

HAMPPUBETONI MELUIDASSA

Hamppubetonin ekologisuuden vertailu muihin meluaidoissa käytettäviin materiaaleihin ja sen ilmaääneneristävyytystutkimus



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Forssa, Kestävä kehitys

Kevät, 2017

Clarissa Pajukoski

Kestävän kehityksen koulutusohjelma
Forssa

Tekijä Clarissa Pajukoski **Vuosi** 2017

Työn nimi Hamppubetoni meluaidassa

Työn ohjaaja/t Harri Mattila

TIIVISTELMÄ

Hemprefine Oy on suomalainen firma, joka myy ja jalostaa tuotteita kuituhampusta. Pohdittiin, toimisiko hamppubetoni meluaidan materiaalina ja olisiko se ekologisempi materiaali verrattuna muihin melusteissa yleisiin materiaaleihin ja voitaisiinko rakentaa tällainen aita Forssaan. Vertailussa otettiin huomioon materiaalien elinkaari alusta loppusijoitukseen. Myös hiilidioksidipäästöjä vertailtiin.

Työn teoreettisessa osassa on eri lähteisiin perustuvaa tietoa materiaaleista. Hamppubetonia verrattiin betoniin, alumiiniin ja puuhun. Betonin ja alumiinin ympäristövaikutukset ovat huomattavat. Hamppubetoni on materiaalivertailussa yksi ekologisimmista materiaaleista puun ohella. Ainoa huono puoli hamppubetonissa on kalkin louhinta, mutta puun tuotannossakin hakkuut tuovat omat ongelmansa. Kotimaisuus ja hiilineutraalius ovat hamppubetonin hyviä puolia.

Työn toisena osana on tutkimus, jossa valettiin kolme testiseinää hamppubetonista, tarkoituksena mitata ilmaääneneristysluku R_w ja saada selville kuinka hyvin hamppubetoniseinä eristää ääntä. Testiseinät testattiin VTT:n laboratoriossa. Ilmaääneneristävyydestien perusteella hamppubetoni soveltuu meluaidaksi. Laboratoriomittauksissa saatiin selville, että yhden seinän tulokset ovat riittävät meluntorjuntaan.

Hamppubetoni toimii äänentorjunnassa, mutta parhaat tulokset saavutetaan hieman monimutkaisemmalla rakenteella. Pelkkä hamppubetoniseinä ei riitä, mutta hamppubetoni yhdistettynä puuhun tulee tuomaan meluaitaan lisää ominaisuuksia ja kestävyttä. Tällöin myös ekologisuus ja kotimaisuus säilyvät.

Avainsanat Hamppubetoni, meluntorjunta, elinkaari, ilmaääneneristävyys

Sivut 33 sivua

Sustainable Development

Forssa

Author Clarissa Pajukoski **Year** 2017

Subject Hempcrete in noisebarrier

Supervisors Harri Mattila

ABSTRACT

A Finnish company, Hemprefine Ltd. sells and refines products made from hemp. The subject of this thesis came about from the question whether hempcrete would work well as a noise barrier and whether it would be more ecological than other materials used in noise barriers. The possibility of building a hempcrete wall in Forssa was also considered. The comparison between materials takes into account their entire life cycle from its conception to disposal. Carbon dioxide emissions are also compared.

The theoretical part contains information about different materials that has been collected from several sources. Hempcrete is compared to concrete, aluminum and timber. The environmental impacts of concrete and aluminum are remarkable. Hempcrete was found to be among the most ecological materials, along with timber. The only disadvantage with hempcrete is that it requires the mining of lime, but even wood production causes environmental harm from logging. The positive aspects of hempcrete are domesticity and neutral carbon emissions.

The second part of this thesis is comprised of a study where test walls were molded from hempcrete for the purpose of measuring their Sound Reduction Index, R_w , to figure out how well the hempcrete isolates sound. are calculated. The test walls were tested in the VTT laboratory. The sound reduction tests also found hempcrete to be a suitable noise barrier. The laboratory measurements showed that one of the test walls was suitable for noise insulation..

Hempcrete is functional in soundproofing, but the best results can be achieved with a slightly more complex composition. Hempcrete combined with wood will provide noise barriers with more features and durability. Especially when combined with wood, hempcrete would retain its environmental impact and domesticity.

Keywords Hempcrete, noise insulation, lifecycle, sound reduction index

Pages 33 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	ÄÄNI JA MELU	1
2.1	Äänen yksikköjä	1
2.2	Melu	2
3	MELUNTORJUNTA.....	3
3.1	Meluntorjunnan vaatimukset ja tarve	3
3.2	Meluntorjunnan keinot	4
3.3	Erilaiset meluesteet.....	4
3.3.1	Meluaita tai -seinä	5
3.3.2	Melukaide.....	5
3.3.3	Meluvalli	6
3.3.4	Vaihtoehtoisia menetelmiä meluntorjuntaan.....	6
4	MELUESTEIDEN MATERIAALIT	7
4.1	Hamppu ja hamppubetoni.....	8
4.1.1	Hamppubetonin elinkaari	9
4.1.2	Ympäristövaikutukset	11
4.2	Betoni	12
4.2.1	Betonin elinkaari.....	12
4.2.2	Ympäristövaikutukset	13
4.3	Alumiini.....	13
4.3.1	Alumiinin elinkaari	14
4.3.2	Ympäristövaikutukset	15
4.4	Puu.....	16
4.4.1	Painekyllästetyn puun elinkaari.....	16
4.4.2	Ympäristövaikutukset	18
5	MATERIAALIEN VERTAILU.....	19
5.1	Valmistuksen ympäristövaikutukset	19
5.2	Elinkaaren loppu	19
5.3	Päästöt.....	20
5.4	Vertailun yhteenvedo ja tulos	22
6	TUTKIMUS HAMPPUBETONIN ÄÄNERISTÄVYYDESTÄ	22
6.1	Testiseinien valmistus	23
6.2	Testiseinät.....	25
6.2.1	Seinä 1	25
6.2.2	Seinä 2	25
6.2.3	Seinä 3	26
6.3	Ilmaääneneristävyydestit	26
6.4	Laboratoriotestien valmistelu.....	27
6.5	Testien tulokset.....	28

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	30
LÄHTEET.....	33

1 JOHDANTO

Melu mielletään epämiellyttäväksi ja ärsyttäväksi ääneksi. "Arviolta 800 000–900 000 suomalaista asuu alueilla, joiden päivämelutaso ylittää 55 dB" kerrotaan valtioneuvoston periaatepäätöksessä vuodelta 2007 (2007, 11). Eniten melua tuottaa liikenne; liikennemelu on jokapäiväistä ja kaupungistumisen myötä se lisääntyy ja vaikuttaa viihtyvyyteen. Yksilötasolla se voi aiheuttaa jopa terveydellisiä haittoja.

Opinnäytetyön aihe on saatu Hemprefine Oy:ltä, joka kehittää ja myy erilaisia hampputuotteita. Heitä kiinnosti, olisiko hamppubetoni pätevä meluaidassa ja olisiko se ekologisempi ratkaisu kuin muut meluaidoissa käytettävät materiaalit.

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka kestävä, ekologinen ja toimiva materiaali hamppubetoni on meluaidassa. Hamppubetonia vertailtiin muihin meluaidoissa yleisesti käytettäviin materiaaleihin: betoniin, alumiiniin ja puuhun. Erityisesti keskitytään materiaalien elinkaareen.

Työn toisessa osassa tutkittiin hamppubetonin ääniominaisuuksia. Hämeen ammattikorkeakoulun Hämeenlinnan yksikössä valmistettiin kolme erilaista testiseinää hamppubetonista, jotta päästäisiin optimaalisimpaan tulokseen äänenvaimennuksen kannalta. Nämä testiseinät lähetettiin VTT:n tutkimuslaboratorioon. Testien tuloksia käsitellään luvussa 6.

2 ÄÄNI JA MELU

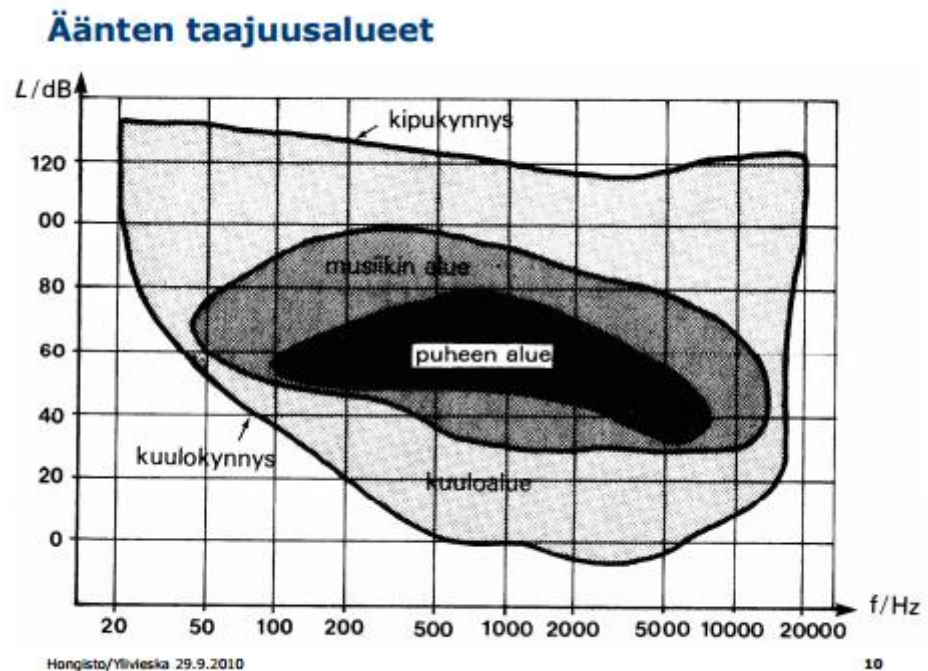
Ääni on aaltoliikettä, joka tarvitsee väliaineen kulkeakseen eteenpäin, esimerkiksi ilman tai veden. Eri väliaineissa äänennopeus vaihtelee ja väliaineen lämpötilakin vaikuttaa äänen nopeuteen.

2.1 Äänen yksiköjä

Äänipainetason yksikkö ilmaistaan desibeleinä (dB). Kymmenen desibelin melutason muutos vastaa kuuloaistimuksessa äänen kaksinkertaistumista. Ihminen voi kuulla ääniä 130 desibeliin asti ja aistia 2–3 desibelin äänitason muutoksen (Tiehallinto 2006, 3). Kuvassa 1 (s. 2) ovat näkyvissä taajuusalueet.

Taajuus eli painevärähtelyn lukumäärä aikayksikössä määrää äänen korkeuden. Mittayksikkönä taajuudelle on hertsi (Hz), joka tarkoittaa värähtelyn määrää/sekunti. Alhainen värähdysten määrä aiheuttaa matalaa ääntä ja suuri määrä aiheuttaa korkean äänen. Ihminen pystyy havaitse-

maan 20–20 000 Hz. Iän myötä korkeiden äänien havainnointi heikkenee. (Mute n.d..)



Kuva 1. Äänten taajuusalueet. (Hongisto 2010, 5)

Äänen voimakkuutta kuvataan äänen pitkän ajan keskiarvona, keskiäänitasona eli ekvivalenttitasona (L_{eq}). Keskiäänitaso vastaa jatkuvaa vakioäänitasoa (Liikonen 2003). Koska ääntä käsitellään logaritmisena suurena, hetkelliset korkeat äänet vaikuttavat suuresti ekvivalenttiseen melutasoon (Pöyry Finland Oy 2013, 2). Melun kokemiseen vaikuttavat myös muut ominaisuudet, kuten meluhuiput, toistuvuus, taajuus ja ajoittuminen sekä hiljaisten jaksoiden pituus (Tiehallinto 2006, 2).

Ääni voidaan luokitella ajallisesti. Se voi olla jatkuvaa ja tasaista kuten liikenteen tai teollisuuden aiheuttamaa, monia tunteja kestävä. Ääni voi olla myös jaksottaista, jolloin ääni tulee ja menee, kuten esimerkiksi ohi kulkevien junien aiheuttamana. Lyhytaikaista ja iskumaista ääntä voi tulla ampumaradalta tai vaikkapa vasaran iskuista. (Liikonen 2003.)

2.2 Melu

Melu on ääntä, joka koetaan häiritseväksi. Elinympäristön laatu ja viihtyvyys heikkenevät kovan melun takia. Ihmisten meluherkkyys on yksilöllistä ja vaikuttaa viestintäkykyyn ja uneen. Äänen käsittäminen meluksi riippuu paljon tilanteesta, sillä kova ääni voi olla myös miellyttävää, esimerkiksi musiikki (Tiehallinto 2006, 2). Melua voidaan mitata sen fyysikaalisten ominaisuuksien perusteella.

Ympäristömelu sisältää useista lähteistä peräisin olevaa yhtäaikaista ääntä, jossa taajuus ja aallonpituudet muuttuvat lähes jatkuvasti. Ympäristömelu on ihmisen toiminnasta johtuvaa ääntä ja sen määrä riippuu paljon myös ajasta ja paikasta (Pöyry Finland Oy 2013, 2). Melulle on määritetty yleiset ohjearvot, jotka on lueteltu taulukossa 1 (s. 4).

