

Noora Sipola

PUUPAALUJEN KÄYTÖN MAHDOLLISUUDET INFRAN TYÖNAIKAISISSA RA- KENTEISSA

0–3 vuoden käyttöaika

PUUPAALUJEN KÄYTÖN MAHDOLLISUUDET INFRAN TYÖNAIKAISISSA RA- KENTEISSA

0–3 vuoden käyttöaika

Noora Sipola
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Noora Sipola

Opinnäytetyön nimi: Puupaalujen käytön mahdollisuudet infran työnaikaisissa rakenteissa, 0–3 vuoden käyttöaika

Työn ohjaaja(t): Jarmo Erho, lehtori, Oulun ammattikorkeakoulu, Juha Schönberg, rakennuspäällikkö, Kreate Oy

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 24

Puupaalujen käyttö rakentamisessa on vähentynyt merkittävästi viimeisten vuosikymmenten aikana. Teräksisten ja teräsbetonisien tuentarakenteiden käyttö on yleisempää, koska niiltä löytyvät hyvät lujuusominaisuudet ja pitkä käyttöikä. Tähän mennessä työnaikaisissa rakenteissa on käytetty teräksestä valmistettuja materiaaleja ja puun käyttäminen työnaikaisissa rakenteissa on erittäin vähäistä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli löytää puupaalujen käytölle sopivia kohteita ja käyttömenehtelmiä infran työnaikaisissa rakenteissa. Lisäksi työn tarkoituksena oli osoittaa puun soveltuvuus sellaisiin rakenteisiin, joissa sen käyttö olisi ekologisempaa ja taloudellisesti kannattavampaa. Rakennusalalla pyritään muun maailman mukana vihreään siirtymään, joten puun käytön mahdollisuuksien tarkastelu oli ajankohtaista.

Materiaalien vertailu suoritettiin käyttöiän, lujuuden ja kustannusten näkökulmasta. Asennusmahdollisuuksia vertailtiin yleisimpien paalutustyötapojen kesken sen perusteella, kuinka monella tavalla puupaalujen asennus on mahdollista verraten teräksisiin ja betoniin tuentamateriaaleihin.

Työn tulokset antoivat positiivisen käsityksen puupaalujen käytön mahdollisuuksille. Tutkimusten aikana nousi esiin ajatuksia ja mielenkiintoa tutkia tarkemmin käyttökohteita joihin puu materiaalina olisi käyttökelpoinen. Puun uudelleen käyttöön ottamista työnaikaisiin rakenteisiin kannattaa tutkia lisää, ja viedä ajatusta pidemmälle.

Asiasanat: Infrarakentaminen, pohjarakentaminen, vaativa pohjarakentaminen, puupaalu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

Author: Noora Sipola

Title of thesis: Possibility of Using Wooden Poles in Infra-working Structures, 0–3-year Period of Utilization

Supervisor(s): Jarmo Erho, Lecturer, Oulu University of Applied Sciences, Juha Schönberg, Construction Manager, Kreate Ltd

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023

Number of pages: 24

The use of wooden poles in construction has decreased significantly in recent decades. The use of steel and steel concrete support structures is more common as they have good strength properties and a long service life. So far, steel materials have been used in the work-time structures and the use of wood in these structures is very limited.

The aim of this thesis was to find objects and suitable usage methods for wooden poles in infrastructure sites. Furthermore, the purpose of the work was to demonstrate the suitability of wood for structures where its use would be more ecological and economically profitable. The construction sector aims to move carbon neutral with the rest of the world, so it was timely to look at the possibilities of using wood.

The comparison of materials was made from the perspective of service life, strength and cost. In the installation possibilities, comparisons were made between the most common types of impaling work in how many ways it is possible to install wooden poles in comparison to steel and concrete support materials.

