

Puumateriaalin käyttö rakennusmateriaalina

Karoliina Autio

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Rakennustuotanto

AUTIO, KAROLIINA:
Puumateriaalin käyttö rakennusmateriaalina

Opinnäytetyö 46 sivua
Huhtikuu 2020

Tehdyn opinnäytetyön tarkoituksena on parantaa Laukaan kunnan mahdollisuutta hyödyntää puumateriaalia kustannustehokkaasti tulevilla hankkeilla. Opinnäytetyössä käsitellään puumateriaalin ominaisuuksia, investointi- ja elinkaarikustannuksia, puumateriaalin vaikutuksia sisäilmaan, sekä selvennetään puumateriaalin käyttöä ekologisesta näkökulmasta. Tehdyssä työssä on pohdittu ja tuotu esille seikkoja puurakentamisesta, mitkä tukevat teoriaa puurakentamisen lisäämisestä lähivuosina.

Rakennusfysiikan osuudessa käsitellään puumateriaalin ominaisuuksia, ja niiden vaikutuksia puurakentamiseen. Rakennusfysiikalla luodaan pohjaa ymmärtää puumateriaalin käyttäytymistä eri olosuhteissa ja rakenneratkaisuissa. Puumateriaalin kosteuskäyttäytyminen ja paloturvallisuus eivät nykyisin rajaa puumateriaalin hyödyntämismahdollisuuksia rakentamisessa.

Puumateriaalin käytöllä voidaan parantaa sisäilman laatua, ja vaikuttaa rakennuksen käyttäjän kokemukseen. Puumateriaali tasaa huoneilman kosteutta pitäen sisäilman käyttäjälle miellyttävän tuntuisena. Lisäksi sisätiloissa käytetyn puumateriaalin on havaittu laskevan ihmisten stressitasoja. Kuten muutkin rakennusmateriaalit, myös puu voi aiheuttaa negatiivisia vaikutuksia sisäilmaan väärin rakenneratkaisujen ja materiaalivaurioiden vuoksi.

Kustannuksissa puu on kilpailukykyinen betonirakentamisen kanssa. Pienkohteissa puu on käytetyin ja kustannustehokkain materiaali. Puuelementtirakentamisella voidaan saada laskettua työmaakustannuksia isommissakin rakennuskohteissa. Elinkaarikustannuksiltaan puurakenteiset talot eivät poikkea betonirakenteisista rakennuksista. Rakentajien ja suunnittelijoiden tietotaidon parantamisessa puurakentamisen kustannuksia saadaan laskettua rakennuskohteissa.

Puumateriaalin käytöllä rakentamisessa voidaan vähentää ympäristön raskautta. Puu pystyy varastoimaan itseensä hiiltä, joka säilyy puumateriaalissa varastoituneena koko materiaalin elinkaaren ajan. Lisäämällä puurakentamisen käyttöä rakentamisessa voidaan vaikuttaa suuresti ympäristön kuormitukseen.

Asiasanat: puumateriaali, ekologisuus, sisäilma, kustannukset

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Production

AUTIO, KAROLIINA:
Use of Wood Material as a Building Material

Bachelor's thesis 46 pages
April 2020

The aim of the thesis was to examine the investments and life cycle costs of wood materials, so that the municipality of Laukaa can use information to help improve the cost effectiveness of its future projects. By using wood materials, emissions of the environment can be reduced. The main content of the thesis consists of information about the features and costs of wood materials, the effects on indoor air, and how the use of wood material affects environment. This thesis also deals with the issues that support the theory of increasing the use of wood in construction sites.

The part about building physics deals with the properties of wood materials and their effects on wood construction. Building physics provides a basis for understanding the behavior of wood materials in different conditions and structural solutions. Moisture behavior and fire safety of wood material currently do not limit the possibilities of utilizing wood material.

As a material wood is a viable alternative to concrete. Most houses are built of wood and one reason for that is cost-effectiveness. Building costs can be lowered by using wood elements. The lifecycle costs of wooden houses do not differ from concrete houses. As the skills of builders and planners improve, the cost of wood construction can be reduced.

The use of wood material can improve indoor air quality and influence the user experience of a building. The wood material balances the humidity of the room air, keeping the indoor air comfortable for the user. Test results proved that the use of wood materials in the indoor parts of a house reduces the users' stress levels. Like other building materials, wood can also have a negative impact on indoor air due to incorrect structural solutions and material damages.

As the result of the thesis shows, wood is one of the most ecological building materials that are used on construction sites. By using wood as a building material, we can try to control the climate change. A wooden building has a small carbon footprint and it can absorb carbon dioxide from the atmosphere and store it.

Key words: wood material, ecological, indoor air, production costs

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PUU RAKENNUSMATERIAALINA	7
	2.1 Rakennusfysiikka	7
	2.1.1 Kosteus	7
	2.1.2 Lämpö ja lujuus	9
	2.2 Paloturvallisuus	11
	2.3 Kestävyys.....	12
	2.4 Materiaalin valinta	14
	2.5 Akustiikka.....	15
	2.6 Puumateriaalin käyttö.....	16
3	PUUN VAIKUTUS SISÄILMAAN JA IHMISEEN	18
	3.1 Puun vaikutus sisäilman laatuun	18
	3.2 Puumateriaalin käytön positiiviset vaikutukset	19
	3.3 Hengittävä rakenne	20
	3.4 Puumateriaalin käytön negatiiviset vaikutukset.....	21
	3.4.1 Sienet ja mikrobit	23
	3.5 Puumateriaaleista haihtuvat yhdisteet.....	23
4	KUSTANNUKSET	26
	4.1 Puumateriaalien investointikustannukset	26
	4.2 Puumateriaalien elinkaarikustannukset.....	28
5	EKOLOGISUUS.....	30
	5.1 Puumateriaalien valmistus	30
	5.2 Puumateriaalien käyttö.....	30
	5.3 Puu lämmöntasaajana	33
	5.4 Puutuotteiden kierrättäminen	34
	5.5 Puun energiatehokkuus	35
	5.6 Puumateriaalin hiilijalanjälki	35
6	POHDINTA	39
7	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET.....	43

ERITYISSANASTO

Absorptiomateriaali	Materiaali, joka eristää ääntä
Bs1	Paloluokka, joka sisältää lisäluokan s1
CLT	Monikerroslevy eli CLT koostuu toisiinsa nähden ristikkäin asetetuista lautalevyistä.
d0	Paloluokituksen lisäluokka, jossa palavia pisaroita tai osia ei saa esiintyä
Energiajakeet	Puutuotteiden valmistuksessa erottuvat sivutuotteet, kuten kuori ja sahanpuru
Faasimuutos	Materiaalin sitoman kosteuden ja lämpötilan vaihtelu
Formaldehydi	Reaktiivinen yhdiste, joka esiintyy kaasumuodossa
Genomi	Geeniperimä
Hiilinielu	Tuote tai materiaali varastoi itseensä hiilidioksidia
Hygroskooppinen	Vettä imevä ja luovuttava aine ilman suhteellisen kosteuden vaihtelun mukaan
Kosteusvaurio	Veden aiheuttama vaurio rakenteeseen
Kuivaketju	Toimintamalli, jolla pyritään estämään kosteusvaurioiden syntyminen estämällä materiaalin kastuminen
Radon	Radioaktiivinen hajuton ja näkymätön jalokaasu
Tasapainokosteus	Tila, joka vastaa ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa, jossa puun kosteus pysyy vakiona
Terpeeni	Kasveissa ja eläimissä esiintyviä yhdisteitä, jotka sisältävät hiiltä ja typpeä

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö toteutetaan Laukaan kunnalle, jotta kunta pystyisi hyödyntämään puurakentamista mahdollisimman tehokkaasti. Puumateriaalin käytön hyödyt rakentamisessa, tulevat seuraavien vuosien aikana korostumaan entisestään. Ekologisuutensa vuoksi puu on ympäristöystävällinen materiaali, ja tuotekehityksen myötä puu pystyy tarjoamaan hyvän kilpailijan betonille.

Yhteiskunta on tilanteessa, jossa ilmastonmuutosta tulisi saada hidastettua tai jopa pysäytettyä kokonaan. Puumateriaalin käyttö tarjoaa rakennuttajille hyvän tilaisuuden vaikuttaa ympäristöön. Puutuotteiden valmistaminen ja kierrättäminen aiheuttavat huomattavasti pienemmät päästöt ympäristöön, verrattuna muun muassa betoniin. Koska puu pystyy varastoimaan itseensä hiiltä koko elinkaarensa ajan, säilyvät puumateriaalin hiilinielut niin kauan kuin puumateriaali on käytössä.

Opinnäytetyössä selvitetään puumateriaalin käytön vaikutuksia sisäilmaan, niin pinta- kuin rakennemateriaalina. Työssä käsitellään lisäksi puumateriaalin käytön investointi- ja elinkaarikustannuksia, ja sivutetaan puun käyttöä ekologisesta näkökulmasta. Teoreettisella osuudella rakennusfysiikasta luodaan pohjaa käsitellä ja ymmärtää puumateriaalin käyttäytymistä paremmin.

Tehtävän opinnäytetyön tavoitteena on tuoda esille puun käytön positiivisia vaikutuksia niin rakentamisen näkökulmasta, kuin käyttäjän ja ympäristön. Elinkaari- ja investointikustannuksia ei ole lähdetty laskennallisesti esittämään. Jokaisen rakennuksen kustannukset muodostuvat työmaakohtaisesti, eikä siten yksittäisten tuotteiden hintavertailu anna kustannuksista oikeanlaista tietoa.

Opinnäytetyössä käsitellään puutuotteita ja puumateriaaleja. Puutuotteista tullaan opinnäytetyössä puhumaan yleisesti, eikä eri puutuotteiden ominaisuuksia tulla käsittelemään syvällisesti. Käsitteilyn ulkopuolelle jätetään lisäksi kokonaan puupohjaiset tuotteet.

2 PUU RAKENNUSMATERIAALINA

2.1 Rakennusfysiikka

2.1.1 Kosteus

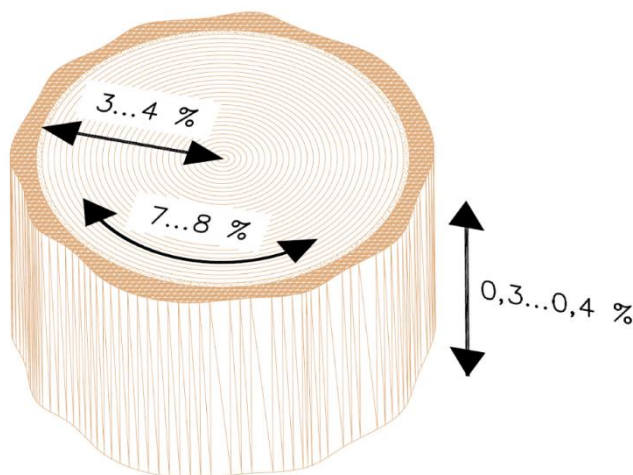
Puumateriaalin kosteuden ylittäessä pitkän ajan 20 prosentin, alkaa materiaali vaurioitumaan (Puuinfo Kosteusteknisiä ominaisuuksia). Puulle on mahdollista tehdä kemiallinen suojaus, mikäli puu joudutaan sijoittamaan ympäristöön, jossa edellä mainittu vaatimus ei täyty. Kemiallisia suojauksia ovat muun muassa ruis-kutettavat ja siveltävät puunsuoja-aineet. (Puuinfo Oy, Ominaisuuksien muuttaminen.)

Kosteuden tulee pysytä liikkumaan rakenteessa ja sen läpi vapaasti. Mikäli kosteuden liike rakenteessa estyy, tiivistyy kosteus rakenteen pinnalle aiheuttaen pidemmällä aikavälillä kosteusvaurion rakenteeseen. Väärin asennettu höyrynsulkumuovi on yksi esimerkki rakenteen kohdasta, johon kosteus alkaa tiivistymään.

Ympäriöivän ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 80-90% ja puun kosteuden pitoisuuden ollessa kauan yli 20%, alkaa puu homehtua. Homehtuminen vaatii, että ympäristön ilman suhteellinen kosteus pysyy yli 80-90 prosentissa muutamman kuukauden ajan. Ilman suhteellisen kosteuden noustessa yli 90% arvon alkaa puu lahoamaan. Puun homehtuminen ja lahoaminen vaativat, että ilman lämpötila on +0 ja + 40 celsiusasteen välillä. Puun lujuuteen home ei vaikuta, sillä home jää puun pinnalle. (Puuinfo Oy, Kosteusteknisiä ominaisuuksia.)

Puu on hygroskooppinen aine ja siksi puun massan pitoisuus vaihtelee puun kosteuspitoisuuden mukaan. Arkikielessä käytetään termiä ”puu elää”, jolla tarkoitetaan kosteuspitoisuuden vaihtelusta aiheutuvia puun massan vaihtelua. Arkipäivän ilmiö ilmiöstä on esimerkiksi varaston puisenulko-oven turpoaminen keväisin, jolloin ovi on vaikeampi avata ja sulkea.

Kuvassa 1 havainnollistetaan sitä, kuinka paljon puu kuivaa täysin märästä absoluuttisen kuivaksi. Puiden syiden suunnassa kutistumista tapahtuu 0,3-0,4%, säteen suunnassa 3-4% ja tangentin suunnassa noin 7-8%. (Puuinfo, Kosteusteknisiä ominaisuuksia) Mikäli kutistumisia ei ole rakennusaikana huomioitu, voi puisissa rakenteissa ilmetä rakoja ja halkeamia. Halkeamat ja raot ovat esteettinen haitta, mutta lisäksi niillä on vaikutusta alentavasti puumateriaalin lujuuteen.



