos toimittajien sitominen hankkeelle tapahtuu vasta toteutusvaiheessa ja ratkaisuiden vaikutusta hankkeen muiden suunnittelijoiden työhön ei ole arvioitu.

Teollisen esivalmistuksen ja työmaatoteutuksen potentiaali

Teollinen puurakentaminen mahdollistaa tuotteiden pitkälle viedyn esivalmistusasteen, jolloin tavoitteena on työmaalla toteutettavien työvaiheiden minimoiminen. Puurakentamisen on todettu olevan työmaatoteutuksessa nopeampi tapa kuivaketjurakentamisen ansiosta. Työvoimaresurssin tarve ja aikasäästö työmaatoteutuksessa on riippuvainen käytettävästä järjestelmästä ja teollisen esivalmistuksen asteesta. Pitkälle teollista valmistusta sisältävissä kohteissa on tärkeää kiinnittää huomiota myös työmaatoteutuksen ja projektinjohdon osaamiseen ja referensseihin vastaavista hankkeista.

4.3 Hiilijalanjälkilaskennan pilottihankkeet Järvenpäässä

Puurakentamisen hiilijalanjäljen tutkimiseksi on tehty hiilijalanjälkivertailua kahdesta Järvenpään kaupungin todellisesta hankkeesta. Hiilijalanjälkilaskennan avulla vertaillaan eri materiaalien välisiä eroja hiilijalanjäljen näkökulmasta sekä tuodaan numeerisia arvoja tulevien kohteiden suunnittelun tueksi. Kuvassa 14 on esitetty laskennassa käytettyjen kohteiden perustiedot.

	 KOLMEN PISTETALON KOKONAISUUS	 KOULURAKENNUS
Kohteen kuvaus	Kolmen pistetalon purku ja kolmen uuden pistetalon rakentaminen	Betonirakenteinen koulurakennus
Bruttoala yht.	4 881 brm ² → 8 384 brm ²	6 308 brm ²
Pääasiallinen rakennustyyppi	Purettavien rakennusten pääasiallinen runkomateriaali betonielementti. Uusien rakennuksen toteutuksessa vertaillaan betoni – ja puurunkoista vaihtoehtoa.	Suunniteltu ratkaisu on pääasiassa betonirakenteinen, lisäksi ulkoseiniä on toteutettu teräs-villa –rakenteisina.

Kuva 14: Hiilijalanjälkilaskennassa käytettyjen pilottikohteiden sisältö.

Pilottikohteina on kolmen pistetalon kokonaisuus ja koulurakennus, jotka kuvastavat hyvin puurakentamisen lisäämisen potentiaalisia kohdehankkeita. Kolmen pistetalon kokonaisuudessa on kyseessä hanke, jossa kolme vuonna 1970 rakennettua 4-kerroksista kerrostaloa puretaan. Maankäytön tehostamiseksi niiden tilalle on suunniteltu rakennettavan kolme pistetaloa, joiden avulla bruttoalaa saadaan kasvatettua noin 70 % ja asukasmäärää noin 60 %. Luonnostelluissa pistetaloissa on kussakin keskimäärin kuusi kerrosta, ja niiden pääasiallista materiaalia ei ole vielä päätetty. Koulurakennuksessa on kaksi kerrosta, ja tilat on suunniteltu noin 550 oppilaalle.

Hiilijalanjälkilaskenta on toteutettu OneClick LCA-ohjelmistolla, ja laskentamenetelmänä on käytetty Ympäristöministeriön vähähiilisyyden arviointimenetelmää. Laskennassa on käytetty menetelmän mukaisia taulukkoarvoja seuraaville osille:

- Ennen rakennuksen käyttöä syntyvät päästöt: kuljetukset työmaalle ja rakennustyömaan toiminnot
- Käytönaikaiset päästöt: korjausten energiankulutus
- Käytönjälkeiset päästöt: purkutyömaan toiminnot.

Laskennan ulkopuolelle on rajattu sisäpuoliset pintamateriaalit ja kalusteet, sillä niistä ei ollut saatavilla tarkkoja tietoja, eikä niiden merkitys runkovaihtoehtojen vertailun kannalta ole oleellista, sillä kaikissa skenaarioissa pintamateriaalit ja kalusteet ovat keskenään samanlaisia.

Kolmen pistetalon kokonaisuuden hiilijalanjälki

Kolmen pistetalon hiilijalanjäljen laskenta on jaettu kolmeen kokonaisuuteen: olemassa olevien pistetalojen hiilijalanjälki, uusien pistetalojen hiilijalanjälki betonirunkoisina ja uusien pistetalojen hiilijalanjälki puurunkoisina. Laskelmien avulla halutaan selvittää hiilijalanjäljen eroa olemassa olevien

rakennusten ja uusien rakennusten välillä. Laskennassa on käytetty Ympäristöministeriön arviointimenetelmää, ja sen lisäksi hiilijalanjälki on esitetty asukaskohtaisesti, koska haluttiin verrata hiilijalanjälkeä suhteessa rakennusten tehokkuuteen.

Olemassa olevien pistetalojen pääasiallinen runkomateriaali on betonielementti. Kaikki runkorakenteet on laskettu betonirakenteisina, pääasiallisena välipohjatyypinä on oletettu olevan ontelolaatta ja ulkoseinätyypinä sandwich -elementti. Kantavat seinät on laskettu betonirakenteisina ja kevyet väliseinät levyrakenteisina. Piha-alueen rakenteet on arvioitu vastaavien kohteiden ja kuvien perusteella. Olemassa olevien pistetalojen energiankulutus on arvioitu tyypillisten energiankulutusten arvojen mukaan [55], ja ne vastaavat energialuokkaa F.

Uusien pistetalojen geometria ja tilaratkaisut on oletettu keskenään samanlaisiksi sekä betonirunkoisissa että puurunkoisissa rakennusvaihtoehdoissa. Betonirunkoisissa vaihtoehdoissa kaikki kantavat rakenteet on laskettu betonielementteinä olemassa olevia rakennuksia vastaavasti. Vaihtoehtoisessa massiivipuurakennuksessa rungon pääasialliseksi materiaaliksi on oletettu CLT-massiivipuu. Ulkoseinät, julkisivuverhoilu, kantavat väliseinät, yläpohja, parvekkeet ja porraskuilut on laskettu kokonaan puurakenteisina. Välipohjista noin 90 % on laskettu puurakenteisina ja 10 % paikallavalettuina betonilaattoina. Alapohjat, perustukset, väestönsuojarakenteet ja hissikuilu on laskettu betonirakenteisena.

Uusien pistetalojen energiankulutus on arvioitu keskimääraisten energialuokka A:n perusteella seuraavasti:

- sähkönkulutus 44,4 kWh/m²/a
- kaukolämpö 37,8 kWh/m²/a
- kaukokylmä 0,1 kWh/m²/a [49]

Energiankulutuksen eroja eri runkovaihtoehtojen välillä ei ole huomioitu, koska tarkempia tietoja energiankulutuksesta ei ole laadittu. Taulukossa 2 on esitetty kolmen pistetalon hiilijalanjälkilaskennan lähtötiedot sekä laskennan tuloksena saatu hiilijalanjälki esitettynä Ympäristöministeriön menetelmän mukaisesti lämmitettyä nettoalaa ja arviointijaksoa kohden, kokonaisuutena sekä käyttäjäkohtaisesti. Kaikille skenaarioille on asetettu arviointijaksoksi menetelmän mukainen 50 vuotta, jotta laskelmien keskinäinen vertailu on helpompaa.

Taulukko 2: Kolmen pistetalon hiilijalanjälkilaskennan tulokset. *Asukasmäärään laskentaan käytetty oletusta 1 asukas/50k-m².

		OLEMASSA OLEVAT PISTETALOT	PISTE- TALOJEN PURKU	UUDET PISTETALOT, BETONI	UUDET PISTETALOT, MASSIIVIPUU
BRUTTOALA	brm ²	4 881		8 384	
LÄMMITETTY NETTOALA	m ²	4 554		7 798	
ARVIOINTIJAKSO	a	50		50	
HIILIJALANJÄLKI YM MENETELMÄN MUKAAN	kg CO ₂ e/m ² /a	22,5	0,7	13,6	11,4
KOKONAIS- HIILIJALANJÄLKI	t CO ₂ e	5 118	153	5 303	4 459
KÄYTTÄJÄKOHTAINEN HIILIJALANJÄLKI*	t CO ₂ e/asukas	63,2	-	40,2	33,8
HIILIKÄDENJÄLKI	kg CO ₂ e/m ² /a	-4,2	-	-4,1	-12,6

Taulukossa 2 on erikseen esitetty olemassa olevien pistetalojen purkamisen hiilijalanjälki, jotta voidaan arvioida ympäristövaikutusten kokonaisuutta. Olemassa olevien pistetalojen yhteenlasketuksi hiilijalanjäljeksi on saatu 5 118 t CO₂e, johon sisältyy rakennuksien alkuperäisten materiaalien valmistus, rakentaminen, rakennuksen käyttö ja rakennuksen purkaminen. Taulukosta nähdään, että tämä on pienempi kuin betonirakenteisten uusien pistetalojen hiilijalanjälki, mutta suurempi kuin puurunkoisen vaihtoehdon. Kun hiilijalanjälki suhteutetaan rakennuksen lämmitettyyn nettoalaan tai käyttäjäkohtaiseen hiilijalanjälkeen, on kummankin uudisvaihtoehdon hiilijalanjälki selvästi pienempi.

Taulukosta 2 nähdään, että hiilikädenjälki on betonirunkoisilla taloilla hieman suurempi kuin peruskorjauksella ja vastaavasti massiivipuurunkoisella rakennuksella hiilikädenjälki on suurin. Puurunkoisen vaihtoehdon hiilikädenjälki muodostuu suurimmaksi osaksi välipohjien ja ulkoseinien CLT-rakenteesta. Betonirunkoisen vaihtoehdon ja peruskorjauksen hiilikädenjälki muodostuu esimerkiksi rakenneteräksistä ja ontelolaatoista, joilla ajatellaan olevan käyttöpotentiaalia vielä rakennusten purkamisen jälkeen.

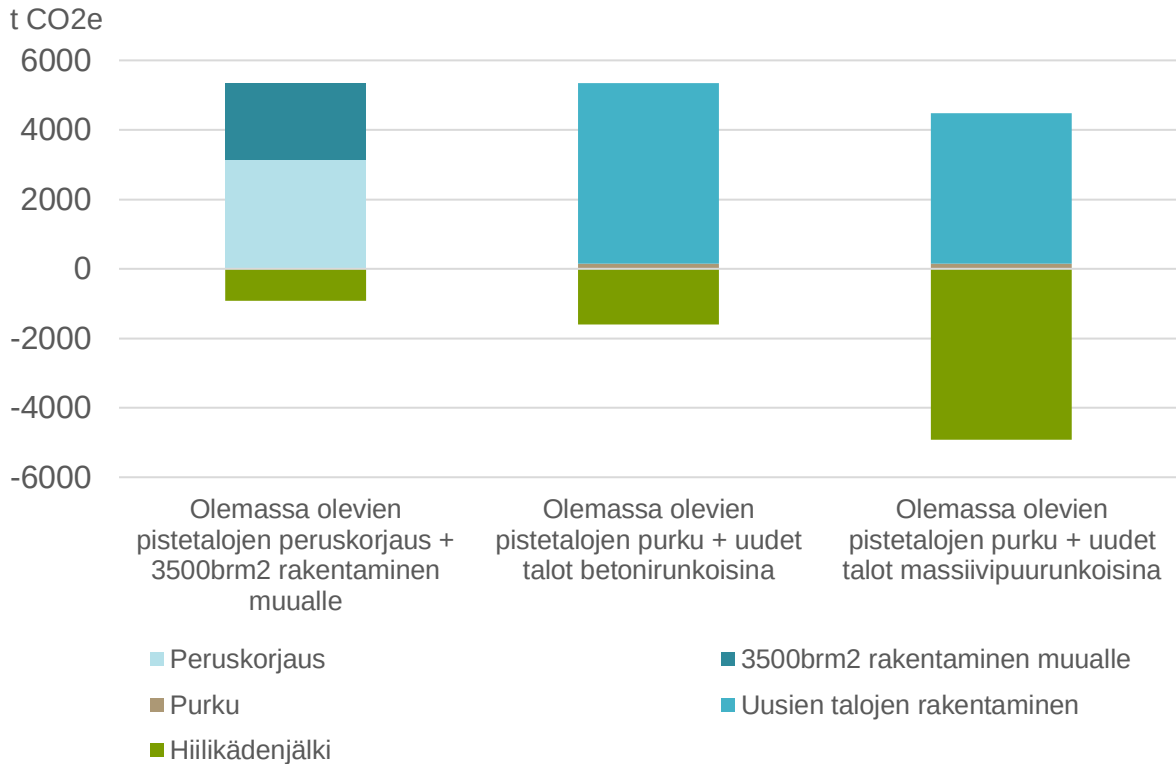
Tuloksia tulkittaessa on huomioitava kuitenkin, että suurin osa olemassa olevien pistetalojen hiilijalanjäljestä on jo toteutunut, mutta uusien pistetalojen rakentamisesta syntyvät päästöt toteutuvat vasta tulevaisuudessa. Päästöjen kokonaisvaikutuksen arvioimiseksi olisi hyödyllistä verrata pistetalojen peruskorjauksen päästöjä uusien pistetalojen rakentamiseen. Oletetaan, että rakennuksille tehdään laaja peruskorjaus, jonka korjausprosentti on noin 70. Talotekniikka uusitaan, yläpohjan ja ulkoseinien eristeet, alapohja, piha-alue, väliseinät ja ikkunat sekä ulko-ovet uusitaan. Kantaviin väliseiniin ja välipohjiin tehdään pieniä korjauksia. Oletetaan, että rakenteellisten ja taloteknisten muutosten myötä energiatehokkuusluokkaa saadaan parannettua tasolta F tasolle D. Tällöin nykyisten pistetalojen kokonaishiilijalanjäljeksi saadaan 3 135 t CO₂e, eli 13,77 kg CO₂e/m²/a ja käyttäjäkohtaiseksi hiilijalanjäljeksi saadaan 38,7 t CO₂e/asukas.

Hiilijalanjäljen suuruuteen vaikuttavat keskeisesti käytönaikaiset päästöt, eli rakennuksen energiankulutus. Energiankulutuksen päästöt selittävät parhaiten myös peruskorjauksen ja uusien pistetalojen rakentamisen väliset erot, sillä oletetaan, että uudisrakennuksilla parempi energiatehokkuus on helpompaa saavuttaa.

Peruskorjauksen ja betonirakenteisen neliökohtaisen ja käyttäjäkohtaisen hiilijalanjäljen välillä ero on vähäinen, vaikkakin kokonaishiilijalanjälki on peruskorjauksella selvästi pienempi. Puurunkoisten kerrostalojen ja peruskorjauksen välillä ero neliö- ja käyttäjäkohtaisessa tarkastelussa on selkeämpi, ja kokonaishiilijalanjälki on puurunkoisella kerrostalolla 50 vuoden aikana noin 1 300 t CO₂e suurempi kuin peruskorjauksella. Tarkastelussa on kuitenkin syytä kiinnittää huomiota neliökohtaiseen hiilijalanjälkeen, sillä jos alueella on tarvetta vielä noin 3 500 brm² laajuudelle asuntoja, on vertailussa huomioitava näiden neliöiden rakentaminen muualle.

3 500 brm² rakentaminen neitseelliselle tontille aiheuttaa päästöjä noin 2 200 t CO₂e. Kun huomioidaan tämä asuntojen tarve hiilijalanjälkivertailussa, saadaan peruskorjauksen + rakentamistarpeen täyttämisen päästöiksi yhteensä 5 335 t CO₂e. Verrataan tätä uusien pistetalojen rakentamiseen ja huomataan, että ero betonikerrostalojen kokonaishiilijalanjälkeen on noin 1% ja puurunkoisten kerrostalojen kokonaishiilijalanjälkeen noin 20%. Uusien rakennusten rakentamisessa voidaan vastaavasti huomioida vanhojen rakennusten purkaminen, ja näin betonirakenteisten rakennusten rakentaminen aiheuttaa päästöjä noin 2% enemmän kuin peruskorjaus ja uusien rakennus. Puurunkoisten uusiotalojen hiilijalanjälki on 14% pienempi kuin peruskorjaus ja uusien rakennusten rakentaminen, kun purkutyömaan päästöt huomioidaan. Kuvassa 15 on esitetty laskelmien yhteenveto.

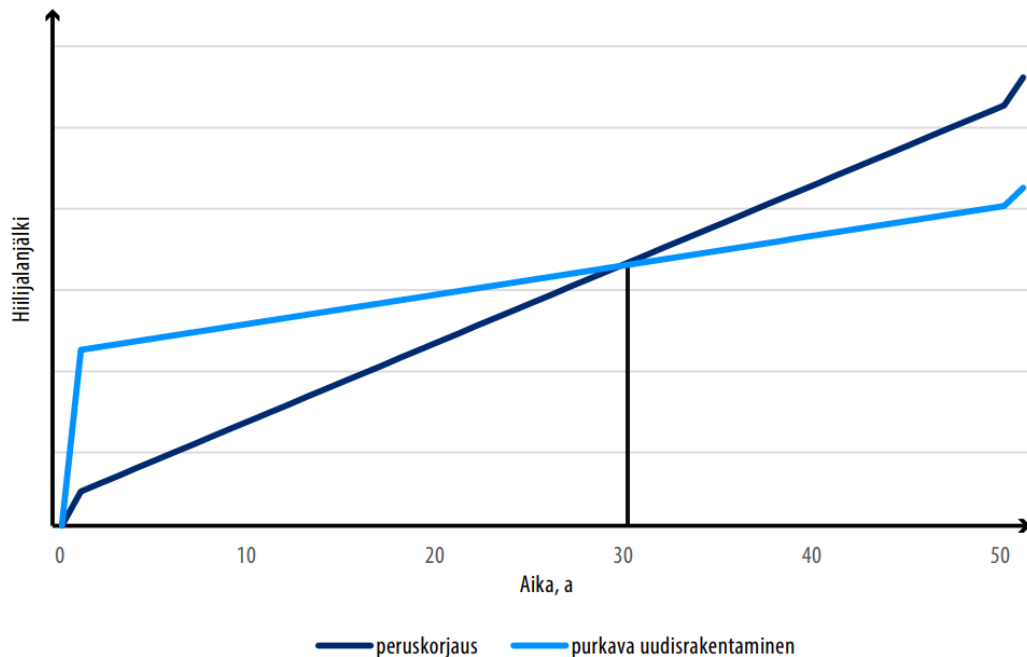
Ympäristöministeriön arviointimenetelmä ei huomioi ennen rakentamista tapahtuvan infrarakentamisen päästöjä, joten päästöero neitseelliselle maalle ja pilottikohteiden jo muokatulle maalle rakennettavien talojen välillä saattaa olla näitä prosentteja suurempi. Uusien pistetalojen rakentamisen päästöissä on kuitenkin huomioitu uudet perustukset, joten maanrakennusta joudutaan silloinkin tekemään.