Ympäristömelulle altistuvista noin 85 prosenttia altistuu tieliikennemelulle. Tieliikenteen melupäästöihin vaikuttavat liikennemäärä, kulkuneuvojen nopeus, raskaiden ajoneuvojen määrä, tien pinta ja kaltevuus. (Liikenne 2003.)

3 MELUNTORJUNTA

Meluntorjuntaan on monenlaisia ratkaisuja, myös materiaaleja käytetään monipuolisesti. Meluntorjuntaa tarvitaan yhä enemmän, sillä asutus on usein lähellä runsaasti liikennöityä tietä. Valtioneuvoston periaatepäätöksessä (2007, 7) meluntorjunnan päämääränä on terveellinen, viihtyisä ja vähämeluinen elinympäristö.

Meluntorjunnan keinoja on estää tai vähentää melua sen lähteessä, estää melun leviäminen ja suojata melulle altistuvat kohteet. Lisäksi toimintojen sijoittamisella saadaan vähennettyä meluhaittoja. (Ympäristöministeriö 2007, 8.)

3.1 Meluntorjunnan vaatimukset ja tarve

Meluntorjunnassa on tiettyjä vaatimuksia, jotka meluesteen tulisi täyttää. Ne liittyvät erityisesti meluidan ominaisuuksiin ja rakenteeseen. Meluesteellä on oltava sopivat ja riittävät ominaisuudet akustisesti. Tiehallinto kertoo julkaisussaan, että tavoiteltava vaimennus riippuu meluesteen sijainnista, korkeudesta, pituudesta ja suojattavan kohteen sijainnista (Tiehallinto 2006, 7).

Meluntorjuntaan liittyvät keskeisimmät säännökset sisältyvät ympäristönsuojelulakiin 993/1992. Lakiin on kirjattu melutason yleiset ohjearvot (VNP 993/1992 § 2 ja § 3), jotka perustuvat meluntorjuntalakiin 382/1987; ne on esitetty taulukossa 1. (s. 4.)

Taulukko 1. Melutason yleiset ohjearvot 993/1992. (Liikonen 2003)

	L _{A,eq} enintään	
	Päivällä klo 7-22	Yöllä klo 22-7
Ulkona:		
Asumiseen käytettävät alueet, virkistysalueet taajamissa ja niiden välittömässä läheisyydessä sekä hoito- tai oppilaitoksia palvelevat alueet	55 dB	50 dB 45 dB ¹
Loma-asumiseen käytettävät alueet, leirintäalueet, virkistysalueet taajamien ulkopuolella ja luonnonsuojelualueet		45 dB
Sisällä:		
Asuin-, potilas- ja majoitustilat	35 dB	30 dB
Opetus- ja kokoontumistilat	35 dB	-
Liike- ja toimistohuoneistot	45 dB	-

Meluntorjunnan tarvetta tulee arvioida tarkasti ennen rakenteiden pystyttämistä. Arvioinnissa selvitetään muun muassa seuraavia asioita:

- Kuinka paljon ihmisiä melulle altistuu?
- Keihin melu kohdistuu?
- Kuinka voimakasta melu on?
- Mistä melu aiheutuu?
- Millaisia meluntorjuntakeinoja voidaan käyttää?
- Mitä haittoja meluntorjunnasta aiheutuu?
- Onko meluntorjunta investoinniltaan kannattava?

(Liikennevirasto 2010, 8.)

3.2 Meluntorjunnan keinot

Meluntorjunnassa käytetään monenlaisia keinoja. Siinä pyritään vähentämään melua lähteestä tai estämään melun leviäminen suojaamalla melulle altistuvat kohteet (Ympäristöministeriö 2007, 8). Melua on mahdollista torjua ja välttää toimintojen sijoittelulla kauemmas melunlähteestä, pintaratkaisuilla ja meluaidoilla (Liikennevirasto 2010, 8; Liikonen 2003).

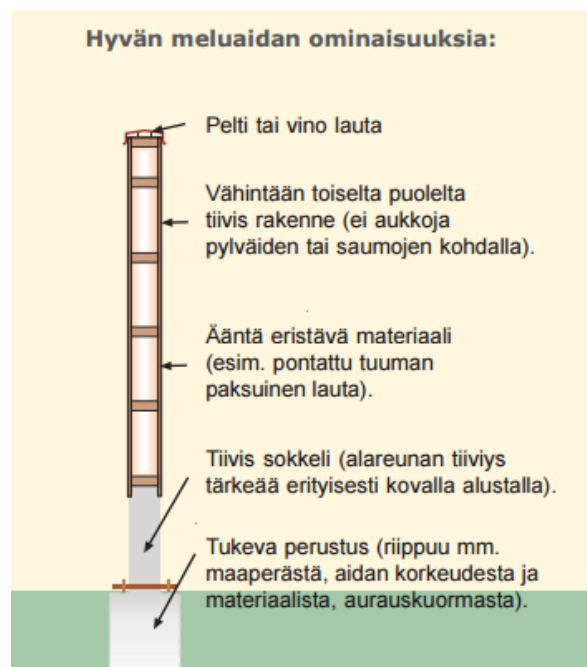
3.3 Erilaiset melusteet

Melusteet ovat tehokas keino vähentää melua. Melusteillä tarkoitetaan meluntorjuntarakenteita, joilla katkaistaan äänen suora kulku. Melusteitä on monenlaisia: meluvalleja, -aitoja ja -kaiteita. Näitä voi yhdistellä tarpeen mukaan. Esteiden tehokkuuteen vaikuttaa niiden korkeus ja materiaali. (Heikkonen & Silfverberg 2001, 27.)

3.3.1 Meluaita tai -seinä

Meluaita on korkea, noin kaksimetrinen, seinämä, joka sijoitetaan melko etäälle tiestä. Ne ovat melko ohuita rakennelmia, joita käytetään erityisesti silloin, kun kohteessa tarvitaan merkittävästi melun vaimennusta eikä rakentamiseen ole tilaa käytettävissä (Liikennevirasto 2010). Liikenneviraston (2010) julkaisusta selviää myös, että "meluseinän paksuntamisesta muuriksi ei ole hyötyä".

Meluaitoja valmistetaan monista erilaisista materiaaleista, joista yleisempiä ovat puu, betoni, kevytsoraharkot, tiilet ja metallikasetit. Huokoiset, ääntä imevät pintamateriaalit ovat yleensä parhaita ja äänen heijastumista pyritään minimoimaan (Tiehallinto 2006, 6). Meluidan materiaaleja käsitellään tarkemmin luvussa 4. Meluaita vie vähän tilaa ja on tehokas ratkaisu äänen vaimentamiseen. Kuvassa 2 on esitetty havaintokuva hyvästä meluidasta ja sen ominaisuuksista.



Kuva 2. Tiehallinnon havaintokuva hyvästä meluidasta. (Tiehallinto 2006)

3.3.2 Melukaide

Melukaide on 1–1,4 metrin korkuinen, yleensä betonista valmistettu este. Se sijoitetaan välittömästi tien viereen. Erityisesti kaiteita käytetään silloilla ja korkeilla tien penkereillä. (Tiehallinto 2006, 6.) On suositeltavaa, että suojattavat kohteet sijaitsevat alempana kuin tien pinta. Tällöin melukaide toimii parhaiten (Heikkonen & Silfverberg 2001, 27).

3.3.3 Meluvalli

Meluvalli on maa-aineksesta rakennettu valli. Meluvallit vaativat paljon tilaa ja niitä käytetään harvaan rakennetulla tai uusilla alueilla (Heikkonen & Silfverberg 2001, 27). Vallin päälle rakennetaan usein myös aita, joka estää esimerkiksi lapsien pääsyn tien lähelle. Meluvalli on huomaamattomampi ja luonnollisempi kuin meluaita tai muut vastaavat rakenteet. Se voi parhaimmillaan toimia esimerkiksi osana puistoa ja siihen voidaan istuttaa kasvillisuutta, joka itsessään myös torjuu hieman melua. (Heikkonen & Silfverberg 2001, 27.) Kuvassa 3 näkyy jo hieman madaltunut meluvalli.



Kuva 3. Meluvalli voi olla hyvinkin huomaamaton. Kuvan meluvalli on kuitenkin jo ehtinyt madaltumaan. (Lempäälän kunta n.d.)

3.3.4 Vaihtoehtoisia menetelmiä meluntorjuntaan

Meluntorjuntaan on myös vaihtoehtoisia menetelmiä, joilla on mahdollista välttää ja vähentää melusteiden rakentamista. Niitä ovat

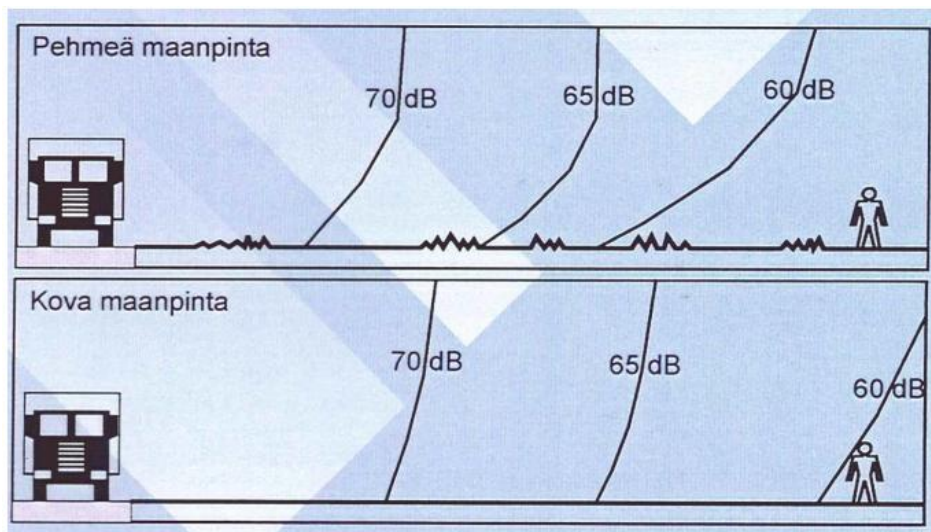
- kaavoitus
- päällysteet
- kasvillisuus
- ajonopeudet.

(Tiehallinto 2010, 11-14.)

Valtioneuvoston mukaan "alueiden käyttöä suunniteltaessa pyritään vähentämään liikennetarvetta. Keskustoissa ja asuinalueilla vähennetään

moottoriajoneuvoliikennettä kehittämällä niistä autottomia tai vähäliikenteisiä alueita.” Liikenteen meluhaittoja ehkäistään tai vähennetään lisäksi muun muassa liikenneverkon jäsentelyyn, raskaan liikenteen ohjauksen sekä nopeus- ja liikenerajoitusten avulla (Ympäristöministeriö 2007).

Tieliikenteen meluhaittoja vähennetään lisäämällä hiljaisten tienpäällysteiden käyttöä, kuten kuvassa 4. on havainnoitu. Myös vähämeluisten renkaiden käyttöä tulisi lisätä. Rautatieliikenteen melua vähennetään kalustoa ja kiskojen kuntoa kehittämällä. Näitä toimia täydennetään tarvittaessa rakentamalla melusteitä. (Ympäristöministeriö 2007, 9.)



Kuva 4. ELY-keskuksen kuva havainnollistaa kuinka pehmeä ja kova maanpinta johdattavat ääntä. Kova heijastaa ja jopa vahvistaa, kun pehmeä vaimentaa. (Liikonen 2003)

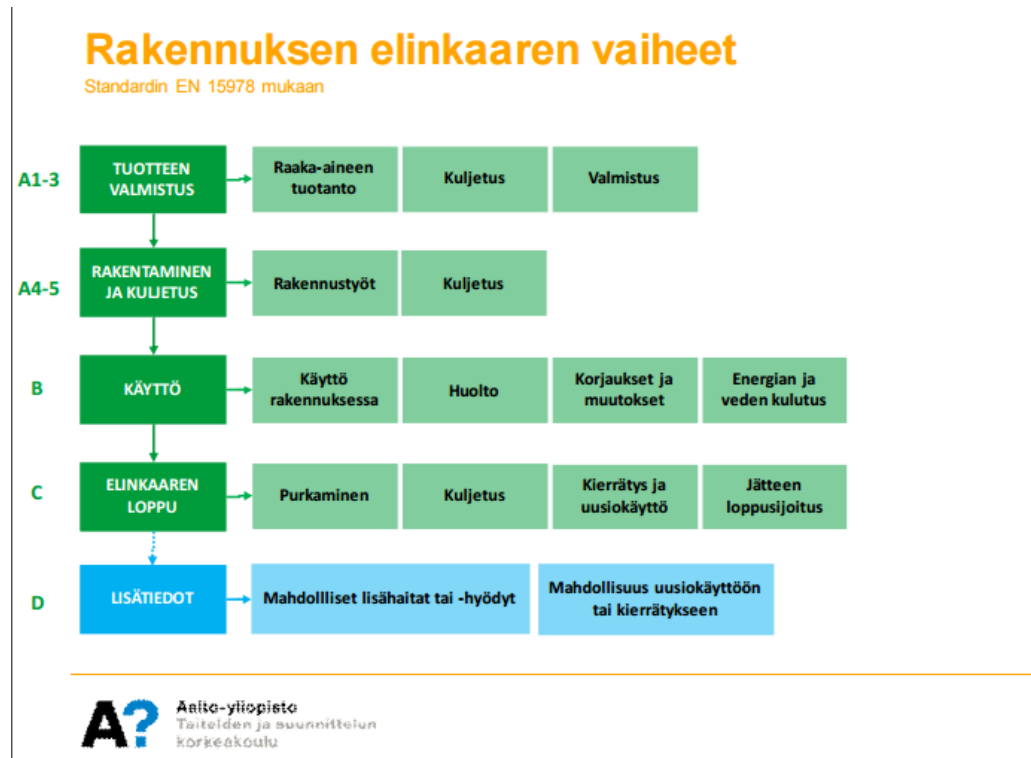
4 MELUESTEIDEN MATERIAALIT

Melusteissa käytetään monipuolisesti materiaaleja. Usein esteet eivät koostu pelkästään yhdestä materiaalista vaan usein esimerkiksi betoniin on yhdistetty myös puuta tuomaan parempaa eristystä, mutta myös parantamaan ulkonäköä. Meluesteen on hyvä olla myös miellyttävän näköinen ja sovitettava ympäristöön. (Tiehallinto 2009.)