KUVA 1. Puun kutistuminen (Puuinfo Oy, Kosteusteknisiä ominaisuuksia)

Erilaisille puutavaroille on annettu omat suosituksensa siitä, mikä puutavaran tasapainokosteus tulisi olla varastoinnin, kuljetuksen ja asennuksen aikana (Puuinfo Oy, Puun kosteuskäyttäytyminen, 2011, 3). Puumateriaalin tasapainokosteus ei saisi muuttua materiaalin valmistuksen jälkeen missään vaiheessa. Tasapainokosteuden palautuminen halutulle tasolle voi kestää jopa viikon, riippuen puun paksuudesta. (Puuinfo Oy, Puun kosteuskäyttäytyminen. 2018,3.) Tasapainokosteuden poiketessa suosituksesta altistuu puu vaurioitumiselle, joka näkyy esimerkiksi halkeiluna

Puutuotteiden toimituskosteudet ja varastointikosteudet voivat todellisuudessa kuitenkin poiketa suositellusta tasapainokosteudesta. Kuten kuvasta 2 voidaan havaita, puun tasapainokosteus on sitä pienempi, mitä näkyvimpiin rakenteisiin puumateriaali asennetaan. Esimerkiksi lattiaverhouksessa käytettävällä puumateriaalilla on 14 % pienempi suositus tasapainokosteudesta, kuin runkotavaralla. Puulattiassa pienetkin rakoilut ja halkeamat ovat kuluttajalle epämiellyttäviä.

TASAPAINOKOSTEUS (suositus)	
Runkotavara	≤ 24 %
Ulkoerhous	≤ 18 %
Sisäerhous	≤ 16 %
Lattiaverhous	≤ 10 %

KUVA 2. Puun tasapainokosteus (Puuinfo Oy, Puun kosteuskäyttäytyminen)

Kosteusolosuhteet puutavaralle pitäisi olla varastoinnin aikana samat, kuin tiilassa, jonne materiaali asennetaan. Sisätiloihin tarkoitettujen puumateriaalien pakkauksia ei saa avata ennen kuin materiaalit on siirretty sisätiloihin. Puutavaran varastoinnissa on aina noudatettava valmistajan antamia ohjeita. (Puutava-raopas 2019, 17.)

2.1.2 Lämpö ja lujuus

Puun kosteuden muuttumisen mukana muuttuvat puun jäykkyys- ja lujuusominaisuudet. Tämän vuoksi suunnittelussa puumateriaali on jaettu kolmeen eri käyttöluokkaan, jossa jokaisessa on määritetty puumateriaalille eri tasapainokosteudet. Käyttöluokat jaetaan puumateriaalin käyttötarkoituksen mukaisesti: lämmitetyt sisätilat, katetut puurakenteet lämmittämättömässä tilassa ja puurakenteet, jotka eivät kuulu aiemmin mainittuihin luokkiin. (Puuinfo Oy, Puun kosteuskäyttäytyminen. 2018, 5.)

Puun huokoisuus aiheuttaa sen, että puumateriaalinen lämmönjohtavuus on vähäinen. Lämmönjohtavuus paranee silloin kun puumateriaalin kosteuspitoisuus nousee ja materiaalin huokoisuus vähenee. (Puuinfo Oy, Lämpötekniisiä ominaisuuksia.) Kuiva puumateriaali toimii hyvin lämmöneristeenä. Sahanpurua käytettiin entisaikaan pientalojen lämmöneristeenä seinässä ja yläpohjassa. Nykyään sahanpurun käytön eristeenä on korvannut eri rakennusvillat.

Mitä tiheämpää puu on, sen paremman lujuuden se saavuttaa. Oksakohdat puumateriaaleissa ovat aina materiaalin lujuudelta heikoimpia kohtia. Tämän vuoksi on puumateriaaleja lajiteltu eri luokkiin sen mukaan, kuinka paljon materiaalissa saa olla oksankohdia. (Puuinfo Oy, Lujuusteknisiä ominaisuuksia.) Puumateriaalin lujuuden on havaittu kasvavan, kun puumateriaalin lämpötila laskee. Toistuvat lämpötilanvaihtelut puussa, kuitenkin vähentävät puun lujuutta. (Puuinfo Oy, Lämpötekniisiä ominaisuuksia.) Lämpötila vaikuttaa siten myös puusta valmistettujen Kerto-tuotteiden lujuusominaisuuksiin. Tuotteiden lujuus pienenee 50% verran, kun lämpötila nousee 20-100 °C. (Metsä Wood, Lämpötekniisiä ominaisuuksia, 2015.)

Kuusella, koivulla ja männyllä puun tiheys on korkeampi puun reunoille mentäessä, kuin varsinaisessa sydänpuussa. Puun lujuuteen ja estävyyteen vaikuttaa olennaisesti se, missä suunnassa syitä vastaan puumateriaalia kuormitetaan. Homogeenisellä ja virheettömällä puulla taivutuslujuus on vetolujuuden kanssa saman suuruinen. Suoraan syiden suuntaan puumateriaalia kuormittaessa taivutuslujuus on suoraan verrannollinen puun tiheyden kanssa. (Puuinfo Oy, Lujuusteknisiä ominaisuuksia.) Puutuotteiden lämpölaajeneminen on niin vähäistä, että se voidaan yleisesti jättää kokonaan huomioimatta.

Kaikki lujuusluokat	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Suomessa yleisimmät lujuusluokat			X			X		X	X	X		

TAULUKKO 1. Lujuusluokat, EN 338-standardi (Puutavaraopas 2019, 20)

Kaikki lujuusluokat	T0	T1	T2	T3
Vastaavuus EN 338 kanssa	C14	C18	C24	C30

TAULUKKO 2. Lujuusluokat, INSTA 142 -standardi (Puutavaraopas 2019, 20)

Yhteispohjoismainen INSTA 142 -standardi vastaa EN 338 – standardin mukaisia C-lujuusluokkia. Puutavaran lajittelu lujuusluokkiin tapahtuu koneellisesti. (Puuinfo Oy, Sahatavaran lujuuslajittelu.) Rakennesuunnittelija määrittelee rakennepiirustuksiin, minkä lujuusluokan puutavaraa käytetään rakennuksen missäkin osassa. Lujuusluokan kasvaessa myös puutavaran lujuus kasvaa.

2.2 Paloturvallisuus

Puukerrostaloja on kritisoitu puun paloteknisten ominaisuuksien takia. Puun ollessa palavamateriaali, on puukerrostaloihin aina asennettava automaattinen sammutusjärjestelmä. Sammutusjärjestelmässä vesisumu toimii sammutusjärjestelmässä sammuttavana aineena. Hyötynä tässä on se, ettei vesi kastele asuntoja, ja pääse imeytymään ja siirtymään rakenteisiin aiheuttaen kosteusvaurioita. (Puuinfo Oy, Puukerrostalon suunnittelu.) Tällä keinolla saadaan pidettyä rakennuksen terveellisyys ja käyttöikä mahdollisimman pitkänä.

Kertopuu on valmistettu liimaamalla havupuuvuiluista puulevy- ja palkkituotteita. Suuren lujuutensa vuoksi kertopuu soveltuu käytettäväksi muun muassa vaativiin kantaviin rakenteisiin. (Puukeidas, Kertopuupalkit/ Oulu.) Kertopuusta valmistetut tuotteet on luokiteltu palaviksi. Tuote syttyy palamaan, kun lämpötila on noin 270 °C ja se on altistettuna liekille. Spontaani kertopuun syttyminen vaatii kuitenkin 400°C lämpötilan. (Metsä Wood, 2015.)

Puun syttymislämpötila on 250-300 °C. Puun syttymiseen vaikuttaa kauanko puumateriaali on altistuneena lämmölle. Puun syttyä palamaan, se hiiltyy 0,8 mm verran minuutissa. Syntynyt hiilikerros suojaa puuta palolta, joten massiivisessa puutavarassa palon eteneminen voi olla hidasta. (Puuinfo Oy, Lämpötekniisiä ominaisuuksia.)

Puukerrostaloja voidaankin siten pitää turvallisina rakennuksina. Ihmiselle vaaralliset kaasut syntyvät tulipalossa jo sisustuksen palamisessa. Sisustuksen palamisesta syntyvät kaasut ja yhdistelmät yksistään aiheuttavat jo ihmisen menettämisen, ennen kuin tulipalo ehtii leviämään runkorakenteisiin. Pinnoitteet kalus-

teissa ja lattiassa syttyvät herkästi palamaan ja aiheuttavat palokaasuja. Puunpalamisesta syntyvät palokaasut eivät myöskään ole yhtä myrkyllisiä, kuin muovipalamisesta syntyvät palokaasut (Heino Petri, Haastattelu 30.01.2020.)

2.3 Kestävyys

Puusta valmistetaan eri ominaisuuksilla olevia puutuotteita. Puumateriaalin kestävyteen vaikuttaa, käytetäänkö materiaalia sen käyttötarkoituksen mukaisesti, onko materiaali käsitelty oikealla tavalla ja millä olosuhteille materiaali on altistuneena. Puu on tällä hetkellä ainut materiaali, joka pystyy olemaan yhtä aikaa kantava ja lämpöä eristävä rakennusmateriaali (Rakentaja.fi, 2006.)

Puutuotteiden kestävyys määräytyy koko materiaalin elinkaaren ajalta. Puumateriaalien varastointi, käsittely, ikä, altistusolosuhteet ja ympäristö määräävät hyvin pitkälti sen, kuinka kestävä puumateriaalista valmistettavasta puutuotteesta tulee. Puutuotteessa käytetty puulaji määrittää sen, mitkä ominaisuudet muun muassa kestävyden ja työstettävyyden osalta puutuote saa (Viitanen, 8.)

Käytettävä puutavara tulee valita siten, että se soveltuu käyttötarkoitukseen. Puu voidaan luokitella viiteen eri käyttöluokkaan sen biologisen rasituksen kannalta. Luokat 1 ja 2 ovat kestävimät luokitukset, ja vastaavasti luokka 5 sisältää ei kestäviä puulajit. Biologisia rasituksia ovat esimerkiksi: termitit, hyönteiset, sienet, lahosienet ja merituholaiset. Lisäksi puun kestävyteen vaikuttaa puun vedenläpäisevyyskyky. Kuusi valitaan usein julkisivumateriaaliksi, koska puun kuivussa solujen huokoiskalvot sulkeutuvat ja estävät veden läpäisevyyden. (Viitanen, 2-8.)

Taulukoon 3 on koottu puun kestävyysluokat EN 350-2. Puumateriaalin käyttöiän ja käyttökohteen perusteella taulukosta voidaan katsoa, minkä kestävyysluokan puumateriaalia kyseiseen kohteeseen tarvitaan. Oikean kestävyysluokan valinnalla varmistetaan, ettei puumateriaali pääse vaurioitumaan käytössä. Taulukosta voidaan havaita, että puun luontainen kestävyys on riittävä kuiviin sisätiloihin ja lähes kaikkiin kohteisiin ulkona, kun puu on säältä suojattu.

Käyttöikä	Käyttöolokuvaus (EN 335)	Puun kestävyysluokka (EN 350-2)				
		1	2	3	4	5
1	Sisätila, kuiva	0	0	0	0	0
2	Ulkona, säältä suojattu	0	0	0	(0)	(0)
3	Ulkona, säälle altis	0	0	(0)	(0)-(X)	(0)-(X)
4	Maakosketus	0	(0)	(X)	X	X
5	Valtamericosketus	0	(X)	(X)	X	X

Taulukon selitykset:

0	Puun luontainen kestävyys riittävä
(0)	Puun luontainen kestävyys normaalisti riittävä, mutta joissakin käyttökohteissa puun suojaus tarpeen (pintakäsittely usein riittävä suojaus)
(0)-(X)	Puun luontainen kestävyys voi olla riittävä, mutta puulajista riippuen puun suojaus voi olla välttämätön (suojausmenetelmä voi vaihdella: kyllästys, pintakäsittely).
(X)	Puun suojaus (kyllästämisen) on normaalisti tarpeen, mutta joissakin käyttöoloissa puun luontainen kestävyys voi olla riittävä
X	Puun kyllästämisen on välttämätöntä

TAULUKKO 3. Puun kestävyysluokitukset (Viitanen, 3)

Puu voi vaurioitua mekaanisesti, kemiallisesti tai biologisesti. Biologinen vaurioituminen on mahdollista sen jälkeen, kun puun pintarakenne on vaurioitunut mekaanisen vaurion takia. Mekaaninen vaurioituminen näkyy esimerkiksi: murtumina, halkeamina ja ruhjoutumina. (Hirsi 2016,13.) Vaurioitumisen jälkeen puumateriaalin ominaisuudet heikkenevät. Puumateriaali joudutaan poistamaan kokonaan käytöstä, mikäli vaurioitunutta materiaalia ei voida hyödyntää toisessa käyttötarkoituksessa.

Puumateriaalin ligniinipitoisuus alentuu puuaineen altistuessa auringon UV-valolle. Tämä edistää mikrobikasvujen syntymistä, mikä puolestaan nopeuttaa puun hajoamista. Vauriot näkyvät puumateriaalissa materiaalin värin vaihtumisena. Alun perin vaaleat puumateriaalit tummuvat ja vastaavasti alun perin tummat puumateriaalit vaalenevat altistuessaan auringon UV-valolle. Lisäksi puumateriaalissa voi esiintyä halkeamia, kiillon häviämistä ja pinnan karheutumista. (Hirsi 2016,14.) Auringon UV-valon aiheuttamat haitat ovat lähinnä esteettisiä, mutta kuluttaja kokee kyseiset muutokset usein todella häiritseviksi. Tämän vuoksi kuluttaja valitsee asuntoonsa muita materiaalivaihtoehtoa, tai käsittelee puumateriaalin pintakäsittelyaineilla, jotka peittävät puun luontaisen värin.

2.4 Materiaalin valinta

Markkinoilla on tarjolla monia eri puutuotteita. Puusta valmistetaan muun muassa: kertopuuta, vaneria, lastu- ja kuitulevyjä, viiluja, sahatavaraa ja kyllästettyä puuta. Puutuotteiden ominaisuudet määräävät sen, mihin kyseistä tuotetta rakentamisessa voidaan käyttää. Alla olevissa taulukoissa 4 ja 5 on esitetty käsiteltyjen puulajien soveltuvuus eri käyttökohteisiin ja EN335-1 mukaiset käyttösuhdeluokat.