The results of the work gave a positive picture of the possibilities of using wooden poles. During the studies, ideas and interest arose to examine the applications for which wood as material would be useful. It is worth exploring the re-introduction of wood into infrastructure sites and taking the idea further.

Keywords: Civil engineering, Soil construction, demanding soil construction, Timber pile

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PAALUJEN KÄYTTÖ TYÖNAIKAISISSA RAKENTEISSA.....	7
	2.1 Työnaikaiset rakenteet	7
	2.2 Paalujen luokittelu ja käyttökohteen valitseminen.....	9
3	PUUPAALUT	11
	3.1 Puumateriaalien hyödyt ja heikkoudet tuentakohteissa.....	13
	3.1.1 Käyttöiän näkökulma	14
	3.1.2 Lujuuden näkökulma.....	14
	3.1.3 Kustannusten näkökulma	15
	3.2 Asennusmahdollisuudet	16
	3.2.1 Tärylaite.....	16
	3.2.2 Hydraulijärkäle ja paineilmavasara	17
4	PUUPAALUKOHDE	19
	4.1 Esimerkkikohde.....	19
	4.2 Hyödyt ja haitat	20
5	YHTEENVETO	21
	LÄHTEET.....	23

1 JOHDANTO

Suomessa rakennustyömailla tehdään erilaisia tuentoja työnaikaisissa rakenteissa. Yleisimmin tuentaa tarvitaan syvissä kaivannoissa, joissa maaperä tai muut ympäröivät olosuhteet vaativat kaivantojen seinien tukemista olemassa olevilla menetelmillä. Tuentaa voidaan tarvita myös muissa tilanteissa, esimerkiksi penkereitten ja luiskien tukemisessa työmailla, joilla suoritetaan muun muassa tärinää aiheuttavia työvaiheita. Tuentamenetelmiä on useita erilaisia, joista yleisimpiä ovat teräsponttiseinät ja valmiit kaivantoelementit. Menetelmä valitaan tapauskohtaisesti yleensä jo suunnitteluvaiheessa, jolloin kohteeseen valitaan paras mahdollinen tuentatapa niin turvallisuuden, taloudellisuuden ja asennusmahdollisuuksien mukaisesti.

Kevättalven 2022 aikana maailmantilanne muuttui radikaalisti, mistä seurasi materiaalien hinnan jyrkkää nousua ja useille toimijoille hankaluuksia tarjota materiaalia rakentajille. Tämä tapahtumien ketju loi tarpeen tarkastella vaihtoehtoisia materiaaleja rakentamisessa. Myös koko maailman laajuinen ilmastomuutoksen torjunta johdattelee toimijoita siirtymään vähähiiliseen rakentamiseen, minkä seurauksena rakennusalalla pääsääntöisesti käytetty teräs tarvitsee tilalleen vihreämmän materiaalivaihtoehdon.

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella puupaalujen käytön mahdollisuutta monipuolisemmin infran, eli teollisuusyhteiskunnan teknisten perusrakenteiden rakentamisen työnaikaisissa rakenteissa. Lisäksi tarkoituksena on osoittaa puun soveltuvuus sellaisiin rakenteisiin, joissa sen käyttö on mahdollista, ekologisempaa ja taloudellisesti kannattavampaa.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Kreate Oy, joka on suomalainen infrarakentamisen yritys. Kreate perustettiin vuonna 2015, kun kolme infrarakentajaa Fin-Seula Oy, Kesälahden Maansiirto Oy ja Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy fuusioituivat. Yritys keskittyy vaativien infrakohteiden erikoisosaamiseen, johon kuuluu monipuolisesti silta-, pohja- ja betoni-, väylä-, rata-, kalliorakentamisen sekä kiertotalouden että ympäristörakentamisen hankkeita koko Suomen laajuisesti.