Kuva 15: Pistetalojen hiilijalanjälkilaskelmavertailun yhteenveto. Energiankulutus ja materiaalien vaihdot on laskettu 50 vuoden arviointijaksolle.

Peruskorjauksen hiilijalanjälki

Vaikka infrarakentamisen päästöt saattavat kasvattaa eroa uudis- ja korjauskohteen välillä ja tulosten perusteella hankkeessa uudisrakentaminen näyttäytyy ympäristöystävällisempänä vaihtoehtona, on huomioitava päästöjen syntyminen ja jakautuminen rakennuksen elinkaarelle eri tavalla. Kuvassa 16 on esitetty peruskorjauksen ja purkavan uudisrakentamisen hiilijalanjäljen syntyminen 50 vuoden arviointijakson aikana.



Kuva 16: Peruskorjauksen ja purkavan uudisrakentamisen hiilijalanjäljen kertyminen elinkaaren aikana. [50].

Kuvasta 16 nähdään, että vaikka peruskorjauksen hiilijalanjälki olisi kokonaisuudessaan suurempi kuin uudisrakentamisella, niin hiilijalanjäljen jakautuminen elinkaarelle on tasaisempaa. Uudisrakentaminen taas aiheuttaa arviointijakson alussa selkeän hiilipiikin, joka tasaantuu ajan kuluessa. Suurempi hiilipiikki ja sen vaatima pitkä takaisinmaksuaika on ongelmallinen ilmastonmuutoksen torjunnan kannalta, sillä päästöjä pitäisi lähitulevaisuudessa saada pienennettyä selvästi. On myös hyvä tiedostaa, että energiankulutuksen päästöt, jotka tällä hetkellä näyttäytyvät uudisrakentamisen eduksi, ovat vähenemässä. Tämä tarkoittaa, että käytönaikaisten päästöjen merkitys elinkaaren aikaisissa päästöissä pienenee, ja materiaalien, eli alussa syntyvien päästöjen merkitys kasvaa.

Päätöksenteossa tulee huomioida aina hankekohtaiset tekijät, ja päätöksenteon tueksi tulisi aina laatia hankekohtainen hiilijalanjälkivertailu, sillä yksiselitteisesti ei voida sanoa uudisrakentamisen tai peruskorjauksen olevan ympäristön kannalta parempi vaihtoehto.

Koulurakennuksen hiilijalanjälki

Koulurakennuksen laskenta on jaettu kolmeen erilaiseen kokonaisuuteen: suunniteltu ratkaisu, vähähiilinen ratkaisu ja puurunkovaihtoehto. Laskelmien avulla halutaan selvittää, millaisia asioita tulevaisuudessa voidaan puurakentamisen edistämisen ja vähähiilisen rakentamisen näkökulmasta tehdä, ja millainen vaikutus niillä on hiilijalanjälkeen.

Rakennusosien määrät on laskettu arkkitehdin suunnitelmien mukaan ja suunniteltu ratkaisu -vaihtoehdon materiaalit on laskettu rakennustapaselostuksen perusteella. Energiankulutus on laskettu toteutuneen suunnitelman energiatodistuksen mukaan seuraavilla arvoilla:

- sähkönkulutus 209 712 kWh/a
- kaukolämpö 398 811 kWh/a

Kaikissa vaihtoehdoissa materiaalmäärät ja tilaratkaisut on arvioitu samanlaisina. Lisäksi energiankulutuksen on oletettu olevan sama kaikissa laskentavaihtoehdoissa.

Suunnitelmien mukaisessa ratkaisussa ulkoseinien pääasiallinen tyyppi on betonisandwich- elementti, ja liikuntasalin korkean osan ulkoseinät on toteutettu terässandwich -rakenteisina. Ulkoverhouksena rakennuksessa on valkobetonia, kuitusementtilevyä, peltiverhoilua sekä lehtikuusiverhoilua. Kantavat väliseinät ovat betonirakenteisia ja kevyet väliseinät teräsrunkaisia levyseiniä. Osa pilareista on teräsbetonisia ja osa teräksisiä, liikuntasalin palkit on laskettu teräksisiksi. Välipohjista valtaosa on laskettu ontelolaatoilla rakennettuna, porrashuoneet ja väestönsuojan päällinen laatta paikallavalettuina. Yläpohjat ovat pääasiassa betonirakenteisia, mutta ilmanvaihtokonehuoneen yläpohja on teräsrakenteinen. Ulkopuoliset liuskat ja laatat on laskettu betonirakenteisina.

Puurunkovaihtoehdossa kantavista rakenteista (ulkoseinät, pilarit, väliseinät, palkit, välipohjat, yläpohjat, ulkotasot ja porrashuoneet) valtaosa on laskettu massiivi CLT-rakenteisina. Kevyet väliseinät on myös laskettu puurunkoisina. Alapohjat ja perustukset on laskettu alkuperäisiä suunnitelmia vastaaviksi. Väestönsuojat ja niiden yläpuolinen välipohjarakenne on laskettu betonisina. Hissikuilu on laskettu betonirakenteisena, mutta ulkopuoliset rakenteet, kuten luiskat ja tasot on laskettu puurakenteisina.

Vähähiilinen ratkaisu on suunnitellun vaihtoehdon ja puurunkovaihtoehdon hybridimalli. Pääasiassa se on alkuperäisten suunnitelmien mukainen, mutta siihen on tehty vähähiilisiä ratkaisuja, joilla päästöjä on saatu laskettua. Liikuntasalin korkean osan terässandwich -elementit on laskettu korvattavan puuranka -elementeillä, ulkoportaiden teräsreikälevy puisella suojarakenteella ja ulkopuoliset tasot on laskettu betonisten sijaan puurakenteisina. Kevyet väliseinät on laskettu puurunkoisina. Maanvaraisissa alapohjissa ja paikallavaluvälipohjissa on laskettu käytettävän tavanomaisen betonin sijasta betonia, jossa 30 % sementistä on korvattu esimerkiksi masuunikuonalla tai lentotuhkalla. Lisäksi näissä rakenteissa käytettävän betoniraudoituksen on laskettu olevan 100% kierrätettyä. Välipohjissa ja yläpohjissa käytettävät ontelolaatat on laskettu korvattaviksi vähäpäästöisemmällä ontelolaatoilla, joiden hiilijalanjälki on noin 40% pienempi kuin tavanomaisten laattojen. Koulun pihan rakentamisessa on laskettu käytettävän vihreämpää asfalttia. Taulukossa 3 on esitetty eri vaihtoehtojen hiilijalanjälkilaskennan tulokset.

Taulukko 3: Koulurakennuksen eri toteutusvaihtoehtojen hiilijalanjälkilaskennan tulokset.

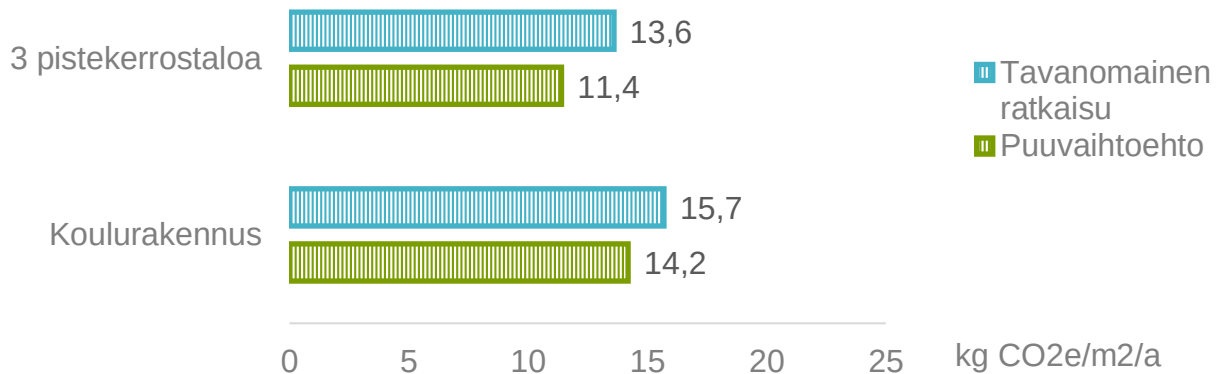
		SUUNNITELTU RATKAISU	VÄHÄHIILINEN RATKAISU	PUURUNKO- VAIHTOEHTO
BRUTTOALA	brm ²		6 308	
LÄMMITETTY NETTOALA	m ²		5999	
ARVIOINTIJAKSO	a		50	
HIILIJALANJÄLKI YM MENETELMÄN MUKAAN	kg CO ₂ e/m ² /a	15,7	14,8	14,2
KOKONAIS- HIILIJALANJÄLKI	t CO ₂ e	4 713	4 440	4 260
MATERIAALIEN HIILIJALANJÄLKI (A1-A3)	kg CO ₂ e/m ² /a	6,5	5,8	5,1
HIILIKÄDENJÄLKI	kg CO ₂ e/m ² /a	-4,3	-5,3	-10,7

Taulukosta 3 nähdään, että vähähiilisten ratkaisujen toteuttaminen laskee koulurakennuksen hiilijalanjälkeä noin 6 % ja puurunkoinen vaihtoehto noin 10 %. Taulukossa on esitetty erikseen materiaalien valmistuksen hiilijalanjälki, sillä se kuvaa eroja parhaiten, kun energiankulutuksen suuruus on oletettu kaikissa vaihtoehdoissa samanlaiseksi. Vähähiilisen vaihtoehdon materiaalihiilijalanjälki on 10% ja puurunkoisen vaihtoehdon yli 22 % pienempi kuin tavanomaisen ratkaisun.

Yhteenveto

Hiilijalanjälkilaskennan perusteella on selvää, että materiaalivalinnoilla on vaikutusta rakennuksen hiilijalanjälkeen. Pilottikohteissa massiivipuurunkoisen asuinrakennuksen hiilijalanjälki oli 16 % pienempi ja koulurakennuksen hiilijalanjälki 10 % pienempi vastaavaan betonirunkoiseen verrattuna Ympäristöministeriön mukaisella arviointimenetelmällä laskettuna. Hiilikädenjälkeä tarkasteltaessa ero materiaalien välillä on suurempi, ja puurunkoisten pistetalojen hiilikädenjälki on noin kolminkertainen betonirunkoisiin verrattuna. Koulurakennuksessa puurunkoisen vaihtoehdon hiilikädenjälki on 50 % betonirunkoista suurempi. Jos hiilikädenjälki huomioitaisiin hiilijalanjäljen laskemisessa, niin ero puun ja betonin välillä kasvaisi pistetalojen kohdalla 80 prosenttiin ja koulurakennuksen kohdalla 30 prosenttiin. Näin ei voida kuitenkaan suoraan tehdä, sillä hiilikädenjälki ei kumoa rakentamisesta syntyvää hiilidioksidipäästöä, vaan tasaa sitä tai muuttaa sen negatiiviseksi arviointijakson aikana.

Tulosten perusteella ei voida kuitenkaan tehdä suoraa oletusta siitä, että massiivipuurunkoisen vaihtoehdon hiilijalanjälki on aina 10-16 % pienempi kuin betonirunkoisen ratkaisun, sillä laskentaotos ei ole kovin kattava ja laskenta sisältää jonkin verran epävarmuuksia. Laskennassa on käytetty pohjakuvien mukaisia määriä, vaikka todellisuudessa puurunkoisen ratkaisun materiaalien määrä todennäköisesti eroaisi betonirungolle suunnitellusta ratkaisusta. Etenkin koulurakennuksessa puurunkoinen vaihtoehto vaatisi todennäköisesti erilaisia tilaratkaisuja, mikä vaikuttaisi myös materiaalien määriin. Kuvassa 17 on esitetty laskelmien yhteenveto ja hiilijalanjälkien erot tavanomaisen ratkaisun ja massiivipuuvaihtoehdon välillä.



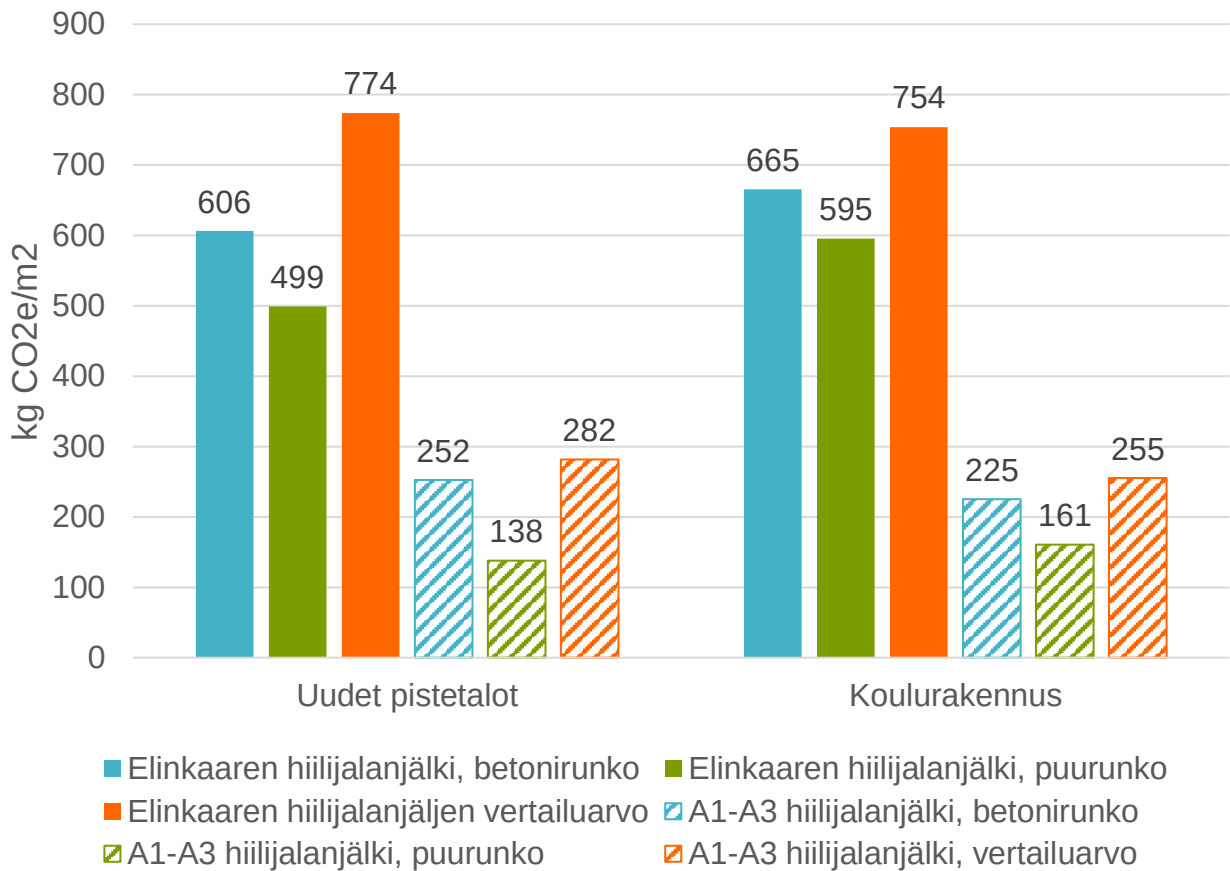
Kuva 17: Massiivipuurunkoratkaisun ja tavanomaisen ratkaisun elinkaaren hiilijalanjälki 50 vuoden arviointijakson aikana.

Bionova Ltd:n ja Ympäristöministeriön yhteistyössä laaditussa tutkimuksessa on tutkittu erilaisten rakennustyyppien hiilijalanjäljen vertailuarvoja 482 suomalaisen toteutuneen projektin hiilijalanjälkilaskentojen perusteella. Tutkimuksessa on asetettu eri rakennustyypeille vertailuarvot sekä elinkaaren koko hiilijalanjäljelle että elinkaaren eri vaiheille. Vertailuarvoissa ei ole kuitenkaan huomioitu rakennusten perustuksia tai piharakenteita, joten ne on poistettava pilottikohteiden laskelmista vertailua varten. Pilottikohteiden elinkaaren hiilijalanjälki ja ennen käyttöä syntyvä hiilijalanjälki ja niiden erot tutkimuksen vertailuarvoihin on esitetty kuvassa 18.

Vertailuarvon pohjalta tutkimuksessa on tehty ehdotukset hiilijalanjäljen raja-arvoista, ja asuinrakennukselle ehdotettu raja-arvo on 14,0 kg CO₂e/m²/a ja koulurakennukselle 13,6 kg CO₂e/m²/a. Pistetalojen hiilijalanjäljet (ilman perustuksia ja piharakenteita) sekä betonirakennuksen (12,1 kg CO₂e/m²/a) että massiivipuorakennuksen (9,98 kg CO₂e/m²/a) osalta alittavat esitetyn raja-arvon. Myös koulurakennuksen osalta kaikki lasketut vaihtoehdot (suunnitelmien mukainen toteutus 13,3 kg CO₂e/m²/a, vähähiilinen vaihtoehto 12,8 kg CO₂e/m²/a ja massiivipuorakenteinen 11,9 kg CO₂e/m²/a) alittavat esitetyn raja-arvon. Koska sekä pistetalojen että koulurakennuksen energiankulutus perustuu oletuksiin, on kuvassa 18 tarkasteltu materiaalien valmistuksesta syntyviä päästöjä. Pilottihankkeissa myös materiaalien valmistuksen päästöt alittavat vertailuarvot, mutta eivät yhtä selkeästi kuin koko elinkaaren aikaisessa hiilijalanjäljessä.