Puulaji	Luokka 4	Luokka 3	Luokka 2	Luokka 1
MÄNTY	Listat Keittiökaapistot Seinäpaneelit Lattialaudat Huonekalut	Listat Keittiökaapistot Pystypuulattiat Seinäpaneelit Huonekalut	Keittiökaapistot Katetut terassilattiat Saunan seinäpaneelit	Ikkunat Ulkoseinäverhoukset Kattamatomat terassilattiat Meluaidat Piha-aidat
KUUSI	Ulkoseinäverhoukset	Ulkoseinäverhoukset Seinäelementit	Meluaidat Piha-aidat	Meluaidat Piha-aidat
KOIVU	Listat Keittiökaapistot Seinäpaneelit Huonekalut Sisälattiat	Leikkuulaudat Huonekalut Sisäseinä-paneelit Keittiökaapistot Veistotyöt Sisälattiat	Pihakalusteet Huonekalut Sisäseinä-paneelit Keittiökaapistot Veistotyöt Tiskipöydän kannet	
HAAPA	Saunan lauteet Saunan paneelit Veistotyöt Sorvaustyöt Huonekalut	Saunan lauteet Saunan paneelit Veistotyöt Sorvaustyöt Huonekalut		

TAULUKKO 4. Käsitellyt puulajit ja niiden soveltuvuus erilaisiin käyttökohteisiin (Torniainen, 10).

Käyttöolosuhdeluokka	Puun kosteus	Kosteuden kesto	Olosuhde
1	pysyvästi < 20 %	Pysyvästi kuiva	Maan yläpuolella, katetussa tilassa
2	satunnaisesti > 20%	Alttius tilapäiseen kastumiseen	Maan yläpuolella, kastumisvaara
3	toistuvasti > 20%	Toistuva kastuminen	Maan yläpuolella, kattamattomissa rakenteissa
4	jatkuvasti > 20 %	Jatkuva kosteus	Maa- tai vesikosketuksissa
5	jatkuvasti > 20 %	Jatkuva suolainen kosteus	Merivesirakenteissa

TAULUKKO 5. EN335-1 mukaiset käyttösuhdeluokat (Torniainen, 11).

Luokkaan 1 kuuluvat lämpökäsitellyt puut ovat saaneet lämpökäsittelyn, jossa käsittelylämpötila on ollut yli 270 °C. Korkea lämpötila on aiheuttanut sen, että

puun ominaisuudet ovat lämpökäsittelyssä muuttuneet paljon. Käsittelystä aiheutuu se, että puun lahonkestävyys on parantunut, mutta halkaisulujuus on pienentynyt. (Torniainen, 10.)

Luokkaan 2 kuuluvilla puilla on suhteellisen hyvä lahonkesto, mutta vielä hyvä työstettävyys. Puumateriaalit ovat käsittelyssä käsitelty 210-229 °C lämpötilassa. Lisäksi puristuslujuus on kasvanut, mutta veto-, taivutus- ja halkeilulujuus ovat käsittelyssä heikentyneet. (Torniainen, 10.)

Luokkaan 3 kuuluvat puumateriaalit ovat käsitelty 190-209 °C lämpötilassa. Puumateriaalilta kyseisessä lujuusluokassa tavoitellaan hyviä lujuus- ja kosteuselämisominaisuuksia niissä puitteissa, mitä lämpökäsittelyllä saadaan aikaiseksi. (Torniainen, 10.)

Luokassa 4 puumateriaalit ovat lämpökäsitelty kaikista alhaisimmassa lämpötilassa. Käsittelyn lämpötila jää alle 190 °C. Käsittelyssä materiaalille ei tapahdu suuria muutoksia ja huomattavin muutos on puun värin tummuminen.

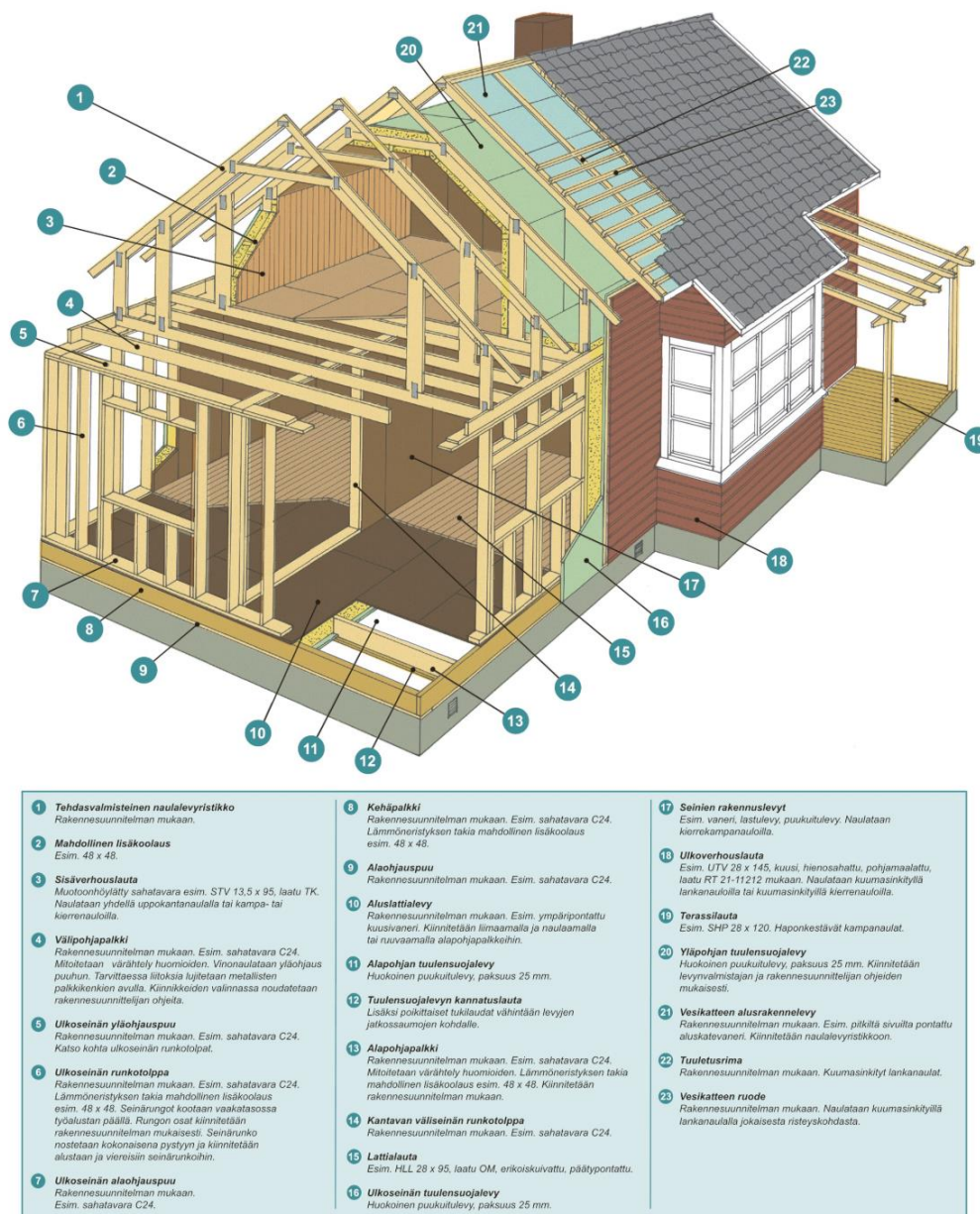
2.5 Akustiikka

Yksistään puu ei ole hyvä absorptiomateriaali. Puun ollessa kevyt materiaali, päästää se helposti ääntä lävitseen. Puumateriaali ei sileän pintansa vuoksi erityisen hyvin vaimenna ääntä, vaikka materiaalin paksuutta nostettaisiin. (Puuinfo Oy, Äänitekniisiä ominaisuuksia.) Puulla on hyvät akustiset ominaisuudet ja siksi sen käyttöä suositellaan käytettäväksi esimerkiksi päiväkodeissa ja kouluissa vaimentamaan ja osastoimaan ääntä. (Haavisto ym. 2014, 10)

Puurakennukseen on mahdollista saavuttaa hyvä ääneneristys monikerrosrakenteiden avulla. Tämän mahdollistaa levyn tai paneloinnin taakse jätettävä ilmaväli ja huokoinen absorptiomateriaali. Monikerroksisissa puutaloissa on kiinnitettävä huomiota äänikatkoihin. Asukkaat kokevat häiritsevimmäksi asiaksi yleensä askeläänien kuuluminen välipohjan lävitse. Välipohjan paksuutta kasvattamalla tai käyttämällä välipohjan päällä kelluvia pintalattioita voidaan askelääneneristävyyttä parantaa huomattavasti. Tällöin myös häiritseväksi koetut askeläänit vaimentuvat alemmassa kerroksessa. (Puuinfo Oy, Äänitekniisiä ominaisuuksia.)

2.6 Puumateriaalin käyttö

Puutalo voidaan rakentaa puolet nopeammin perinteisiin rakennusmetodeihin verrattuna. Puuteollisuus tarjoaa useita vaihtoehtoja, joista saadaan valittua kuhunkin rakennusprojektiin optimaaliset materiaalit. Puumateriaalia käytetään runko- ja pintamateriaalien lisäksi paljon myös muun muassa ovissa ja ikkunoissa. (Puutavaraopas 2019, 70.)



KUVA 3. Pientalon puuosat (Puuinfo Oy, Puutavaraopas, 78)

Puuta käytetään hyvin paljon, varsinkin pientalorakentamisessa. Puu soveltuu käytettäväksi uudis- ja korjauskohteissa ja lisäksi yhdessä toisten materiaalien

kanssa. Kuvassa 3 on esitetty pientalosta 23 rakennetta, jotka ovat tehty puusta. Puulle, kuten kaikille muillekin rakentamisessa käytettäville materiaaleille on laskettava, kuinka paljon ja millaista kuormitusta rakenteet kestävät. Kuormia lasiessa tulee huomioida rakenteiden omapaino, tuuli- ja lumikuorma, sekä rakennuksen hyötykuorma. Hyötykuorma syntyy rakennuksen käyttäjistä ja rakennukseen sijoitettavista tavaroista, kuten kiintokalusteista.

Puumateriaalien varastoinnilla on suuri merkitys materiaalin säilyvyyteen ja kestävyteen. Työmaalla ja välivarastoinnissa sahatavara tulisi aina varastoida siten, että varastointipaikka on tukevalla ja kuivalla alustalla. Puutavara ei saa olla kosketuksissa maan kanssa. Lisäksi puutavaran on oltava tuettuna 1,5 metrin välein, jottei materiaali taivu. Alustan tulisi olla 30-50cm irti maan pinnasta, jotta riittävä tuuletusrako saadaan aikaiseksi. Puumateriaali ei saa päästä kastumaan missään vaiheessa varastointia. Suojausten on oltava sellaiset, että puutavara pääsee kuitenkin tuulettumaan. (Puutavaraopas 2019, 17.) Mikäli kastunutta puutavaraa käytetään rakentaessa, altistuu rakennus jo rakennusvaiheessa kosteudelle. Jollei kastunut puumateriaali pääse kuivumaan rakennusvaiheessa, aiheuttaa kastunut materiaali myöhemmin kosteusvaurion rakenteeseen.

3 PUUN VAIKUTUS SISÄILMAAN JA IHMISEEN

3.1 Puun vaikutus sisäilman laatuun

Puhdas ja raikas sisäilma edistää toimintakykyä ja terveyttä, ja vastaavasti huono sisäilma heikentää niitä. Lisäksi huono sisäilma nostaa riskiä sairastua esimerkiksi astmaan (Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. Sisäilma 2019.)

Sisäilman laatu voidaan kokea hyvin erilaiseksi riippuen ihmisestä. Osa ihmisistä reagoi voimakkaastikin sisäilmaan, vaikka he olisivat vain lyhyen ajan kyseisessä tilassa. Vastaavasti osa ihmisistä ei saa ollenkaan oireita saman rakennuksen sisäilmasta. Koivusta valmistetut puutuotteet eivät vapauta huoneilmaan terpeenejä, kun taas havupuut tuoksuvat voimakkaammin huoneilmassa. Lopulta hyvin pieni osa ihmisistä on allergisia puulle. Allergiset oireet yhdistetään helposti puuhun, sillä esimerkiksi juuri havupuu voi tuoksua huoneilmassa. Todellisuudessa ihmiset allergisoituvat kuitenkin muille rakentamisessa käytetyille materiaaleille, kuten liimoille. (Heino, haastattelu 2020.)

Nykypäivän ihminen viettää suurimman osan ajastaan sisätiloissa. On arvioitu, että sisällä vietetty aika kattaa 90% ihmisen päivästä. Täten sisäilman laatuun tulee kiinnittää entistä tarkempaa huomiota. Kemikalisoituminen on yksi tämän hetken ongelmista, jolla on vahvasti vaikutusta myös ihmisiin ja heidän hyvinvointiinsa. Sisäympäristöön ja sisäilmaan kemikaalit tulevat pääsääntöisesti irtotavaroista ja huonekaluista. (Heino, haastattelu 2020.)

Sisäilman laadun kannalta puu on parempi rakennusmateriaali kuin betoni. Betonin valmistusreseptejä ei kerrota julkisesti, jolloin ei voida olla varmoja siitä, mitä kemikaaleja on betoninvalmistuksessa käytetty. Betoni saattaa lisäksi säteillä radonia, mikäli betoninvalmistuksessa on käytetty soraa, joka on peräisin radonalueelta. (Heino, haastattelu 2020.) Vastaavasti puumateriaalia käyttäessä ei kohdata samaa ongelmaa radonin kanssa.

Puu on eloperäinen aines ja väärissä olosuhteissa käytettynä puu alkaa lahota. Puun lahoamisen aiheuttavat mikrobit aiheuttavat useimmille ihmisille terveydellisiä ongelmia. Rakenneratkaisujen on oltava sellaisia, etteivät ne aiheuta vaurioita käytettyihin materiaaleihin. Puu ei sovellu käytettäväksi sellaisissa olosuhteissa, jossa se pääsee kastumaan, mutta ei kuivumaan. Puiset rakenneosat, jotka ovat alttiudessa kosteudelle, tulee käsitellä siten, että puumateriaalin päälle muodostuu vettä hylkivä kalvo.