2 PAALUJEN KÄYTTÖ TYÖNAIKAISISSA RAKENTEISSA

Paaluja on käytetty pysyvinä ja työnaikaisina tukirakenteina vuosituhansien ajan. Ennen kuin teräs saapui markkinoille, tuentamateriaalina käytettiin pääsääntöisesti puuta ja kiviaineksia. Myöhemmin pääsääntöisenä materiaalina paalurakenteissa alettiin käyttää teräksestä ja betonista valmistettuja paaluja hyvien kestävyysominaisuuksiensa vuoksi. Teräspaalut kestävät suuriakin jännityksiä puristuslujuuden puolesta, ja tämä ominaisuus johdattelee suunnittelijoita valitsemaan teräksestä valmistettuja paaluja. Puupaalujen käyttö on vähentynyt rakentamisessa, koska puu on erityisen herkkä altistumaan laholle eloperäisyytensä vuoksi. Lahoamisen yleisin aiheuttaja on pohjavesipintojen jatkuva aleneminen, kun pohjavesi laskee, puupaalun yläpään huokokset saavat ilmaa, joka johtaa puun laholle altistumiseen. (1, s. 40.)

2.1 Työnaikaiset rakenteet

Työnaikaisia rakenteita ovat sellaisia rakenteet, joita ei voida pitää pysyvinä rakenteina määrämittämissä ohjeissa määriteltyjen rakenneosien mukaisesti. Tällaisia rakenteita ovat muun muassa työnaikaiset tukirakenteet, suojattavat rakenteet, työnaikaiset väylät ja ylös kohonneet maat ja niiden käyttö. Työnaikaisille suorituksille on Infra 2015:ssä osoitettu omia nimikkeitä suorituksille, joita ei voida pitää määritelmällisesti rakennusosina. Tällaisia työsuorituksia ovat muun muassa työnaikaiset tukirakenteet, sillä ne lukeutuvat maakaivantoon kohdistuviin työsuorituksiin. (2, s. 22.)

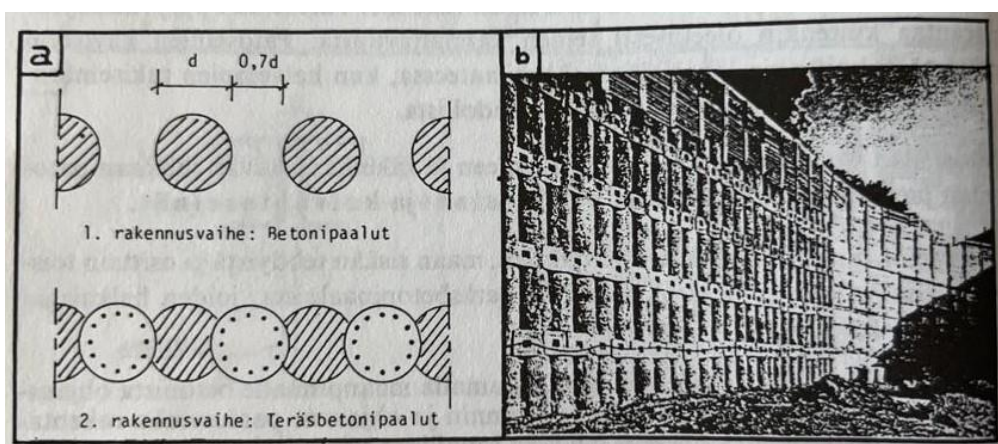
Työnaikaisissa rakenteissa, kuten kaivannon tukirakenteissa ja pengerpaalutuksissa, tukiseinät valitaan hankekohtaisesti vallitsevien olosuhteiden ja rakennushankkeen kokonaiskustannusten mukaan. Tukirakenteiden tarkoituksena on tukea kaivannon seinämiä sortumiselta. Tärkeimpiä valintaperusteita hankkeilla ovat tuettavien kaivantojen tukiseinien toimivuus, seinän suunniteltu käyttöaika ja mahdollisuus jättää tukiseinä pysyväksi rakenteeksi. Tukiseinien valinnassa on myös rajoittavia tekijöitä, joista tärkeimpiä ovat kaivannon syvyys ja maaperän laatu. (3, s. 121.)