Tuloksista nähdään, että puurunkoinen vaihtoehto alittaa ehdotetun raja-arvon selkeämmin kuin betonirunkoisissa vaihtoehdoissa, ja vähähiilinen vaihtoehto noin 1 kg CO₂e/m²/a erolla, mikä vastaa lähes puolta kaikista koulurakennuksen vaakarakeista (alapohjat, välipohjat, palkit, katto) syntyvistä päästöistä. Vähähiilisyystavotteiden näkökulmasta rakentamisen päästöjä voidaan siis pienentää muillakin keinoilla kuin massiivipuurunkorakentamisella, esimerkiksi vähäpäästöisemmällä betonilla, puun ja betonin hybridirakentamisella ja kiertotalousmateriaalien avulla.

Pilottikohteiden hiilijalanjälkilaskennan tuloksia tulee arvioida kriittisesti, sillä ne sisältävät jonkin verran oletuksia. Hiilijalanjälkilaskelmissa ei ole huomioitu puurungon ja betonirungon välisiä eroja energiatehokkuuteen ja energiankulutukseen, vaikka materiaalien lämmönläpäisevyys saattaa kuitenkin poiketa. Energiankulutuksen arvot eivät perustu energiatodistukseen, ja todellisessa tilanteessa tulisi vertailuun ottaa mukaan myös energiankulutuksen vertailulaskelmat, jotta elinkaaren kokonaishiilijalanjälkeä voitaisiin tarkemmin vertailla. Energiankulutuksen arvot vaikuttavat myös paljon todellisen kohteen sijoittumiseen suhteessa vertailu- ja raja-arvoihin. Jos kohteiden energialuokka laskettaisiin luokasta A luokkaan B, hankkeiden elinkaaren hiilijalanjälki todennäköisesti ylittäisi ehdotetun raja-arvon ainakin betonirunkoisissa vaihtoehdossa.



Kuva 18: Pilottihankkeiden hiilijalanjäljet ilman perustuksia ja piharakenteita. Kuvassa on esitetty koko elinkaaren päästöt huomioiva vertailu tasavärisillä pylväillä ja materiaalien valmistuksen hiilijalanjälki viivoitetuilla pylväillä. [49]

Laskennan tulokset on esitetty käyttäen 50 vuoden arviointijaksoa, eikä todellisia käyttöikä ole huomioitu. Todellisuudessa peruskorjauksen käyttöikä olisi todennäköisesti kuitenkin selkeästi lyhyempi kuin uusien rakennusten, ja betonirungon käyttöikä saattaisi olla puurunkoa pidempi. Laskenta huomioi kuitenkin ylläpidon päästöt 50 vuodelle materiaaleittain, joten esimerkiksi ulkoseinien korjaustarpeiden erot 50 vuoden ajalta on huomioitu. Tuloksia on tarkasteltu myös muodossa t CO₂e, jolloin arviointijakson pituus ei yhtä vahvasti vaikuta tuloksiin.

Laskennan tuloksia voidaan kuitenkin pitää suuntaa-antavina niin, että selvästi massiivipuuron hiilijalanjälki on pienempi ja vastaavasti hiilikädenjälki suurempi kuin betonirungolla. Selkeä ero voidaan myös havaita rakennustyyppien välillä: asuinkerrostaloissa massiivipuuron vaikutus hiilijalanjäljen sekä -kädenjäljen suuruuteen on selkeämpi kuin koulurakennuksessa. Tämä voi selittyä esimerkiksi massiivipuuta paljon sisältävien välipohjien ja ulkoseinien suhteellisesti suuremmalla määrällä kerrostalorakennuksessa.

Luvussa 3.3 on esitetty Suomalais-venäläisen koulun ja Tuupalan puukoulun hiilijalanjäljet. Suomalais-venäläisen koulun hiilijalanjälki oli 10,6 kg CO₂e/m²/a 100 vuoden arviointijaksolle. Jotta kohdehankkeen tulokset ovat vertailukelpoisia, lasketaan koulurakennuksen hiilijalanjälki myös 100 vuoden arviointijaksolle eli huomioidaan energiankulutus ja materiaalien vaihdot 100 vuodelle. Laskennan kohteena olleen koulurakennuksen hiilijalanjälki on 100 vuoden arviointijaksolla esitettynä puurakenteiselle vaihtoehdolle 9,05 kg CO₂e/m² eli noin 15 % pienempi. Pilottikohteen E-luku on noin 5 kWh_E/m², a Suomalais-venäläistä koulua pienempi, mikä selittää osaltaan myös hiilijalanjälkien välistä eroa. Eroa saattavat selittää myös erilaiset rakenneratkaisut, kuten SVK:ssa käytetty betoni välipohjissa ja erilaiset talotekniset järjestelmät. Suomalais-venäläisessä koulussa työmaan päästöjen oli myös todettu olevan suuremmat kuin oletusarvojen mukaiset päästöt, joita pilottihankkeiden laskennassa on käytetty.

Tuupalan puukoulun kokonaishiilijalanjälki on noin $0,64 \text{ t CO}_2\text{e/m}^2$ eli $640 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$. Pilottihankkeen koulurakennuksen hiilijalanjälki puurakenteiselle vaihtoehdolle 50 vuoden arviointijaksolla samaan yksikköön muunnettuna on noin $710 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$ eli 10 % Tuupalan hiilijalanjälkeä suurempi. Ero saattaa muodostua samoista tekijöistä kuin SVK:n ja pilottikoulun välillä: energiankulutuksesta sekä erilaisista rakenneratkaisuista ja taloteknisistä järjestelmistä.

4.4 Puurakentamisen akustiikka

Betonirakenteisissa taloissa ääneneristävyys perustuu betonin massa- ja liitosten jäykkyyteen, joihin liittyvät ratkaisut ovat betonirakentamisessa standardoituneet noin 50 vuotta sitten [20]. Betonin tiheys on noin 2500 kg/m³ ja puun noin 500kg/m³, joten puu on betoniin verrattuna kevyttä. Massaan takia levymäisen puun ilmanääneneristävyys on noin 15dB heikompi kuin vastaavan paksuinen betonikerros [21]. Puurakennuksissa ääneneristävyys ei voi perustua puun massa- ja liitosten jäykkyyteen, vaan rakenteet muodostuvat eri kerroksista ja vaativat kattavaa sekä huolellista detaljisuunnittelua. Kuvassa 19 on esitetty keskeisiä massiivisen kivirakenteen ja kerroksellisen kevyen rakenteen äänitekniikan toiminnan eroja.

Massiivisten kivirakenteiden etuna on niiden suuri massa, joka varmistaa hyvän ääneneristävyyden sekä matalilla että korkeilla taajuuksilla. Massiivisilla kivirakenteilla ei myöskään tapahdu merkittävää myötävärähtelyä eli äänen siirtymistä levymäisen rakenteen läpi (koincidenssi). Äänitekniikasta ja liitoksiltaan jäykkä rakenne aiheuttaa kuitenkin sen, että esimerkiksi seinärakenteisiin kohdistuvien iskujen äänet kulkeutuvat rakenteita pitkin. Massiiviset kivipinnat säteilevät ääntä voimakkaasti, mikä aiheuttaa huoneakustiikan varmistamiseen haasteita.

Massiivinen "kivirakenne"	Kerroksellinen kevyt levyrakenne
Äänitekniikasta jäykkä rakenne	Äänitekniikasta joustava rakenne
Ääneneristävyys perustuu pääasiassa massa- ja liitosten jäykkyyteen	Ääneneristävyys perustuu jousi-massa -yhdistelmään
Säteilykerroin suuri eli säteilee ääntä tehokkaasti	Säteilykerroin pieni eli säteilee ääntä niukasti
Rakenteiden liitokset jäykkiä	Rakenteiden liitokset joustavia
Koincidenssi-ilmiö ei yleensä tule ongelmaksi	Koincidenssi-ilmiö tulee huomioida suunnittelussa
Ääneneristävyys hyvä matalilla äänentaajuuksilla	Ääneneristävyys heikohko matalilla äänentaajuuksilla
Ääneneristävyys hyvä korkeilla äänentaajuuksilla	Ääneneristävyys erittäin hyvä korkeilla äänentaajuuksilla
Lattiapäällysteellä suuri merkitys askelääneneristävyyteen korkeilla äänentaajuuksilla	Askelääneneristävyys korkeilla äänentaajuuksilla luonnostaan hyvä

Kuva 19: Massiivirakenteen ja levyrakenteen äänitekniikan toiminnan eroja. [22]

Puurakenteisissa rakennuksissa huomiota tulee kiinnittää erityisesti matalien taajuuksien ääneneristykseen. Vaikka Suomen viranomais määräysten mukaisessa mittauksessa ei huomioida alle 100 Hz:n taajuuksia, ne saattavat kevyissä välipohjarakenteissa aiheuttaa alapuoliseen tilaan häiritsevää kuminaa, ja siksi ne on huomioitava suunnittelussa. Puurakenteisen välipohjan heikko ääneneristävyys matalilla taajuuksilla johtuu välipohjan keveydestä, ja sitä voidaan parantaa käyttämällä esimerkiksi betonirakenteista pintalaattaa, joka lisää välipohjan massaa.

Säteily puupinnoilla on niukkaa, joten huoneakustiikan toteutus on helpompaa. Levyrakenteilla ääneneristävyys on erittäin hyvä korkeilla taajuuksilla, mikä tarkoittaa esimerkiksi puheäänien tehokasta eristävyyttä. Puurakenteiden liitokset ovat luonnostaan joustavia ja liittymissä on usein sauma. Tämä katkaisee rakenteen jatkuvuuden, eivätkä liitokset välitä värähtelyä jäykkien liitoksien tapaan. [22]

Ympäristöministeriön toteuttaman puukerrostalojen asukas- ja rakennuttajakyselyn tulosten mukaan häiritsevimmiksi ääniksi puukerrostaloasukkaat kokivat ylänaapurista tulevat askeläänet. Paljon tai merkittävän paljon häiritseviä askelääniä ilmoitti kuulevansa reilut 20 % vastaajista. Vastaavassa kyselyssä vuonna 1990 80 % vastaajista koki askeläänet häiritseviksi, joten puukerrostalojen akustiikka on kehittynyt. Kyselyyn vastanneista noin 25 % oli sitä mieltä, että häiritsevyyden syynä voi olla myös

naapurin käyttäytyminen ja 70 % vastaajista oli sitä mieltä, että kerrostaloasumisessa kuuluu sietää häiritseviä ääniä enemmän kuin muissa asumismuodoissa. Kuitenkin saman kyselyn vastaajien mukaan puukerrostalon merkittävin etu kivirakenteiseen kerrostaloon verrattuna oli se, että häiritsevät äänet ovat vähäisempiä ja ääneneristys on hyvä. Toisaalta kysyttäessä palautetta puukerrostalojen kehittäjille ja suunnittelijoille, noin joka kymmenes vastaajista toivoi rakennusten ääneneristykseen panostettavan enemmän. [23]

4.5 Puurakentamisen paloturvallisuus

Puun paloturvallisuus on yksi yleisimmistä asioista, joka puurakentamiseen liittyviin riskeihin yleensä liitetään. Myös tämän tutkimuksen nykytilakartoituksessa puurakentamisen paloturvallisuutta käsiteltiin useissa keskusteluissa. Puu on palava materiaali, ja vaikka massiivirakenteisena se säilyttää kantavuutensa, se ei saa lisätä rakennuksen palokuormaa. Puurakentamisen paloturvallisuus ja paloturvallisuussäädökset vaikuttavat myös keskeisesti puurakennusten suunnitteluun ja kustannuksiin.

Puurakenteiden paloteknisessä suunnittelussa tulee huomioida erilaisten vaihtoehtojen (sahatavara, liimapuu, LVL ja CLT) eroavat hiiltymisnopeudet ja erilainen käyttäytyminen palotilanteessa. Fenolipohjainen liima ei vaikuta hiiltymiseen, ja liimapuu- ja LVL tuotteita voidaan käsitellä mitoituksessa kuten liimaamatonta puutuotetta. Polyuretaaniliimalla liimatuissa CLT-levyissä on kuitenkin havaittu lamellien irtoamista, mikä nopeuttaa hiiltymistä. [24]

Puurakenteen kantavuus voidaan mitoittaa palotilanteessa kolmella erilaisella periaatteella: suojaamattomana rakenteena, suojattuna koko vaaditun palonkestoajan tai suojattuna osan vaaditusta palonkestoajasta. Palomitoituksessa käytettävän periaatteen valinta vaikuttaa merkittävästi kustannuksiin, sillä palosuojaus on ylimääräinen kustannus tilanteissa, joissa rakenteen massa riittää säilyttämään kantokykynsä palotilanteessa (esim. liimapuupalkki). [24] Suunnittelussa on siis kiinnitettävä huomiota siihen, että palomitoituksessa käytetään tarkoituksenmukaisia ratkaisuja.

P2- paloluokassa (enintään 28m korkeat asuin- ja työpaikkarakennukset ja enintään 14m korkeat muut rakennukset) yli kaksikerroksisissa rakennuksissa puurakenteet tulee usein suojaverhota. Suojaverhoamatonta pintaa saavat olla ei -kantavat väliseinät tai tietty osuus (max. 80 %) rakenteista palo-osaston rakennusosien palonkestävyyden mukaan. Yli 2-kerroksiset puurunkoiset rakennukset tulee Suomessa varustaa aina automaattisella sammutusjärjestelmällä, ns. sprinklerillä. [25]

Toiminnallisella palomitoituksella paloturvallisuusvaatimusten katsotaan täyttyvän, mikäli rakennus suunnitellaan perustuen oletettuun palonkehitykseen. Vaatimusten täyttyminen todennetaan tapauskohtaisesti, ja huomioon otetaan rakennuksen ominaisuudet ja käyttö. Toiminnallisessa palomitoituksessa käytetään kelvollisiksi osoitettuja menetelmiä, ja suunnittelun perusteet, käytetyt mallit ja saadut tulokset esitetään rakennuslupamenettelyn yhteydessä. Toiminnallisella palomitoituksella voidaan perustella puun käyttöä rajoittamalla palon ja savun kehittymistä ja leviämistä rakennuksessa. Passiivisten palontorjuntamenetelmien (kantavat rakenteet, osastointi, pintakerrosominaisuudet, turvaetäisyydet) lisäksi huomioidaan aktiiviset palontorjuntamenetelmät kuten alkusammutus, palovaroittimet ja -ilmoittimet, savunpoisto, sammutusjärjestelmät ja palokunta. Toiminnallisella palomitoituksella voidaan mahdollistaa esimerkiksi korkeiden puurakennusten rakentaminen tai puisten osaratkaisujen käyttö sekä saavuttaa kustannussäästöjä. [26]

Aiemmin puurakennusten sisäpuolisille pinnoille on ollut tiukat vaatimukset suojaverhouksille, mutta 1.1.2021 voimaan astuneen asetusmuutoksen myötä ”enintään kaksikerroksisen P2 -paloluokan rakennuksen sisäseinäpinnat voi jättää ilman suojaverhousta, jos seinän materiaalit täyttävät puulle ominaisen palonkäyttäytymislukon ja vähimmäistiheyden”. Asetusmuutoksen on tarkoitus edistää materiaalineutraaliutta, selkeyttää määräysten tulkintaa ja alentaa rakentamiskustannuksia. [27]

Ympäristöministeriön kyselyn vastaajista enemmistö oli sitä mieltä, että sekä palovaroitinjärjestelmä ja automaattinen vesisammutusjärjestelmä parantavat asuinturvallisuutta merkittävästi, mutta sprinklaus lisää kosteusvaurioriskiä rakennuksessa jonkin verran. [23]

4.6 Puurakentamisen vaikutukset sisäilmaan

Puulla ja puutuotteilla koetaan olevan sisäilmaa parantava vaikutus ja sen näkymiseen erityisesti rakennuksen sisätiloissa liitetään usein positiivisia ominaisuuksia. Puukerrostalossa asuville toteutetussa kyselyssä 57 % vastaajista valitsisi asunnon puurakennuksessa kivirakennuksen sijasta (kerrostalo, rivitalo, pientalo), ja kyselyn mukaan puukerrostalon etuna verrattuna kivikerrostaloon on sen hyvä sisäilma, jonka nimesi vaikuttavaksi tekijäksi joka viides vastaajista. Vastaajista yli 50% toivoi puuta käytettävän puukerrostaloissa asunnon sisällä latioissa, rakennusten julkisivuissa, parvekkeissa, asunnon ovissa ja ikkunoissa, rakennuksen rungossa sekä asunnon sisällä katoissa. Lisäksi yli 35 % toivoi puuta käytettävän myös porrashuoneissa, asunnon sisäseinissä ja kiintokalusteissa. Puun käyttöä sisätiloissa on tutkittu erilaisissa rakennustyypeissä ja sen on todettu sisätiloissa alentavan stressiä samaan tapaan kuin luonnolla. [23]

Kaikkia puun terveyteen myönteisiä vaikutuksia ei vielä tarkalleen tunneta, ja asiaa on tutkittu mm. Norjassa, Itävallassa, Japanissa ja Kanadassa. Myös Suomessa on käynnissä erilaisia tutkimushankkeita puun sisäilma- ja terveysvaikutuksista. Puun on todettu alentavan stressiä ja verenpainetta, mutta myös vaikuttavan ihmisten käyttäytymiseen ja sosiaaliseen havainnointiin. [29]