3.2 Puumateriaalin käytön positiiviset vaikutukset

Kosteuspuskuroinnin ansioista puupinnat auttavat tasaamaan sisäilman vuorokautista kosteudenvaihtelua, pitäen kosteuspitoisuuden tasaisempana. Koska puu on hygroskooppinen materiaali, se pystyy sitoa kosteutta itseensä ja myös vapauttamaan sitä. Puun kosteuspuskurointiin vaikuttaa se, millä tavalla puuta on käsitelty. Paras kosteuspuskurointikyky on puulla, jota ei ole käsitelty. (Puuinfo Oy, Puu sisäilman kosteuden tasaajana.) Puumateriaalia voidaan pitää materiaalina, jonka avulla voidaan rakentaa ilmanlaadultaan terveellisiä taloja. (Haavisto ym. 2014, 4).

Sisäilman kosteuden on havaittu pysyvän optimaalisella alueella terveyden kannalta, kun sisäpintojen materiaalina on käytetty mahdollisimman paljon puuta. Optimaalinen sisäilman kosteus ihmiselle on 35-55%. (Haavisto ym. 2014, 6.) Optimaalisen kosteuden määritelmässä on kuitenkin eroja. Petri Heino määritteli optimaalisen huoneilman kosteudeksi 40-70- prosenttia (Heino, haastattelu 2020).

Tutkimuksissa on havaittu puumateriaalin käytöllä olevan fysiologisia ja psykologisia vaikutuksia ihmisiin. On myös havaittu, että ihmisen koskettaessa esimerkiksi huoneenlämpöistä alumiinia tai terästä, aiheuttaa kosketus stressireaktion elimistössä. Vastaavaa reaktiota ei tapahdu, kun ihminen koskettaa huoneenlämpöistä puumateriaalia. (Puutavaraopas 2019, 71.) Havupuista haihtuvien alfa- ja betapineenien yhdisteiden on todettu alentavasti vaikuttavan ihmisten stressitasoihin. Yhdisteet edesauttavat myös ihmisen immuunipuollustuksen aktivoitumista. (Haavisto ym. 2014, 7.)

Kokeissa, joissa on mitattu ihmisen elimistön stressitasoja ihon sähkönjohtavuus kyvyllä mitattuna, on havaittu stressitasojen työntekijöillä olevan pienimmillään, kun he ovat puisilla huonekaluilla kalustetussa toimistossa. Koulussa on havaittu vastaava reaktio oppilailla luokkahuoneissa, joissa on käytetty puumateriaalia. Puumateriaalin käyttäminen rakennusten sisätiloissa vaikuttaa myös ihmisten sosiaaliseen käyttäytymiseen ja toisista ihmisistä tekemiin havaintoihin. Tällöin käyttäytyminen on vuorovaikutuksessa sosiaalisempaa ja havainnoit toisista ihmisistä ja työntekijöistä ovat positiivisempia. (Puutavaraopas 2019, 71.)

Puupintoja käyttämällä asunnossa voidaan säästää energiaa. Puupinnat toimivat lämmöntasaajina, koska ilmankosteuden faasimuutoksessa vapautuu lämpöä. Koska puumateriaali pystyy hygroskooppisena materiaalina säätelemään huoneilman kosteuspitoisuutta, vähentää puumateriaalin käyttö sisätiloissa ilmanvaihdon kuormia. Ilmanvaihdon kuormat vähenevät, kun ilmanvaihdon ei tarvitse olla isolla teholla, jotta huoneilman kosteuspitoisuus saataisiin tasoitettua. Verrattuna betoniin puun kosteuspuskurointikyky on kolminkertainen. (Puuinfo Oy, Puupintojen vaikutukset lämmöntasaajana.)

Puumateriaalin toiminta lämmöntasaajana perustuu piilevään lämpöön. Piilevä lämpö muodostuu, kun ilmankosteus sitoutuu puurakenteeseen. Reaktiosta aiheutuva lämpötilanmuutos aiheutuu, kun kosteus imeytyy tai haihtuu puusta. Kosteuden haihtuessa puunpinnan lämpötila laskee. Lämpötila vastaavasti nousee, kun puu imee itseensä kosteutta. (Puuinfo Oy, Puupintojen vaikutukset lämmöntasaajana.)

3.3 Hengittävä rakenne

Puista tehdyt rakenteet ovat hengittäviä, mikäli ne ovat rakennettu ja suunniteltu oikein. Hengittävä rakenne on ulkoseinän rakenne, joka sallii diffuusiona sisäilman kaasujen osapaineen tasoittumisen lävitseen. Rakenteen hengittäminen ei tarkoita, että rakenteen läpi kulkisi ilmavirtaus. Hengittävässä rakenteessa ei tunnu ilmavirtausta ja rakenne on ilmatiivis. (Puuinfo Oy, Hengittävä rakenne.)

Hengittävän rakenteen terveellisyys johtuu siitä, että sisäilman hiilidioksidi pääsee poistumaan rakennuksesta ilmanvaihdon lisäksi ulkoseinärakenteen lävitse. Samalla ulkoseinän lävitse pääsee happea sisäilmaan, sieltä poistuneen hiilidioksidin tilalle. (Puuinfo Oy, Hengittävä rakenne.)

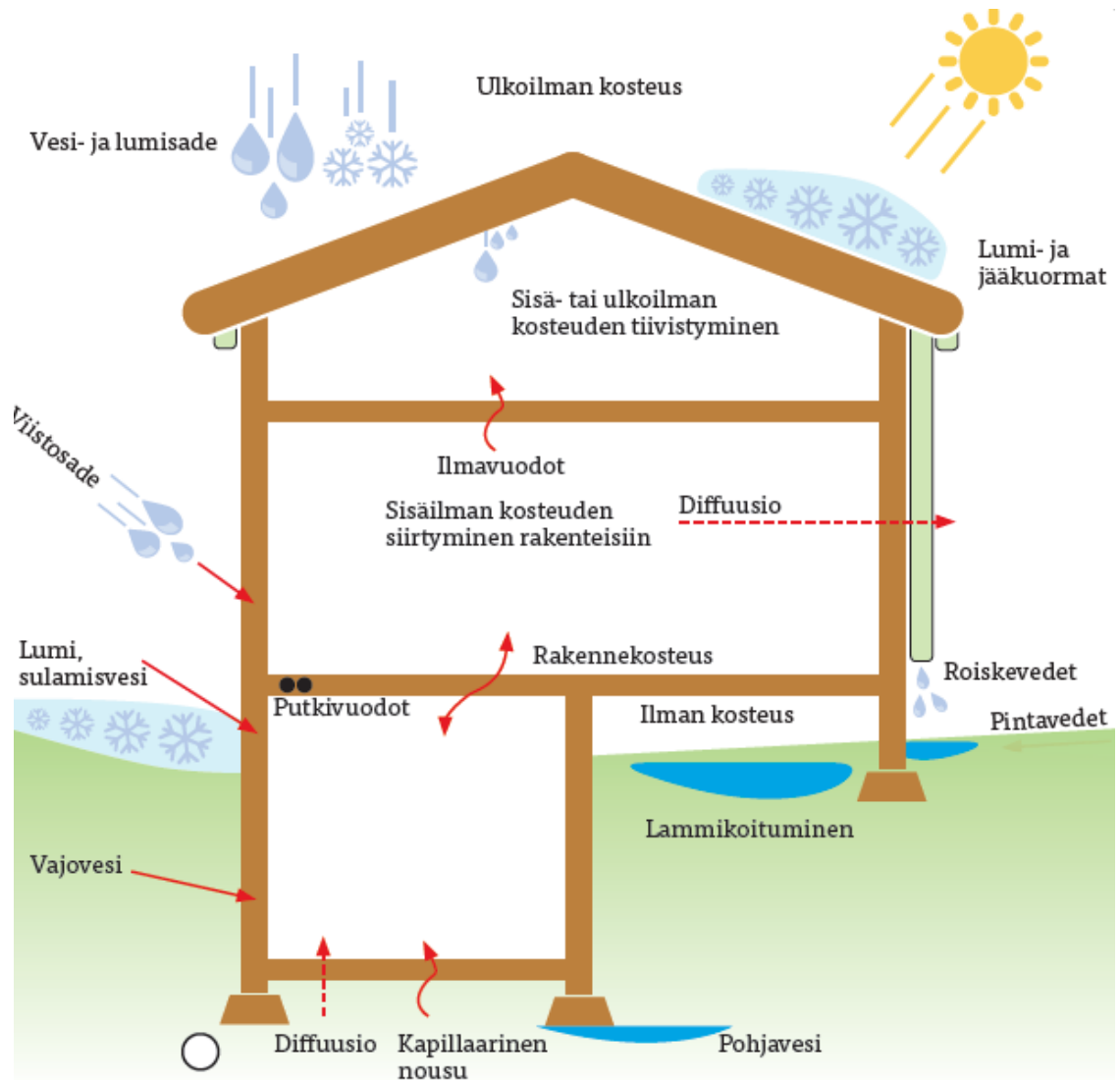
Suomessa hengittävän rakenteen haasteena on vesihöyry, joka pääsee myös liikkumaan rakenteen lävitse. Vesihöyry tiivistyy helposti rakenteiden rajapinnoille. Nykyään tehtävät seinärakenteet ovat aina kerroksellisia, joten vesihöyryn kondensoituminen on pystyttävä rakenteen materiaaleilla ja niiden ominaisuuksilla estämään. Ulkopuoliseen tuulensuojaan verrattuna sisäpinnan höyrynvastuksen tulee olla viisi kertaa suurempi. (Puuinfo Oy, Hengittävä rakenne.) Lisäksi tekemällä höyrynsulku rakennuksen ulkoseinärakenteeseen, pystytään estämään kosteuden epätoivottu liikkuminen rakenteessa ja mahdollinen siirtyminen ulkoseinärakenteesta muihin rakenteisiin.

Hengittävän rakenne alentaa rakennuksen sisäilman kosteutta syksyllä. Hygroksooppisen eristettä käytettäessä rakenteessa, rakenne tasaa sisäilman kosteuden vaihteluita. Hengittävällä rakenteella on luonnollisesti omat riskitekijänsä, jotka vaikuttavat rakennuksen sisäilmaan. Vaikka hengittävä rakenne tasaa kosteuden vaihtelua rakennuksen sisällä, saattaa rakenne aiheuttaa liian kuivaa sisäilmaa talvisin. Homeitiöiden ja radon kaasun pääsy rakennuksen sisätiloihin helpottuu hengittävän rakenteen ansiosta. Molemmat edellä mainituista aiheuttavat ihmiselle huomattavia vaikutuksia terveydentilaan. Mikäli lämmöneriste pääsee kastumaan rakenteen sisässä kosteuden vuoksi, heikentyy eristeen eristyskyky ja pahimmissa tapauksissa kosteus aiheuttaa kosteusvaurion rakenteeseen. (Puuinfo Oy, Hengittävä rakenne.)

3.4 Puumateriaalin käytön negatiiviset vaikutukset

Rakennuksen vaurioitunut puumateriaali vaikuttaa heikentävästi sisäilmanlaatuun. Puu on eloperäinen materiaali, jolloin se toimii vaurioituessaan hyvänä kasvualustana erilaisille sienille ja mikrobeille. Terve puumateriaali oikein käytettynä ei aiheuta negatiivisia vaikutuksia sisäilmaan. Materiaalia on osattava kuitenkin hoitaa oikealla tavalla, jolloin ei aiheuteta puulle vauriota ja sitä kautta mahdollisesti haittoja sisäilmaan.

Väärinkäsiteltynä puu vaikuttaa negatiivisesti asunnon sisäilmaan. Sisätiloissa ei koskaan saa käyttää ulkokäyttöön tarkoitettuja puutuotteita kuten painekyllästettyä puuta. Tällaisissa tuotteissa käytetyt kemikaalit aiheuttavat epäpuhtauksia sisäilmaan.



KUVA 4. Talon rasitukset (Hengitysliitto, 5)

Kuvassa 4 on esitettyinä asuinrakennusta rasittavia tekijöistä. Mikäli rakennuksessa käytetyt rakenneratkaisut ovat väärin suunniteltuja tai toteutettuja on niillä suora vaikutus rakennuksen sisäilmaan. Piirroksessa kuvatut rasitustekijät aiheuttavat heikentäviä tekijöitä sisäilmaan oli kyseessä betoninen tai puinen rakennus. Puurakentamisessa ei itsessään ole tekijöitä, jotka heikentäisivät sisäilmanlaatua.

3.4.1 Sienet ja mikrobit

Puuta on teollisesti jalostettava pitkälle, jotta ulkokäytössä olevassa puussa ei alkaisi kasvamaan sieniä ja kasvustoja. Kuivaamalla ja kemikaaleja käyttämällä on haasteellista torjua puussa kasvavia seiniä. (Hometalkoot, 2016, 5). Puumateriaalinkestävyys muodostuu puun solukoista, jossa tukimolekyyleinä toimivat: selluloosa, ligniini ja hemiselluloosa. Esimerkiksi havupuiden sydänpuu on kestävämpää hometta vastaan kuin niiden pintapuu. (Hometalkoot, 2016, 51)

Home- ja sinistäjä sienet aloittavat ensimmäiseksi kasvun puumateriaalissa. Ympäristön olosuhteiden salliessa aloittavat lahottajasienet kasvunsa puumateriaalissa aloittaen lahotusprosessin. Sekundaarihomeet ilmaantuvat puumateriaalin silloin, kun lahottajasienien kasvu hiipuu. (Hometalkoot, 2016,10) Puun kosteudenpitoisuuden pitää nousta korkeaksi, ennen kuin puu tarjoaa otollisen kasvualustan homeelle (Haavisto ym. 2014, 6).

Puutuotteiden homeenkestävyydessä on suuria eroja. Kestävyyden erot syntyvät puulajista, valmistusprosessista, käytetyistä kemikaaleista ja esimerkiksi kuivatusprosessista. Lämpökäsittelyn avulla saadaan puumateriaalille kestävyttä kosteutta ja lahoa vastaan (Hometalkoot, 2016, 51).