Kaivannoissa tuentatapoja on useita erilaisia kaivantojen koosta ja maa-aineksista riippuen. Tuentoja voidaan toteuttaa teräsponteilla, kuten kuvassa 1, settiseinillä, elementeillä ja paaluilla (3, s. 113-116).



KUVA 1. Teräsponttiseinä (Kreate Oy)

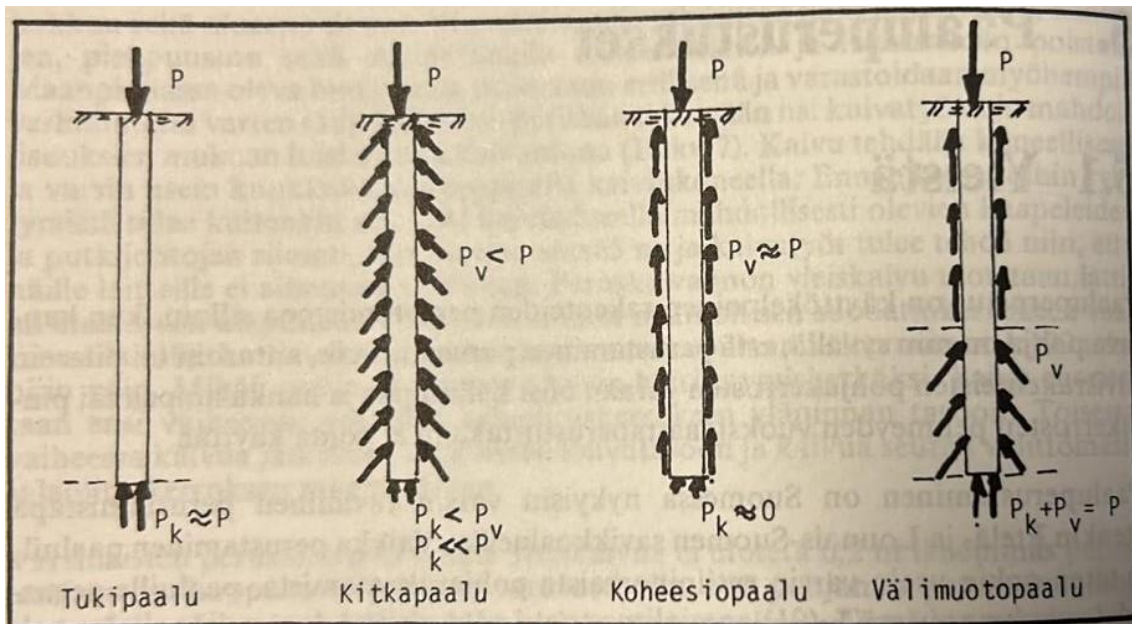
Näistä tuentatavoista betoniset kaivnopaaluseinät ovat pysyviä rakenteita. Työnaikaisissa rakenteissa kaivantotuentatavoista yleisin paaluseinä rakenne toteutetaan patorakenteissa ja maakainnoissa herkkien rakenteiden tai löyhien maa-ainesten tueksi tehdyissä tukiseinissä. Kaivnopaaluseinät muodostuvat maan sisään tehdyistä yhdensuuntaisista betoni- ja teräsbetonipaaluista, jotka valetaan yksikerrallaan kokonaisiksi seinälohkoiksi niin, että paalut osittain leikkautuvat toistensa sisään kuvan 2 mukaan. Paaluseinät ulotetaan kallioon tai kiinteään kerrokseen, ja raudoittamattomat paalut ankkuroidaan kaivannon ulkopuolelle varmistustoimenpiteenä paaluseinän pysyvyydelle. (3, s. 119.)



KUVA 2. Kaivnopaaluseinä, jossa a) paaluseinän rakenne, b) valmis paaluseinä (3, s. 120.)