Betoni ja puu ovat yleisimpiä materiaaleja meluseinissä. Myös metallirakenteita ja muovisia materiaaleja käytetään. Meluntorjunnassa käytetään myös kiviä, maata ja kasvillisuutta.

Tarkempaan tarkasteluun valittiin betoni, puu ja alumiini. Näiden materiaalien ominaisuuksia ja elinkaarta verrataan hammppubetoniin. Materiaalin elinkaari käsittää tuotteen elämän valmistuksesta hävittämiseen tai

kierrätykseen. Kuvassa 5 eritellään tarkemmin, mitä vaiheita elinkaareen kuuluu. Niistä tarkemmin perehdyttiin tuotteen valmistukseen, käyttöön ja elinkaaren loppuun.



Kuva 5. Rakennuksen elinkaaren vaiheet. (Kuittinen 2014)

4.1 Hamppu ja hamppubetoni

Hamppu, Cannabis Sativa, on perinteinen kuitukasvi, jolla on Suomessa pitkä historia. Viitteitä sen viljelystä Suomessa löytyy 4000 ennen ajanlaskun alkua (Neuvo 2014). Sitä on käytetty pellavan ohella perinteisesti muun muassa köysissä ja tekstiilimateriaalina (Linotte n.d.). 1800-luvulla viljely kuitenkin taantui ja vuoteen 1950 mennessä se käytännössä loppui kokonaan. Hampun viljely oli myös hetken kiellettyä (Neuvo 2014).

Kuituhampussa on erittäin vähän päihdyttävää kannabinoidia verrattuna hyvin jalostettuun päihdehamppuun, josta valmistetaan kannabista (Tetri 2011). Kuituhamppua pystytään kasvattamaan niin eteläisellä kuin pohjoisella pallonpuoliskolla. Suomessa hampulla on pitkä kasvukausi. Sen kasvu-aika on 110–130 päivää riippuen lajikkeesta. Hamppu kasvaa hyvin siihen asti kunnes vuorokauden keskilämpötila on 0 celsiusastetta. Lisäksi se pystyy hyödyntämään tehokkaasti Suomen valoisat yöt. (Luokkakallio 2011.)

Hamppukasvusto voi suotuisalla alueella ja nopeimmassa kasvuvaiheessa kasvaa viidestä kymmeneen senttimetriin vuorokaudessa (Luokkakallio

2011). Suomessa kuituhamppu saattaa kesän aikana kasvaa jopa neljän metrin mittaiseksi, jolloin se tuottaa kuiva-ainetta seitsemän tonnia hehtaaria kohti (Kuituhampun viljelytekniikka 2016).

Hamppubetoni on huokoinen materiaali, joka valmistetaan kolmesta raaka-aineesta: hamppupäistäreestä, kalkkikivijauheesta ja vedestä (Hemprefine Oy n.d.). Rakennustekniikka, joka hyödyntää hamppu-kalkkiseosta, on kehitetty Ranskassa noin 40 vuotta sitten. Materiaali sopii erityisen hyvin vanhojen rakennusten restauroimiseen ja lisäeristykseen. Rakennusmateriaaleina hamppubetonissa käytetyt kalkki ja hamppu ovat kuitenkin perinteisiä. Kalkki on erittäin tunnettu ja käytetty rakennuksissa. Hamppua on Suomessakin käytetty paljon erityisesti eristeenä. (Norokytö 2016.) Kuvassa 6 on valmista, kuivaa hamppubetonia.



Kuva 6. Hamppubetonia. (Norokytö 2016)

4.1.1 Hamppubetonin elinkaari

Kuituhamppu voidaan korjata pellolta syksyllä tai kevättalvella, kun maa on vielä roudassa, mutta korjuu on myös mahdollista, kun maa on jo kylvökunnossa. Keväällä korjattu kuituhamppu on kuivaa ja se voidaan varastoida saman tien, näin välttämättä kuivauskustannuksilta. Kuituhamppu voidaan korjata käsin tai karholta suurkantti- tai pyöröpaalaimella (Hemprefine Oy n.d.). Suomessa kuituhampun korjuu keväällä on kannattavampaa (Pasila 2004, 2). Hemprefine Oy:n mukaan kesäkuun alussa viljellystä kuituhampusta saadaan erittäin hyvä sato.

Kuituhampusta saadaan jalostettua kahdenlaista materiaalia, hamppukuitua ja päistärettä. Hampun päistäre on korren sisäosassa sijaitseva puumainen osa joka näkyy vaaleana kuvassa 7 (s. 10). Päistäreen osuus korren biomassasta on noin 50 - 60prosenttia (Neuvo 2014). Nykyisin kuituhampusta valmistetaan jopa eriste- ja akustiikkalevyjä, biokomposiitteja ja erilaisia nanomateriaaleja (Hemprefine Oy n.d.). Hamppua käytetään myös eläinten kuivikkeina ja erilaisissa öljy- ja elintarviketuotteissa (Hamppufarmi n.d.).

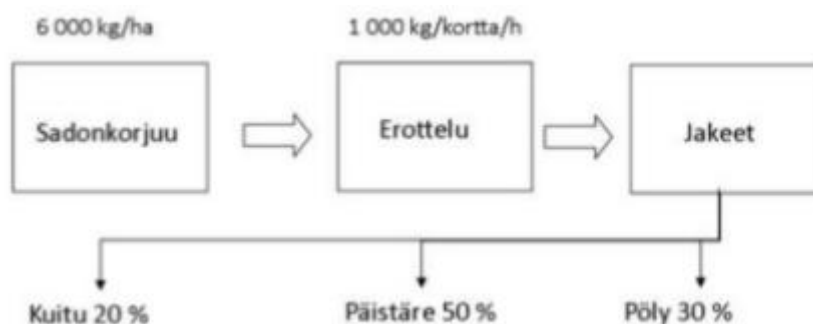


Kuva 7. Kuituhampun poikittaisleikkaus. Sisemmällä sijaitsee puumainen osa ja uloimpana kuidun raaka-aine. (Neuvo 2014)

Kuituhampun erottelussa päistäreeksi ja kuiduksi hyödynnetään perinteisesti peltoliuotusta. Tällöin hamppu niitetään syksyllä ja korjataan kahden viikon kuluttua pois. Suomen syksyn sääolosuhteet kuitenkin haittaavat tämän perinteisen syksyisen peltoliuotuksen harjoittamista, siksi kuituhamppu on parempi korjata keväällä. (Pasila 2004, 12–17.)

Keväällä kuitu on jo hieman irronnut talven ansiosta, sillä jäätyessään varren vesi saa pektiinin irtoamaan kuidun ja varren väleistä. Näin pelto-
liotusta ei enää tarvita, eikä satoa tarvitse erikseen edes kuivattaa. Kevät-
korjatussa kuituhampussa kosteus on noin kymmenen prosenttia. (Pasila 2004, 12–17.)

Kuvassa 8 on esitetty hampun jalostus. Erottelussa erotetaan lopullisesti kuitu ja päistäre murskauksen avulla. Murskaus tapahtuu joko vasaramyllyllä tai loukutusteloilla. Valmiit kuituhamppupaalit avataan ja johdetaan murskattavaksi. Murskatusta materiaalista poistetaan pöly ja laitetaan vielä kertaalleen murskattavaksi. Lopuksi kuitu ja päistäre erotellaan rumpuseulan avulla. (Pasila 2014, 21.)



Kuva 8. Kuituhampun jalostusprosessi yksinkertaisesti. (Ikonen 2015)

Hamppubetonisten testiseinien valuihin käytettiin sammutettua kalkkia. Kalkkijauhoa valmistetaan louhimalla ja murskaamalla kalkkikiveä, joka on maankuoren yleisin kivilaji. (Nordkalk 2017.)

Kalkkikivimurskaa seulotaan ja jauhetaan, jolloin saadaan hienoa kalkkivijauhetta. Tämä jauhe laitetaan kalkkiuuniin, jossa se hajoaa kalsiumoksidiksi eli poltetuksi kalkiksi ja hiilidioksidiksi. Lopuksi kalkki vielä sammutetaan lisäämällä poltettuun kalkkiin vettä. Kalsiumoksidi reagoi ja muuttuu kalsiumhydroksidiksi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, jota kutsutaan myös sammutetuksi kalkiksi. (Nordkalk 2017.)

Hamppubetonin valmistus on yksinkertainen prosessi. Ensin myllyyn lisätään hamppupäistäre, jonka jälkeen lisättiin kalkki. Mylly sekoittaa kalkin ja hampun keskenään ja päistäreet kuorruttuvat kalkkijauheella. Tämän jälkeen aletaan lisätä varovasti vettä sekoittaen koko ajan. Myös kalkkijauhetta on mahdollista lisätä tarvittaessa hieman. Tämän jälkeen valmis seos tiivistetään seinämää tukevaan kehikkoon, sillä materiaalin puristuslujuus on heikko (Norokytö 2016).

Purettaessa hamppubetonirakenne voidaan murskata ja hävittää vaikkapa pellolle levittämällä, sillä peltoja kalkitaan maaperän pH-arvon nostamiseksi. Kalkki myös parantaa ravinteiden saatavuutta ja satoa (Farmit.net 2017). Täysin luonnollisena materiaalina hamppubetoni maatuu, lannoittaa ja lisää maaperän ainesta (Hempcrete Australia 2014).

4.1.2 Ympäristövaikutukset

Hamppubetoni on hiilineutraali materiaali. Kasvaessaan hamppu sitoo hiilidioksidia ilmasta runsaasti. 110 kiloa hamppua sitoo itseensä noin 202 kiloa hiiltä (Hemp Architecture 2017). Hamppu on myös maaperälle hyödyllinen viljelyskasvi, sillä sen juuret parantavat maaperän laatua. Myös suuri biomassa lisää orgaanista ainesta maaperässä. Tämä johtaa maan kuohkeutumiseen. Hamppu toimii erityisen hyvin esi- tai vuoroviljelykasvina. Se ei myöskään tarvitse kasvinsuojeluaineita, jolloin kasvatusta ei kuormita ympäristöä. (Norokytö 2016.)

Hamppubetonin suurin ongelma on siinä käytettävä kalkki. Kalkkikivi on uusiutumaton luonnonvara. Lisäksi louhinnalla on ympäristölle paljon negatiivisia vaikutuksia kuten kasvillisuuden väheneminen, pöly ja muut vaikutukset ilmanlaatuun, tärinä, äänet ja mahdolliset haitat pohjaveteen. (Kaiva.fi n.d..) Myös hiilidioksidipäästöjä tulee kalkista jonkin verran; 202 kiloa käyttökelpoista kalkkia tuottaa noin 94 kiloa hiilidioksidia (Hemp architecture 2017). Taulukossa 2 (s. 12) esitetään hamppubetonin hiilitalous. Hamppubetoni sitoo itseensä enemmän hiilidioksidia kuin mitä kalkin tuotanto päästää ilmaan

Taulukko 2. Hamppubetonin raaka-aineiden hiilitalous. (Hemp architecture 2017)

Raaka-aine kg/m ³	CO ₂ tuotto/sidonta kg
110 kg hamppupäistärettä	-202
220 kg kalkkia	94
Netto	-108

4.2 Betoni

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali (Betoniteollisuus ry 2016). Se koostuu sementistä, kiviaineksesta ja vedestä (Siikonen 2009). Näiden pääraaka-aineiden lisäksi tarvittaessa lisätään lisäaineita, jotka säätelevät betonin ominaisuuksia. Esimerkiksi erilaisilla polymeereillä säädellään notkeutta, ilmapitoisuutta tai nopeutetaan kovettumista (Betoniteollisuus ry 2016).

Betonin käyttökohteita on runsaasti, sillä se on erittäin monipuolinen materiaali. Se sopii erittäin hyvin infrarakenteisiin, joita ovat myös melusteet. Betoni on erittäin kestävä materiaali (Betoniteollisuus ry 2016). Se kestää lämpötilavaihtelut ja erilaiset sääolosuhteet, joka on ulkona olevalle rakenteelle tärkeää (Betoniteollisuus ry 2016).