Ihminen allergisoituu homeitiön kasvun aikana erittämälle nesteelle. Sisäilmaongelmat ovat viime aikoina olleet mediassa suuresti esillä, mikä on osittain aiheuttanut sen, että kaikki sisäilma ongelmat laitetaan homeenpiikkiin. Puu yhdistetään voimakkaasti homehtumiseen, jonka vuoksi osa ihmisistä ajattelee puisten rakennusten automaattisesti homehtuvan.

3.5 Puumateriaaleista haihtuvat yhdisteet

Puun pitkäaikakestävyyden parantamiseksi puuta joudutaan käsittelemään myös kemikaalisesti. Käsittelyssä parantuvat puun kosteuden kestävyys, palon- ja lahonkesto, sekä puun kosteuselämisen on selvästi todettu alentuneen. Lisäksi käsitelty pinta luo paremman tartuntapinnan pintakäsittelyaineille. (Puu-

info Oy, Puun uudet käsittelymenetelmät.) Vastaavasti puumateriaalin vääränlainen käsittely voi vaurioittaa puuta ja vaikuttaa negatiivisesti puumateriaalin ominaisuuksiin.

Rakennusmateriaalit päästö luokitellaan sen perusteella, kuinka paljon ne luovuttavat ympäröivään ilmaan erilaisia yhdisteitä. M1-merkki kertoo, että materiaalista irtoaa ympäristöönsä vähän yhdisteitä. Ympäristöön haihtuvien yhdisteiden määrään vaikuttaa mikä puulaji on kyseessä, mikä on ollut sen varastointiaika ja kuinka puumateriaalia on käsitelty. (Haavisto ym. 2014, 7) M1- luokittelu kertoo vähäpäästöisyydestä, mutta perustuu kokonaan vapaaehtoisuuteen. Luokituksen tuotteille ja materiaaleille myöntää Rakennustietosäätiön päätoimikunta Sisäilmaluokitus (PT17). (Rakennustietosäätiö.)

Lähes poikkeuksetta puumateriaalit vaativat jonkin käsittelyn pysyäkseen käytökelpoisina. Koska puu on herkästi syttyvä materiaali, vaatii puu palosuojauksen. Nykyisin markkinoilla on saatavilla myrkyttömiä palosuoja-aineita, jotka täyttävät paloluokituksen Bs1 ja d0 (Nordtreat, 2018.) Mitä vähemmän pysymme rakentaessa käyttämään kemikaalittomia tuotteita, vähentää toimintatapa rakennuksen asukkaiden, kuin rakennusmiesten kemikaalikuormaa.

Kyllästetty puutavara käsitellään lahoamista estävillä aineilla. Tällaisen A-luokan puutavaran liiallinen ja väärissä paikoissa käyttäminen altistaa ihmisen ja ympäristön kemialliselle kuormitukselle. Esimerkiksi kyllästetystä puumateriaalista tehty kaivonkansi luovuttaa sateen mukana kemikaaleja kaivon veteen. (Tukes, 2016.) Tämän vuoksi kyllästettyjä puumateriaaleja ei tule koskaan käyttää rakennuksen sisätiloissa.

”Kotimaisista puulajeista tehty käsittelemätön lauta ja hirret rinnastetaan emisioiluokkaan M1 tasoiksi, vaikka niiden haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus tuoreena ylittäisikin kyseiset raja-arvot” (Haavisto ym. 2014, 7). Puumateriaalista haihtuvat terpeenit voivat korkeina pitoisuuksina aiheuttaa ärsytystä muun muassa silmiin ja hengitysteihin. Edellä mainittujen reaktioiden syntyyn vaaditaan usein kuitenkin voimakkaampi altistus terpeeneille. Tällaisen altistuksen voi saada esimerkiksi puuteollisuudessa työskentelevät ihmiset. (Haavisto ym. 2014, 7.)

Liima aineissa käytettävä formaldehydi voi ärsyttää silmiä ja hengitysteitä, lisäksi sille on ominaista pistävä haju. Formaldehydiä käytetään esimerkiksi lastulevyssä ja paneeleissa. (Rakentaja, 2006.) Koska formaldehydiä käytetään laajalti monissa eri materiaaleissa, esiintyy sitä pieninä pitoisuuksina myös sisätiloissa (Työterveyslaitos).

Yhä useammin rakennustyömaalta uusiokäyttöön sisustuselementeiksi päätyvät sähköjohtojen johtokelat ja kuormalavat. Tavarat ovat kuitenkin käsitelty siten, että ne kestäisivät työmaaolosuhteet. Tämän vuoksi tuotteet eivät sovellu kodin sisäkäyttöön ilman erillistä maali- tai lakkakerrosta, jolla estetään mahdollisten haitta-aineiden päätyminen kosketuksiin ihon kanssa. (Tukes, 2016.) Edellä kuvattuja sisustuselementtejä käytetään ainoastaan yksityisasuntojen sisustuksessa. Suunnittelijoiden on myös hyvä huomioida asia, jotta kiertotalouden lisääntyessä osataan välttää tavaroiden uusiokäytön mahdolliset ongelmat.

4 KUSTANNUKSET

4.1 Puumateriaalien investointikustannukset

Investointikustannukset syntyvät, kun materiaali ja tuotehankinnat suoritetaan rakennuskohdetta varten. Investointikustannukset määrittelevät hyvin pitkälti sen millä materiaalilla, ja millä tavalla rakennus toteutetaan.

Investointikustannukset ovat puurakentamisen suurin kustannuserä (Heino, haastattelu 2020). Hybridirakenteilla on mahdollista saada korkeakin kerrostalo helposti kustannustehokkaaksi ja pärjäämään kilpailussa betonirakentamista vastaan. Hybridirakenne on viime aikoina nostanut suosiotaan. Runkorakenne hybriditaloissa koostuu betoni -tai teräsrungosta, johon puu- tai kuorielementit kiinnitetään. (Tiihonen Tuomo, haastattelu 11.02.2020.)

Puusta rakentaessa investointikustannukset voivat nousta hieman betonia kalliimmaksi. Puusta rakentaminen on vastaavasti betonista rakentamista nopeampaa, jolloin työmaakustannukset jäävät pienemmiksi. Pientaloja ja rivitaloja tehdään lähes poikkeuksetta puusta, alhaisten kustannusten vuoksi. Myös kaksi kerroksiset luhtitalot rakennetaan yleisimmin puumateriaalista. (Heino, haastattelu 2020.)

Korkeakin kerrostalo saadaan nostettua harjakorkeuteen noin viikon kuluessa, kun rakentamisessa käytetään puuelementtejä. Ulkoseinät puukuorielementeistä ovat nopeita asentaa, sillä elementit ovat kevyitä, niitä on helppo liikuttaa ja asentaa paikalleen. (Tiihonen, haastattelu 2020.)

Suomessa ja muuallakin maailmassa on pitkään rakennettu kerrostalot betonista. Tällöin betonirakentamisen vaiheet ja kustannukset ovat suunnittelijoille ja rakentajille tuttuja. Puusta rakennettujen kerrostalojen kustannukset ovat saamaa luokkaa, kuin betonisten kerrostalojen, sillä puu itsessään ei ole kallis rakennusmateriaali. Lisäkustannuksia puurakentamiselle voi aiheutua suunnittelijoiden ja rakentajien tiedon puutteesta. Kun rakentamisprosessista tulee tuttu ja materiaalit

osataan hyödyntää oikealla tavalla, voidaan helposti päästä betonirakentamisen kanssa samoihin kustannuksiin tai jopa alhaisempiin. (Heino, haastattelu 2020.)

Ympäristöministeriöltä on neljän vuoden kuluttua tulossa säädös, jossa rakennuksen hiilijalanjälki on laskettava ja osoitettava jokaisesta rakennusprosessista. Petri Heinon mukaan puurakentamisen suosio on myös pienempi siitä syystä, että taloudellisten laskelmien perusteella halutaan osoittaa puumateriaalista rakentamisen olevan kalliimpi vaihtoehto. Lisäksi betoniteollisuuden lobbaus ajaa betoniteollisuuden puolia. (Heino, haastattelu 2020.)

Puumateriaalin investointikustannuksia tällä hetkellä nostaa se, ettei puuelementtitehtaita ole Suomessa montaa. Lisäksi olemassa olevien tehtaiden kapasiteetit ovat nyt jo korkealla. (Heino, haastattelu 2020.) Tulevaisuudessa rakentaminen voidaan lisätä päästökaupan piiriin, jolloin kivirakentamisen kustannukset lisääntyvät (Tiihonen, haastattelu 2020). Työmaan rahtikustannukset vastaavasti pienenevät puuelementtirakentamisessa. Yhdellä kuljetuksella saadaan työmaalle kuljetettua suurempi määrä elementtejä, kuin samankokoisia betonielementtejä (Heino, haastattelu 2020).

Puisten rakennusten siirtäminen on mahdollista, mikäli niiden rakenne on jo rakennusaikana suunniteltu siten, että siirtäminen on mahdollista. Kevyiden rakenteidensa ansiosta esimerkiksi puinen omakotitalo on myöhemmin mahdollista siirtää toiseen paikkaan. Siirtämisen mahdollisuus estää isojen kustannuserien synnyn, mitkä aiheutuisivat vastaavanlaisen kohteen uudisrakentamisesta toiseen sijaintiin. (Heino, haastattelu 2020.)

Puurakentamisessa haastavin ja kustannusherkin osa on ollut välipohja. Nykyään välipohja pystytään tekemään kustannustehokkaasti. Puisissa välipohjissa on kaikki tarvittavat läpiviennit valmiina, jolloin työmaalla ei kulu aikaa välipohjan reiättämiseen. Betonisten ontelolaattojen kustannuksia vastaan on kuitenkin vaikea kilpailla puisilla välipohjilla. Ontelolaattoihin verrattuna puisten välipohjien käytössä syntyy kuitenkin vähemmän kustannuksia työmaalla, koska läpivientejä ei tarvitse tehdä paikan päällä. (Heino, haastattelu 2020.)

4.2 Puumateriaalien elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannukset muodostuvat rakennuksen kunnossapidon kustannuksista. Mitä pidempi käyttöikä rakennuksella on, sitä pienemmäksi rakennuksen elinkaarikustannukset muodostuvat. Elinkaarikustannuksiin vaikuttaa se, onko rakenne suunniteltu ja toteutettu oikein. Huoltotyöt ja niiden määrä laskevat tai nostavat nopeasti elinkaarikustannuksia. Elinkaarikustannukset pysyvät puurakentamisessa pieninä, mikäli rakennusprosessi on toteutettu RT-korttien mukaisesti (Heino, haastattelu 2020).

Elinkaarikustannukset pienenevät sitä mukaa, mitä huoltovapaampaa materiaalit ja rakenteet ovat. Jokaiselle materiaalilla on omat elinkaarikustannukset, jotka pystytään nykyään hyvin ennakoimaan. Rakennuksen elinkaarikustannukset muodostuvat pitkälti kaikesta muusta, kuin runkoon tai julkisivunmateriaaliin liittyvistä kustannuksista. Talotekniikan aiheuttamille elinkaarikustannuksille ei ole merkitystä, onko rakennus tehty betonista vai puusta. (Tiihonen, haastattelu 2020.)

Puurakentamisessa on tärkeää, ettei materiaali pääse kastumaan missään työtai toimitusvaiheessa. Kuivaketju on otettava huomioon koko tuotteen valmistus- ja rakennusajan. Mikäli puu- ja kuorielementit pääsevät kastumaan missään rakentamisen vaiheessa, on tällä suora vaikutus nostavasti rakennuksen elinkaarikustannuksiin. (Tiihonen, haastattelu 2020.)

Käytetyillä rakenneratkaisuilla on suuri vaikutus rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Räystäiden tulisi rakennuksessa tarpeeksi pitkät, ettei vesi pääse valumaan julkisivua pitkin vaurioittaen sitä. Tarpeeksi korkealla sokkelilla pystytään ehkäisemään kosteusvaurioita rakennuksen alaosissa. Mikäli edellä mainitut eivät toteudu julkisivu jäätyy ja sulaa vuorotellen, jolloin vaihtelu aiheuttaa julkisivun vaurioitumista. (Heino, haastattelu 2020.)

Home- ja kosteusongelmat aiheuttavat suuren kustannuserän kaupungeille ja kunnille. Rakennuksiin voidaan joutua tekemään mittavia remontteja, tai vastavasti joudutaan rakentamaan kokonaan uudet korvaavat tilat. Vauriot ja niistä

syntyvät kustannukset ovat kuitenkin estettävissä huolellisella suunnittelulla, oikealla rakennustavalla ja oikein valituilla rakennusmateriaaleilla.

Jokaista rakennusta tulee ylläpitää, ja ylläpito tiedettävästi aiheuttaa elinkaarikustannuksia rakennukselle. Yleinen harhakuvitelma on, että puurakennuksen julkisivu tulisi tarkentaa puusta. Puurakennuksen julkisivu voidaan kuitenkin tehdä, kuten mikä tahansa muu julkisivu, esimerkiksi rappaamalla tai muuraamalla. Jokaisella julkisivutyypillä on oma huoltovälinsä, jolloin julkisivua tulee huoltaa. (Heino, haastattelu 2020.)

Puista julkisivuverhousta ei ole pakko maalata, ja silti julkisivu säilyy hyvässä kunnossa. Puinen käsittelemätön julkisivu kuitenkin harmaantuu ajan myötä. Harmaantuvaa julkisivua ei useimmissa kohteissa hyväksytä. Lisäksi julkisivun harmaantuminen yhdistetään lähes aina puumateriaalin pilaantumiseen. Puumateriaalin paksuuteen, laatuun ja pintakäsittelyyn panostamalla voidaan saada puujulkisivulle 15 vuoden huoltomaalausväli. Verrattuna rakennuksen suunniteltuun käyttöikänsä, on 15 vuotta suhteellisen pitkä aika, varsinkin kun puujulkisivu on muun ajan huoltovapaa. (Heino, haastattelu 2020.)

Hybridirakenteisen talon julkisivun muokkaukset ja korjaukset ovat helppoja tehdä rungon rakenteen vuoksi. Teoriassa koko seinän elementit on mahdollista vaihtaa kokonaan toisenlaisiin, jos esimerkiksi rakennuksen ulkonäköä halutaan muuttaa. Käytännössä ei näin radikaaleja muutoksia julkisivuihin tehdä, mutta hybridirakenteisessa talossa puuelementit mahdollistaisivat teoriassa tällaisen vaihdon. (Tiihonen, haastattelu 2020.)