2.2 Paalujen luokittelu ja käyttökohteen valitseminen

Tuetaan tarkoitettuja paaluja on valmistettu erilaisista materiaaleista eri kokoisina ja vahvuisina. Paalut voidaan jakaa neljään toimintatapaansa perustuvaan ryhmään, jotka on esitetty kuvassa 3 vasemmalta alkaen tukipaalut, kitkapaalut, koheesiopaalut ja välimuotopaalut. (3, s. 44.)



KUVA 3. Paalujen jakaminen ryhmiin toimintatapaansa mukaan (3, s. 44.)

Tukipaalujen toimintaperiaate perustuu siihen, että ne upotetaan kovaan pintaan, esimerkiksi kallioon tai kiinteään kerrokseen, johon paalu siirtää kärkensä kautta siihen kohdistuvat kuormat. Koheesiopaalujen toimintaperiaate perustuu adheesioon, jossa kahden aineen välinen vetovoima välittää kuormat maan ja paalun vaippapinnan välillä. Kitkapaalujen toimintaperiaatteessa paalu siirtää kuormat nimensä mukaisesti kitkan avulla. Kitkamaan ja paalun vaippapinnalle kehittyvät kitkaa, joka vastaanottaa paaluun kohdistuvat kuormat. Välimuotopaalujen toimintatavassa yhdistyvät tukipaalujen ja kitkapaalujen toimintaperiaatteet. (3, s. 45.)

Puupaalujen käytölle on edellytyksenä, että paalu sijoitetaan kokonaan pohjavedenpinnan alapuolelle. Mahdollisen pohjavedenpinnan alenemisen vuoksi tulee paalun yläpää suojattava laholta ja muilta puun kestoja heikentäviltä seikoilta ympäristölle vaarattomalla toimenpiteellä. (3, s. 45.)

Käyttökohte valitaan suunnittelun aikana, kun suunnitteluvaiheessa käytettävissä olevat esittemateriaalit, kuten pohjatutkimukset, ovat saatavilla. Tällöin paalujen toimintatapaan ja materiaa-

lin ihanteellinen käyttökohde voidaan valita noiden tietojen perusteella. Pohjatutkimusten aikana on saatava selville paalujen käyttöikään ja kestävyteen vaikuttavat tekijät. Pohjatutkimuksissa esitetään kohteen pohjavedenpinnantasoa vaihteluväleinen ja maaperän vallitsevat ominaisuudet. Pohjatutkimuksia joudutaan usein täydentämään myös rakennustöiden aikana, ja niitä suoritetaan aina tarpeen mukaan. Paalujen materiaalin, käyttökohteen sekä asennusmenetelmän valitsee aina vastaava pohjarakennussuunnittelija, jolla on riittävä tieto ja perehtyneisyys paalutusten suunnitteluun sekä voimassa oleva suunnittelijan pätevyys. (4, s.31.)

3 PUUPAALUT

Puupaalut ovat suorakasvuisia, oksattomia kuusen tai männyn runkoja, joissa ei ole merkittäviä syviä reikiä tai huomattavaa lahoa. Laho puupaaluissa saa esiintyä paikallisina pintalahoina niin, ettei laho ulotu puun pintakerroksia syvemmälle. Puu on luonnostaan kartiomaisen muotoinen, jossa sen rungon toinen pää on suippeneva, mikä antaa puulle sen painuessa maa-ainekseen tiiviin otteen maan ja paalun välille. Puu saa olla 1/100 käyristynyt keskiviivaltaan silmämääräisesti valittujen pisteiden välimatkasta vähintään 3 metrin matkalla. Mikäli puu on tätä käyrempi, on sen nurjautaminen paaluttaessa todennäköistä. (1, s. 45).