Itävaltalaisessa koulussa tutkittiin yli vuoden kestäneessä kokeessa eri tavalla sisustettujen luokkahuoneiden fysiologisia ja psykologisia vaikutuksia oppilaisiin. Vertailussa olivat kaksi puuverhoiltua luokkahuonetta sekä kaksi tavallista luokkahuonetta, joissa ei ollut puuverhoilua. Tutkimuksen mukaan molemmissa luokkahuoneissa oppilaiden syke nousi samalla tavalla aamulla, mutta puuverhoillussa luokkahuoneessa stressipiikki laantui pian kouluun saapumiseen jälkeen eikä enää noussut päivän aikana toisin kuin toisissa luokkahuoneissa. Sykkeen laskulla ei ollut vaikutusta suoritustasoon, mutta selkeitä eroja terveysparametrissa huomattiin. Puuverhoillussa luokkahuoneessa oppilaiden syke oli selvästi alhaisempi, sykeväli kasvoi ja koulun aiheuttaman stressin tuntemus pieneni tavalliseen luokkahuoneeseen verrattuna. [29]

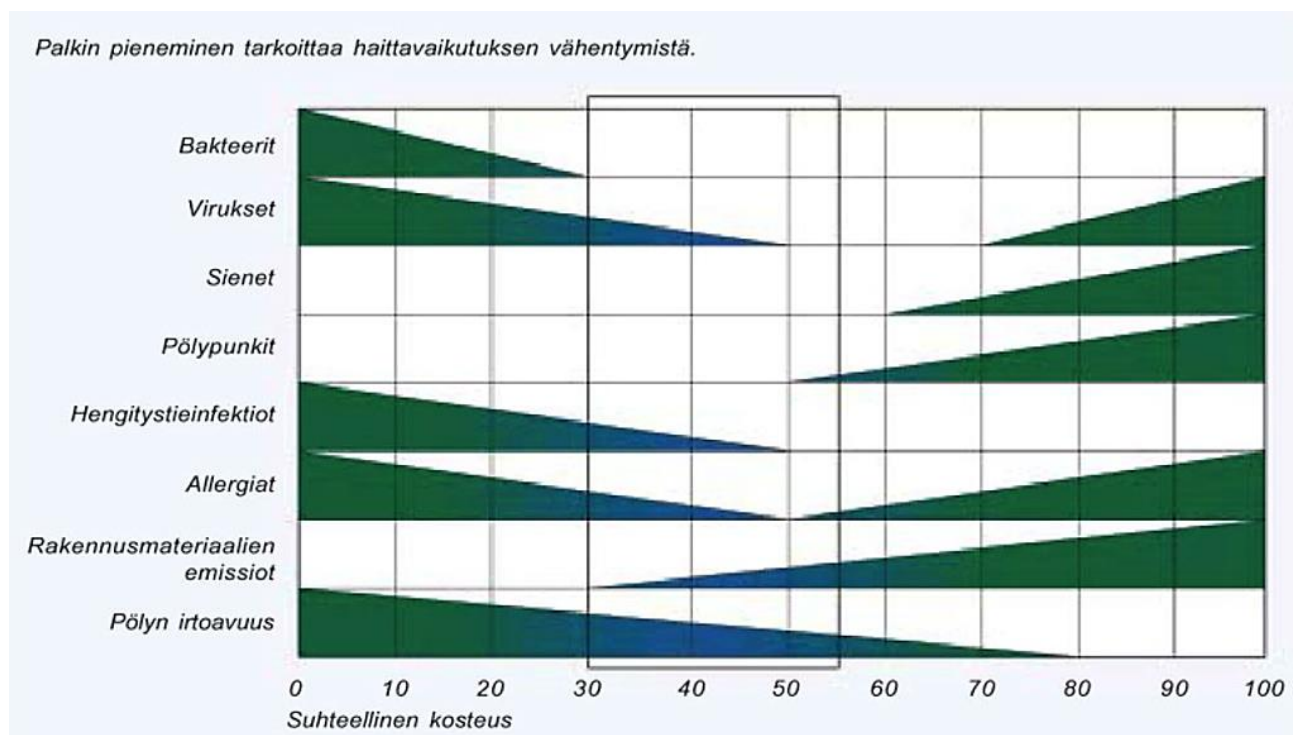
Puun käytöstä tilojen sisäpinnoilla on olemassa positiivisia kokemuksia paljon, mutta muutamissa tutkimuksissa on myös huomattu, näkyvän puun määrän tulee olla tarkoituksenmukaista tilaa ajatellen. Japanissa on tutkittu puun käyttöä olohuoneen sisäpinnoilla ja Norjassa taas potilashuoneiden sisäpinnoilla. Kummassakin tutkimuksessa verrattiin huoneita, joissa ei ollut ollenkaan puuta, noin puolet pintamateriaaleista oli puuta ja lähes kaikki pintamateriaalit olivat puuta. Molemmissa tutkimuksissa parhaimmat tulokset ja kokemukset saatiin huoneesta, jossa noin puolet pintamateriaaleista oli verhoiltu puulla. Potilashuoneista vähiten suosiota sai kokonaan puulla verhoiltu huone ja olohuonetutkimuksessa huomattiin, että lähes kokonaan puulla verhoillussa tilassa syke lähti tasaantumisen jälkeen kiihtymään. Puun määrä sisustuksessa vaikuttaa autonomiseen hermojärjestelmään ja sen käyttö tulee suunnitella tiloihin sopivaksi. [29]

VTT:n vuonna 2001 toteuttamassa tutkimuksessa todettiin, että mitä enemmän rakennuksessa on käytetty puuta, sitä paremmin sisäilman kosteus pysyy terveyden kannalta optimaalisella alueella ja sitä terveellisempi sisäilma rakennuksessa on. Kohtalainen sisäilman kosteuden taso on terveellisen rakennuksen edellytys, sillä se vaikuttaa sekä käyttäjiin että rakennukseen. Kosteus vaikuttaa käsitykseen sisäilman laadusta, lämpömukavuuteen, käyttäjien terveyteen (kuva 20), rakennuksen käyttöikäen ja energiankulutukseen. Puupohjaisten materiaalien kyky absorboida eli imeä itseensä sisäilman kosteutta auttaa tasoittamaan sisäilman kosteuden vuorokausittaisia muutoksia. Erityisesti keskitiheällä kuitulevyllä, parketilla, lastulevyllä ja orgaanisilla eristeillä on todettu olevan hyvä kyky kosteuden varastointiin. Erot

eri materiaalien ja ratkaisujen välillä tulevat merkittävimmiksi, kun kosteustuotto kasvaa, ilmanvaihto pienenee, aktiivinen pinta-ala pienenee tai sisäverhouksen maalin vesihöyrynvastus kasvaa. [28]

Parhaiten puumateriaalit tasaavat sisäilman kosteuden vaihtelua silloin, kun puun pinta on käsittelemätön. Mikäli ei ole mahdollista käyttää käsittelemätöntä puuta pintamateriaaleissa, niin kosteudentasoittumista voidaan tukea sallimalla ilman kierto sisäverhousrakenteen taakse käsittelemättömälle puupinnalle. Puulajien välillä on eroja kosteuden tasaamisessa, ja erilaiset tekijät kuten kevät- ja kesäpuun erilaiset määrät, uuteaineet, kasvunopeus ja huokoskoko voivat aiheuttaa suuria eroja kosteudentasaamiskyvyssä myös puulajien sisällä. Syysuunnalla, pintakäsittelyaineilla ja puumateriaalin pinta-alalla on olennainen vaikutus siihen, kuinka paljon materiaali pystyy tasapainottamaan kosteuden vaihtelusta syntyviä ääriarvoja. [17]

Kosteuden tasaamiskyvyn lisäksi puupinnoilla on huomattu useissa tutkimuksissa olevan kyky toimia myös lämmöntasaajina. Puisten materiaalien potentiaali lämmöntasaamiseen perustuu latenttiin eli piilevään lämpöön, joka muodostuu ilmankosteuden sitoutuessa puurakenteeseen. Puun lämpötilan muutoksia on potentiaalista hyödyntää lämpömukavuuden parantamisessa ja jopa energiankulutuksen ja ilmanvaihdon kuormituksen pienentämisessä. Tutkimusten mukaan epäsuoria energiasäästöjä voitaisiin saavuttaa jopa 5% lämmitykselle ja 5-20% jäähtytykselle. Tämä vaatii kuitenkin taloteknisten järjestelmien oikeanlaisia säätöjä ja lisää käytännön sovelluksien tutkimus- ja suunnittelutyötä. [17]



Kuva 20: Ilman kosteuden vaikutus erilaisiin terveyteen vaikuttaviin tekijöihin. Optimaalinen sisäilman kosteuden vaihteluväli on 30-55 %. [28]

Puun kykyä imeä itseensä kosteutta ei tule sekoittaa hengittävään rakenteeseen. Hengittävällä rakenteella tarkoitetaan sellaista vaipan rakennetta, joka sallii ilman kaasujen paineiden tasoittumisen rakenteen läpi, ei vapaan ilmapvirtauksen kulkua rakenteen läpi. Hengittävän rakenteen tulee aina olla ilmatiivis, ja sen terveellisyys perustuu siihen, että sisäilman hiilidioksidi pääsee ulkoilmaan ja vastaavasti ulkoilman happi sisäilmaan. Kerroksellisissa, eli lähes kaikissa nykyään käytössä olevissa ulkoseinäratkaisuihin kosteuden tiivistyminen kerrosten rajapintoihin on estettävä. Koska kaasujen kulkeminen koko rakenteen läpi on kuitenkin harvinaista, niin oleellisempaa käyttäjien kannalta on rakenteen sisä- ja ulkopinnan kyky tasata

ilman kosteutta. Hengittävä pinta sitoo itseensä esimerkiksi asunnossa yöaikaan noussutta kosteutta ja luovuttaa sen päivän aikana takaisin, jolloin sisäilma pysyy miellyttävänä vuorokauden ympäri. [17]

Erilaisten ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toimivuus eroaa toisistaan, vaikka kaikki rakenteet olisivatkin kerroksellisia. Käytännössä kaikissa rakenteissa korostuu rakenteen tiiveys, ja oikein rakennettuna ulkoseinärakenne on toimiva sen materiaalista riippumatta. Pelti-villa-pelti sandwich -rakenteissa seinissä on huomattu usein puutteita vesitiiveydessä läpivientien ja muiden aukkojen kohdalla. Elementtien sileä ulkopinta nostaa herkästi tuulisella säällä viistosadetta ylöspäin, mikä tulee ottaa huomioon mm. ulkoseinän pellityksissä. Lisäksi pelti-villa-pelti -elementeillä on huomattu kesäisin suurta lämpölaajenemista, joka voi heikentää saumojen vesitiiveyttä. Puurakenteilla ulkoseinillä erityishuomiota tulee kiinnittää höyrynsulun tiiveyteen ja ulkoseinän ulko-osan tuulettuvuuteen. Betonisandwich -rakenteilla ulkoseinillä elementtisaumausten tiiveydestä tulee huolehtia rakennusvaiheessa ja käytön aikana. [52]

Puulajeista haihtuu ympäröivään ilmaan yhdisteitä, mutta niiden pitoisuudet ovat niin vähäisiä, että suomalaisen puun käytön rajoittamiselle ei ole normaalitilanteissa perusteita. Puun sisäilmapäästöt saattavat vaihdella eri vuodenaikoina esimerkiksi lämpötilan tai ilmankosteuden mukaan, mutta puu luetaan vähäpäästöiseen M1-luokkaan, johon kuuluvat myös esim. lasi, luonnonkivi, metalli ja tiili. Tilat, joissa sisäilman laadulle asetetaan erityisvaatimuksia, saatetaan joutua puuta pintakäsittämään tai puulajivalintoja miettimään tarkemmin. [29]

Rakenteellisessa liimauksessa (mm. liimapuu, CLT) liimasaumat muodostavat osan liimatun puutuotteen rakennetta ja vaikuttavat sen kosteuselämiseen. Tutkimuksien mukaan puuliimat voivat vähentää puutuotteen kosteuselämistä verrattuna saman kokoiseen massiivipuuhun. Liimasaumojen vaikutus kosteuden siirtymiseen riippuu käytetystä liimasta, saumojen paksuudesta sekä kosteuseroista saumojen eri puolilla. Liima ei muodosta tiivistä kalvoa, vaan kosteus siirtyy puussa liimasauman läpi. [17]

4.7 Puurakentamisen arkkitehtuuri ja vaikutukset asuinympäristöön

Nykytilakartoituksessa Järvenpään kaupungin edustajat toivat vahvasti esiin puurakentamisen positiivista vaikutusta kaupunkikuvaan sekä puurakentamisen monipuolista ja näyttävää arkkitehtuuria. Puurakennusten arkkitehtuurisesti näyttäviä esimerkkejä löytyy jo Suomestakin, hyvinä esimerkkeinä ovat Helsinkiin valmistuneet kirjasto Oodi ja Olympiastadionin peruskorjaus. Puurakentamisen arkkitehtuurista tekee näyttävää muun muassa sen sallimat kaarevat muodot sekä selkeä erottuvuus tavanomaisesta betonirakentamisesta.

Julkisivukorjauksia, lisäkerros- ja täydennysrakentamista tutkineessa kyselyssä vastaajat olivat sitä mieltä, että lähiökerrostalojen ongelmia miellyttävän asuinympäristön kannalta ovat esimerkiksi tylsyys, laatikkomaisuus, paljaat betonipinnat ja väritys. Puiheen julkisivukorjaamiseen, lisärakentamiseen ja aluetta täydentäviin puisiin uudisrakennuksiin suhtauduttiin myönteisesti ja tämän tyylisten puurakentamisen toimenpiteiden koettiin lisäävän asuinalueen viihtyvyyttä. [62]

Asumisen laatutietoisuus on koko ajan kasvussa, ja vaikka asukkaiden asunnon hankinnassa merkittävimpinä tekijöinä pidetään sijaintia, hintaa, kokoa ja säilytystiloja, myös ekologisille ratkaisuille ja puurakentamisen arkkitehtuurille on kasvavasti kysyntää. Viihtyisille asuinmiljoille on kasvavat markkinat, ja työ- ja elinkeinoministeriön tekemän verkkotutkimuksen mukaan jopa 80 % suomalaisista kannattaa puurakentamiseen panostamista. [61]

Toteutetussa kyselytutkimuksessa oltiin sitä mieltä, että puukerrostalot jäljittelevät liiaksi betonirakenteisia rakennuksia. Puurakentamisen arkkitehtuurilla ja jopa rakennuksen värillä on merkittävä vaikutus asuinympäristön viihtyisyyteen, ei puumateriaalilla yksinään. Toisaalta jos puurakentamista toteutettiin alueellisesti esimerkiksi kokonaisena puutaloalueena, ei arkkitehtuurin roolin koettu olevan yhtä merkittävä kuin valmiille betonivaltaisille alueille rakennetuilla yksittäisillä rakennuksilla. [63]

Puurakentaminen tuo muiden hyötyjen ohella uusia kaupunkikuvallisia mahdollisuuksia, mutta puurakentamisen imagovaikutus vaatii kaupungeilta vielä asiaan paneutumista ja puurakentamisen lisäämistä. Imagotekijöitä pidetään kuitenkin puurakentamisen lisäämisessä tärkeinä: kuntapäättäjien mukaan imagotekijät olivat neljänneksi merkittävin päätöksentekoon vaikuttava tekijä.^[10] Puurakentamista tulisi markkinoida paitsi kuluttajille myös päättäjille esimerkiksi seuraavilla keinoilla:

- Asiantuntijoiden julkisen painoarvon lisääminen
- Suunnattu markkinointi, esimerkiksi yliopistojen yleisöluennot tai tietoisuuden lisääminen alasta ja sen tuotteista
- Osaamisen ja teknologian edistäminen sekä arkkitehtuuriin keskittyvät tapahtumat tai tutustumisretket
- Erottavat kohteet puurakentamisen edelläkävijöinä ja esimerkkeinä ^[63]

Suomessa puurakentamisen houkuttelevuutta heijastavat jo rakennettujen tai lähes rakennettujen puutaloalueiden houkuttelevuus. Esimerkiksi osana valtakunnallista Moderni puukaupunki -hanketta Turkuun rakentunut Linnanfältin alue, joka koostuu pelkästään puukerrostaloista, on herättänyt kiinnostusta alusta alkaen. Alueelle valmistuneet asunnot ovat menneet hyvin kaupaksi, ja kiinnostusta on asunnonostajien lisäksi myös sijoittajilla. Joillekin taloon muuttaneille asukkaille rakennuksen materiaali oli yksi asuntoon muuttamisen syistä. ^[64]

5. Kaupungin ohjauskeinot puurakentamisen edistämiseksi

Maankäytön suunnittelussa kaupungit ja kunnat voivat ohjata vähähiilisyyden toteutumista muun muassa toimintojen sijoittelulla (sekoittunut yhdyskuntarakenne matkustusetäisyyksien lyhentämiseksi), kestäväällä liikennesuunnittelulla (maksimoidaan vähähiilisen liikenteen hyödyntämismahdollisuudet) sekä täydennysrakentamisella. Kunnan keinot ohjata alueiden ja hankkeiden vähähiilisyyttä liittyvät pääasiassa kaavoitukseen (silloin kun kunta on maanomistaja). Lisäksi kunta voi jossain määrin vaikuttaa vähähiilisyyteen myös rakennusjärjestykseen sekä rakennusluvitukseen liittyvien keinojen kautta. Omissa hankkeissaan kunnalla on käytössään myös hankeohjauksen keinoja.

Asemakaavamääräysten ja rakentamistapaohjeiden asettaminen on vapaampaa kunnan ollessa sekä kaavoittaja että maanomistaja, jolloin tontit voidaan luovuttaa suoraan niiden rakentajille. Tällöin kunnalla on käytettävissään myös tontinluovutusehtojen laaja keinovalikoima. Toisaalta tällä tavalla toteutetun maankäytön suunnittelun valitetaan usein olevan hidasta, jäykkää, ja siitä puuttuu pitkäjänteisyys. Kaavoitus voidaan toteuttaa myös kumppanuuskaavoituksena, jossa tavoitteena on laatia toteutuskelpoinen asemakaava kunnan ja yksityisen toimijan yhteistyönä. Kumppanuuskaavoituksessa on tunnistettu paljon hyötyjä liittyen muun muassa kaavoitusprosessin sujuvuuteen, kaupungin saamiin lisäresursseihin, innovaatioihin sekä hankelähtöisyyteen (mm. taloudellisten edellytysten varmistaminen).