5 EKOLOGISUUS

5.1 Puumateriaalien valmistus

Valtaosa rakentamisessa käytettävistä materiaaleista ovat uusiutumattomia. Puu on uusiutuva materiaali, joka kasvaessaan sitoo ilmasta hiilidioksidia. Keskikokoinen puinen omakotitalo suomessa sitoo itseensä noin 30 tonnia hiilidioksidia. Puutuotteiden valmistuksesta aiheutuvat ympäristöhaitat ovat muuta teollisuutta kuten betoniin ja teräkseen verrattuna todella pienet. (Puuinfo Oy, Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys.)

Puuta on Suomessa tarjolla paljon. Metsäteollisuus on yksi suurimmista ja tärkeimmistä teollisuuden aloista Suomessa. Rakentamisessa käytetty puumateriaalia voidaan pitää paikallisena tuotteena, sillä usein sitä ei tarvitse kuljettaa kaukaa. Kustannustehokkuutta puun kuljettamisessa parantaa puun keveys. (Pirttinen 2017, 13.)

Puumateriaalien valmistuksessa eniten energiaa vievä työvaihe on puutavaran kuivaus. Valmistukseen käytettävän kokonaisenergian määrä kuitenkin pienee, sillä valmistuksen yhteydessä syntyvät sahanpuru, puun kuori ja hake voidaan käyttää uudelleen. (Luonnonvarakeskus, 2010.)

Ajateltaessa puumateriaalin käytön ekologisuutta on otettava huomioon materiaaleissa käytetyt kemikaalit, kuinka ne pystytään mahdollisesti kierrättämään ja paljonko ympäristökuormituksia aiheutuu niiden valmistamisesta. (Nordtreat, 2018.)

5.2 Puumateriaalien käyttö

Kun tarkastellaan puun käyttöä ekologisesta näkökulmasta, voitaisiin puunkäyttöä lisätä nykyisistä määristä huomattavasti. Euroopan alueella kasvaa enemmän metsää, kuin sitä pystytään hyödyntämään muun muassa teollisuudessa. Suomessa joka päivä metsän hiilivarasto kasvaa yhtä paljon, kuin rakennuspuuteollisuus kuluttaa puuraaka-ainetta vuodessa. Havainnollistava esimerkki tästä

on se, että kuusikerroksisen puukerrostalon tekemiseen tarvittava puumäärä kasvaa Suomessa puolessa minuutissa. Puuta käyttämällä voidaan korvata rakennusmateriaaleja, joilla on puuta suuremmat päästöt. (Puuinfo Oy, Puutavaraopas 2019, 69-70.)

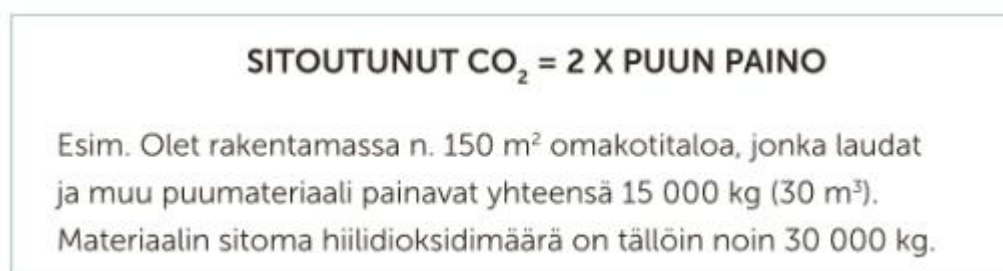


KUVA 5. Hiilidioksidin sitoutuminen metsään (Puuinfo Oy, Puutavaraopas 2019, 69)

Kuvassa 5 havainnollistetaan sitä, kuinka paljon yhden kuutiometrin kokoinen metsäalue kykenee varastoimaan hiilidioksidia, jonka hiili jää puuhun, koko puun elinkaaren ajaksi. Käyttämällä puuta tuotetaan samalla metsänhoitoa, joka puolestaan edistää hiilinielujen syntymistä. Muilla materiaaleilla ei ole vastaavaa kykyä varastoida hiiltä itseensä. (Puuinfo Oy, Puutavaraopas 2019, 69.)

Valitsemalla kotimaista puuta voi kuluttaja vähentää ostamansa tuotteen hiilijalanjälkeä. Tropiikissa kasvavien puulajien hakkuut vaikuttavat jo suurelta osin maapallon ilmastoon. (Puuinfo Oy, Puutavaraopas 2019, 70.) Lisäksi ostamalla kotimaista puuta tuetaan kotimaan taloutta. Suomessa teollisuuden on lainalaisuudessa noudatettava päästöjä koskevia säädöksiä, mitkä ovat tiukemmat kuin monessa muussa paikassa maailmaa.

Kuviossa 1 havainnollistetaan kaavalla sitä, paljonko puu pystyy painoonsa nähden varastoimaan hiilidioksidia. Mitä pidempi aika puumateriaalia voidaan hyödyntää käytössä, sen pienemmän hiilijalanjäljen materiaali aiheuttaa ympäristöön (Pirttilä 2017, 13). Puumateriaalinen valmistus aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä, kuten muidenkin materiaalien valmistaminen aiheuttaa. Puu pystyy varastoimaan kasvunsa aikana kuitenkin enemmän hiilidioksidia, mitä puutuotteiden valmistus aiheuttaa. Lisäksi puutuotteiden valmistus aiheuttaa vähemmän päästöjä, kuin muiden rakennustuotteiden valmistus. (Puuinfo Oy, Puuopas 2019, 70.)



KUVIO 1. Puun sitoma hiilidioksidin määrä, (Puuinfo Oy, Puutavaraopas 2019, 70)

Nykymaailmassa kierrättämisen ja kiertotalouden rooli korostuu entisestään. Puumateriaalia uusiokäytettäessä pitää kuitenkin tiedostaa, mitä kemikaaleja ja käsittelyitä puumateriaalille on valmistusvaiheessa tehty. Hyvä perussääntö on se, ettei ulkokäyttöön alun perin tarkoitettua puumateriaalia ei saisi tuoda sisäkäyttöön. (Tukes, 2016.)

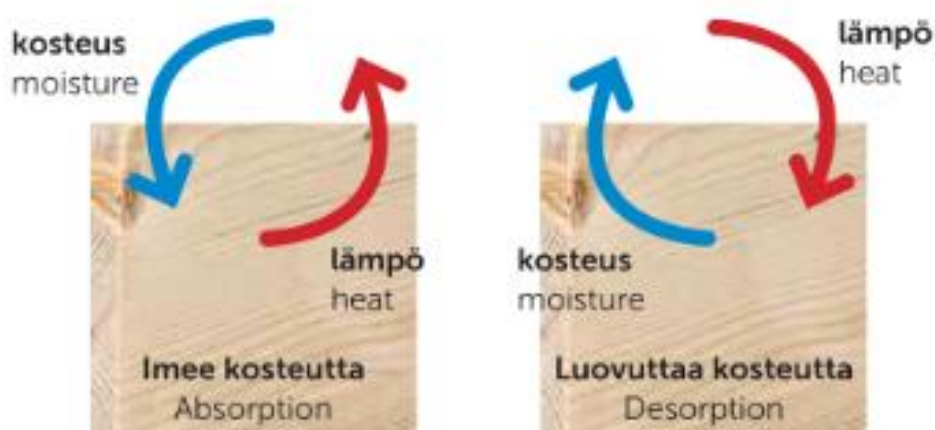
Puu on kevyt rakennusmateriaali ja siitä tehdyt rakenteet ovat kevyitä. Puutalo painaa vain noin 1/5 – 1/8 osan kivitalon painosta. (Puuinfo Oy, Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys). Puutalon perustusten kustannukset jäävät betonirakenteisen taloon verrattuna pienemmäksi, sillä juuri kevyen painonsa takia puutalo ei tarvitse niin vahvoja perustuksia. Suomessa puun osuus on rakentamisessa kuitenkin vain 40%. (Puuinfo Oy, Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys). Määrää voitaisiin lisätä suuresti, sillä Suomessa on saatavilla runsaasti laadukasta puumateriaalia.

Puulla on pienempi energiankulutus elinkaarensa aikana verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin (Luonnonvarakeskus, 2010). Puumateriaalin ekologisuuden takia, puun käyttö rakennusmateriaalina on nykyään taas nousemassa enemmän suosioon. Osa syy suosioon on, että puumateriaalin käytöllä on todettu olevan ilmastonmuutosta hidastavia vaikutuksia (Pirttilä 2017, 12).

5.3 Puu lämmönsäajana

Rakennuksen sisätilojen materiaalina puumateriaali vähentää ilmastointilaitteen kuormista hygroskooppisen kykynsä takia. Epäsuorat energiasäästöt voivat olla noin 5-20 prosenttia viilennykselle ja lämmitykselle säästöt ovat noin viiden prosentin luokkaa. (Puuinfo Oy, Puupintojen vaikutukset lämmönsäajana.)

Norjalainen projekti Wood-Energy, Emissions, Experience (WEEE) on tutkinut subjektiivisesta ja objektiivisesta näkökulmasta sisätilojen puupintojen vaikutusta ihmisten hyvinvointiin. Tutkimuksessa todettiin puuverhoilun suihkutiloissa aiheuttavan lämpötilan nousun huoneessa suihkun jälkeen. Reaktio syntyi suihkusta aiheutuneen kosteuden ja puupaneelien välillä. Reaktiosta seuraten kylpyhuoneen pysyvää lämpötilaa voitiin laskea kolmella asteella 23 celsiusasteesta 20 celsiusasteeseen, huoneilman silti tuntuen miellyttävältä käyttäjältä. (Puuinfo Oy, Puupintojen vaikutus lämmönsäajana.)



KUVIO 2. Veden faasimuutos (Puuinfo Oy, Puupintojen vaikutukset lämmönsäajana)

Faasimuutos on havainnollistettu kuviossa 2. Lämpöä vapautuu, kun vesi muuttuu höyrystä nesteeksi. Samalla kun kosteus sitoutuu puuhun, luovuttaa puu ympäristöönsä lämpöä. Vastaavasti puun luovuttaessa kosteutta eli puun kuivuessa, varastoi puu lämpöä itseensä. Faasimuutoksen aikana vapautuvaa ja sitoutuvaa energiaa kutsutaan piileväksi lämmöksi. Piilevä lämpö on energiamäärä, joka syntyy faasimuutoksen aikana. (Puuinfo Oy, Puupintojen vaikutukset lämmönsaajana.)

5.4 Puutuotteiden kierrättäminen

Jollei puumateriaalia voida käyttää muussa hyötykäytössä, voidaan puutuote käyttää hyödyksi energiantuotannossa. Puumateriaalien varsinaisen käytön jälkeen, on käytetty puumateriaali helppo hyödyntää bioenergian lähteenä. (Luonnonvarakeskus, 2010.) Rakennustyömaalla puujäte tulee kierrättää ja lajitella omalle jätelavalleen, jotta mahdollistetaan oikeanlainen jätteenkäsittely ja materiaalia pystytään hyödyntämään parhaalla mahdollisella tavalla. Suomessa syntyi vuonna 2017 puujätettä 193 000 tonnia (Gaia Consulting Oy ym. 2019, 7).

Ellei puuta ole erikseen käsitelty esimerkiksi voimakkailla kemikaaleilla, on puumateriaali täysin kierrätettävä (Rakentaja.fi, 2006). Puun osuus on toiseksi suurin kaikesta purku- ja rakennusjätteestä Suomessa. Euroopan Unionin direktiivi edellyttää sen jäsenmaissa rakennus- ja purkujätteen materiaalien hyödyntämisprosentin olevan 70% vuonna 2020. Puujätteen hyödyntämistä vaikeuttavat muun muassa puujättejakeen monimuotoisuus, materiaalin erilaiset käsittelyaineet, pitkät kuljetusmatkat ja alttius kosteusvaurioille. (Gaia Consulting Oy ym. 2019, 3)

Puumateriaalin kiertokulku tulisi toteuttaa siten, että ensin puumateriaali käytettäisiin parhaaseen käyttöön, kuten sahatavarana talojen runkoranteisiin. Tämän jälkeen kertaalleen käytetty puumateriaali käytettäisiin toiseksi parhaaseen tuotteeseen, kuten pakkausmateriaaliin. Käytetty pakkausmateriaali voidaan taas hyödyntää levyissä, jotka käytön jälkeen poltetaan. Näin vältetään siltä, että hyötykäyttöinen puumateriaali poltetaan liian aikaisesti. (Heino, haastattelu 2020). Puun polton jälkeen metsä sitoo uudelleen poltetusta puusta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt (Haavisto ym. 2014, 4).

5.5 Puun energiatehokkuus

Puuaine on huokoinen ja tiheydeltään pieni (Luonnonvarakeskus, 2010). Solurakenteensa ansiosta puu on energiatehokas koko elinkaarensa ajan. Tämä johtuu solurakenteen aiheuttamasta puumateriaalin hyvästä lämmöneristyskyvystä. Puun energiatehokkuus verrattuna betoniin on 15- kertainen ja verrattuna teräkseen energiatehokkuus on 400- kertainen. (Pirttilä 2017, 13)

Energiatehokkuus puussa verrattuna muihin materiaaleihin on korkeimmillaan puutuotteiden valmistuksessa ja työstämisessä. Puutuotteiden tuotannossa syntyy tuotannon sivutuotteena muun muassa sahanpurua ja haketta, joista saadaan käyttöenergiaa. Tästä johtuen puutuotteiden tuotanto on taloudellisesti edullista. Lisäksi puutuotteiden tuotannossa syntyvät energijakeet kompensoivat kokonaisenergiankulutusta. (Luonnonvarakeskus, 2010).