Paalurakenteiksi hyväksytyt puupaalut käsitellään maaperäolosuhteisiin ja paalutustyölle asetettujen vaatimusten mukaisesti sopivalla menetelmällä. Tukipaaluna toimivasta puupaalusta kuoritaan betonianturan sisään jäävä paalun yläosa, kun taas kitkapaalut kuoritaan kokonaan puoli-puttaiksi ja koheesiopaalut kauttaaltaan täysin puhtaiksi. Puupaalut ovat aina koheesiopaaluja, joten niiden käsittely tapahtuu kauttaaltaan puhtaaksi kuorimalla. (1, s. 45).

Puusta valmistettujen paalujen pituutta voidaan myös jatkaa hyväksytyillä jatkoksilla silloin, kun paalun pituus tulee olemaan yli 14 m. Jatkokset tulee valmistaa vähintään teräslaadultaan S235 seosteräksestä ja niiden kiinnitykset pitää suunnitella siten, että paalun jatkos kestää lyöntien aiheuttamat rasitukset. Jatkoksia asentaessa tulee paalujen päät sorvata tai veistää tasaisiksi siten, ettei jatkoksen päähän synny paalua tai jatkosta heikentävää lovetusta. (5, s. 125.) Mikäli teräksestä valmistettuja jatkoksia käytetään, tule niiden pituuden olla vähintään 800 mm ja seinämän paksuuden 5 mm. Jatkos kiinnitetään paaluun galvanoiduilla nauloilla tai vastaavilla puuruuveilla, ja niiden ohjeellinen määrä paalua kohden on 8–16 kappaletta. (4, s. 159.)

Puupaaluja voidaan käsitellä erilaisilla kemikaaleilla, jotta ne saavat suojan esimerkiksi sieniä, bakteereja ja lahoa vastaan. Tunnetummat puun käsittelytavat ovat kyllästäminen kreosootilla ja painekyllästäminen, näillä tavoilla käsiteltyä puuta kutsutaan kestopuuksi. (6.)

Kreosootti on biosidinen tehoaine, joka on kivihiilitervasta saatu tisle. Puu on kreosootilla kyllästäminen jälkeen tumman ruskeaa, ja sillä on tunnusomainen tuoksu. Kuvassa 4 on esitettyinä kreosootilla käsiteltyjä pylväitä. Tämä kemikaali on ympäristölle, ihmisten ja eläinten terveydelle haitallinen, ja sen käytölle on asetettu rajoituksia Euroopan jäsenvaltioissa. Kreosootilla kylläste-

tyn puutavaran käyttöä on rajoitettu siten, ettei sitä saa luovuttaa kuluttajille, ja se on tarkoitettu vain ammatti- ja teollisuuskäyttöön vain maata koskettavissa avojohtorakennelmissa kuten sähköpylväissä ja ratapölkkyinä. Kreosootilla kyllästetty puu on aina vaarallista jätettä, ja se on toimitettava erilliskeräilyyn jäteasemille. (6.)



KUVA 4. Kreosootipylväitä (7).

Painekyllästetty puu on kyllästetty kupariyhdisteillä, jotka parantavat puun lahonkestävyyttä ulko-olosuhteissa. Kemikaali kiinnitetään puun pinnalle painekyllästämiseen tarkoitetussa kyllästys-sylinterissä ilmanpaineen ja veden avulla. Kemikaali tunkeutuu puun pintapuusolukon läpi antaen sen lahoalttiille pinnalle pitkäaikaisen suojan. Painekyllästetty puu voi olla arseenikyllästettyä, silloin painekyllästetty puu on vaarallista jätettä. Kaikki käytöstä poistetut kyllästetyt jätetuotet tulevat toimittamaan jäteasemalle erilliskeräilyyn. (8).