[30]

Seuraavissa luvuissa kuvataan tarkemmin asemakaavoitukseen, tontinluovutukseen ja rakennuslupaan liittyviä keinoja vähähiilisyyden ohjaamisessa sekä esitetään esimerkkejä keinovalikoimasta ja konkreettisista kirjauksista, joita asemakaavassa tai tontinluovutuksessa voidaan käyttää.

5.1 Asemakaavoitus vähähiilisyyden ohjaamisessa

Yleiskaavoituksessa ratkaistaan päälinjat energiatehokkaan ja vähähiilisen kaupunkirakenteen toteutumiseksi. Perinteisesti asemakaavassa on määrätty muun muassa rakennusten sijoittumisesta ja volyymistä, rakennusten käyttötarkoituksesta ja ulkonäöstä – mitä saa rakentaa, mihin ja millä tavalla, ja nykyään määräykset koskevat enenevässä määrin myös ympäristövaikutuksiin liittyviä tavoitteita. Esimerkiksi Helsingin kaupungin laatimassa 'Hiilineutraali Helsinki 2035 – toimenpideohjelma' -raportissa esitetään, että kaavahankkeissa tunnistetaan kyseisen alueen kannalta merkittävimmät tavat vaikuttaa alueen hiilijalanjälkeen, liittyen esim. liikennetarkoituksiin, pohjarakentamisen tapaan, massatasapainoon, energiaratkaisuihin, kasvillisuuteen, rakentamistapaan, suurimittaiseen materiaalien kierrättämiseen tai puurakentamiseen ja puun hyödyntämiseen rakennusmateriaalina. [31]

Ilmastotavoitteiden osalta asemakaavalla nähdään olevan mahdollistava rooli; sillä voidaan mm. mahdollistaa vähäpäästöinen elämä suunnittelualueella, luoda edellytykset kokonaispäästöjen myöhemmälle vähentämiselle sekä tukea muita ilmastotavoitteita toteuttavia ohjauskeinoja. [32] Helsingin kaupungin toimenpideohjelmassa esitetäänkin, että asemakaavoituksella varmistetaan, että monipuolinen keinovalikoima on kattavasti käytössä seuraavissakin suunnitteluprosessin vaiheissa, kuten tontinluovutuksessa sekä yksityiskohtaisemmassa suunnittelussa [31]

Asemakaavassa ei voida määrätä kaikista rakennetun ympäristön CO₂e-päästöihin vaikuttavista osatekijöistä eikä asemakaava voi ohjata kaikkia rakennussuunnittelun ratkaisuja. [32] Sen sijaan tontin luovutussopimuksiin ja maankäyttösopimuksiin voidaan kirjata määräyksiä monista sellaisistakin asioista, joista asemakaavassa ei voida määrätä. Asemakaavan lisäksi paikallisia, yleensä koko kuntaa koskevia, määräyksiä voidaan antaa rakennusjärjestyksessä. Nämä voivat liittyä esimerkiksi rakennuksen käyttöikänsä, materiaaleihin ja niiden korjattavuuteen sekä rakennuksen huollettavuuteen ja purkamiseen. [33] Tähän mennessä kunnat eivät ole vielä käyttäneet rakennusjärjestyksiä hiilijalanjälkeen vaikuttamiseen, mutta arvion mukaan laillisia esteitä tälle ei ole. [34] Mahdollisesti vähähiilisyyttä tukevia määräyksiä voitaisiin antaa yleisellä tasolla. Esimerkiksi Ympäristöministeriön raportti "Ilmastotavoitteita

edistävä kaavoitus” esittää, että ilmastotavoitteet tulisi huomioida myös kunnan rakennusjärjestyksessä, jolloin ne välittyvät myös asemakaavoituksen ulkopuolelle jäävien kohteiden rakentamiseen. [35]

Taulukko 4 listaa vähähiiliseen rakentamiseen liittyviä asemakaavoituksen keinoja ja esimerkkikirjauksia, joita on eri puolella Suomea toteutuneissa hankkeissa käytetty tai esitetty käytettäväksi (lähde esitetty aina kirjauksen perässä). Asemakaavoituksen keinot ovat pääasiassa asemakaavamääräyksiä, mutta vähähiilisyyteen liittyen on tunnistettu myös kannustinkeinoja. Rakennusta koskevien ratkaisujen lisäksi on käytössä laaja keinovalikoima vähähiilisten valintojen edistämiseen rakennuksen käytön aikana, mutta niihin ei tässä työssä syvennytä.

Taulukko 4: Asemakaavoituksen keinovalikoima ja esimerkkikirjauksia vähähiilisyyden ohjaamiseksi.

Teema	Esimerkkikirjaus	Tyyppi: kaavamääräys/ kannustin
Rakennuksen vähähiilisyys		
Hiilijalanjäljelle voidaan asettaa raja-arvo	<i>"Koko rakennuksen hiilijalanjäljen tulee olla XX % [<100 %] dokumentissa X määritellyn vertailurakennuksen hiilijalanjäljestä". [33]</i>	Kaavamääräys
Asemakaavamääräys voisi sallia lisärakentamisoikeutta samalla rakentamistavalla, kun rakennuksen 'perusosa' täyttää määrätyn hiilijalanjälkitavoitteen. (ei tällaisenaan vielä ollut Suomessa käytössä)	<i>"Koko rakennuksen hiilijalanjäljen ollessa XX % [<100 %] dokumentissa X määritellyn vertailurakennuksen hiilijalanjäljestä, on tontin rakennusoikeus 1,XX kertaa ilmoitettu kerrosala."</i> <i>"Katu- ja julkisivun ollessa pääasiassa paikalla muurattua savitiiltä saa asemakaavaan merkityn kerrosalan lisäksi rakentaa 4 % rakennusoikeudesta, jota varten ei tarvitse rakentaa autopaikkoja."</i> Käytetty Helsingin Arabianrannassa [35]	Kannustin
Puurakentaminen		
Puurakentamiselle voidaan asettaa vaatimuksia joko koko rakennuksen tai tietyn osuuden osalta.	<i>"Rakennusten tulee olla puurakenteisia TAI rakennusten tulee olla pääosin puurakenteisia TAI rakennusten tulee olla massiivipuurakenteisia"</i> [37] <i>"Rakennuksen rungosta 75 % tulee olla puuta tai muuta biopohjaista materiaalia"</i> [38] <i>"Rakennusten pääasiallinen rakennusmateriaali on puu",</i> käytetty Porvoon Skaftskärissä [32]	Kaavamääräys
Kiertotalous		
Kiertotalousmateriaalien käyttöä voitaisiin velvoittaa käytettäväksi tietyn rakenteen osalta.	<i>"Julkisivun näkyvän osan tulee sisältää XX paino-% kierrätysmateriaalia."</i> [33]	Kaavamääräys
Rakennusten muuntojoustavuuteen liittyen voidaan asettaa kaavassa vaatimuksia:	<i>"Liike- ja toimistorakennusten sekä kulttuuritoimintaa ja julkista palvelua palvelevien rakennusten korttelialue, jolle saadaan sijoittaa myös ympäristöhaiiriötä aiheuttamattomia työtiloja sekä asuntoja".</i> TAI <i>"Alle XX m² asuntoja saa rakentaa, mikäli rakennusten suunnittelussa huomioidaan, että asunnot ovat ilman"</i>	Kaavamääräys

	<i>suuria rakenteellisia muutoksia kytkettävissä viereisiin asuntoihin.”[33]</i>	
Rakennuksen pitkäikäisyyttä voidaan velvoittaa kaavamääräyksellä	<i>”Uuden asuinrakennuksen suunnittelukäyttöään tulee olla vähintään 150 vuotta.” [33]</i>	Kaavamääräys
Mikäli rakennuksia ei voi suojella kaavassa kulttuurihistoriallisin perustein, voisi kaavamääräyksiin kuitenkin sisällyttää kannustimia olemassa olevan rakennuksen säilyttämiseen liittyen, esim.	<i>”Olemassa oleva rakennus säästettäessä tontin tehokkuusluku / rakennusoikeus / suurin sallittu kerrosluku on XX. Olemassa oleva rakennus purettaessa se on XX % [< 100 %] edellä mainitusta”.</i> TAI <i>”Olemassa olevaa rakennusta saa rakennusoikeuden estämättä korottaa enintään kahdella kerroksella.”[33]</i>	Kannustin
Energia		
Asemakaavalla voidaan ohjata rakennusten sijoittelua ja suuntauksia tontilla sekä tontin muuta käyttöä siten, että edesautetaan aurinkoenergian tehokasta hyödyntämistä. Myös rakennusten teknisten tilojen suunnittelussa ja mitoituksessa voidaan tarpeen mukaan varautua aurinkoenergian hyödyntämiseen. [39]		Kaavamääräys
Asemakaavoissa on asetettu rakennuksille vaatimukseksi tiukempia energialuokkia kuin rakentamismääräysten minimitaso edellyttää.	Esimerkiksi Salon Viitanummen asemakaavassa vuonna 2004 määritettiin maksimiarvot sekä energiankulutukselle että energian kulutuksen päästöille. Voimaantulomishetkellä määräykset olivat noin 20% rakentamismääräysten vaatimustasoa tiukemmat [32]: <i>”Asuinrakennusten laskennallinen kokonaisenergiankulutus saa olla korkeintaan 135 kWh/brm2/vuosi.”</i> <i>”Energiankulutuksen aiheuttamat laskennalliset kasvihuonekaasujen päästöt saavat olla korkeintaan 32 kg/brm2/vuosi.” [40]</i> HUOM! Vuonna 2004.	Kaavamääräys
Kaavassa voidaan velvoittaa uusiutuvan energian mahdollisuuksien selvittämiseen	<i>”Uusiutuvan energian käyttömahdollisuus selvitettävä”</i> [41]	Kaavamääräys

5.2 Tontinluovutuksen mahdollisuudet ohjata hankkeen vähähiilisyyttä

Kunnan ollessa maanomistaja, se voi vaikuttaa hankkeen ympäristötavoitteiden toteutumiseen tontinluovutusehdoilla. Tontinluovutusehdot ovat kunnan itsensä päätettävissä (niiden tavoitteista tai ehdoista ei ole asetettu säädöksiä), ja kunta voi tontinluovutusehdoilla periaatteessa pyrkiä sääntelemään mitä tahansa sellaista, mihin kaavamääräykset eivät yletä. [33] Tontinluovutuskilpailun ehdot voivat olla pakollisia ehtoja, jotka kaikkien ehdotusten tulee toteuttaa, sekä valinnaisiin ehtoihin, jotka pisteytetään tai arvioidaan. Lisäksi myös tontinluovutuksen osalta voidaan hyödyntää vähähiilisyyteen ohjaavia kannustimia.

Ympäristötavoitteiden osalta tontinluovutusehdot voivat liittyä esimerkiksi rakennuksen vähähiilisyyteen, puun hyödyntämiseen rakennusmateriaalina, kiertotalouteen tai energiatehokkuuteen. Esimerkkieinoja ja -kirjauksia on listattu taulukkoon 5. Nämä ovat vaatimuksia, kannustimia tai pisteytyksessä huomioituja seikkoja, joita eri puolella Suomea toteutuneissa hankkeissa on käytetty tai joita eri lähteissä on esitetty käytettäväksi (lähde esitetty aina kirjauksen perässä).

Taulukko 5: Tontinluovutuksen keinovalikoima ja esimerkkikirjauksia hankkeen vähähiilisyiden ohjaamiseksi.

Teema	Esimerkki	Tyyppi: vaatimus/ pisteytys/ kannustin
Rakennuksen vähähiilisyys		
Tontinluovutuskilpailussa hiilijalanjäljen laskeminen voi olla tarjouksen tekemisen edellytys [33].		Vaatimus
Hiilijalanjäljelle voidaan asettaa raja-arvoja, joiden alittamisesta saadut pisteet huomioidaan kilpailussa	<i>"Rakennukselle tulee laskea rakennusmateriaalien hiilijalanjälki ja käytön aikainen vuotuinen hiilijalanjälki. Jokaisesta prosentista, jolla jommankumman hiilijalanjäljen minimivaatimus alittuu, saa X pistettä."</i> [33]	Pisteytys
Myös hiilikädenjälkeä voidaan tarkastella pisteytyksen yhteydessä	<i>"Mikäli rakennuksessa on merkittäviä hiiltä varastoivia ja/tai sitovia tai uusiutuvaa energiaa tuottavia rakenteita, lasketaan näille erillinen hiilikädenjälki. Hiilen varastointia (HK1) verrataan rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeen (HJ1) ja hiilen sitomista sekä rakennuskohtaista uusiutuvan energian tuotantoa (HK2) käytön aikaiseen hiilijalanjälkeen (HJ2). Jokaisesta hiilijalanjäljen yhtä prosenttia vastaavasta hiilikädenjäljen määrästä saa X pistettä".</i> [33]	Pisteytys
Tontin hinta voidaan sitoa kilpailuehdotuksen kunnianhimoisuuteen siten, että mitä ekologisempi rakennussuunnitelma on, sitä edullisempaan hintaan rakennusmaa luovutetaan. [33]		Kannustin
Puurakentaminen		
Puurakentaminen voidaan huomioida pisteytyksessä eri rakenteiden sekä myös kiintokalusteiden materiaalien osalta	Pisteytysesimerkkejä: a) Runko-, väliseinä- ja välipohjarakenteet (Yht. 10p) b) kantava runko massiivipuurakenteella (5) c) massiivipuun runko ja selluvilla tai puukuitueriste (3,5) d) puurunko (2) e) ulkoverhous massiivipuuta (2) f) ulkoverhous massiivipuuta ja puusta jalostettuja tuotteita (1) g) väliseinissä puurunko (1) h) ovet ja ikkunat valoaukkoa lukuun ottamatta kokopuisia (2) Kiintokalusteet (Yht. 1,5p) i) mahdolliset lauteet ja portaat ovat kotimaista kokopuuta (0,5) j) kiintokalusteet ovat kotimaista kokopuuta (1) Käytetty Honkasuon tontinluovutuksessa [42]	Pisteytys
Puurakentamiseen voidaan kannustaa myös alhaisemmilla maankäyttömaksuilla (huom! ei liity tontinluovutukseen)	<i>"Jos omistustontilla sijaitsevassa asuinkorttelissa tehtävä lisärakentaminen tehdään puurakentamisena, voidaan maankäyttösopimuksessa jättää enintään 85 prosenttia kaavamuutoksella saatavasta arvonnoususta huomioimatta."</i> Käytössä Tampereen kaupungilla [57]	Kannustin
Kiertotalous		
Kiertotalouteen liittyvät vaatimukset voivat liittyä esimerkiksi kiertotaloussuunnitelman laatimiseen (toimenpiteet ovat	<i>"Tontilla sijaitsevalle kiinteistölle tulee laatia kiertotaloussuunnitelma. Kiertotaloussuunnitelmassa esitetään konkreettiset toimenpiteet tontilla jo olevien materiaalien uusiokäytöstä ja kierrätyksestä sekä</i>	Vaatimus

hakijan itsensä määritettävissä), tai kiertotalousmateriaalien hyödyntämisen määrälle voi asettaa vähimmäisvaatimuksia	<i>kierrätysmateriaalin ja muiden kiertotaloustoimien käytöstä tontille suunnitellussa uudishankkeessa."</i> [36] <i>"Tontilla olevan rakennuksen rungosta pitää hyödyntää vähintään [50 prosenttia] mikäli sen tekninen käyttöikä on vähintään [50 vuotta]".</i> [36] <i>"Rakennuksessa käytettävän lämmöneristeen tulee sisältää vähintään XX % uusioainesta."</i> [33] <i>"XX paino-% uudisrakennuksessa / korjattavassa rakennuksessa käytettävistä materiaaleista tulee muodostua uudelleenkäytetyistä tai kierrätetyistä rakennusosista ja -materiaaleista."</i> [33]	
Maamassojen kierrätykseen liittyen voidaan asettaa vaatimuksia.	<i>"Hankkeessa tulee laatia suunnitelma maamassojen uudelleenkäytöstä hankkeen tai suunnittelualueen sisällä tai esimerkiksi eri kaava-alueiden välillä."</i> [36]	
Tontinluovutuskilpailussa ehdotukset voidaan pisteyttää kiertotalouteen liittyvien seikkojen perusteella	<i>"Kilpailuehdotuksessa tulee esittää rakenteiden korjattavuuden, irrotettavuuden, vaihdettavuuden ja uudelleenkäytettävyyden ratkaisuperiaatteet. Ehdotukset asetetaan järjestykseen tuomariston asiantuntija-arvioinnin perusteella huomioiden ehdotettujen ratkaisujen määrä, laatu, laajuus, monipuolisuus ja innovatiivisuus. Ehdotukset pisteytetään järjestyksen perusteella taulukon xx mukaisesti."</i> [33]	Pisteytys
Tontinluovutusehdoissa rakentaja voidaan sitouttaa mm. Laaturyhmäkäsittelyyn, jossa Laaturyhmän alaisuudessa toimiva kiertotalousasiantuntija/-tiimi ohjaa hanketta kiertotalouden mukaisissa ratkaisuissa pysymiseen. [33]		Vaatus
Elinkaarikestävyyys		
Rakennuksen pitkäaikaiskestävyydestä voidaan palkita pisteillä	<i>"Kilpailuehdotuksessa tulee ilmoittaa rakennuksen suunnittelukäyttöikä, jonka tulee olla vähintään 100 vuotta. Tämän ylittävät pisteytetään: jokaisesta 100 vuoden ylittävästä 25 vuodesta saa +X pistettä aina 200 vuoteen saakka."</i> [33]	Pisteytys
Energia		
Uusiutuvan energiantuotannon osalta voidaan asettaa vaatimuksia.	<i>"Rakennuksessa tai tontilla tulee olla uusiutuvaa energiantuotantoa ainakin [70 %] rakennuksen suunnitellusta energiankulutuksesta."</i> [36]	Vaatus