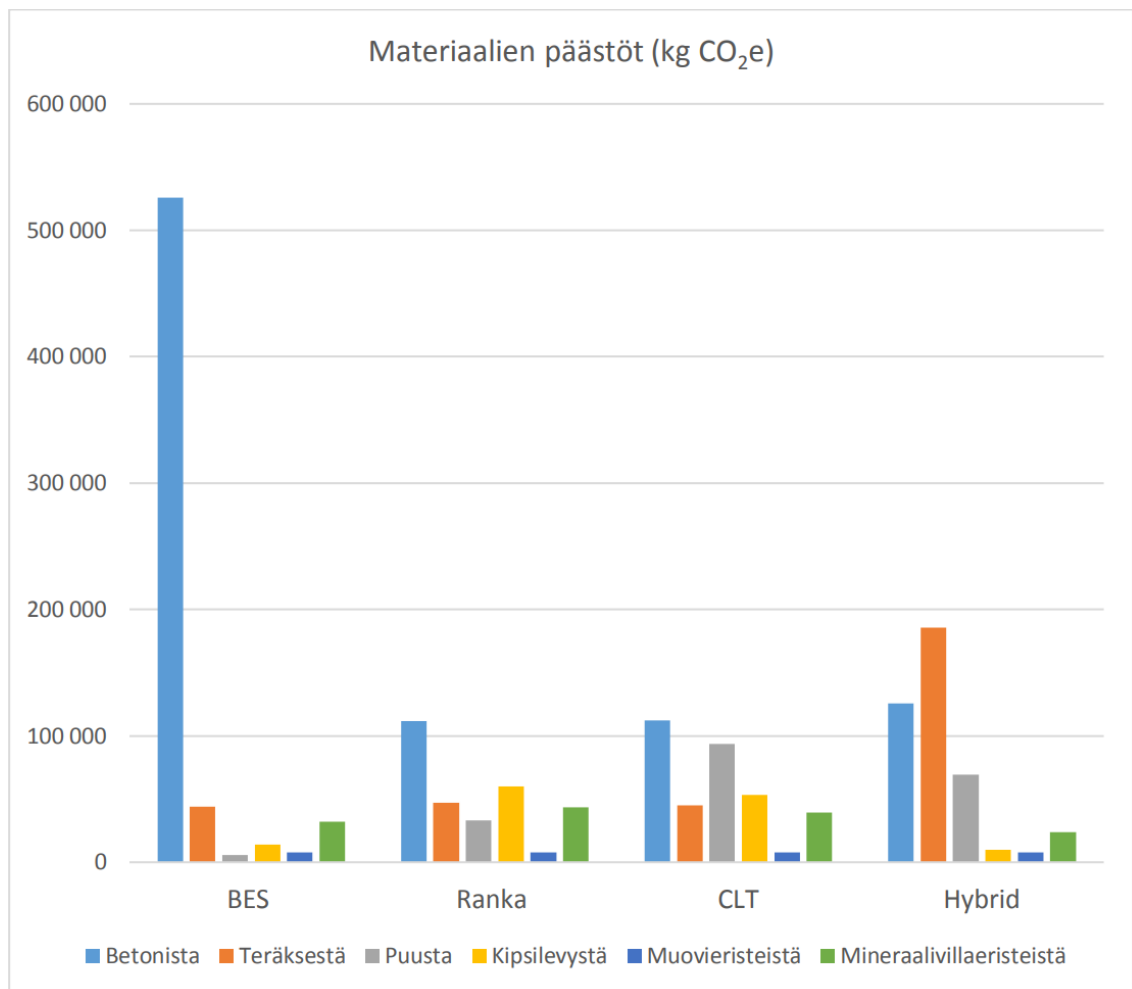
5.6 Puumateriaalin hiilijalanjälki

Puumateriaalien aiheuttamat päästöt ovat pienemmät, kuin betonin (Lahtela, Viljakainen 2019, 23). Puun hiilijalanjälki jää 75% pienemmäksi verrattuna betoniin (Heino, Haastattelu 2020). CLT levyä käytetään muun muassa tilaelementtien runkorakenteissa. (Puuinfo Oy, Monikerroslevy (CLT)). CLT-rakenteisessa talossa CLT-levyt aiheuttavat kuitenkin toiseksi eniten päästöjä heti betonin jälkeen. Materiaali kuitenkin kykenee varastoimaan kahdeksankertaisen määrän hiiltä, joka kompensoi huomattavasti materiaalista syntyviä päästöjä. Rakentamisessa käytettävien kipsilevyjen päästöjä ei pidä jättää huomioimatta. (Lahtela ym. 2019, 23.) Kipsilevyjä joudutaan käyttämään rakennuksen puurakenteisissa seinissä paloteknisten syiden vuoksi.

Puu varastoi koko elämänsä ajan hiilidioksidia, joka on tällöin poissa ilmakehästä. Lisäksi rakentamalla puusta pystytään korvaamaan muita tuotteita, kuten betonia, jolla on vastaavasti puurakentamista suuremmat ympäristöpäästöt. (Heino, haastattelu 2020.) Puumateriaalia on saatavilla läheltä, jolloin kuljetusten päästöt vähenevät.

Taulukosta 6 voidaan havaita, että betonirakenteisen kerrostalon (BES) materiaalien päästöt ovat huomattavasti hybridirakentamista suuremmat. Hybridirakentamisella tarkoitetaan puukerrostaloja, jotka on rakennettu yhdistelemällä uusin tavoin aiemmin hyväksi todettuja rakennustapoja ja materiaaleja (Puuinfo Oy, suomen korkein ja energiatehokkain hybridirakenteinen puukerrostalo).

CLT ja ranka rakenteisissa taloissa puumateriaalin aiheuttaman päästöt ovat saman suuruiset. Edellä mainituissa rakenteissa myös käytetyn betonin kustannukset ovat saman suuruiset. Ranka-, CLT- ja hybridi -rakenteissa ovat noin 1/5 osa siitä, mitä ne ovat betonirankaisessa rakennuksessa.

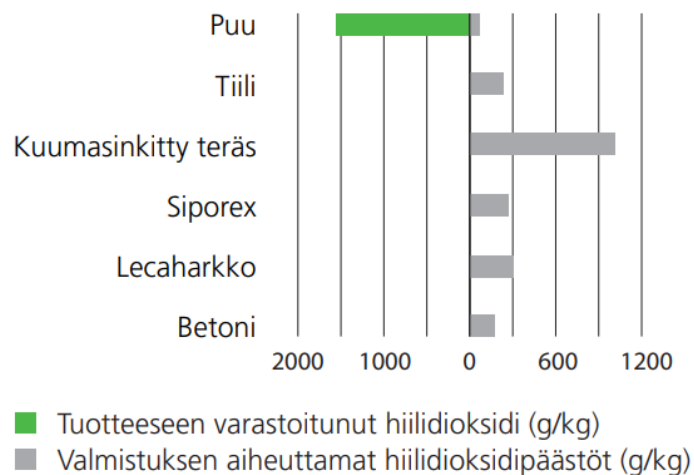


TAULUKKO 6. Materiaalien päästöt (Lahtela ym. 2019, 24)

Puu sitoo hiilidioksidia elinkaarensa aikana, mistä aiheutuu se, ettei puumateriaalin käyttäminen aiheuta paljon hiilidioksidipäästöjä (Puuinfo, 5). Suurimmat päästöt rakennustuotteista syntyvät niiden valmistuksen aikana (Ympäristöministeriö, 2017). Markkinoille kehitellään koko ajan uusia ympäristöystävällisiä tuotteita, mutta puutuotteet silti säilyttävät arvonsa ympäristöystävällisinä tuotteina. Keskustelua niin mediassa kuin rakentajien kesken on herännyt siitä, pitäisikö puumateriaalin käyttöä lisätä rakentamisessa.

Ara testasi yhdessä ympäristöministeriön kanssa Level(s)-mittareita, joiden avulla pystytään paremmin arvioimaan rakennuksen resurssitehokkuutta ja arvioimaan ympäristövaikutuksia. Tutkimuksessa verrattiin kahta samanlaista kerrostaloa, joiden eroavaisuus oli vain rakennusmateriaalissa. Toinen taloista oli rakennettu puusta ja toinen betonista. Tutkimuksessa selvisi, että puurakenteisen rakennuksen elinkaaripäästöt jäivät viisi kertaa alhaisimmaksi kuin betonisen rakennuksen. (Pasanen, 2018)

ULKOSEINÄ/HIILIDIOKSIDI



TAULUKKO 7. (Puuinfo, Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki, 5)

Kuten taulukosta 7 voidaan havaita, puu on yleisimmistä rakennusmateriaaleista ainut, joka pystyy varastoimaan hiilidioksidia ja aiheuttaa valmistusprosessissaan alhaisimmat hiilidioksidipäästöt. Taulukossa ei ole eritelty tarkemmin esimerkin

ulkoseinän rakennetta, vaan taulukon tarkoitus on toimia havainnollistavana esimerkkinä puun hiilidioksidin varastoimisesta.

Rakennuksen elinkaaripäästöt muodostuvat suurimmalta osin energian kulutuksesta. Energian kulutus on kolme neljäsosaa kaikista rakennuksen elinkaaripäästöistä sadan vuoden ajalta. Tällä aikavälillä tarkasteltuna puumateriaalilla on vain 6% pienemmät päästöt kuin betonilla. Tarkasteltaessa ainoastaan rakennusmateriaalien energiapäästöjä saadaan puumateriaalien elinkaaripäästöt päästöt jäämään 20% betonin aiheuttamia päästöjä matalammaksi. (Pasanen, 2018.)

6 POHDINTA

Puun negatiiviset vaikutukset sisäilmaan aiheutuvat ainoastaan silloin, kun materiaali on vaurioitunut. Puun vaurioitumiseen syyt ovat lähes poikkeuksetta ihmisen aiheuttamia. Mikäli puumateriaali käytetään sille sopimattomassa käyttökohteessa tai väärissä rakenneratkaisuissa, aiheutuu materiaaliin vauriot. Ihmisen tietotaitoa parantamalla voitaisiin ennalta ehkäistä useat materiaalivauriot.

Nykyään työmailla kiinnitetään entistä enemmän huomiota siihen, etteivät rakennusmateriaalit pääse kastumaan. Puurakentamisessa tämän tärkeys korostuu, ja siksi rakennustyömaan toiminnalla onkin suuri merkitys rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Puumateriaalia on myös osattava käsitellä ja hoitaa oikein materiaalin elinkaaren aikana, jotta materiaalin ominaisuudet eivät heikkene ja materiaalin ulkonäkö säilyy hyvänä. Edellä mainitut seikat koskevat kaikkia rakennusmateriaaleja, eikä puu siten vaadi erityistä huomiota.

Puumateriaali koetaan usein kauniimmaksi, kun materiaalin pinta käsitellään kemiallisesti. M1-luokitusta käytetään, jotta käytettävien kemikaalien määrä ja laatu eivät aiheuttaisi ihmisille oireiluja. Järjestelmä perustuu kuitenkin vapaaehtoisuuteen, eikä luokitusta vaadita kaikilta sisällä käytettäviltä materiaaleilta. Tiukentamalla säädäntöä voitaisiin mahdollisesti saavuttaa vielä nykyistä paremmat sisäilmaolosuhteet, kun materiaaleista haihtuisi ympäristöön vähemmän kemikaaleja.

Puun antibakteerisuutta tulisi hyödyntää nykyistä enemmän rakennuksissa. Tutkimuksissa on havaittu, että puupinnalla kuolevat bakteerit nopeammin, kuin lasisilla ja muovisilla pinnoilla. Huomioiden sen, kuinka paljon ihminen on sisätiloissa kosketuksissa eri pintojen kanssa, korostuu pintojen puhtauden tärkeys. Hyödyntämällä pesutiloissa puumateriaalia siinä määrin, kun se on mahdollista, voidaan säästää ilmanvaihdon kustannuksia. Puumateriaali sitoo itseensä kosteutta ja vastaavasti luovuttaa lämpöä huoneilmaan, ja tällöin voidaan pienentää ilmanvaihdon tehoja.

Puurakentamisen kustannuksia miettiessä tulisi huomioida paremmin rakentamisen kokonaiskustannukset. Puuelementeistä rakentaminen on betonielementtejä nopeampaa, sillä elementtejä ei tarvitset kiinnittää toisiinsa valamalla, eikä välipohjaelementteihin tarvitset tehdä työmaalla reikiä. Lisäksi puiset rakennukset painavat betonisia rakennuksia vähemmän, jolloin rakennuksen perustyöt ovat nopeammat ja edullisemmat.

Puurunkoisia rakennuksia ei myöskään ole pakko päällystää puuverhouksella, vaan julkisivun voi esimerkiksi rapata tai muurata tiilistä. Tämä luo arkkitehtisuunnittelulle myös laajat vaihtoehdot rakennusten suunnitteluun. Puurakentamisen esteenä ei voida pitää sitä, että puurakentaminen rajaisi arkkitehtien mahdollisuuksia suunnittelussa. Puurakentamisen trendi on tällä hetkellä nousemassa. Pääkaupunkiseudulla on esimerkiksi Helsingin Honkasuon kaupungin osa, jossa sallitaan ainoastaan rakennusten rakentaminen puusta.

Puurakentamisen hyödyntämisen mahdollisuudet ovat todella laajat ja sen hyödyt ovat kokonaisuudessaan todella suuret. Puurakentamista tulisi lisätä mahdollisuuksien mukaan. Yhteistyössä puuelementtitehtaiden kanssa kunnalla on hyvä mahdollisuus kehittää vastuullisempaa ja ekologisempaa rakennustekniikkaa ja olla suunnan näyttäjänä muille toimijoille. Lisäksi kun tulevien säädösten myötä rakentaminen pakotetaan menemään yhä enemmän puurakentamiseen, on hyvä tässä vaiheessa ja lähteä panostamaan alaan. Tuomalla esille puurakentamisen hyötyjä, voidaan samalla kumota ihmisten ennakkoluuloja puurakentamista kohtaan.

Hengittävä rakenne on rakennuksella mahdollista saavuttaa, kun rakenneratkaisut ja materiaalit ovat valittu oikein. Tällöin rakennekerrosten väliin ei myöskään pääse tiivistymään kosteutta. Hengittävä rakenne sekoitetaan kuluttajatasolla usein rakennuksen hataruuden kanssa. Lisäämällä oikeaa tietoa hengittävästä rakenteesta voidaan sisäilman laatua parantaa monissa rakennuksissa.