Mäntyöljyllä kyllästäminen on edullinen ja ympäristölle ystävällinen tapa kyllästä puun pintaa. Mäntyöljyä saadaan puu- ja paperituotannon sivutuotteena. Mäntyöljy on kasviöljy, joten tällä kyllästetty puu voidaan sen käyttöään päätyttyä polttaa tai hyödyntää energiateollisuudessa. Mäntyöljyllä kyllästämistä on tutkittu jo kymmenien vuosien ajan, ja sen on huomattu parantavan puun lahonkestävyyttä huomattavasti. Mäntyöljyn suojaava vaikutus lahoa vastaan perustuu öljyjen ominaisuuksiin vähentää puun vesipitoisuutta puun soluseinien rakenteissa, mikä vähentää sienikasvustojen lisääntymistä puun pinnalla. Tutkimustulokset osoittavat, että mäntyöljyn johdan-

naisilla käsitelty puu on lähes yhtä tehokas tapa suojata puuta kuin kreosootilla kyllästetty puu. (9, s. 39.)

Toinen ympäristölle ystävällinen tapa parantaa puun kestävyyttä on puun pinnan hiillostaminen. Tekniikkaa on käytetty Suomessa esimerkiksi aidantolppien päiden lahonkestävyyden parantamiseksi, sillä hiillostaminen hajottaa puun sokereita ja uuteaineita, minkä seurauksena lahottajille ei jää ainetta käsiteltäväksi. Tekniikan lahonkeston paranemista ei ole tutkittu tarkemmin, mistä syystä se ei ole virallinen menetelmä lahonestoon. (10, s. 10.) Puun hiillostaminen tapahtuu siten, että kauttaaltaan puhtaaksi kuorittu puu sytytetään tuleen, ja kun puu on pinnaltaan kauttaaltaan hiiltynyt, tuli sammutetaan ja ylimääräinen hiili harjataan pinnalta pois (9, s. 41).

3.1 Puumateriaalien hyödyt ja heikkoudet tuentakohteissa

Puun käyttäminen rakentamisessa pienentää hiilijalanjälkeä, sillä puutuotteiden valmistuksesta syntyy vain vähän hiilidioksidipäästöjä. Puu varastoi itseensä hiilidioksidia, ja siihen varastoituneen hiilidioksidin määrä on suurempi, kuin siitä valmistetun tuotteen valmistuksen aikana aiheutuneet päästöt. Kun suuria hiilidioksidipäästöjä aiheuttavia materiaaleja, kuten terästä, korvataan puulla, tämäkin toimenpide vähentää teollisuuden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. (11.)

Puu pystyy varastoimaan hiilidioksidia itseensä pitkiksi ajoiksi, eikä se vapauta itsestään ilmakehään enempää hiilidioksidia kuin siihen on kasvun yhteydessä varastoitunut. Puun käyttäminen rakennuksen elinkaaren rakennusvaiheessa pienentää myös työmaan hiilijalanjälkeä. Rakentamisessa ekologisin tapa tukea maailman laajuista vihreää siirtymää, on valita mahdollisuuksien mukaan runsaasti hiilipäästöjä tuottavien materiaalien sijasta mahdollisimman vähähiilisillä tuotteilla ja materiaaleilla. (11.)

Puu on Pohjoismaissa lujaa, tiivistä, sitkeää ja suorasyistä, mutta puu on harvoin täysin suoraa, ja niiden ominaisuudet voivat vaihdella merkittävästi. Puun heikkouksia ovat sen kasvun aikana syntyneet rakenneviat ja puun oksaisuus. Oksien suuri määrä alentaa puun lujuutta, sillä niiden syysuunta on aina kohtisuorassa puun rungon syysuuntiin nähden. Oksien tai rungon syyt voivat olla vinoja, joka myös vähentää merkittävästi puun lujuutta ja sen kestävyttä. (12.)