Energian osalta voidaan asettaa vaatimuksia, jotka liittyvät älykkäisiin energijärjestelmiin.	<i>"Varauksensaaja on velvollinen kustannuksellaan toteuttamaan varauksen kohteeseen kaikkiin huoneistoihin, kahvila-, ravintola- ja liiketiloihin sekä kiinteistön yhteisiin järjestelmiin älykkäiden energijärjestelmien toiminnot."</i> [43] <i>"Kaikki talotekniset ja muut tietotekniikkaa hyödyntävät järjestelmät tulee toteuttaa sellaisella tavalla, että niihin on avattavissa internet-verkon kautta käytettävä tietotekninen rajapinta. Rajapinnan kuvauksen tulee olla avoin ja sen tulee perustua yleisiin standardeihin."</i> [43] <i>"Kiinteistön tekniset järjestelmät suunnitellaan siten, että mahdollistetaan paikallisen uusiutuvan energian tuotanto joko rakennusvaiheessa tai myöhemmin kiinteistön elinkaaren aikana".</i> [44] <i>"Lämmitys- ja käyttövesijärjestelmän osalta huomioidaan kiinteistökohtaisessa toteutuksessa kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon mahdollistaminen alueelle. Lisäksi pyritään mahdollistamaan hajautettu lämmöntuotanto alueella".</i> [44]	Vaatus
U-arvotavoitteet ylittävät ratkaisut voidaan huomioida kilpailuehdotusten pisteytyksessä	<i>"U-arvo alle a) x, b) x tai enintään y ulkovaipan, yläpohjan, alapohjan, ovien ja ikkunoiden osalta"</i> [42]	Pisteytys
Rakennustyömaa		
Tontinluovutuksessa esitetyt vaatimukset voivat liittyä myös työmaatoimintaan	<i>"Rakentaminen on toteutettava siten, että ympäristölle kohdistuvat haitat minimoidaan. Pölyn, melun ja värinän hallinnasta on esitettävä suunnitelma."</i>	Vaatus

5.3 Rakennuslupaan liittyvät keinot vähähiilisyiden ohjaamisessa

Rakennuslupan myöntäminen perustuu rakennussuunnitelman säädöstenmukaisuuteen. Lupaharkinnassa tarkasteltavia määräyksiä ovat Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL), Maankäyttö- ja rakennusasetus (MRA), Suomen rakentamismääräyskokoelman asetukset, kunnan rakennusjärjestys sekä asemakaavamääräykset (harvinaisemmissa tapauksissa yleiskaavamääräykset).^[33] Maankäyttö- ja rakennuslakiuudistuksen myötä hiilijalanjäljen laskeminen sekä vaatimus raja-arvon alittamisesta tulevat vaatimukseksi rakennuslupan myöntämiselle.^[45] Tällä hetkellä rakennuslupan hakemiseen liittyen voidaan tarjota helpotusta vähähiilisyys- tai energiavaatimusten täytyessä (esimerkkejä esitetty taulukossa 6), joskaan ohjausvaikutus ei ole merkittävä, sillä lupamaksun osuus hankkeen kokonaiskustannuksista on vain noin yhden prosentin luokkaa.^[34]

Taulukko 6: Rakennuslupan kannustinkeinot hankkeen vähähiilisyiden ohjaamiseksi.

Teema	Esimerkki	Tyyppi: vaatimus/ kannustin
Vähähiilisyys	Rakennuslupahakemukset, joissa rakennus täyttää esimerkiksi asetetut vähähiilisyysvaatimukset rakennusmateriaalien osalta, voivat saada nopeutusta käsittelyprosessiin tai alennusta rakennuslupan käsittelymaksuun. [38]	Kannustin
Energia	Rakennusvalvontataksasta alennusta 20 % tai 30 %, mikäli rakennuksen suunniteltu vuotuinen energiankulutus (vaipan lämpöhäviöt) on ollut 15 % tai 30 % normirakennusta alempi. [33]	Kannustin

5.4 Kaavoituksen mahdollisuudet ja rajoitteet puurakentamisen vauhdittamisessa

Kuntien puurakentamisen strategiaa on mahdollista toteuttaa kaavaohjauksella. Helsingin Honkasuon alueen kaavoituksesta käytyä oikeusastekäsittelyä pidetään puurakentamisen edellyttämisen ennakkotapauksena. Valituksenalaisen asemakaavan kaavamääräyksen mukaan kaikilla korttelialueilla rakennusten tuli olla puurakenteisia ja julkisivumateriaalina oli käytettävä puuta. Lisäksi asemakaavamääräyksen mukaan erillispientalojen korttelialueella rakennusten tuli olla massiivipuusta rakennettuja. Betoniteollisuuden valituksen mukaan kaavalla ei ollut maankäyttö- ja rakennuslain mukaista maankäytöllistä ja kaupunkikuvallista perustaa, ja asetetut materiaalirajoitukset syrjivät muita rakennusmateriaaleja. KHO:n lopullisessa päätöksessä todettiin mm. seuraavaa:

”Asemakaavassa ei ole määräyksiä rakennusten perustamistavasta, eikä perustusten materiaalista” ja että ”asemakaavoissa on vakiintuneesti annettu rakennusten ulkoasuun vaikuttavia määräyksiä”. ”Asemakaavamääräykset, joiden mukaan rakennusten on oltava puurakenteisia tai massiivipuusta, osoittavat rakentamistapaa. Vaatimus puurakenteisuudesta ei merkitse, että puun tulee olla yksinomainen rakennusmateriaali.”^[46]

Päätöksen perusteella voidaan todeta, että asemakaavamääräyksillä voidaan velvoittaa puun käytöstä niin rakennuksen rungossa kuin julkisivussakin.

Suomen Metsäkeskuksen julkaisemassa kaavoitusoppaassa todetaan, että puurakentamista ohjaava kaavamääräysteksti voi olla

- yleispiirteinen; esim. ”rakennusten tulee olla puurakenteisia” tai ”rakennusten tulee olla pääosin puurakenteisia”.

- yksityiskohtaisempi; esim. ”julkisivumateriaalina on käytettävä puuta” tai ”rakennusten ja rakennelmien seinät, yläpohjat ja välipohjat on toteutettava puurunkoisina”.^[37]

Myös joustava puurakentamisen kaavamääräys ”pääosin puuta” välittää kaavoituksen tahtotilan puurakentamiselle, mutta jättää tulkinnanvaraiseksi rakennusmateriaalien laskennallisen osuuden kohteessa.

Puurakentamiselle osoitettu tonttivaranto ja kaavaohjaus varmistaa puurakentamisen hankejatkumoa kunnissa ja osoittaa kunnan päätöksenteon sitoutuneisuutta puurakentamisen edistämiseen. Puurakentamisen edellytyksiä on mahdollista vahvistaa myös kaavan joustavuuden arvioinnilla, jolloin kaavoituksen tarkoituksena on pyrkiä tarjoamaan monipuolisemmin ja tehokkaammin käytettäviä tontteja erilaisia runkojärjestelmiä hyödyntäviksi. Puurakentamisen kilpailukyvyn kehittyessä materiaalineutraalissa ja erilaiset rakennejärjestelmät huomioivassa kaavoituksessa tavoiteltavana päämääränä voidaan nähdä kaavamääräysten valikoituminen reunaehtojen kautta.

Puurakentamisen rakennejärjestelmien tehokkuutta ja toteutettavuutta heikentävinä kaavatekijöinä on tunnistettu:

- Rakennusalan rajausta: Vaikutus suunniteltaviin rakennustyyppisiin ja käytettäviin runkosyvyyskiin rajaa mahdollisia puutuotetoimittajia tehottomien ratkaisuiden vuoksi.
- Harjakorkeuden määrittäminen: Puurakennejärjestelmien kerroskorkeudet ovat kivrakenteisia korkeammat ja nostavat rakennuksen harjakorkeutta.
- Julkisivun määrittäminen: murtoviivojen ja värityksen yhteneväisyyden suhteen
- Teollisten puutuotteiden elementtisaumojen ja palonsuojauksen huomioiminen julkisivun arkkitehtuurissa.

Puurakentamisen edistämistoimenpiteiden tulisi pyrkiä luomaan edellytykset puun käytölle osana materiaalineutraalia rakentamisen ohjausta. Puurakentamisen kaavoitus on kuntien keino tukea puurakentamisen järjestelmä- ja hankekehitystä kohti standardoituja ja tunnettuja malleja. Puurakentamisen kilpailukyvyn edistämiseksi tarvitaan hanketoistoja, joilla puurakenteiden suunnittelu- ja tuotanto-osaaminen saadaan vakiinnutettua. Vakiintuneet toimintatavat vähentävät kustannusepävarmuutta ja lisäävät tietoutta eri materiaalien vahvuuksista, jolloin rakentamisen ohjaus kehittyy kohti materiaalineutraalia ja vähähiilisyyteen keskittyvää hankeohjausta.

5.5 Erilaiset toteutusmuodot puurakentamisessa

Jotta puurakentaminen on tasavertainen muiden rakennustapojen kanssa, tulee toteutusmuoto valita niin, että puurakentamisen potentiaali saadaan hyödynnettyä parhaiten. Kaikki urakamuodot soveltuvat puurakentamiseen, mutta materiaalien, runkojärjestelmien ja tuotantotapojen suurien valikoiden takia valitaan usein KVR-toteutustapa tai neuvottelu-urakka. Näihin päädytään usein siksi, että materiaalien, rungon ja tuotantotavan valitseminen suunnittelun varhaisessa vaiheessa karsivat potentiaalisten tarjoajien määrää. ^[17]

Puurakentamisessa kattavan markkinavuoropuhelun käyminen olisi hyvin suositeltavaa varsinkin, jos vastaavan hankkeen toteuttamisesta ei ole kattavaa aiempaa kokemusta. Markkinavuoropuhelun aikana tulisi tähdentää hankkeelle asetettavia vaatimuksia ja niiden toteutettavuus. Vasta markkinavuoropuhelun ansiosta syntyneen yhdenmukaisen käsityksen jälkeen tulisi lähettää hankkeen palveluntarjoajan tarjouspyyntö. ^[17]

Puurakentamiseen valittavassa toteutusmuodossa tulisi sopia varhaisen vaiheen yhteistyöstä osapuolten välillä, joten perinteiset suunnittelu-tarjousvaihe-rakentaminen tyyliset toteutusmuodot eivät luo parasta

pohjaa puurakentamiselle. Euroopassa toteutettujen puukerrostalojen määräävä osa on rakennettu KVR – toteutusmuodolla. KVR-urakan hyötyjä ovatkin urakoitsijan vapaus hyödyntää koko kokemustaan, innovoida ja kehittää hanketta. ^[58] Monessa hankkeessa KVR-toteutusmuoto on suositeltava ^[17]. Toinen toteutusmuoto, joka sallii kaikkien osapuolten välisen varhaisen vaiheen yhteistyön, on allianssitoteutus. Allianssihankkeessa riskipreemio jakautuu yhteisesti, joten palveluntuottajan toteutumaton riskivaraus ei tule tilaajalle maksettavaksi, niin kuin KVR-hankkeessa. Allianssitoteutusta ei tulisi valita kuitenkaan ensisijaisena toteutusmuotona, sillä se sopii erityisen suuriin hankkeisiin (20-40 milj. € tai enemmän) tai pieniin, mutta erityisen haastaviin hankkeisiin. ^[58] Taulukossa 7 on esitetty erilaisten toteutusmuotojen soveltuvuus puurakentamiseen sekä huomioitavat asiat.

Taulukko 7: Erilaisten toteutusmuotojen soveltuvuus ja huomioitavat asiat puurakentamisessa.

Urakkamuoto	Soveltuvuus	Huomioitavaa
Kokonaisurakka	Perinteisin menetelmin rakennettaviin hankkeisiin mm. paikalla rakentaminen ^[17] Puuosatoimitukset voidaan kilpailuttaa ja aliurakoida useamman tarjoajan kesken ^[17]	Tarjoukseen saatetaan lisätä hintariski, jos esim. tarjoaja ei tunne puurakennejärjestelmää. Riski voidaan välttää käyttämällä jaettua urakkamuotoa. ^[17]
Jaettu urakka	Hankkeisiin, joissa puuosatoimitus kannattaa kilpailuttaa erillishankintana ^[17]	Jos on syytä olettaa, että puisten rakennesien osuus arvioidaan kustannuksiltaan liian korkeaksi normaalissa tarjousprosessissa (kokonaisurakka), voidaan puuosat kilpailuttaa tilaajan erillishankintana suoraan valmistajalta. ^[17]
Suunnittele ja rakenna (KVR-urakka, SR-urakka)	Halutaan mahdollistaa rakennejärjestelmien välinen kilpailu. ^[17] Halutaan suoraviivainen toteutus ^[17] Halutaan kilpailla laadulla kustannusraamien sisällä ^[17] Halutaan, että suunnittelu ja palveluntuottaja tekevät yhteistyötä jo varhaisessa vaiheessa ^[58]	Materiaalien, rungon ja tuotantotavan valitseminen suunnittelun varhaisessa vaiheessa karsivat potentiaalisten tarjoajien määrää ^[17] Tekniset ratkaisut tulee sopia ennen urakkasopimusta ^[58] Tilaajan työpanos toteutusvaiheessa on pieni, tilaaja ei usein hyödy toteutusvaiheen onnistumisista. ^[58] Tilaajan riskipreemio korkea ja se maksetaan myös toteutumattomista riskeistä. ^[58]
Neuvottelu-urakka	Jos hankkeen toteuttamiseen on vain rajallinen määrä tarjoajia ^[17] Jos perinteinen tarjouspyyntöprosessi ei ole tehokas ^[17]	Materiaalien, rungon ja tuotantotavan valitseminen suunnittelun varhaisessa vaiheessa karsivat potentiaalisten tarjoajien määrää ^[17]
Elinkaari	Palveluntarjoajan halutaan sitoutuvan käyttöturvallisuuteen ja elinkaariedulliseen kokonaisuuteen ^[17]	Lunastuskunto tulee määrittää lunastusarvon lisäksi ^[17] Käyttöikä tulee asettaa niin, etteivät laajat peruskorjaukset ala lunastuksen jälkeen ^[17]
Allianssi	Halutaan edistää kokonaisedullisia ratkaisuja ja toimintatapoja ^[17] Hanke on erityisen haastava tai suuri ^[58]	Mahdollistaa muutoksien teon joustavasti vielä myöhäisessäkin vaiheessa ^[58] Riskit kannetaan yhteisesti, joka pienentää palveluntuottajan riskipreemioita ^[58] Tilaaja maksaa vain toteutuneet kustannukset, mutta kustannusten lopullinen suuruus selviää hankkeen päätyttyä ^[58]

5.6 Puurakentamisen kilpailutus julkisissa hankinnoissa

Julkisella hankintayksiköllä kuten kaupungilla on julkisia hankintoja koskevan nykylain mukaan oikeus määrittää, että kyseinen rakennus rakennetaan puusta. Vaihtoehtoisia tarjouksia tällaisissa tapauksissa ei tarvitse käsitellä tai hyväksyä. Oikeudellisesti tarkasteltuna on keskeistä, että puu mainitaan kohteen kuvauksessa eikä hankkeen hankintakriteereissä, sillä näin valinta voidaan tehdä vain kohdekuvauksen mukaisista tarjouksista. Tarjoukset, jotka eivät täytä kuvauksen määrittelyä, suljetaan pois valinnasta.^[17]

Julkisina hankintoina toteutettavissa rakennushankkeissa puun käyttöä rakennusmateriaalina ei tarvitse erikseen perustella. Jos puuta ei kuitenkaan ole mainittu toteuttamismateriaaliksi kohteen kuvauksessa, voi seurauksena olla hankkeen kyseenalaistaminen ja valituskierte. Valintakriteerien läpinäkyvyyttä ja oikeudenmukaisuutta voidaan aina kyseenalaistaa, mutta tilaajan tahtoa ei.^[17]

Jos hankkija ei erityisesti halua tai hänellä ei ole osaamista edistää puun käyttöä, voidaan käyttää suoritusperustaisia valintakriteerejä. Näin eri vaihtoehdot kilpailevat samoista lähtökohdista, mutta riski kriteerien kyseenalaistamiseen on olemassa. Valintakriteerien käyttö on tilaajalle usein hankalampi tapa oman tahtotilan toteuttamiseen.^[17]

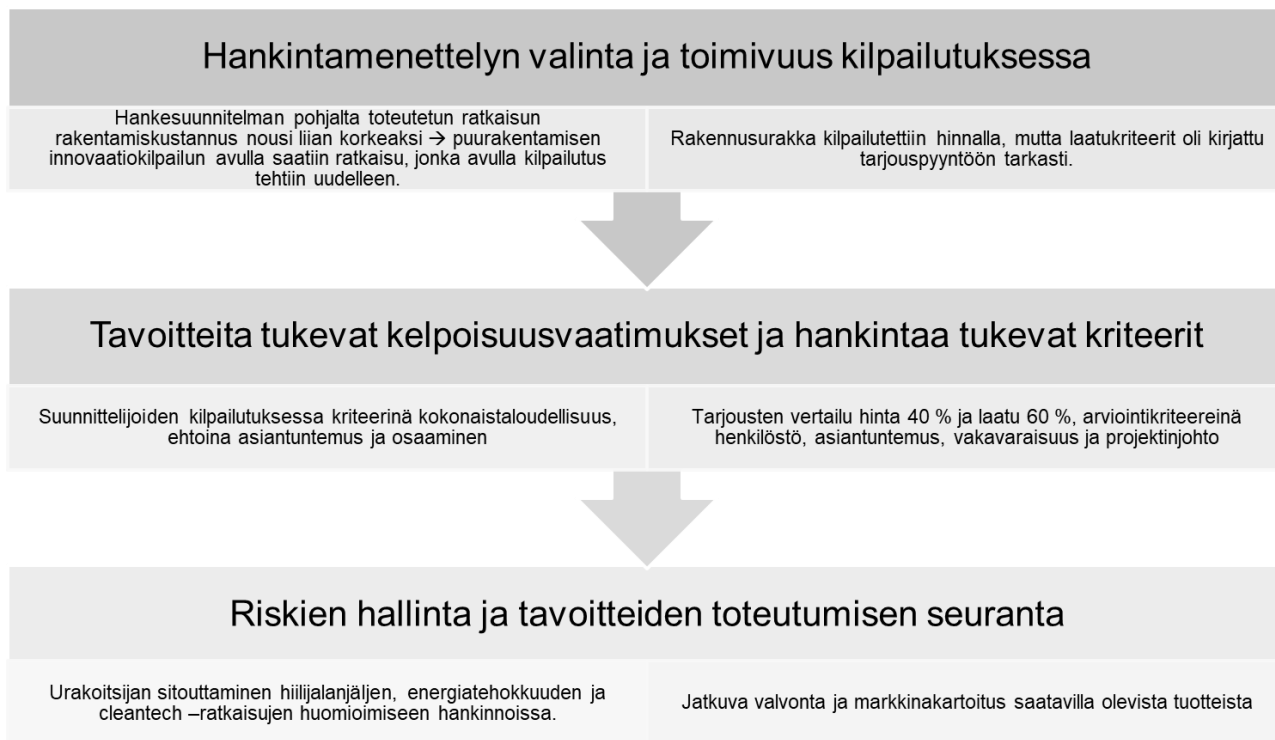
RAKLIn Puurakentaminen -klubin toimijat nostivat puurakentamisen kilpailuttamisen haasteiksi muun muassa sen, että puurakentamisessa kilpailutusta ei voida välttämättä tehdä valmiilla suunnitelmilla. Erilaiset puurakentamisen järjestelmävaihtoehdot ja puuelementtitoimittajien vähäinen määrä lisäävät myös kilpailutuksen haasteita.^[54]

Kuvassa 21 on esitetty Haltia-luontokeskuksen hankintaprosessin eri vaiheet ja niistä opitut asiat. Haltia-luontokeskus on ensimmäinen Suomeen valmistunut kokonaan CLT-rakenteinen puurakennus. Keskus on valmistunut vuonna 2013 ja sen ovat rakennuttaneet yhdessä Metsähallitus, Espoon kaupunki ja Solvalla Nedre Ab.