Melusteissa betoni on yksi suosituimmista materiaaleista sen ominaisuuksien vuoksi. Rakenteesta saadaan painava, materiaali on suhteellisen edullista ja sen muotoilu on helppoa valettaessa. (Siikonen 2009.)

4.2.1 Betonin elinkaari

Tässä luvussa käydään läpi betonin elinkaari valmistuksesta loppusijoitukseen. Koska betoni koostuu monesta eri raaka-aineesta, otetaan mukaan elinkaareltaan keskeisimmät eli sementti ja kiviaines.

Betoniin tarvittavaa kiviainesta on saatavilla lähes kaikkialla. Nykyään, jotta merkittävät harjukiviainekset säästyisivät, tarvittava kiviaines murskataan kalliosta (Betoniteollisuus ry 2016). Betonin toinen osa-aine on sideaineena toimiva sementti, jolla tavallisesti tarkoitetaan betonin valmistuksessa käytettyä portlandsementtiä (Kpedu 2007). Yhteen kuutiometriin betonia käytetään noin 200–400 kilogrammaa sementtiä. Näin ollen betonin painosta kahdeksasta kuuteentoista prosenttiin koostuu sementistä (Betoniteollisuus ry n.d.).

Sementin raaka-aineena on yleensä kalkkikivi, joka on maankuoren yleisin kivilaji (Betoniteollisuus ry n.d.). Muita sementtiin tarvittavia mineraaleja kuten pii-, rauta- ja alumiinioksideja saadaan erilaisista kivilajeista tai savesta (Kpedu 2007). Suomi on sementin suhteen omavarainen (Betoniteollisuus ry 2016). Sementtiklinkkeri valmistetaan polttamalla kalkkikivi ja

muut mineraalit kiertouunissa noin 1 450 celsiusasteen lämpötilassa. Kuumennettu aines jauhetaan lopuksi hienoksi sementiksi (Betoniteollisuus ry n.d.).

Vesi on myös yksi tärkeimmistä betonin raaka-aineista. Veden määrä vaihtelee betonissa, sillä se määrää pitkälti, kuinka lujaa betonista tulee (Finnsementti n.d.). Betonin valmistukseen täytyy kuitenkin käyttää puhdasta, juomakelpoista vettä, sillä ylimääräiset aineet kuten esimerkiksi humus häiritsee betonin kovettumista huomattavasti (Betoniteollisuus ry n.d.).

Valmiit betonielementit on mahdollista siirtää uuteen paikkaan, mikäli niitä ei ole valettu tai raudoitettu perustuksiin. Paikalla valettu elementti voidaan purkaa vain rikkomalla se, jolloin betonirakenteet murskataan. Betonimurskaa käytetään yleisesti maarakennusaineena ympäri maailmaa ja peräti 90 prosenttia maailman betonimurskeesta käytetään maarakennukseen. Murska on todella hyvä materiaali teille, sillä sen lujuuden ansiosta sitä tarvitaan lähes puolet vähemmän kuin luonnon kiveä. Murskeen käyttö tulee myös luonnonkiveä edullisemmaksi (Hellä 2010).

4.2.2 Ympäristövaikutukset

Kalkkikiven ja kallion louhinta ja murskaus käyttää runsaasti energiaa ja aiheuttaa ympäristölle erilaisia haittoja, joita ovat muun muassa melu-, tärinä- ja pölypäästöt. Lisäksi mahdollisia vaikutuksia saattaa ilmetä pohja- ja pintavesissä. (Kaiva.fi n.d.) Kaivannaiset ovat myös uusiutumaton luonnonvara.

Valmistusprosessi kuluttaa runsaasti energiaa ja kuumennettaessa kalkkikivestä irtoaa huomattava määrä hiilidioksidia. Vuonna 2013 1,28 prosenttia Suomen kasvihuonepäästöistä aiheutui sementin valmistuksesta (Betoniteollisuus ry n.d.). Yhden klinkkeritonnin valmistukseen tarvitaan kalkkikiveä 1 500 kiloa, jonka poltossa vapautuu yli 500 kiloa hiilidioksidia. Lisää tuottavat polttoaineet, joita tarvitaan kuumennukseen, louhintaan ja kuljetuksiin (Betoniteollisuus ry n.d.). VTT:n raportissa betonin hiilijalanjäljeksi on määritelty CO₂ ekvivalenttina 442 grammaa materiaalikiloa kohti (Ruuska 2013, 24).

Betoni on sinällään kestävän kehityksen mukainen materiaali, sillä monet betonirakennelmat on suunniteltu kestäväksi useita kymmeniä vuosia. Periaatteessa betonirakenteet ovat ikuisia. (Betoniteollisuus ry n.d.)

4.3 Alumiini

Alumiini on kevyt, helposti muovailtava metalli. Alumiinia käytetään todella monipuolisesti lentokoneista juomatölkkeihin. Sen etuja ovat pieni ominaispaino, lujuus, hyvä muokattavuus, ulkonäkö ja korroosionkestä-

vyys. Sitä esiintyy joka puolella ja se on heti hapen ja piin jälkeen yleisin alkuaine maankuoressa. Alumiinia valmistetaan bauksiitti-mineraalista. (Teknologiateollisuus ry 2016.)

Alumiini sopii meluaitoihin hyvin, sillä se on pitkäikäinen, kestävä ja erittäin helppo asentaa. Se on kevyt materiaali, joten se sopii moneen paikkaan ja on helppo siirrellä. Alumiinisia meluaitoja valmistavan Hansa Rakenne Oy:n Internet-sivuilla kerrotaan, että aitojen keveys mahdollistaa myös kevyet perustukset. Tämä sopii erittäin hyvin ahtaisiin paikkoihin. (Hansa Rakenne Oy n.d..)

Alumiinisen meluidan akustiset ominaisuudet riippuvat täysin rakenteesta ja pinnan muodoista. Näitä muuttamalla saadaan monipuolisia ratkaisuja. Korroosionkestävyys on hyvä, sillä alumiini kehittää pintaansa oksidipinnan reagoidessaan hapen ja veden kanssa (Teknologiateollisuus ry 2016). Kuvassa 9 on esimerkki alumiinisesta meluidasta.



Kuva 9. Alumiininen meluaita. (Motorwaycare n.d.)

4.3.1 Alumiinin elinkaari

Koska alumiinia ei ole puhtaasti luonnossa, sitä saadaan jalostamalla bauksiitista. Bauksiittia louhitaan avolouhoksessa ja siitä neljäsosa on alumiinia. Louhittu bauksiitti rikastetaan alumiinioksidiksi ja jatkojalostuksen kautta päästään tekemään alumiininen tuote. Kahden alumiinioksiditonin tekemiseen tarvitaan bauksiittia noin neljästä viiteen tonnia. (Teknologiateollisuus ry 2017.)

Alumiinia valmistetaan prosessilla, joka otettiin käyttöön jo noin 200 vuotta sitten. Jalostamossa bauksiitti murskataan ja siihen lisätään vähän vettä. Tämän jälkeen se myös kuumennetaan. Sitten malmi johdetaan painekattilaan, jossa se reagoi kalkkilipeän kanssa. Alumiinioksidi muuttuu massaksi pintaan, kun muut aineet painuvat pohjaan punaiseksi mudaksi. (Uc Rusal n.d..)

Tämän jälkeen alumiinioksidia saostetaan muutama päivä, jolloin puhdas alumiinioksidi Al_2O_3 painuu pohjaan. Tämän jälkeen tarvitaan vielä pelkistys, joka tapahtuu sulatusuunissa. Alumiinioksidi kaadetaan sulan kryolii-tin kanssa uuniin, jossa se kuumennetaan 950 celsiusasteeseen. Seokseen johdetaan vielä yli 400 kiloampeerin sähkövirta, joka rikkoo alumiinin ja hapen välisen sidoksen. Nestemäinen alumiini painuu pohjaan, josta se sitten otetaan talteen ja muotoillaan harkoiksi. Harkot toimitetaan sitten eteenpäin muotoiltaviksi. (Uc Rusal n.d.) Kuvassa 10 on valmiita harkkoja odottamassa muotoilua.

Alumiininen meluaita ei vaadi keveytensä takia massiivista perustusta (Hansa Rakenteet n.d.), joten sen siirtäminen uuteen paikkaan on helppoa. Mikäli aita hävitetään, se voidaan kierrättää. Kaikki alumiinituotteet on mahdollista käyttää uudelleen ja alumiinin hävikki sulatuksessa on vain kolme prosenttia. Uudelleenkäyttö vähentää uuden materiaalin louhintaa ja päästöjä. (Teknologiateollisuus ry 2017.)



Kuva 10. Valmiita alumiiniharkkoja. (Construction Week Online 2012)

4.3.2 Ympäristövaikutukset

Avolouhoksen vuoksi alueelta joudutaan poistamaan kasvillisuus, mutta koska alumiini irrotetaan pintamaasta, maa aines jää paikoilleen. Kaivos-toiminta muuttaa maisemaa ja ekosysteemiä. Valtaosa louhosalueista maisemoidaan ja pyritään laittamaan alkuperäiseen tilaan (Teknologiateollisuus ry 2017). Alkuperäiseen tilaan luontoa ei kuitenkaan koskaan saada, sillä sen palautuminen kestää pitkään. Lisäksi 90 prosenttia paikoista, josta bauksiittia saa parhaiten, sijaitsee subtrooppisella tai trooppisella alueella. Näiden alueiden luonto on erittäin herkkää ja vanhaa, ei-

kä siksi palautu täysin ennalleen. (International aluminium Institute 2017.)

Suuret päästöt ja kulutukset alumiinin valmistuksessa tulevat louhinnasta ja materiaalin kuljetuksista, mutta merkittävin on varmasti alumiinioksidin valmistus. Jotta alumiinia saadaan, bauksiittia kuumennetaan jopa 1 000 asteeseen (International aluminium Institute 2017). VTT:n raportissa alumiinilevyn hiilijalanjälki on CO₂ Leq 2 980 grammaa kilogrammaa kohti. (Ruuska 2013, 24.)

4.4 Puu

Puu on vanha rakennusmateriaali, jota on myös saatavana lähes kaikkialla. Uusiutumisen vuoksi se on myös kestävä ja luonnonmukainen materiaali. Sitä myös käytetään hyvin monipuolisesti soittimista ajoneuvoihin ja rakennuksiin (Rakentaja 2006). Suomessa rakentamisessa käytetään usein täysin kotimaista materiaalia, sillä maan pinta-alasta 60 prosenttia on metsämaata (Luonnonvarakeskus 2015).

Syy miksi puuta suositaan paljon, on sen monipuoliset ominaisuudet. Rakentaja-lehden artikkelissa (2006) tulee ilmi, että puu on edullinen, pehmeä ja miellyttävä materiaali. Se on painoonsa nähden kuitenkin luja ja helppo työstää (Rakentaja 2006). Ulkona käytettävissä rakenteissa käytetään usein painekyllästettyä kestopuuta.

4.4.1 Painekyllästetyn puun elinkaari

Puu on luonnossa uusiutuva materiaali. Etenkin Suomessa sitä on saatavilla paljon ja pohjoisen ilmaston vuoksi etenkin lujat havupuut kuten mänty ja kuusi viihtyvät Suomessa. Runsaista hakkuista huolimatta puumäärät ovat kasvussa (Islander 2016). Luonnonvarakeskuksen mukaan puusta valmistetusta puutavarasta 80 prosenttia menee rakentamiseen (Luonnonvarakeskus 2015).

Suomessa puusta valmistetaan pääasiassa raaka-ainetta massa- ja paperiteollisuuteen ja puutuotteisiin. Puuteollisuuden sivutuotteista osa jää luontoon ja loput hyödynnetään muun muassa bioenergiaksi. Puuta hakkattiin Suomessa vuonna 2015 68 miljoonaa kuutiometriä, josta 27 miljoonaa kuutiometriä päätyi puutuoteteollisuuteen. (Luonnonvarakeskus 2015.)

Usein ulkona sijaitsevilla rakenteilla käytetään painekyllästettyä kestopuuta ja esimerkiksi Versowood käyttää sitä puisissa meluaidoissaan (Versowood n.d.). Suosionsa vuoksi otetaan tarkasteluun erityisesti painekyllästetyn puun elinkaari.

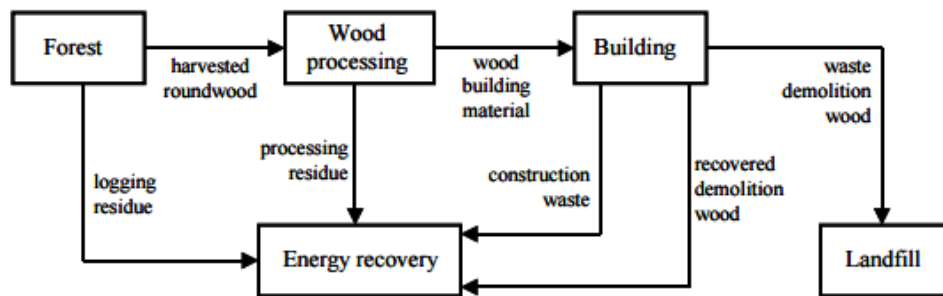
Suomessa myytävä kyllästetty puu on useimmiten kotimaista mäntyä. Puun kyllästäminen ei kuluta huomattavaa määrää energiaa, sillä kyllästysprosessiin ei vaadita esimerkiksi voimakasta kuumentamista ja matkat hakkuupaikalta sahalle ja siitä eteenpäin käsittelylaitokseen ovat Suomen sisällä melko lyhyitä. (Kestopuuteollisuus ry 2012.)