Osa vastuullista rakentamista on jo rakentamisvaiheessa tiedostaa, mitkä mahdollisuudet rakennusmateriaalien kierrättämisellä ovat. Mikäli suunniteltaessa on huomioitu rakennuksen mahdollinen siirtäminen myöhemmin, on tällainen

mahdollista toteuttaa puisissa rakennuksissa. Kyseisellä rakenneratkaisulla voidaan säästyä seuraavilta investointikustannuksilta ja samalla pienentää olemassa olevan rakennuksen elinkaarikustannuksia, kun rakennuksen käyttöikä pystytään jatkamaan. Mikäli rakennus ei vanhalla olinpaikallaan kykene palvelemaan käyttäjiä enää halutulla tavalla, voidaan rakennus siirtää toiseen kohteeseen.

Kierrättämisen tärkeyden korostuessa on tärkeää mahdollisuuksien mukaan valita rakennusmateriaaleja, jotka voidaan niiden pääkäyttötarkoituksensa jälkeen kierrättää. Puu on uusiutuvaa energiaa, joten se käyttö ei rasita ympäristöä kuten uusiutumattomien energianlähteiden käyttäminen.

Valitsemalla puurakentamisen, tuetaan samalla Suomalaisia yrityksiä ja työllistetään ihmisiä. Puurakentamisella on työllistävä vaikutus, aina metsän hakuusta lähtien, toisinkuin betonirakentamisella. Työllistävä vaikutus korostuu varsinkin maakunnissa, joissa töitä ei ole muuten niin paljon tarjolla. (Tiihonen, Haastattelu 2020.) Kannattamalla puurakentamista voidaan pitkällä aikavälillä edistää puumateriaalin vientiä ulkomaille ja täten parantaa taloustilannetta.

Puurakentaminen luo enemmän mahdollisuuksia, kuin rajoittaa niitä. Puisten rakennusten muokattavuus ja myöhempi hyödyntäminen tulevat tulevaisuudessa olemaan vielä isommassa roolissa. Tällöin puurakentamisen ja puuelementtirakentamisen helppous kasvaa entisestään ja vaihtoehtoja niin sanotuille perinteisille rakentamistavoille tuodaan esille. Ilmastonmuutoksen pysäyttämiseksi haetaan koko ajan uusi ratkaisuja ja puurakentaminen voisi olla yksi niistä.

7 YHTEENVETO

Tulevaisuudessa puurakentaminen kerrostaloissa tulee lisääntymään huomattavasti, kun rakennusten hiilijalanjälki tulee laskennallisesti osoittaa. Ilmastonmuutoksen myötä on rakentamisessakin ruvettava käyttämään ekologisempia vaihtoehtoja. Puumateriaalin käytöllä saadaan pienennettyä ympäristön kuormitusta huomattavasti.

Tällä hetkellä muun muassa kaupungilla ja kunnilla on hyvä mahdollisuus näyttää esimerkkiä muille rakentajille vastuullisesta rakentamisesta. Puurakentaminen ei ole investointi- eikä elinkaarikustannuksiltaan kalliimpaa, kuin betonista rakentaminen. Suunnittelutaidon ja tiedon lisääntymisen avulla puurakentamisesta saadaan entistä kustannustehokkaampi ja aikataulullisesti nopeampi rakennusmuoto.

Tiedostamalla puun positiiviset vaikutukset sisäilmaan, voidaan sisäilman laatua tietoisesti parantaa. Nykyihmisen oleskellessa pitkiä aikoja sisätiloissa, tulee entistä tärkeämmäksi sisäilmanlaadun valvominen ja parantaminen. Tietoa siitä, että puumateriaalin käyttö sisätiloissa laskee ihmisten stressitasoja, on tärkeä huomioida suunnitellessa muun muassa päiväkoteja ja kouluja.

LÄHTEET

Gaia Consulting Oy, Häkämies, S., Lehtonen, K., Lähdesmäki-Josefsson, K., Pitkämäki, A. & Ytekki Oy. 2019. Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kierto-
talous -loppuraportti.

Haavisto, M., Muilu-Mäkelä, R. & Uusitalo, J. 2014. Puumateriaalin terveystai-
kutukset sisäkäytössä. Luettu 03.11.2019. [http://www.metla.fi/julkaisut/working-
papers/2014/mwp320.pdf](http://www.metla.fi/julkaisut/working-papers/2014/mwp320.pdf)

Heino, P. ohjelmapäällikkö. 2020. Haastattelu 30.01.2020. Haastattelija Autio,
K. Tampereen kaupunki.

Hengitysliitto. 2016. Opas sisäilmasta -sähköinen opas. Luettu 21.03.2020.

Hirsi H. 2016. Rakennuksen elinkaaritieteellinen ja elinkaarikustannukset -opetus-
materiaali. Luettu 22.03.2020. [https://docplayer.fi/46614222-Rakennuksen-elin-
kaaritieteellinen-ja-elinkaarikustannukset.html](https://docplayer.fi/46614222-Rakennuksen-elinkaaritieteellinen-ja-elinkaarikustannukset.html)

Homemalkoot. 2016. 1.6 Puun homeet ja lahot sekä hyönteisvauriot puun suojaus -
Powerpoint. Luettu 4.11.2019. [https://kosteusvauriokorjaus.savonia.fi/materiaa-
lipankki/download/3-opetusmateriaalit/6-1-6-puun-homeet-ja-lahot-sekae-hy-
oenteisvauriot](https://kosteusvauriokorjaus.savonia.fi/materiaalipankki/download/3-opetusmateriaalit/6-1-6-puun-homeet-ja-lahot-sekae-hyonteisvauriot)

Hukka, A., Kokko, E., Ojanen, T., Salavaara, M & Viitanen, H. 1991. Puuraken-
teiden kosteustekninen toiminta -tiedote. Luettu 14.11.2019.
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1991.pdf>

Lahtela, T. & Viljakainen, M. 2019. Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu tapaustut-
kimus rakennuksen hiilijalanjäljen laskennasta -loppuraportti. Luettu
28.11.2019. [https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/RAKENTAMISEN%20HIILIJALANJ%
C3%84LKIVERTAILUN%20LOPPURAPORTTI.pdf](https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/RAKENTAMISEN%20HIILIJALANJ%20C3%84LKIVERTAILUN%20LOPPURAPORTTI.pdf) 28.11.2019

Luonnonvarakeskus. 2010. Pohjoinen mänty – laadukas ja monikäyttöinen -ar-
tikkelit. Luettu 11.01.2020. [http://www.metla.fi/metinfo/northernpine/energiate-
hokkuus.html](http://www.metla.fi/metinfo/northernpine/energiatehokkuus.html)

Metsä Wood. 2015. Lämpötekniset ominaisuudet -artikkeli. Luettu 15.12.2019.
[https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/Mate-
rialArchive/Kerto-kasikirja-lvl-Lampotekniset-ominaisuudet.pdf](https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-lvl-Lampotekniset-ominaisuudet.pdf)

Nordtreat. 2018. Miksi valita ympäristöystävällinen palonsuoja-aine puumateria-
alille -artikkeli. Luettu 06.11.2019. [https://www.nordtreat.com/fi/insights/miksi-
valita-ymparistoystavallinen-palonsuoja-aine-puumateriaalille](https://www.nordtreat.com/fi/insights/miksi-valita-ymparistoystavallinen-palonsuoja-aine-puumateriaalille)

Pasanen, P. 2018. Puu vai betoni -elinkaari- ja ympäristövaikutusten vertailu Kuninkaantam-
messa. Asumisen rajoitus ja kehittämiskeskus. Luettu 14.12.2019.
[https://www.ara.fi/fi-FI/Tietopankki/ARAviesti/ARAviestin_verkkoartikke-
lit/Puu_vai_betoni_elinkaari- ja_ymparisto-vaikutusten_vertailu\(47724\)](https://www.ara.fi/fi-FI/Tietopankki/ARAviesti/ARAviestin_verkkoartikkelit/Puu_vai_betoni_elinkaari- ja_ymparisto-vaikutusten_vertailu(47724))

Pirttilä, A. 2017. Rakennusmateriaalien ekologisuus ja niiden kierrätys sekä uusiokäyttö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126310/Rakennusmateriaalien%20ekologisuus.pdf?sequence=1&isAllowed=y> 9.11.2019

Puuinfo Oy. Hengittävä rakenne -artikkeli. Luettu 18.01.2020. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-sis%C3%A4tiloissa/hengitt%C3%A4v%C3%A4-rakenne>

Puuinfo Oy. Kosteusteknisiä ominaisuuksia -artikkeli. Luettu 03.11.2019.
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

Puuinfo Oy. Lujuusteknisiä ominaisuuksia -artikkeli. Luettu 11.01.2020.
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujuusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

Puuinfo Oy. Lämpötekniisiä ominaisuuksia -artikkeli. Luettu 03.11.2019.
<https://www.puuinfo.fi/node/1499>

Puuinfo Oy. Monikerroslevy (CLT) -artikkeli. Luettu 07.02.2020.
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/insinööripuutuotteet/monikerroslevy>

Puuinfo Oy. Ominaisuuksien muuttaminen -artikkeli. Luettu 11.01.2020.
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/ominaisuuksien-muuttaminen>

Puuinfo Oy. Paloteknisiä ominaisuuksia -artikkeli. Luettu 11.01.2020.
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

Puuinfo Oy. Puukerrostalon suunnittelu -artikkeli. Luettu 31.10.2019.
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakenteet/puukerrostalon-suunnittelu>

Puuinfo Oy. 2011. Puun kosteuskäyttäytyminen -tekninen tiedote. Luettu 03.11.2019. <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puun-kosteuskayttaytyminen/puun-kosteuskayttaytyminen.pdf>

Puuinfo Oy. 2018. Puun kosteuskäyttäytyminen -tekninen tiedote. Luettu 22.02.2020. http://puuinfo.fi/sites/default/files/TEKNINEN_TIE-DOTE_Puun%20kosteusk%C3%A4ytt%C3%A4ytyminen_0.pdf

Puuinfo Oy. Puun uudet käsittelymenetelmät -artikkeli. Luettu 11.01.2020.
https://www.puuinfo.fi/puutieto/puun-uudet-kasittelymenetelmat_11.1.2020

Puuinfo Oy. Puulehti. Luettu 22.02.2020. http://puuinfo.fi/sites/default/files/PUU_3_kokonaan_low.pdf

Puuinfo Oy. Puupintojen vaikutukset lämmöntasaajana -artikkeli. Luettu 18.01.2020. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-sisatiloissa/puupintojen-vaikutukset-lammontasaajana>

Puuinfo Oy. Puupäivien 2010 -seminaariaineisto. Luettu 07.02.2020.
<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puupaiva-2010-seminaari-aineisto/heinolan-puukerrostalo-ukkonen-mika-jakoon.pdf>

Puuinfo Oy. Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys -artikkeli. Luettu 06.11.2019. <https://www.puuinfo.fi/node/1505>

Puuinfo Oy. Puu sisäilman kosteuden tasaajana -artikkeli. Luettu 31.10.2019.
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-sisatiloissa/puu-sisailman-kosteuden-tasaajana>

Puuinfo Oy. Puutavaran laatuluokitus -artikkeli. Luettu 15.01.2020.
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/puutavaran-laatuluokitus-0>

Puuinfo Oy. 2019. Puutavaraopas. Luettu 15.01.2020. <https://proofer.faktor.fi/epaper/Puutavaraopas2019/>

Puuinfo Oy. Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. Luettu 14.12.2019.
<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Rakennusmateriaalien%20hiilijalanj%C3%A4lki%20WEB.pdf>

Puuinfo Oy. Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu - tapaustutkimus -artikkeli. Luettu 27.11.2019. <https://www.puuinfo.fi/articles/rakentamisen-hiilijalanj%C3%A4lkivertailu-tapaustutkimus>

Puuinfo Oy. Sahatavaran lujuuslajittelu -artikkeli. Luettu 08.02.2020.
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/sahatavara/sahatavaran-lujuuslajittelu-0>

Puuinfo Oy. Äänitekniisiä ominaisuuksia -artikkeli. Luettu 11.01.2020.
<https://www.puuinfo.fi/node/1501>

Puukeidas. Kertopuupalkit/ Oulu -tuotesivut. Luettu 05.02.2020.
<https://www.puukeidas.fi/oulu/palkit-ja-tolpat/kertopuupalkit.html>

Rakennustietosäätiö. Luettu 06.11.2019. <https://m1.rts.fi/rakennusmateriaalien-paastoluokitus-m1>

Rakentaja.fi. 2006. Puu materiaalina -artikkeli. Luettu 14.12.2019.
https://www.rakentaja.fi/artikkelit/594/puu_materiaalina.htm

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. 2019. Sisäilma-artikkeli. Luettu 19.01.2020.
https://thl.fi/web/ymparistoverveys/sisailma_19.1.2020

Tiihonen, T. teknologijohtaja. 2020. Haastattelu 11.02.2020. Haastattelija Autio, K. Tampereen kaupunki.

Torniainen, P. Puun lämpökäsittely -artikkeli. Luettu 15.12.2019. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010404.pdf>

Tukes. 2016. Älä vaaranna terveyttäsi ja kuormita ympäristöä kemikaaleilla - käytä kyllästettyä puuta oikein -artikkeli. Luettu 06.11.2019. https://tukes.fi/artikkeli/-/asset_publisher/ala-vaaranna-terveyttasi-ja-kuormita-ymparistoa-kemikaaleilla-kayta-kyllastettya-puuta-oike-1

Työterveyslaitos. Formaldehydin käyttö ja esiintyminen työssä -artikkeli. Luettu 25.11.2019. <https://www.ttl.fi/kemikaalit-ja-tyo/formaldehydi/>

Viitanen, H. Puutavaran kestävyys ja valinta -artikkeli. Luettu 26.11.2019. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK080401.pdf>

Ympäristöministeriö. 2017. Selvitys rakennusten hiilijalanjäljen vähentämisestä valmis -tiedote. Luettu 14.12.2019. [https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Selvitys_rakennusten_hiilijalanjaljen_va\(43779\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Selvitys_rakennusten_hiilijalanjaljen_va(43779))