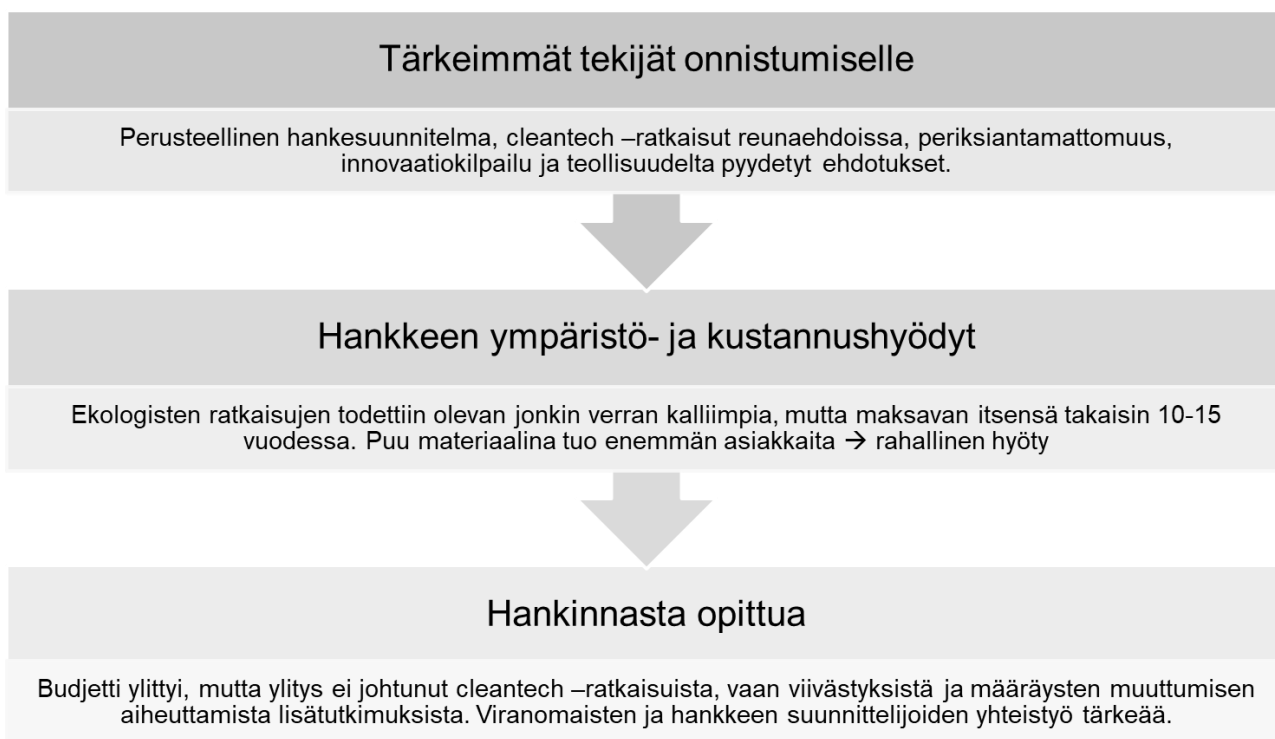
HANKINNAN SUUNNITTELU JA VALMISTELU



HANKINNAN KILPAILUTUS JA TOTEUTUS



HANKINNAN ARVIOINTI



Kuva 21: Haltia -luontokeskuksen, kokonaan puusta rakennetun, Suomen ensimmäisen CLT- rakennushankkeen hankintojen ohjaaminen, vaiheet ja hankintaprosessista opitut asiat. [56]

Puurakentamisen lisäämiseksi tietyt rakennushankkeet voidaan määrittää toteutettavaksi puusta. Tällöin kilpailutusta ei kuitenkaan kannata tai välttämättä edes voi tehdä valmiilla, tarkasti rajatuilla suunnitelmilla, vaan puurunkovaihtoehtojen ja toteutustapojen välillä tulee tehdä vertailua kustannustehokkaimman ja toimivimman ratkaisun löytämiseksi. Puurakentamisen määrittäminen uusien hankkeiden hankintakriteeriksi ei kuitenkaan tuo puuta tasavertaiseksi vaihtoehdoksi betonin rinnalle vaan suosii sitä betonin ohi. Yksinomaan puumateriaalin vaatimista voidaan käyttää hankkeissa, joista ehdottomasti halutaan puurakenteisia.

Kun puuta ei haluta korostaa muiden materiaalien ylitse, voidaan hankintojen kilpailutuksessa korostaa laatukriteereitä. Laatukriteereiksi voidaan määrittää esimerkiksi tonttikohtainen Ympäristöministeriön menetelmän mukainen hiilijalanjälki, joka ehdotettujen suunnitelmien tulee alittaa. Jos halutaan erityisesti painottaa rakennuksen materiaaleja ja niiden vaikutusta ilmastoon, voidaan rajausta tehdä koskemaan ennen käyttöä syntyviä päästöjä. Materiaalien hiilijalanjälkeä ei tule kuitenkaan ohjata energiankulutuksen kustannuksella, vaan kokonaisuus tulee aina huomioida.

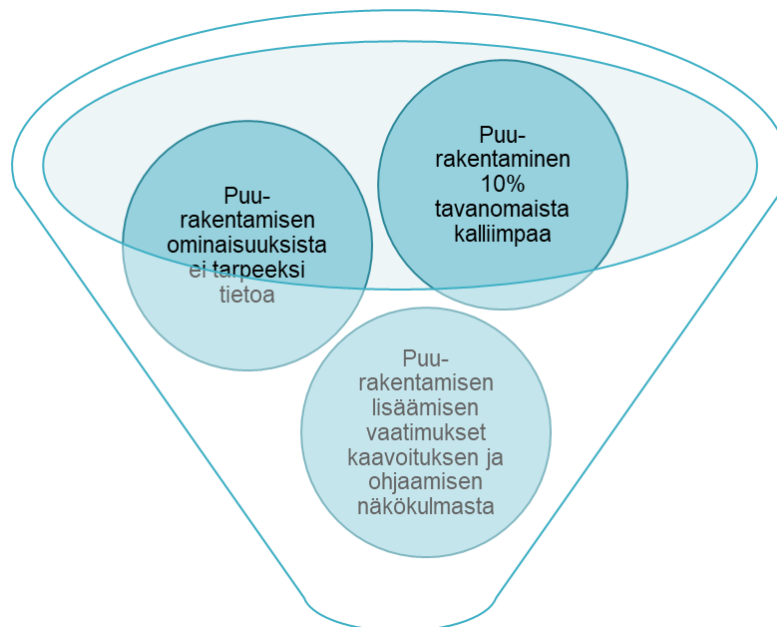
Laatukriteereihin voidaan nostaa myös esimerkiksi rakennuksen arkkitehtuuri, erottuvuus ympäristöstään, rakennusalueen viihtyisyyden lisääminen tai sisäilman hyvä laatu. Nämä kriteerit tukevat puurakentamista, mutta eivät suosi sitä muun rakentamisen ohi. Suunnittelijoiden ja toteuttajien valinnassa tulee huomioida kokemus, mutta liian tiukoilla vaatimuksilla ei saada rajata ulkopuolelle esimerkiksi puurakentajia, joiden liikevaihto tai koko ei välttämättä ole vielä ehtinyt kasvaa betonirakentajien tasolle.

6. Johtopäätökset

Kun puu halutaan todelliseksi vaihtoehdoksi rakentamiseen betonin kanssa, on hyvä tiedostaa, että betonirakentamisella on Suomessa vahva ja toimintatapoihin juurtunut asema. Puurakentamisen lisäämiseksi onkin tärkeää, että julkinen sektori panostaa rakennusmateriaalien väliseen neutraaliuteen ja huomioi toiminnassaan myös puurakentamisen mahdollisuudet.

Julkisten puurakennushankkeiden edistäminen edellyttää strategisia päätöksiä rakentaa puusta ja kykyä hakea osaamista kuntien tunnistettujen osaamis- ja sääntelykapeikkojen selättämiseksi. Puurakentamisen kehittyminen tasavertaiseksi rakennusmateriaaliksi vaatii yksittäisten suurrakennehankkeiden lisäksi teollista esivalmistusta hyödyntäviä pienhankkeita, joissa puurakennejärjestelmien etuja hyödynnetään hankesuunnittelun alusta alkaen.

Puun kustannukset tunnistetaan usein hankepäätöksiä jarruttavaksi tekijäksi ja puurakennuksen kielteinen hankepäätös perustuu usein oletettuun kustannuseroon materiaalien välillä. Puu mielletään kalliiksi rakennusmateriaaliksi. Tutkimusprosessin aikana käydyt keskustelut kuntapäätäjien kanssa tukevat kyselyn tuloksissa ja haastatteluissa esille nousutta käsitystä siitä, että yleisesti korkeaksi mielletyt rakennus- ja ylläpitokustannukset ovat puurakentamisen yleistymisen suurin este ja todennäköisimpiä syitä kielteiselle puurakentamispäätökselle. Tulos lienee osaltaan selitettävissä julkisten puurakennushankkeiden vähäisellä määrällä, jonka seurauksena kustannuksissa näkyy rakennuttajan kokemus ja hinnoittelema riski. Riskin huomioiminen rakennushankkeen budjetissa saa puurakentamisen vaihtoehdon näyttämään vähemmän houkuttelevalta vaihtoehdolta. Puurakentamisen lisäämisen haasteiksi koettiin myös tiedon puute puurakentamisen ympäristövaikutusten, paloturvallisuuden, akustiikan ja sisäilman suhteen. Lisäksi tarkkaa puurakentamista tukevista ja haittaavista kaavoitus- ja ohjauskeinoista kaivattiin. Kuvassa 22 on esitetty työkirjan alussa esille nousseet puurakentamisen tasavertaiseksi saattamisen pullonkaulat Järvenpään kaupungissa.



Kuva 22: Puurakentamisen tasavertaisen aseman kasvattamisen ongelmat Järvenpään kaupungissa.

Selvitystyön valossa voidaan kyseenalaistaa järjestelmällistä oletusta siitä, että puusta rakentaminen olisi 10 % muuta rakentamista kalliimpaa. Arvioitujen pilottikohteiden ja tehtyjen arvioiden perusteella voidaan todeta, että julkisen rakentamisen kohteissa on todennäköisesti jonkin verran eroa puurakentamisen ja betonirakentamisen välillä. 10 % kustannuseron sijasta voitaisiin puhua ennemminkin 5 % suuruusluokasta, josta 2-3 % syntyy kasvaneista suunnittelukustannuksista. Tämä prosenttiluku kuvaa

kuitenkin keskiarvoa, ja esimerkiksi kerrostalohankkeissa puurakenteiset tilaelementit voivat osoittautua muita vaihtoehtoja halvemmaksi. Myös toteutusmuoto ja valittu puurunkoratkaisu vaikuttavat suuresti kustannuksiin. Puurakentamisen saattaminen tasavertaiseksi muiden materiaalien kanssa vaatii, että puurakentamisen kustannusten arviointitapoja kehitetään, ja kustannusarvioilta vaaditaan yhtäläistä tarkkuutta muun rakentamisen kanssa. Puurakentamisen vaatima suurempi suunnittelutyö tulee myös huomioida kustannussuunnittelussa. Puurakentamisessa tulisi tarkastella myös mahdollisia aluetaloudellisia vaikutuksia.

Puun hyötynä on selkeästi sen pienempi hiilijalanjälki betoniin verrattuna, ja pilottikohteiden hiilijalanjälkilaskelmat tukevat haastatteluissa esille tulleita mielikuvia puurakentamisen ympäristöystävällisyydestä. Suomalais-venäläisen koulun hankkeessa todettiin, että varhaisessa vaiheessa toteutetuilla vertailulaskelmilla saavutettiin vähähiiliset ratkaisut kustannustehokkaimmin. Pilottikohteiden laskennassa sivuttiin myös uudis- ja korjausrakentamisen hiilijalanjälkieroja, ja vaikka korjausrakentaminen on lähtökohtaisesti purkamista parempi vaihtoehto tämän hetkisen hiilipiikin pienentämisen kannalta, tulee tilanne tutkia aina tapauskohtaisesti.

Toteutuneista hankkeista esiin tulleet tulokset vahvistavat ajatusta siitä, että mielikuvat puurakenteisten rakennuksien sisäilmasta ovat myönteisiä. Levollisuuden ja rauhallisuuden kokemusten lisäksi on myös tutkimusnäyttöä siitä, että puurakennukset pystyvät säätelemään sisäilman kosteutta muita materiaaleja paremmin, ja että puun käyttö sisätiloissa laskee esimerkiksi sykettä ja stressitasoja.

Toiminnallisella palomitoituksella pystytään parantamaan puurakentamisen kilpailukykyä paloturvallisuudessa, ja säädöksiä päivitetään jatkuvasti tukemaan materiaalineutraalia suunnittelua ja toteutusta. Oikeanlaisella palosuunnittelulla voidaan merkittävästi vaikuttaa myös hankkeen kustannuksiin, joten myös palosuunnittelijat tulisi liittää puurakentamisen hankkeisiin mukaan aikaisessa vaiheessa.

Nykytilakartoituksessa oltiin sitä mieltä, että joissakin toteutetuissa puurakentamisen kouluhankkeissa säädöstenmukainen ääneneristävyys ei ole ollut riittävällä tasolla. Selvitystyön perusteella määräykset eivät huomioi puurakenteiden ominaisuutta välittää matalataajuisia ääniä tarpeeksi hyvin, ja akustiikkasuunnittelussa joudutaan menemään määräystasoa paremmaksi, jotta viihtyvistä ja toimivista tiloista voidaan varmistua. Puun hyviä huoneakustisia ominaisuuksia keuhuttiin etenkin Tuupalan koulun hankkeen käyttäjien toimesta.

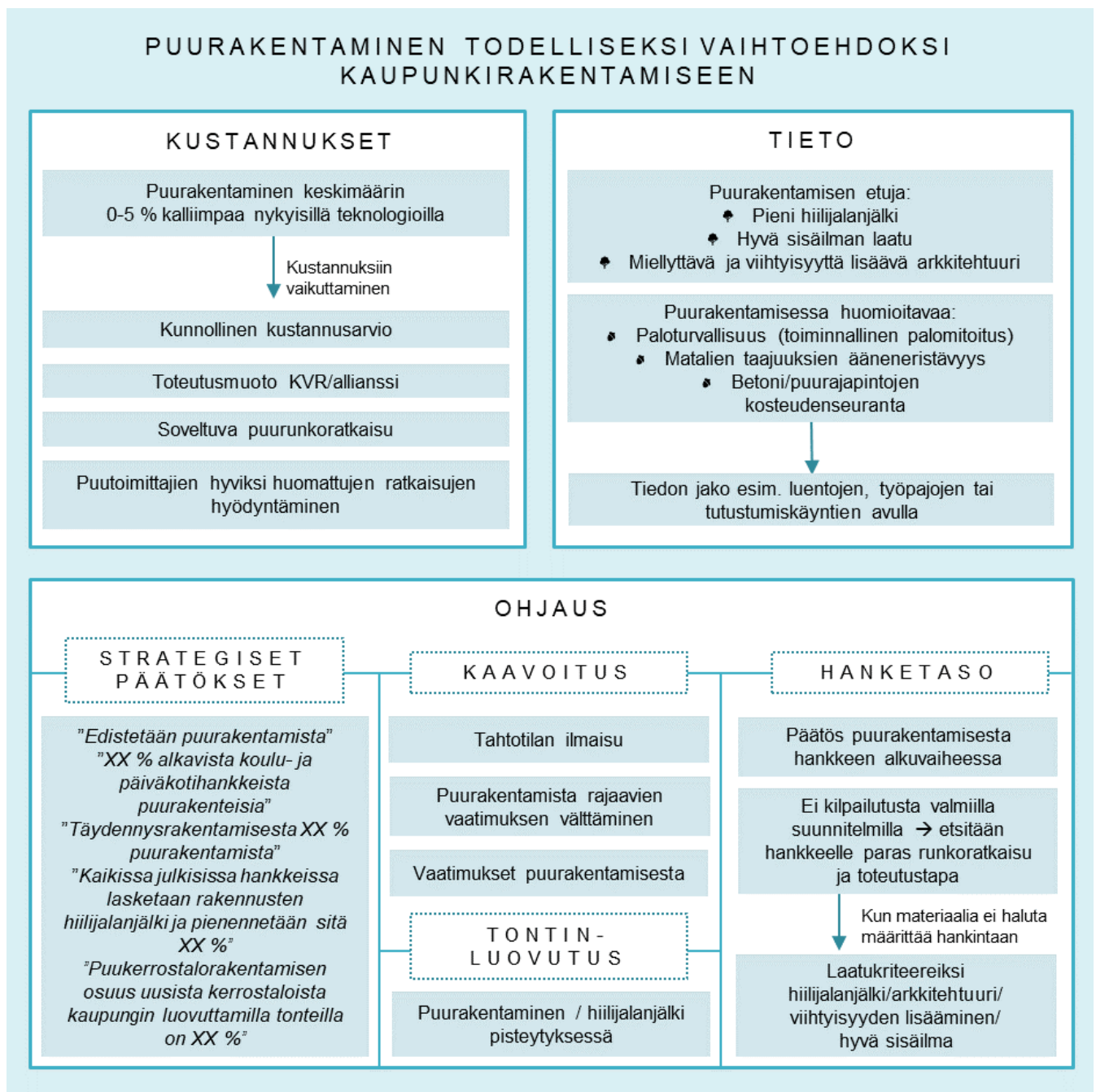
Puurakentamisen etuna muihin materiaaleihin verrattuna voidaan pitää sen lisäämää kokemusta viihtyisästä asuinympäristöstä. Puurakentamisen arkkitehtuuriin suhtaudutaan myönteisesti, ja puun käyttö julkisivukorjauksissa, lisärakentamisessa ja uudisrakentamisessa koettiin miellyttävänä tapana muokata asuinalueita.