Paineekyllästys tehdään, jotta puusta saadaan pitkäikäisempää ja kestävämpää. Kyllästetty puu kestää paremmin kosteutta ja käytössä se kestää jopa useita vuosia pidempään kuin käsittelemätön puu (Kestopuuteollisuus 2012). Puu kyllästetään teollisesti niin, että suojaava aine niin sanotusti puristetaan puuhun veden ja paineen avulla kyllästysylinterissä. Kyllästeenä käytetään kupariyhdisteitä sisältävää ainetta (C-kyllästys), joka värjää puun hieman vihertäväksi. (Puuinfo Oy n.d..)

Tärkein tehoaine kuparikyllästeissä on kuparisuola, jonka lisäksi aineissa on esimerkiksi azolia ja kuparikvarternäärejä (Kestopuuteollisuus oy 2011). Kyllästysluokkia on kaksi, A ja AB. A-luokassa suoja-aineen määrä on korkeampi, jolloin sitä voidaan käyttää paikoissa, jossa puu on veden kanssa tekemisissä, kuten laitureissa (Puuinfo oy 2017).

Puu on erittäin kestävä materiaali ja puurakennukset voivat kestää pitkäänkin. Esimerkiksi Suomen vanhin puurakennus on vuodelta 1441 Kihniön aitta. Puun ja siitä tehdyn rakenteen tai rakennuksen ikää voidaan lisätä lukuisilla erilaisilla tavoilla; oikea puulaji, pintakäsittely, suojaus mekaaniselta kulutukselta ja tuholaisilta, kyllästys ja huollettavuus. (Puuinfo oy 2017.)

Puurakenteet ja -rakennukset on helppoja purkaa. Lisäksi materiaalin kierrätys ja uudelleen käyttö on vaivatonta ja puun kierrätys lisääntyy koko ajan. Kierrätyspuusta tehdään erilaisia tuotteita, ellei sitä käytetä uudelleen vaikkapa rakentamiseen (Puuinfo Oy. n.d.). Suomessa on valtakunnallinen kierrätysjärjestelmä kyllästetylle puulle. Paineekyllästetty kestopuu on luokiteltu erilliskerättäväksi rakennusjätteeksi, sillä se on vaarallista jätettä. Tulisijoissa ja nuotioissa sitä ei saa polttaa. (Kestopuuteollisuus Ry 2011.) Useimmiten jätepuu hyödynnetään energiantuotannossa. Kuvassa 11 (s. 18) on esitetty pelkistetysti rakennuspuun elinkaari.



Kuva 11. Rakennuspuun elinkaari. (Gustavsson, Pingoud & Sathre n.d.)

4.4.2 Ympäristövaikutukset

Jos verrataan betoniin tai metalliin, puun tuottaminen rakennusmateriaaliksi on ympäristöystävällisempää. Valmistuksessa tarvitaan energiaa vähemmän ja jätettä syntyy vähän. Maata ei myöskään kaiveta kuten betonin, kalkin tai alumiinin valmistuksessa (FWR n.d.). Suomessa suomalaisen puutavaran käyttö on kestävä, sillä päästöt ovat lyhyiden kuljetusmatkojen takia vähäiset. Tuotantolaitokset kuluttavat jonkin verran energiaa, mutta puuteollisuuden sivutuotteista myös saadaan tuotettua energiaa käyttämättä fossiilisia polttoaineita (Puuinfo Oy 2010). Luontokeskuksen mukaan Suomen metsien puumäärä on myös kasvamaan päin (Islander 2016).

Talousmetsiä hoidetaan Suomessa tarkasti ja hakkuissa on noudatettava metsälakia. Metsälain (1 § 12.12.1996/1093) mukaan lain tarkoitus on "edistää metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävää hoitoa ja käyttöä". Talousmetsien hakkuut vaikuttavat ympäristöön pirstomalla metsiä ja elinalueita. Tämä muuttaa metsien lajistoa. Kun metsämaata rikotaan, hakkuut voivat lisätä vesistöjen ravinnekuormitusta (Laturi 2010).

Painekyllästetty puu on etenkin luontoon jäädessään haitallinen jäte. Kyllästetty puu vapauttaa haitallisia ja myrkyllisiä aineita maaperään. Muun muassa ennen käytetyt kreosoottijäljy ja CCA-kylläste ovat jopa syöpövaarallisia. Kreosoottia ja arseenia sisältäviä puita ei ole saanut luovuttaa kulluttajille moniin vuosiin. (Tukes 2014.)

Puu on kasvaessaan hiilinielu, sillä se sitoo kasvaessaan itseensä paljon hiilidioksidia. Yhdessä tonnissa puuta on sitoutuneena noin kaksi tonnia hiiltä (Puuinfo oy 2010). Antti Ruuskan (2013, 23) VTT:lle tekemässä julkaisussa on esitetty että tuoreen puutavaran hiilijalanjälki olisi 44 grammaa CO₂ ekvivalenttia kilogrammaa kohti. Raportin mukaan puu kuitenkin sitoo itseensä 1 184 grammaa hiiltä kilogrammaa kohti.

5 MATERIAALIEN VERTAILU

Seuraavaksi vertaillaan materiaaleja keskenään perustuen aikaisempiin materiaaliesittelyihin. Näistä materiaaleista tullaan käymään läpi elinkaaren valmistuksesta hävitykseen. Vertailun tarkoituksena on tarkastella, onko hamppubetoni elinkaareltaan ja ympäristövaikutuksiltaan kestävämpi ja ekologisempi valinta.

5.1 Valmistuksen ympäristövaikutukset

Materiaalin elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset ja päästöt vaikuttavat suuresti ekologisuuteen. Paras materiaali on uusiutuva, kestävä, luonnonmukainen, mahdollisimman hiilineutraali ja helposti hyödynnettävissä myös elinkaarensa lopussa.

Elinkaaren alussa tulee ilmi suuria eroja materiaalien välillä. Eniten kuluttaa kaivostoiminta ja kiviainestuotanto. Kaivosten ympäristövaikutukset ovat suuret. Kaivannaiset myös painavat paljon ja painavat kuormat kulluttavat runsaasti polttoainetta. Näitä uusiutumattomia kaivannaisia käytetään alumiinin ja betonin valmistukseen.

Myös hamppubetonin raaka-aineena käytettävää kalkkia louhitaan avolouhoksesta. Toisaalta hamppubetonissa käytettävä hamppu on uusiutuvaa ja nopean kasvunsa ansiosta se sitoo itseensä paljon hiilidioksidia ja kasvaessaan parantaa viljelysmaata. Puu on myös uusiutuva, melko hiilineutraali materiaali, mutta sen hakkuut tuovat ongelmia. Puut ovat myös hitaampia kasvultaan.

Valmistuksessa ja raaka-aineiden hankinnassa puu ja hamppubetoni ovat paljon parempia vaihtoehtoja kuin metallit tai betoni. Nämä uusiutuvat materiaalit ovat kotimaisia, mutta myös ympäristövaikutuksiltaan vähäisempiä.

5.2 Elinkaaren loppu

Kaikkia edellä esitettyjä materiaaleja voidaan kierrättää tai hyödyntää elinkaaren loppupäässä jollain tavalla.

Betoni voidaan käyttää elementtinä tai murskata maanrakennusaineeksi. Murskaus ja elementtien siirtäminen kuluttaa kuitenkin paljon energiaa ja aiheuttaa lisää päästöjä. Lisäksi murskauksesta ilmenee pöly- ja meluhaittoja.

Alumiini tai muut metallit on helppo kierrättää sulattamalla ja muotoilemalla uudestaan. Sulattaminen vaatii huomattavan määrän energiaa,

mutta on kuitenkin järkevämpää kierrättää vanhaa, kuin louhia ja tehdä alusta asti uutta.

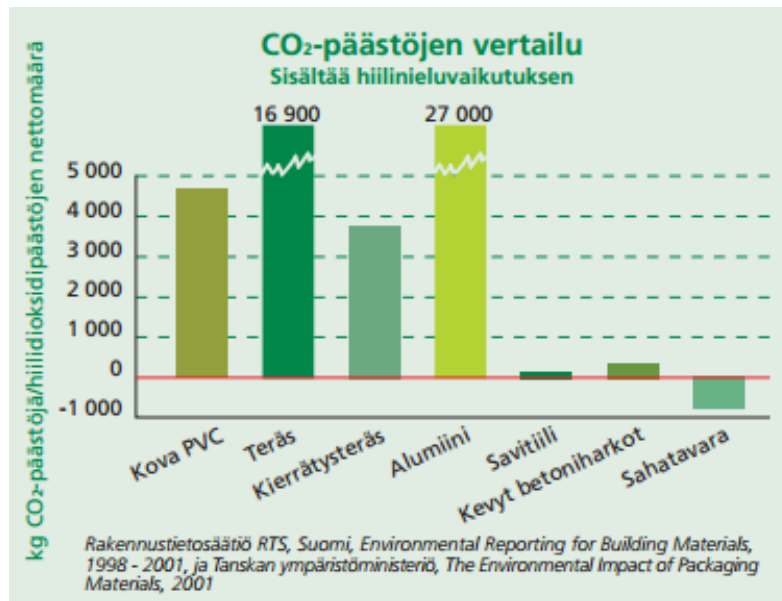
Puu on helppo ja kevyt materiaali purkaa. Kuitenkin ulkorakenteissa käytettävä puu on painekyllästettyä puuta. Usein kun puurakenne puretaan, puut ovat sen verran vanhoja, ettei niitä uusissa rakenteissa aina hyödynnetä. Painekyllästetty puu on vaarallista jätettä, joka hävitetään turvallisesti jätteenpolttolaitoksissa energiaksi (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2017). Puuta polttaessa siihen sitoutunut hiilidioksidi vapautuu ilmaan, toki se myös luonnollisesti vapautuisi lahoamisen aikana (Bioenergiapörssi 2017). Polttaminen tuo myös muita epäpuhtauksia ilmaan. Luontoon joutuessaan painekyllästetystä puusta vapautuu kyllästeaineita maaperään.

Hamppubetoni ei sisällä mitään vaarallisia aineita. Se on kokonaan luonnollinen ja kevyt tuote. Materiaalin luonteen vuoksi sitä ei voi uusiokäyttää helposti uusissa rakenteissa, mutta rakenne voidaan murskata helposti paikanpäällä ja levittää vaikkapa pelolle tai muualle maaperään tuomaan biomassaa ja kalkitsemaan maaperää.

Kaikki materiaalit ovat kierrätettävissä tavalla tai toisella. Se, että materiaali käytetään uudelleen samassa muodossa tai voidaan hävittää luonnollisesti, on suotuisaa. Alumiinin kierrätys on tehokasta ja hamppubetoni voidaan maaduttaa ja sillä parannetaan maaperää.

5.3 Päästöt

Kuvassa 12 (s. 21) on esitelty erilaisten rakennusmateriaalien hiilipäästöjä ja hiilijalanjälkeä. Kaavioista kuitenkin puuttuu vertailtava hamppubetoni. Eurooppalaisten puualan tietosivujen (n.d.) kokoamassa kuvassa (kuva 12. sivulla 21), näkyy selvästi alumiinin, betonin ja sahatavaran erot päästöissä. Suurin hiilijalanjälki on alumiinilla, 2 980 grammaa kiloa kohti (Ruuska 2013, 24).



Kuva 12. Erilaisten rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöjen vertailua. Puutuotteet auttavat hidastamaan ilmaston lämpenemistä. (Eurooppalaiset puualan tietosivut n.d.)

Hemp Architecture -sivustolla esitetään, että hammppubetoni sitoo kuutiometriä kohti 108 kilogrammaa hiilidioksidia. Tämä luku saadaan kun oletetaan, että kuution hammppubetonia on käytetty 110 kiloa päistärettä ja noin 220 kiloa kalkkia. 110 kiloa päistärettä sitoo itseensä 202 kiloa hiilidioksidia. Kuitenkin kalkin jalostuksessa ja louhinnassa syntyy 220 kiloa kohden 94 kiloa hiilidioksidia. Näin saadaan - 202 kg - 94 kg = - 108 kg. (Hemp architecture 2017.)

Taulukossa 3 on esitetty muiden rakennusmateriaalien hiilijalanjäljet hiilidioksidi ekvivalentteina Ruuskan (2013) tekemän raportin pohjalta. Taulukossa on esiteltyä Euroopan Unionissa valmistettu betoni, alumiinilevy ja tuore suomalainen puu. Taulukosta selviää niin materiaaliin sitoutuneet että sen valmistuksessa vapautuneet päästöt.

Taulukko 3. Rakennusmateriaalien hiilijalanjäljet CO₂ ekvivalentteina vuonna 2013. (Ruuska 2013)

Materiaali	CO ₂ e g/kg	Sitoutunut CO ₂ g/kg
Betoni, EU	442	-
Alumiini, levy	2 980	-
Puu, tuore, Suomi	44	1 184

Näistä voidaan päätellä, että betoni ja alumiini ovat päästöiltään suuret. Puu ja hammppubetoni hiilensitojina ovat parempia vaihtoehtoja rakennusmateriaaliksi.

5.4 Vertailun yhteenveto ja tulos

Elinkaarien perusteella eniten kestävän kehityksen periaatteita tukevat puu ja hamppubetoni. Hamppubetoni sijoittuu kestävydessään silti puun taakse, sillä puu on materiaali jo itsessään, eikä siihen tarvita kaivostointia. Kalkin louhiminen vie hamppubetonilta pisteitä. Toisaalta hamppubetonin hyviä puolia on se, että hamppua voidaan kasvattaa peltojen väli vuosina, jolloin isoja hakkuita eri tarvita. Hamppubetonin kierrätys pellon ravinteeksi on myös erittäin positiivinen ominaisuus. Hamppubetoni on myös täysin luonnollinen eikä sisällä myrkyjä, toisin kuin painekyllästetty puu.

Meluaitaan tarvittavilta akustiikka ominaisuuksiltaan betoni on yksi parhaista elementeistä, sillä sen äänieristävyys on todella hyvä. Muut vertailtavat materiaalit ovat siihen verrattuna kevyempiä, sillä betonissa massa eristää ääntä tehokkaasti. Hamppubetoni ja puu ovat silti akustisilta ominaisuuksiltaan hyviä, mutta massaa on vähemmän. Hamppu on kuitenkin akustiikkalevyissä toimiva materiaali, joten vertailtavista materiaaleista se on kehitystyön jälkeen erittäin potentiaalinen vaihtoehto meluntorjuntaan.

Parhaimmat tulokset meluaitaan saavutetaan näitä vertailtavia materiaaleja yhdistelemällä. Harvoin meluaita sisältää juurikin vain yhtä tiettyä materiaalia, sillä yhdistämällä materiaaleja, yhdistetään myös materiaalien ominaisuudet. Lisäksi rakennusteknisten syiden tai ulkonäön vuoksi tarvitaan erilaisia materiaaleja esimerkiksi suojaamaan erilaisilta sääolosuhteilta.

6 TUTKIMUS HAMPPUBETONIN ÄÄNENERISTÄVYYDESTÄ

Opinnäytetyöhön kuului myös tutkia käytännössä hamppubetoniseinän ääniominaisuuksia ja materiaalin toimimista meluaidassa. Päätettiin valmistaa kolme erilaista testiseinää ja tutkia niiden toimivuutta meluaitana. Testiseinien avulla saadaan ainakin suuntaa siihen, millainen seos ja variaatio olisivat parhaat ja sopiiko hamppubetoni ylipäätään äänenvaimentamiseen.

Saatiin selville, että sopivin testausmenetelmä seinämille on ilmaääneneristysmittaukset. Äänitutkimukset olivat sen verran vaativia, että tutkimustyö teetettiin ammattilaisella. Äänitutkimukset teetettiin VTT:llä ja tulokset saatiin marraskuun alussa. Mittaukset viivästyivät muun muassa asiantuntijoiden lomien vuoksi. Testituloksia saatiin vain kaksi, sillä yksi testiseinistä murtui sitä liikuteltaessa.

6.1 Testiseinien valmistus

Testiseiniä tehtiin kolme kappaletta. Jokainen seinä oli erilainen, jotta saatiin kartoitettua paras vaihtoehto ja variaatio. Meluaidassa muutkin rakenteet vaikuttavat melun vaimennukseen, mutta jotta tulokset ja tutkimus saatiin pidettyä yksinkertaisena, päätimme ensin keskittyä yhden materiaalin tutkimukseen. Tietoa hamppubetonin ääneneristävytydestä oli todella vähän, joten tuloksista ei ollut varmuutta.

Tehtiin testivalut Hämeen ammattikorkeakoulun Hämeenlinnan toimipisteellä. Testiseiniä varten Hämeenlinnaan oli toimitettu hamppubetonin tekoon tarvittava betonimylly ja raaka-aineet. Jotta testiseinämät kuivuvat muodossaan, valmistettiin puusta kehykset, johon saatiin testiseinämät muotoiltua. Kuvassa 13 näkyvät valmiit muotit.



Kuva 13. Runko testiseiniä varten. (Kuva: Pajukoski 2016)

Käytännössä valmistuksessa edettiin seuraavasti: puolet hamppupäistäreestä mitattiin myllyyn, sen jälkeen lisättiin osa kalkista. Loput päistäreet lisättiin ja mylly laitettiin päälle. Tarkoituksena oli kuorruttaa päistäreen palat kalkilla. Näin kalkki suojaa kappaleita valmiissa elementissä. Loppu kalkki lisättiin kun mylly oli käynnissä.

Kun kalkki ja hamppu olivat sekoittuneet tasaisesti ja suurin osa hampusta päällystynyt kalkilla, lisättiin vettä. Vesi lisättiin hitaasti myllyn pyöriesä, jotta saatiin tasainen massa. Oli tärkeää että vettä ei laita liikaa ja massan koostumusta ja kosteutta tarkkailtiin silmä- ja sormituntumalla. On kuitenkin vaikeaa sanoa tarkasti, paljonko vettä tarvitaan, sillä ilman kosteus ja muut olosuhteet vaikuttavat tarpeeseen paljonkin. Kuvassa 14 (s. 24) nähdään mylly, joka on käynnissä ja täynnä kalkkia ja päistärettä.



Kuva 14. Vesi lisättiin viimeisenä hitaasti myllyyn. (Kuva: Norokytö 2016)

Valmis massa kaadettiin pienissä erissä muotteihin ja tampattiin voimakkaasti muotoon. Tärkeää oli saada erityisesti pinta ja reunat todella tiiviiksi, jolloin seinä pysyy varmemmin kasassa myös jatkossa. Kolmannen seinän sisään laitettiin myös hammppukuitua. Kun muotit olivat täynnä kuten kuvassa 15, seinät jätettiin useiksi viikoiksi kuivumaan. Seinien kosteutta ja kuivumista mitattiin silloin tällöin. Kuivumista pyrittiin nopeuttamaan puhaltimilla. Kun elementit todettiin tarpeeksi kuiviksi, ne siirrettiin VTT:lle tutkittavaksi. Tutkimukset saatiin loppuun lokakuun lopulla.



Kuva 15. Tiivistetty hammppubetoni muotin sisällä. (Kuva: Pajukoski 2016)

6.2 Testiseinät

Seuraavana työssä esitellään testiseinien koostumus. Jokaiseen seinään käytetystä seoksesta tehtiin vähän erilainen. Käytettiin isompia päistäreitä, pienempiä päistäreitä ja seinään 3 tuli päistäreiden lisäksi myös hammppukuitua.

6.2.1 Seinä 1

Seinässä 1 käytettiin vain pientä päistärettä. Taulukko 4 näyttää miten paljon aineita käytettiin jokaisessa seoksessa. Seoksia tehtiin neljä, siitä syystä, että sekoitukseen käytettävä mylly oli melko pieni. Mylly ei pystynyt sekoittamaan määräänsä enempää materiaalia, vaan sammui. Seinä 1 oli mitoiltaan 2 110 x 1 240 x 170 millimetriä. Puusta tehty muotti oli jaettu kahteen osaan. Ensimmäiset päivät valusta seinä oli vaakatasossa kuivumassa. Parin päivän kuluttua se nostettiin pystyyn ja takaseinä, joka tuki muotoilussa, poistettiin kuivumisen tehostamiseksi. Kuivauksessa käytettiin apuna myös puhaltimia.

Taulukko 4. Seinän 1 neljän eri sekoituksen materiaalmäärät.

Seos	Päistäreet (pienet) l	Kalkki l	Vesi l
1.	230	140	80
2.	70	25	16
3.	90	35	25
4.	90	37,5	30
Yhteensä	480	237,5	151

6.2.2 Seinä 2

Seinä 2 sisälsi taas suurta hammppupäistärettä. Se oli mitoiltaan 2 110 x 1 240 x 200 millimetriä. Taulukossa 5 on eri seoksien materiaalit litroissa. Jälleen oli tehtävä useampi seos myllyn koon vuoksi. Kuten seinä 1, myös seinä 2 nostettiin muutaman päivän päästä pystyyn kuivumaan. Kuivamiseen käytettiin tuulettimia.

Taulukko 5. Seinän 2 neljän eri sekoituksen materiaalmäärät.

Seos	Päistäreet (suuret) l	Kalkki l	Vesi l
1.	140	95	60
2.	170	115	70
3.	140	95	60
4.	140	95	60
Yhteensä	590	400	250

6.2.3 Seinä 3

Seinä 3 on muista poikkeava ja siinä kokeiltiin ääneneristykseen optimaalisempaa rakennetta meluseinälle. Koska toimeksiantaja haluaa pitää tiedon yrityssalaisuutena, sekoitussuhteita ei ilmoiteta. Seinässä käytettiin isoa ja pientä päistärettä, mutta mukaan tuli myös hammppukuitua. Seinän mitat ovat 2 000 x 900 x 170 millimetriä. Myös tämä seinä nostettiin muutaman päivän kuluttua pystyyn kuivumaan.

6.3 Ilmaääneneristävyystestit

Testeissä testattiin ilmaääneneristävyttä standardien EN ISO 717-1 ja ISO 10140-2 mukaisesti. Kun väliseinän akustisia ominaisuuksia määritellään, on helpointa kuvata äänieristystä yhdellä luvulla. R_w , painotettu ilmaääneneristysluku on luokittelumenetelmä, joka on kuvailtu EN ISO 717-1 standardissa. R_w -lukua tukee myös kaksi C-arvoa, joita käytetään kahden erityyppisen melun mallissa. (Paroc Group Oy 2017.)

Termit $R_w + C$ ja $R_w + C_{tr}$ sisältävät taajuusalueen 100–3 150 Hz, mutta voidaan myös laajentaa 50 – 5 000 Hz. Tutkimuksessa on käytetty laajennettua taajuusaluetta, sillä liikenne- ja teollisuusmelu on usein voimakasta ja taajuudeltaan alle 100 Hz. (Paroc Group Oy 2017.)

Standardin ISO 717-1 mukaan seinän 1 luokitusarvo lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$R_w (C; C_{tr}) = 16(-1; -3) \text{ dB} \quad (1)$$

Jossa

R_w = vertailukäyrän arvoa 500 Hz:llä

C = melun vähenemisen dBA:na spektrille, jossa taso on sama kaikilla kolmasosaoktaavikaistoilla. (Asuminen, nopea tieliikenne.)

C_{tr} = vaimentumisen dBA:na spektrille, jossa on pääasiassa matalia taajuuksia. (Hidas katuliikenne, tehtaot.)

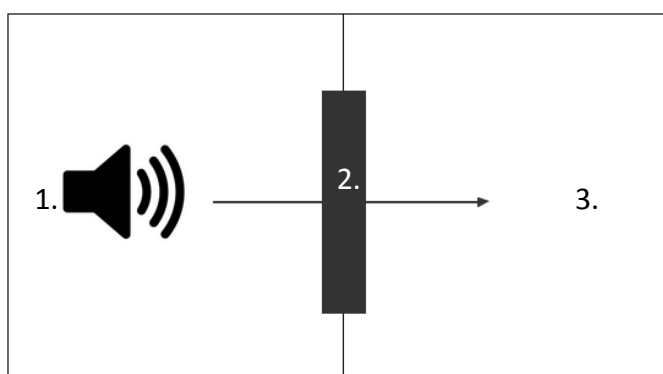
Kuvassa 16 on eritelty tarkemmin spekripainotustermit ja niiden sovellettavat melutyypit.

Spekripainotustermi	Taajuusväli	Sovellettava melutyyppi
C	100-3150	Asuntomelu, raide ja lentoliikennemelu
$C_{100-5000}$	100-5000	Asuntomelu, raide ja lentoliikennemelu
$C_{50-3150}$	50-3150	Asuntomelu, raide ja lentoliikennemelu
$C_{50-5000}$	50-5000	Asuntomelu, raide ja lentoliikennemelu
C_{tr}	100-3150	Tieliikennemelu
$C_{tr,100-5000}$	100-5000	Tieliikennemelu
$C_{tr,50-3150}$	50-3150	Tieliikennemelu
$C_{tr,50-5000}$	50-5000	Tieliikennemelu

Kuva 16. Spekripainotustermien taajuusvälit ja sovellettavat melutyypit. (Hongisto 2010)

6.4 Laboratoriotestien valmistelu

Laboratoriotestissä testattava elementti, tässä tapauksessa hamppubetoniseinä, asennettiin kahden huoneen väliseen seinään, kuva 17. Kaikki raot tulee tukkia, jotta saadaan mahdollisimman oikea tulos elementin ääneneristävydestä. Toisesta huoneesta lähetetään ääni elementin läpi ja toisessa huoneessa vastaanottosensorit mittaavat läpi tulleen äänen voimakkuuden.