Päätös puurakentamisesta hankkeen alkuvaiheessa mahdollistaa kustannustehokkaan lopputuloksen saavuttamisen rakennuksen hiilijalanjäljen, tilatehokkuuden, toiminnallisuuden, paloturvallisuus- ja akustiikkaominaisuuksien sekä suunnittelijoiden ja toteuttajien yhteistyön kannalta. Hyväksi todettujen käytäntöjen toistaminen vakiinnuttaa puurakentamisen työskentelytapoja ja asemaa rakentamisessa.

Kaavoituksella ja tontinluovutuksella voidaan tukea puurakentamisen lisäämistä joko ilmaisemalla tahtotila tai käyttämällä vahvemmin ohjaavia toimenpiteitä. Asemakaavaan puurakentamiselle voidaan asettaa vaatimuksia joko koko rakennuksen tai tietyn osuuden osalta. Tontinluovutuksessa puurakentaminen voidaan huomioida pisteytyksessä eri rakenteiden sekä myös kiintokalusteiden materiaalien osalta. Järvenpäässä jo käytössä olevaa, hyväksi ja toimivaksi koettua resurssiviisautta- pisteytystä voitaisiin laajentaa ja tarkentaa ilmaisemaan tahtotila puurakentamista ja vähähiilisyyttä kohtaan entistä vahvemmin. Lisäksi hyväksi koettua kumppanuuskaavoitusta tulee myös hyödyntää puurakentamisen aseman vahvistamisessa. Puurakentamisen toteutettavuutta heikentäviksi tekijöiksi kaavoituksessa on tunnistettu mm. rakennusalan rajaus, harjakorkeuden määrittäminen ja julkisivuja koskevat tiukat linjaukset.

Puurakentamiselle suotuisin toteutustapa on sellainen, jossa yhteistyö suunnittelijoiden ja palveluntuottajien välillä voidaan aloittaa varhaisessa vaiheessa hanketta. Perinteiset suunnittelu-tarjousvaihe-rakentaminen -muotoiset toteutusmuodot eivät ole parhaita vaihtoehtoja puurakentamiselle, vaan esimerkiksi KVR (SR, suunnittele ja rakenna) tai allianssi -muotoiset toteutustavat toimivat paremmin. Allianssia suositellaan kuitenkin yleensä vain poikkeuksellisen laajoille tai haastaville hankkeille.

Uudet hankkeet voidaan määrittää rakennettavaksi puusta, jos niin halutaan. Jos kuitenkin halutaan edistää puurakentamisen tasa-arvoista asemaa muiden materiaalien rinnalla, niin hankinnoissa tulisi korostaa laatukriteereitä, ja valita tekijöiksi sellaisia asioita, jotka ohjaavat puurakentamisen ratkaisuihin. Hankkeiden valmisteluissa tulisi myös huomioida puun ominaisuudet alusta asti, eivätkä tehdyt ratkaisut tai rajaukset saa suosia betonirakentamista. Kuvassa 23 on esitetty yhteenveto työkirjan tuloksista.



Kuva 23: Yhteenveto työkirjan tuloksista. Puurakentamisella tässä työkirjassa tarkoitetaan julkista ja kerrostalorakentamista.

7. Yhteenveto

Järvenpään kaupungilla on vahva tahtotila ja halu lisätä puurakentamista osana hiilineutraali Järvenpää 2035 -tavoitetta. Osana Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelmaa Järvenpään kaupunki haluaa tuoda puurakentamisen todelliseksi rakennusvaihtoehdoksi sekä omissa julkisen rakentamisen hankkeissaan että osana kaavoitusta. Työkirjan taustoittamiseksi on tehty nykytilakartoitus puurakentamisen tilanteesta Suomessa, Järvenpään kaupungin erilaisten osapuolien ajatuksista puurakentamisesta sekä Suomessa toteutetuista puurakentamisen hankkeista.

Selvitystyön avulla haluttiin lisätä eri osapuolten tietoisuutta puurakentamisen ominaisuuksista ja vaikutuksista sekä tuoda päättäjille tietoa esimerkiksi puurakentamisen todellisista kustannuksista ja vaikutuksista ympäristöön ja käyttäjiin. Puurakentamisen mahdollistamiseksi ja lisäämiseksi on selvitetty myös puurakentamisen ohjauskeinoja asemakaavalla, tontinluovutuksella ja rakennuslupamenettelyin.

Erityisesti suurien kohteiden puurakentaminen on kehittyvä ala, eikä sille ole vielä vakiintunut samanlaisia käytäntöjä, rakenneratkaisuja tai toteutustapoja kuin betonirakentamiselle. Suomessa on kuitenkin jo useita onnistuneita puurakentamisen kohteita, joiden avulla on saatu lisää tietoa puurakentamisesta sekä sen ohjaamisesta päättäjätasolla ja kaavoituksessa. Puurakentamisessa kustannukset ja hankkeiden painottuvat suunnitteluun, jonka on todettu olevan haastavaa ja vaativan enemmän resursseja kuin betonirakentamisen hankkeissa. Puurakentamisen kustannukset ovat julkisessa rakentamisessa tällä hetkellä hieman kalliimmat kuin betonirakentamisessa (0-5 %), mutta eron ei voida suoraan sanoa johtuvan materiaalien välisistä hintaeroista. Kerrostalorakentamisessa puurakentamisen kustannukset voivat olla jopa pienemmät kuin betonirakentamisessa.

Kahden Järvenpään kaupungin oman pilottihankkeen avulla on tutkittu rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkeä erilaisia skenaarioita vertailemalla. Hiilijalanjälkilaskennan ja selvitystyön pohjalta puurakentamisen eduiksi on tunnistettu selvästi pienempi hiilijalanjälki ja suurempi hiilikädenjälki betoniin verrattuna, positiivinen vaikutus asuin ympäristön viihtyvyyteen sekä myönteiset vaikutukset rakennukseen sisäilmaan ja huoneakustiikkaan.

Puurakentamisen ohjaaminen vaatii kaupungilta strategisia päätöksiä, jotka tulee jalkauttaa erilaisten ohjauskeinojen (kaavoitus, tontinluovutus, lupa- ja hankintamenettelyt) avulla käytännön tasolle. Puurakentamisen ohjaamisessa on käytetty esimerkiksi tahtotilaa ilmaisevia kaavakirjauksia tai ohjaavia vaatimuksia. Järvenpäässä toimivaksi koettuja kumppanuuskaavoitusta ja tontinluovutuksen resurssiviisaus -työkalua tulisi edelleen hyödyntää puurakentamisen lisäämisessä ja kehittää ilmaisemaan vahvemmin kaupungin tahtotilaa lisätä puurakentamista ja vähähiilisiä ratkaisuja.

LÄHTEET

- [1] Green Building Council Finland (2020). Vähähiilisyys sanakirja.
- [2] Tähtinen, Lauri (2020). Vastuullinen kiinteistöliiketoiminta, Hiilineutraaliuus tulee, oletko valmis?
- [3] Sitra. Tulevaisuussanasto. <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/> Viitattu 29.3.2021
- [4] Jätelaki 646/2011. Annettu Helsingissä 17.6.2011.
- [5] Ympäristöministeriön julkaisu 22 (2019). Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä.
- [6] Paavola, Heli (2019) Loppuraportti Puurakentamisen ohjelman kehittävä arviointi.
- [7] Ympäristöministeriö. Puurakentamisen ohjelma. <https://ym.fi/puurakentaminen>. Viitattu 29.3.2021
- [8] Forecon (2020) Rakentamisen näkymät -puheenvuoro. Puupäivä-webinaari 5.11.2020.
- [9] Ympäristöministeriö. Julkinen puurakentaminen. <https://ym.fi/julkinen-puurakentaminen>. Viitattu 30.3.2021
- [10] Kylmähö, Jenni (2019). Vastuullisuus ja alkuperä kuntien puurakentamisessa, Tiivistelmä Kuntapäätäjät ja puurakentaminen -tutkimuksesta.
- [11] Senaatti-kiinteistöt (2020). Hiilijalanjälki rakennushankkeen ohjauksessa – case Suomalais-venäläinen koulu.
- [12] Puuinfo.fi (2021). Kahdeksan kuvaa puusta. <https://puuinfo.fi/category/kahdeksan-kuvaa-puusta/> Viitattu 24.3.2021
- [13] Puuinfo.fi (2020) DAS Kelo. <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/das-kelo/> Viitattu 30.3.2021
- [14] Vatanen, Mikko (2020). DAS Kelon syntytarina.
- [15] Korhonen, K., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H., Hotanen, J., Nevalainen, S., Pitkänen, J., Strandström, M. ja Viiri, H. (2017). Suomen metsät 2009-2013 ja niiden kehitys 1921-2013.
- [16] Huuhka, S., Köliö, A., Annala, P. ja Poti, A. (2018). Puurakenteiden uudelleenkäyttämömahdollisuudet.
- [17] ePuu.fi. Työkaluja puurakennushankkeen valmisteluun. <https://epuu.fi/> Viitattu 5.3.2021
- [18] Nejman, F. (2019). Granskning av byggkostnader.
- [19] Mononen, L. (2016). Betonirunkoisen ja CLT-runkoisen asuinkerrostalon rungon kustannusvertailu.
- [20] Kylliäinen, M. (2011). Kivitalojen ääneneristys.
- [21] Kylliäinen, M., Latvanne, P., Kuusinen, A. ja Kekki, T. (2017). Puukerrostalojen ääneneristys, asiantuntijaselvitys.
- [22] Lahtela, T. (2004). Ääneneristys puutalossa.
- [23] Ympäristöministeriö (2017). Puukerrostalojen asukas- ja rakennuttajakysely 2017.
- [24] Puuinfo (2018). Paloturvallinen puutalo, Asuin- ja toimitilarakentaminen.
- [25] Puuinfo.fi (2020). Paloturvallisuus. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/maaraykset/paloturvallisuus/> Viitattu: 5.3.2021
- [26] Mikkola, Esko (2019). Toiminnallisen palomitoituksen hyödyntäminen puurakennuksissa.

- [27] Puuinfo.fi (2021). Palomääräysten muutokset vuoden 2021 alusta.
<https://puuinfo.fi/suunnittelu/maaraykset/palomaaraysten-muutokset-vuoden-2021-alusta/>
Viitattu: 23.3.2021
- [28] Simonson, C., Salonvaara, M. ja Ojanen, T. (2001). Improving Indoor Climate and Comfort with Wooden Structures.
- [29] Puuinfo.fi (2021). Puupintojen terveysvaikutukset sisätiloissa -tutkimustuloksia.
<https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/> Viitattu 30.3.2021
- [30] Randell, Aleksi (2020). Kaavoitukseen tarvitaan enemmän joustavuutta.
<https://rakennusteollisuus.wordpress.com/2020/02/11/kaavoitukseen-tarvitaan-enemman-joustavuutta/> Viitattu 26.3.2021
- [31] Helsingin kaupungin keskushallinnon julkaisuja 2018:4 (2018). Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma.
- [32] Lylykangas, K., Lahti, P. ja Vainio, T. (2013). Ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus.
- [33] Huuhka, Satu (2019). Talonrakentamisen hiilineutraaliuden ohjaaminen Tampereen Hiedanrannassa kiertotalouden keinoin.
- [34] Virkamäki, P., Jääskeläinen, L., Huttunen, E., Salmelainen, L. ja Hienonen, M. (2017). Viranomaisnäkökulma rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkihajukseen.
- [35] Ympäristöministeriö (2015). Ilmastotavoitteita edistävä kaavoitus, Näkökulmia kuntakaavoitukseen.
- [36] Green Building Council Finland (2019). Kiertotaloutta tukevat tontinluovutusehdot – ohjeita sovellettavaksi tontinluovutuksiin, tontinluovutuskilpailuihin ja tontin myyntiin. Kiertotaloussprintti -hanke.
- [37] Suomen Metsäkeskus (2020). Puurakentamisen edistämisen ja ohjauksen keinot kaavoituksessa -opas. Saatavissa: puukerrostalorakentaminen-kasvuun-kaavoitusopas.pdf (puutuoteteollisuus.fi)
- [38] Bionova Ltd. City Policy Framework for Dramatically Reducing Embodied Carbon.
- [39] Porvoon kaupunki (2012). Asemakaavaprosessin kehittäminen energiatehokkuuden näkökulmasta, Skaftkärr, Porvpp, Toukokuoren asemakaavoitus.
- [40] Heimo, J., (2012): Viitannun alue Salossa – Energiatehokkuustavoitteiden toteutuminen. Luentoaineisto. Kuntien kuudes ilmastokonferenssi 3–4.5.2012, Tampere.
- [41] Viinanen, Jani (2019). Hiilineutraalisuuden edistäminen Helsingin rakentamisessa.
- [42] Hänninen, P. ja Cronhjort, Y. (2010). Honkasuo Ekokriteerit Liite 20.
- [43] Helsingin kaupunki (2014). Kalasataman Sompasaaren alueella noudatettavat lisäehdot.
- [44] Turun Skanssin alueen tontinluovutusehdot – energialiite.
- [45] Ympäristöministeriö (2020). Vähähiilinen rakentaminen. Vastaus tietopyyntöön 18.9.2020. Eduskunnan ympäristövaliokunnalle.
- [46] KHO:2015:56 (2015). Päätös annettu 10.4.2015.
<https://www.kho.fi/fi/index/paatokset/vuosikirjapaatokset/1428403349476.html>
- [47] Sitra.fi (2018) Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki.
<https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/> Viitattu 31.3.2021
- [48] Vares, S., Häkkinen, T. ja Vainio, T. (2017). Rakentamisen hiilivarasto.
- [49] Ministry of Environment, Finland (2021). Carbon Footprint Limits for Common Building Types.
- [50] Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:9 (2021). Purkaa vai korjata? Hiilijalanjälkivaikutukset, elinkaarikustannukset ja ohjauskeinot.

- [51] luke.fi. Metsien monimuotoisuus. <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvarjoista/metsa/metsien-monimuotoisuus/> Viitattu 29.4.2021
- [52] Launiainen, S ja Laurén, A. (2012) Vihreää vettä ja jalanjälkeä – onko mitään järkeä? Metsätieteen aikakauskirja 2/2012.
- [53] Ympäristöministeriö (2016). Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016.
- [54] rakli.fi. (2020). Puurakentamisen edistäminen edellyttää yhteistyötä alan eri toimijoilta. <https://www.rakli.fi/rakli-tiedottaa/puurakentamisen-edistaminen-edellyttaa-yhteistyota-alan-eri-toimijoilta/> Viitattu 30.4.2021
- [55] Häkkinen, T ja Kuittinen, M. (2020). Kohti vähähiilistä rakentamista Opas arviointiin ja suunnitteluun.
- [56] wwwp5.ymparisto.fi/hankintamappi (2014). Haltia luontokeskus -näyttelytila.
- [57] Tampereen kaupunki (2021). Hankkeen käynnistäminen ja korvaukset. <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/yleissuunnittelu-ja-selvitykset/yhdyskuntarakenteen-ehyettaminen/taydennysrakentaminen-hankkeena/hankkeen-kaynnistaminen.html>.
- [58] Nykänen, E., Häkkinen, T., Kiviniemi, M., Lahdenperä, P., Pulakka, S., Ruuska, A., Saari, M., Vares, S., Cronhjort, Y., Heikkinen, P., Tulamo, T., Tidwell, P. (2017). Puurakentaminen Euroopassa. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8534-2>.
- [59] Avance. Tilaaja päättää – Kunnan ohjauskeinot puun käytön edistämiseksi.
- [60] Laine, J., Puustinen, T., Talvitie, I. ja Junnila, S. (2021). REAL2030 Loppuraportti.
- [61] Matveinen, M. (2014). Biotalous innovaatioympäristöt -Puurakentaminen. Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja C: Raportteja, 18.
- [62] Metsäranta, L. (2020). Asukkaiden mielipiteet puisesta julkisivukorjaus-, lisä- ja täydennysrakentamisesta: Kyselytutkimus Helsingin Pukinmäen asuinalueella.
- [63] Norvasuo, M. (2021). Puuta näkyvissä! Puurakentamisen ulkoisvaikutukset asukkaiden ja muiden toimijoiden käsityksiin alueista Hankeportaalin raporttiyhteenvedo 20.1.2021.
- [64] Turun Sanomat 7.2.2020 Uudisasunnot kiinnostavat asunnonostajia Turun seudulla.
- [65] Valkama, A. (2017). Puun ja betonin yhdistäminen asuinkerrostalorakentamisessa.
- [66] Autio, K. (2020). Puumateriaalin käyttö rakennusmateriaalina.
- [67] LCA Consulting. Woodpolis, Tuupalan puukoulu. Metsäbiopäivä, Kajaani. Diaesitys 10.10.2018