Kuva 17. Kuvassa testi-asettelu. 1. Äänilähde lähtöhuoneessa 2. Testattava seinä 3. Äänen vastaanottimet tulohuoneessa.

Äänen lähetyshuoneen kaiuttimet lähettivät ääntä 50–5 000 hertsin taajuuksilla. Äänen väheneminen laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$R_w = L_1 - L_2 + 10 \log S/A \text{ dB} \quad (2)$$

Jossa

L_1 = Logaritminen keskiarvo lähtöhuoneen äänimittauksista

L_2 = Logaritminen keskiarvo vastaanottohuoneen äänimittauksista

S = testiseinän ala

A = ekvivalentti absorptioala

Ennen testien suorittamista testihuoneista mitattiin ja kirjattiin ylös mitausolosuhteet kuten ilmankosteus, lämpötila, ilmanpaine, huoneiden tilavuudet ja testikappaleen pinta-ala.

6.5 Testien tulokset

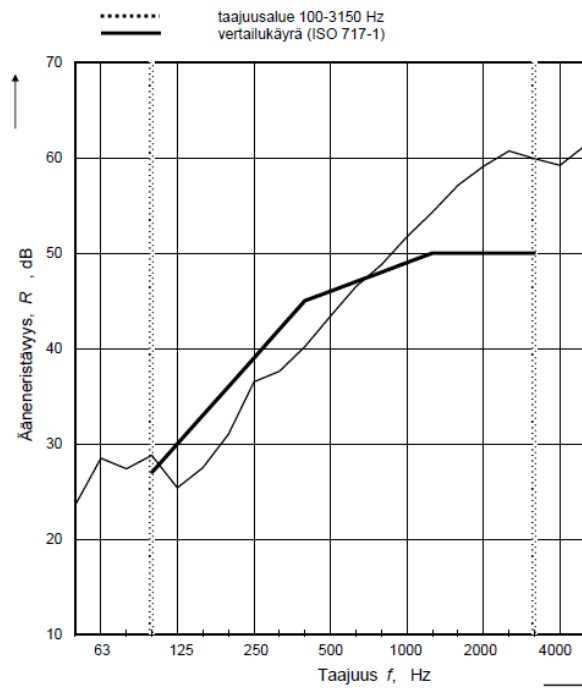
Seinän 1 ilmaääneneristävyyttä mitattiin 1/3-oktaavien välein ja tulokset kirjattiin taulukkoon ja siitä diagrammiin. Taulukossa 6 (s. 28) on esitetty seinän 1 tulokset ja kuvassa 18 (s. 28) tuloksista tehty diagrammi. Seinälle 1 saatiin luokitus seuraavan laskukaavan mukaan:

$$R_w (C;C_{tr}) = 16 (0 ; -3) \text{ dB} \quad (3)$$

Saatu arvo jää reilusti alle 25 desibelin, mikä olisi suotavaa ylittää kunnollisen ääneneristävyyden takaamiseksi. Voidaan siis todeta että pienistä päästäreestä tehty seinä ei ole optimaalisin meluaitaan.

Taulukko 6. Seinästä 1 mitatut arvot taajuuden mukaan.

Taajuus f (Hz)	Terssikaistat R (dB)
50	9,0
63	11,5
80	10,6
100	7,0
125	7,6
160	6,8
200	7,3
250	8,5
315	9,5
400	9,5
500	10,9
630	12,1
800	13,6
1 000	15,8
1 250	18,4
1 600	21,2
2 000	24,0
2 500	27,1
3 100	30,1
4 000	32,5
5 000	37,3



Kuva 18. Seinän 1 tuloksista tehty diagrammi. (VTT 2016)

Taulukossa 7 on esitetty seinä 3:sta saadut testitulokset. Seinän 3 ilmaääneneristysluku saadaan seuraavalla laskutoimituksella.

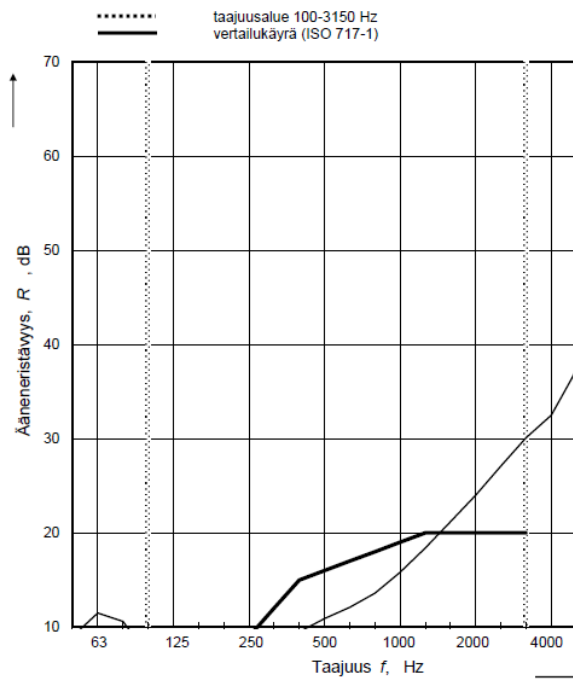
$$R_w (C; C_{tr}) = 46 (-2; -7) \text{ dB} \quad (4)$$

46 desibeliä on reilusti yli suositellun 25 desibelin, joten seinä 3 on rakenteeltaan erittäin sopiva meluaidaksi niin valtateille kuin hitaallekin liikenteelle. Kuvassa 19 (s. 30) on koottu tulokset diagrammiin, jossa on myös vertailukäyrä.

Taulukko 7. Seinästä 3 mitatut arvot taajuuden mukaan.

Taajuus f (Hz)	Terssikaistat R (dB)
50	23,6
63	28,5
80	27,4
100	28,8
125	25,4
160	27,5
200	31,0
250	36,5
315	37,6
400	40,2
500	43,4
630	46,5
800	48,8
1 000	51,7
1 250	54,3

1 600	57,1
2 000	59,1
2 500	60,7
3 100	59,9
4 000	59,2
5 000	61,3



Kuva 19. Seinän 3 tuloksien perusteella tehty diagrammi. (VTT 2016)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Materiaalien elinkaaria ja ympäristövaikutuksia vertailtaessa voidaan todeta, että hammputon on erittäin ekologinen ja kestävä valinta meluaitaan. Ekologisuutta vähentää kalkin louhiminen, mutta hammputonin elinkaaren hiilidioksidipäästöt ovat todella pienet, jopa negatiiviset. Myös elinkaaren lopussa hammputonilla on etuja, sillä se on helppo purkaa ja levittää pellolle.

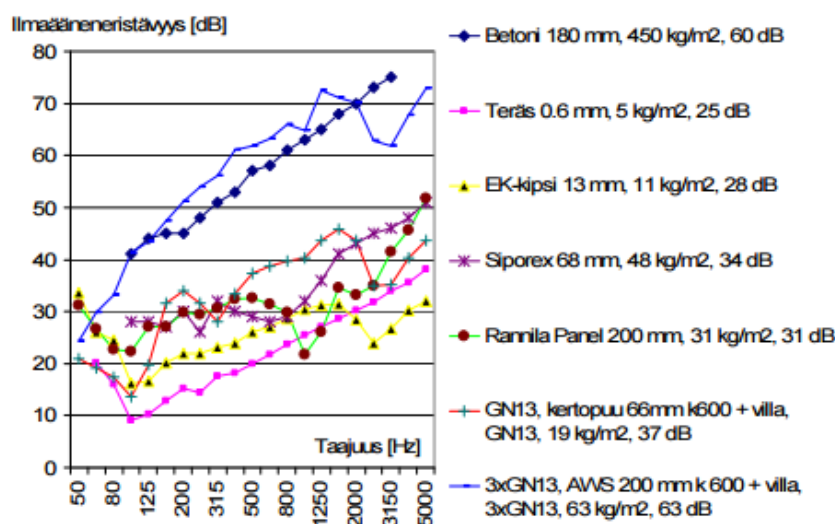
Materiaaleista myös puu on ekologisuudeltaan parhaimpia, tosin hakkuut kuormittavat omalta osaltaan ympäristöä. Lisäksi kylläste aineet voivat pilata ympäristöä. Puun pieni hiilijalanjälki ja kotimaisuus ovat etu. Vaikka betoni ja alumiini ovat toimivia meluaidoissa ja ovat helposti muokattavissa, ne ovat ympäristövaikutuksiltaan ja päästöiltään haitallisimmat vaihtoehdot. Kaivannot ja louhinnat ovat suuri ongelma ympäristölle. Alumiinin valmistuksessa kuluu paljon energiaa kun bauksiitti jalostetaan alumiiniksi. Alumiini ja betoni tarvitsevat paljon käsittelyä ja energiaa myös elinkaarensa lopussa. Myös painekyllästetyn puun poltto on hyvä kyseenalaistaa hiukkaspäästöjen vuoksi.

Melusteissa ei usein tyydytä kuitenkaan käyttämään vain yhtä materiaalia ja siksi hammppubetoniseen aitaan saadaan lisää ominaisuuksia ja kestävyttä käyttämällä rakenteessa puuta. Puuta tullaan joka tapauksessa käyttämään, sillä hammppubetoni tarvitsee kantavan rakenteen. Puun käyttö ei kuitenkaan vähennä meluesteen ekologisuutta suuresti.

Testien perusteella pelkästään perushammppubetoni (seinä 1) ei toimi kaikista optimaalisimmin. Seinä 1, jossa käytettiin pelkästään päistärettä, jäi mittauksissa arvoltaan alle suositeltavan 25 desibelin. Vaaditaan siis vähän teknistä suunnittelua ja hieman soveltamista elementtejä tehdessä. Liiketaloudellisista syistä rakenteen eroa ei tässä opinnäytetyössä kerrota. Kuitenkin jo seinä 3:n mittauksissa päästiin hyvään tulokseen, kun arvo ylitti 40 desibeliä. Hammppubetonimeluaita toimii teoriassa erinomaisesti, mutta seuraava askel tämän tuotteen kehittämiseen olisi rakentaa sellainen käytännössä tien varteen. Tällöin saadaan dataa aidan todellisesta toimivuudesta, säänkestävyydestä ja rakentamisesta.

Vertailun vuoksi kuvassa 20 esitetään Hongiston (2010) laatima diagrammi, jossa näkyy muun muassa betonin ja teräksen ilmanääneneristävyytluku. Kuvassa betonin luku on 60 dB ja teräksellä 25 dB. Hammppubetoni seinä 3 on eristävyydeltään juuri niiden lukujen välillä. Ilmanääneneristävyytluku ei kuitenkaan kerro kaikkea hammppubetonisen meluaidan toimivuudesta tai takaa sitä. Meluaidan sijoitus, korkeus, muut tekniset ratkaisut ja ympäristölliset olosuhteet vaikuttavat suuresti aidan toimivuuteen.

Esimerkkejä tuotteista



Hongisto/Ylivieska 29.9.2010

41

Kuva 20. Rakennusmateriaalien ilmanääneneristävyyksiä. (Hongisto 2010)

Forssaan, valtatie 2:n varrelle, on harkittu pystyttää tällainen meluaita. Hamppubetoninen meluaita tukisi Forssan kaupunkistrategiaa, johon on kirjattu järkivihreys. Järkivihreys tarkoittaa ympäristöystävällisyyden ja kestäväen kehityksen periaatteet huomioon ottamista toiminnassa, esimerkiksi panostamalla kiertotalouteen. Hamppubetonin käyttö tukisi hiilineutraalia toimitapaa ja kiertotaloutta.

Hamppubetonin käyttö lisäisi myös viljelyn tarvetta. Hampun viljely toisi myös maanviljelijöille lisätuloja ja vuoroviljelykasvina se olisi myös tuottoisa. Hamppu on maanmuokkaajana erinomainen ja tukisi hyvin viljelijöitä taloudellisesti ja parantaisi myös mahdollisesti muita tulevia satoja.

Työssä tarkoituksena oli myös perehtyä kustannuksiin, mutta kirjoitusprosessin edetessä syntyi päätös jättää kustannusarvio pois, sillä kustannuksia on vaikea saada edes tarpeeksi suuntaa antavaksi. Meluaita suunnitellaan joka kerta ympäristönsä vaatimuksien perusteella, joten kustannusarvioista voisi tehdä erillisen opinnäytetyön.

LÄHTEET

Armtac (2017). Durisol Precast Noise Barriers. Haettu 24.4.2017 osoitteesta <https://www.armtec.com/photo-album/durisol-precast-noise-barriers/>

Betoniteollisuus ry (n.d.). Betoni rakennusmateriaalina. Haettu 30.11.2016 osoitteesta <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/>

Betoniteollisuus ry (n.d.). Betonin käyttöikä. Haettu 30.11.2016 osoitteesta <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-kayttoika/>

Betoniteollisuus Ry (n.d.). Perustietopaketti. Haettu 23.11.2016 osoitteesta <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/>

Betoniteollisuus ry (n.d.). Sementti ja kasvihuonepäästöt. Haettu 25.11.2016 osoitteesta <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>

Bioenergiaporssi (2017). Puu polttoaineena. Haettu 7.5.2017 osoitteesta <http://www.bioenergiaporssi.fi/k%C3%A4sitteet-ja-laskurit/puu-polttoaineena>

Construction Week Online (2012). Recycled aluminium ingots ready for reapplication. Haettu 7.5.2017 osoitteesta <http://www.constructionweekonline.com/article-17472-gulf-extrusions-wins-800t-green-aluminium-contract/>

Eurooppalaiset puualan tietosivut (n.d.). Puutuotteet auttavat hidastamaan ilmaston lämpenemistä. Haettu 20.11.2016 osoitteesta <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puutuotteet%20ja%20ilmastonmuutos%20a4.pdf>

Farmit Website Oy (n.d.). Kalkitus. Haettu 4.4.2017 osoitteesta <http://www.farmit.net/kasvinviljely/kalkitus>

Finnsementti (n.d.). Betonin lujuus riippuu vesi-sementtisuhteesta. Haettu 26.6.2016 osoitteesta <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/betonin-lujuus-riippuu-vesi-sementtisuhteesta>

FWR (n.d.). Puu on ympäristöystävällinen rakennusmateriaali. Haettu 25.3.2017 osoitteesta <http://fwr.fi/puu-on-ymparistoystavallinen-rakennusmateriaali/>

Gustavsson L., Pingoud K. & Sathre R. (n.d.). *Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings*. Tutkimus. Haettu 16.3.2017 osoitteesta

<http://www.task38.org/finswe-fullreport.pdf>

Hamppufarmi (n.d.). Verkkokauppa. Haettu 4.4.2017 osoitteesta

<http://hamppufarmi.fi/hamppukauppa/>

Hansa Rakenne Oy (n.d.). Meluaita. Haettu 25.5.2016 osoitteesta

<http://www.hansarakenne.fi/meluaita>

Heikkonen M. & Silfverberg L. (2001). Liikennemelun huomioon ottaminen kaavoituksessa. Haettu 27.3.2016 osoitteesta

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40628/SY_493.pdf?sequence=1

Hellä, S. (2010). *Betoni säästää ympäristöä ja luonnonvaroja*. Betoniteollisuus ry. Suomen rakennusmedia Oy. Haettu 7.6.2016 osoitteesta

<https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjirv-H1lTAhXBIsAKHUEfDRwQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.elementtisuunnittelu.fi%2FDownload%2F23668%2FBetonin%2520kierr%25C3%25A4tysesite.pdf&usg=AFQjCNHRCefyVmzY0Qp0aEe5kmgnWHjow&sig2=g4VSIQ-Hyf1EwcgU83Mg>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut (2017). Vaarallinen jäte. Haettu 5.4.2017 osoitteesta

<https://www.hsy.fi/fi/asukkaalle/lajittelujakierratus/lajitteluohjeet/vaarallinenjate/Sivut/default.aspx>

Hemp Architecture (n.d.). Hemp-lime. Haettu 26.3.2017 osoitteesta

<http://www.hemparchitecture.com/#/hemp-lime/>

Hempcrete Australia (2014). Sustainability. Haettu 25.6.2016 osoitteesta

http://www.hempcrete.com.au/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25

Hemprefine Oy (n.d.). Kuituhampun viljelyn edut. Haettu 23.1.2017 osoitteesta

<http://www.hemprefine.fi/projects/kuituhampun-viljelyn-edut>

Hemprefine Oy (n.d.). Kuituhampun viljelytekniikka. Haettu 23.1.2017 osoitteesta

<http://www.hemprefine.fi/projects/kuituhampun-viljelytekniikka>

Hongisto, V. (2010). Rakennusten ääneneristys ja meluntorjunta. Luento 29.9.2010. Ylivieska. Haettu 13.4.2017 osoitteesta

<http://ylivieska.centria.fi/rdwood/images/2010-09-29%20luento.pdf>

Ikonen, J. (2015). *Kuituhampun kasvatuksen ja jalostuksen liiketoimintamallit*. Opinnäytetyöseminaari-esitys. Haettu 26.3.2017 osoitteesta

<https://www.slideshare.net/Juhalkonen/opinnaytetyo-esitys-v102>

International Aluminium Institute (n.d.). Mining Process. Haettu 26.11.2016 osoitteesta

<http://bauxite.world-aluminium.org/mining/process.html>

Islander, A. (2016). Suomen metsien puumäärä kasvaa koko ajan. Haettu 7.9.2016 osoitteesta

<https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/puukauppa-ja-metsavarat/45-Mets%C3%A4varat>

Kaiva.fi (n.d.). Ympäristövaikutukset. Haettu 26.6.2016 osoitteesta

<https://kaiva.fi/vastuullinen-toiminta/ymparistovaikutukset/#Tuotanto>

Kestopuuteollisuus Ry (2011.) Paineekyllästetyn kestopuun käyttöturvallisuusohje. Haettu 25.3.2017 osoitteesta

http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/sahatavaran-jatkojalosteet/K%C3%A4ytt%C3%B6turvallisuusohje_Kestopuu.pdf

Kestopuuteollisuus Ry (2012). Paineekyllästetty puu – opas ammattilaiselle. Haettu 25.3.2017 osoitteesta

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/paineekyllastetty-puu-opas-ammattilaisille.pdf>

Kpedu (2007). Sementti. Haettu 25.5.2016 osoitteesta

<http://prosessitekniikka.kpedu.fi/doc-html/sementti.html>

Kuittinen, M. (2014). *Vähähiilinen puurakentaminen*. Oppimateriaali. 8.10.2014. Aalto Yliopisto. Haettu 20.6.2016 osoitteesta

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/moduuli-6/112vahahiilinenpuurakentaminen.pdf>

Laturi, J. (2010). Puunkäyttö ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Luento. 4.9.2010. Pääkaupunkiseudun metsäpäivä. Haettu 20.11.2016 osoitteesta

http://www.metla.fi/hanke/50168/pdf/laturi_tapiola_040910.pdf

Lempäälän kunta. (n.d.) Meluvalli on paikoin madaltunut alkuperäisestä korkeudesta. Haettu 14.3.2017 osoitteesta

<https://lempaalankylat.yhdistysavain.fi/kuivaspaa/ajankohtaista/>

Liikennevirasto (2010). Tien melusteiden suunnittelu. Liikenneviraston oheita 16/2010. Haettu 30.3.2016 osoitteesta

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-16_meluste_suunnittelu_web.pdf

Liikonen, L. (2003). Johdatus ympäristömeluun - Meluntorjunnan perusteet, meluselvitykset ja niiden teettäminen sekä laatu. Haettu 7.4.2016 osoitteesta

[http://www.ely-](http://www.ely-kes-)

kus.fi/documents/10191/2073102/Liikonen_Johdatus_ymp%C3%A4rist%C3%B6meluun.pdf

Linotte (n.d.). Tietoa kasvikuivauksista. Haettu 3.4.2017 osoitteesta
[http://www.linotte.fi/content/12-tietoa-kasvikuivauksista-](http://www.linotte.fi/content/12-tietoa-kasvikuivauksista)

Luokkakallio, J. (2012). Kuituhampun viljely. Haettu 23.1.2017 osoitteesta
<http://www.hyotyhamppu.fi/images/stories/hampunviljely2011.pdf>

Luonnonvarakeskus (2015). Puun kulku metsästä tehtaalle Suomessa. Haettu 7.10.2016 osoitteesta
https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/45-Mets%C3%A4varat/Julkinen-FI/e40Puunk%C3%A4ytt%C3%B6JaTuontipuu_005.pptx

Luonnonvarakeskus (n.d.) Metsä. Haettu 5.11.2016 osoitteesta
<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/>

Luonnonvarakeskus (n.d.). Puumateriaalit rakentamisessa ja sisustamisessa. Haettu 25.3.2017 osoitteesta
<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/puun-laatu-kaytto-ja-puutuoteala/puumateriaalit-rakentamisessa-ja-sisustamisessa/>

Metsälaki 1996/1093. Haettu 20.2.2017 osoitteesta
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961093>

Motorwaycare (n.d.). Aluminium Noise Barriers. Haettu 25.3.2017 osoitteesta
http://www.motorwaycare.com/absorbent_aluminium.html

Mute (n.d.). Ääni. Haettu 20.3.2016 osoitteesta
<http://www15.uta.fi/arkisto/mustut/mute/aai01.htm>

Neuvo, M. (2014). Hemprefine- uutiskirje. 01/2014. Haettu 3.4.2017 osoitteesta
https://issuu.com/hemprefine/docs/hemprefine_uutiskirje_012014

Nordkalk (n.d.). Tuotantoprosessi. Haettu 5.4.2017 osoitteesta
<http://www.nordkalk.fi/tuotteet/tuotetietoa/tuotantoprosessi/>

Norokytö, N. (2016). Rakennetaan hampusta. Haettu 3.4.2017 osoitteesta
https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiju6y2gYvTAhXBISwKHa_OBJE4ChAWCBgwAA&url=https%3A%2F%2Fwww.maaseutu.fi%2Ffi%2Fkoulutukset-ja-tapahtumat%2FDocuments%2Fbiotaloudesta-menestysta-maaseudun-yrityksil-le%2FNoora%2520Norokyt%25C3%25B6.pdf&usg=AFQjCNGLv4AecJFavTnxpwsAy-QiQP3glw&sig2=6-u-XSybiNiUlhn1QnymLA

Paroc Group Oy (n.d.). Ääneneristys. Haettu 3.4.2017 osoitteesta
<http://www.paroc.fi/knowhow/aani/aaneneristys>

Pasila, A. (2004). *The dry-line method in bast fibre production*. Väitöskirja. Haettu 26.3.2017 osoitteesta

<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/maaja/vk/pasila/thedryli.pdf>

Puuinfo (2010.) *Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista*. Perustietoa puusta. Haettu 5.11.2016 osoitteesta

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Hyv%C3%A4%20tiet%C3%A4%20puun%20k%C3%A4yt%C3%B6n%20ymp%C3%A4rist%C3%B6vaikutuksista%20WEB.pdf>

Puuinfo Oy (n.d.). Paineekyllästetty sahatavara. Haettu 25.3.2017 osoitteesta

<http://www.puuinfo.fi/puutieto/sahatavara/painekyll%C3%A4stetty-sahatavara>

Puuinfo Oy (n.d.). Puurakenteiden pitkäaikaiskestävyys. Haettu 25.3.2017 osoitteesta

<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentaminen/pitk%C3%A4aikaiskest%C3%A4vyys>

Pöyry Finland Oy (2013). Piiparinmäki-Lammaslamminkankakan tuulivoimahankkeen meluvaukutukset - liite 7. Haettu 7.4.2016 osoitteesta

<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B1DF1F4A9-51F7-4F76-972C-528881238BE4%7D/96896>

Rakennetaan hampusta (n.d.). Kotimainen kuituhamppu. Haettu 4.4.2017 osoitteesta

<http://rakennetaanhampusta.turkuamk.fi/kotimainen-kuituhamppu/>

Rakentaja (2006). Puu materiaalina. Sanoma Media Finland Oy. Haettu 25.3.2017 osoitteesta

<https://www.rakentaja.fi/artikkelit/595/puurakentaminen.htm>

Rudus (n.d.). Tie- ja sillankaiteet. Haettu 28.3.2016 osoitteesta

<http://www.rudus.fi/tuotteet/infraelementit/tie-ja-sillankaiteet>

Ruuska A. (2013). Carbon footprint for building products. Haettu 4.4.2017 osoitteesta

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T115.pdf>

Siikonen, U. (2009). *Rakennusaineoppi*. 7. painos. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Teknoliateollisuus ry (2017). Alumiinituotteet. Haettu 2.4.2017 osoitteesta

<http://teknoliateollisuus.fi/fi/jasenet/toimialaryhmat/alumiinituotteet>

Tetri, H. (2011). *Hampusta öljyä ja muovia*. Artikkel. YLE. Haettu 3.4.2017 osoitteesta

<http://yle.fi/aihe/artikkeli/2011/06/15/hampusta-oljya-ja-muovia>

Tiehallinto (2006). Tieliikenteen melu. Haettu 6.4.2016 osoitteesta

http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/meluesite_tammikuu_06_a4.pdf

Tiehallinto (2009). Tien melusteiden suunnittelu. Haettu 6.4.2017 osoitteesta

http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100062-v-09-tien_melusteiden_suunnittelu.pdf

Tukes (2014). Kyllästetyn puun käytön rajoituksia. Haettu 22.5.2017 osoitteesta <http://www.tukes.fi/fi/Kuluttajille/Kemikaalit-kayttokohteittain/Kyllastetty-puu/Kyllastetyn-puun-kayton-rajoituksia/>

Uc Rusal (n.d.). Aluminium production. Haettu 12.4.2017 osoitteesta http://www.aluminiumleader.com/production/aluminum_production/

Versowood Oy (n.d.). Maisema- ja meluntorjunta-aidat. Haettu 7.4.2016 osoitteesta <http://www.puuinfo.fi/tuote/versowood-maisema-ja-meluntorjunta-aidat>

VNP (1992). Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. 993/1992. Haettu 6.4.2017 osoitteesta <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>

Ympäristöministeriö (2007). Valtioneuvoston periaatepäätös melunrojunasta. Haettu 6.4.2016 osoitteesta https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41509/YMra_7_2007_Vnp_meluntorjunnasta.pdf?sequence=2