Puu on voinut kasvunsa aikana joutua kaltevaan asentoon, ja puu on pyrkinyt kasvunsa aikana oikaisemaan virheellistä asentoa pysyäkseen pystyssä. Tällainen tapahtuma on reaktiipuuta eli

lylyä, ja se on kuivuttuaan haurasta, vaikka se olisikin kosteana kovempaa kuin normaali puuaines. Lyly on merkittävä puun virhe, joka aiheuttaa puun voimakasta elämistä sahauksen jälkeen. Lylyisen puun erottaa sen poikkileikkauksesta, jossa ydin on kasvanut epäkeskeisesti toiselle sivulle. Puu on eloperäisyytensä vuoksi herkkä mikro-organismeille, ja käsittelemättömänä se on altis homesienille ja lahottajille. (12.)

3.1.1 Käyttöiän näkökulma

Puun käyttöikä voi olla suhteellisen pitkä puulle suotuisissa olosuhteissa, kuten savisissa ja kosteissa maalajeissa, missä pohjavedenpinta pysyy riittävän korkealla suhteessa puupaalujen yläpäähän. Käyttöiän näkökulmasta paalutettava alue tulisi olla mahdollisimman savinen, pehmeä ja pohjavedenpinnan tulisi pysyä mahdollisimman korkealla paalujen käytön ajan. Työnaikaiset rakenteet ovat yleensä lyhytkestoisia, hankkeen mukaan noin 0–3 vuotta kestäviä. Puupaaluille on asetettu paalutusohjeissa käyttöikä suositus siten, että puupaaluja ei tulisi käyttää rakenteissa, joiden suunniteltu käyttöikä on yli 50 vuotta. Työnaikaisissa rakenteissa puun suunniteltu käyttöikä täyttyy. Puupaalut on mahdollista nostaa käytön jälkeen ylös ja käyttää uudelleen, mikäli paalu ei ole vahingoittunut ensimmäisen käyttökerran jälkeen. Mikäli paalua ei voida käyttää uudelleen, voidaan se käyttää mahdollisesti toiseen tarkoitukseen esimerkiksi lyhyempänä, tai loppusijoituskohteena energiateollisuuden tarpeisiin. (13.)

3.1.2 Lujuuden näkökulma

Materiaalien vertailussa puu ei lujuusominaisuuksiltaan vastaa teräksen tai teräsbetonin lujuusominaisuuksia. Terästä on vahvuuksiltaan ja materiaaliominaisuuksiltaan erilaisia vaihtoehtoja eri käyttötarkoituksiin, kuten myös betonia valmistetaan useissa eri lujuusluokissa käyttötarkoituksen mukaan. Taulukossa 1 on esitetty havupuun ominaislujuudet Suomessa käytettyjen puun lujuusluokkien mukaisesti.

TAULUKKO 1, Havupuun ominaislujuudet

Taulukko 3.3S. Havupuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet lujuusluokissa C14 (T0), C18 (T1), C24 (T2), C30 (T3), C35 ja C40.

Lujuusluokka		C14 T0	C18 T1	C24 T2	C30 T3	C35 ¹⁾	C40 ¹⁾
Ominaislujuudet (N/mm ²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	14	18	24	30	35	40
Veto	$f_{t,0,k}$	8	11	14	18	21	24
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Puristus	$f_{c,0,k}$	16	18	21	23	25	26
	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,5	2,7	2,8	2,9
Leikkaus	$f_{v,k}$	1,7	2,0	2,5	3,0	3,4	3,8
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)							
Kimmo- moduuli	$E_{0,mean}$	7 000	9 000	11 000	12 000	13 000	14 000
	$E_{0,05}$	4 700	6 000	7 400	8 000	8 700	9 400
	$E_{90,mean}$	230	300	370	400	430	470
Liukumoduuli	G_{mean}	440	560	690	750	810	880
	$G_{0,05}$	300	380	460	500	540	590
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominaistiheys	ρ_k	290	320	350	380	400	420
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	350	380	420	460	480	500

¹⁾ C35 tai C40 lujuusluokan sahatavaraa ei ole yleensä saatavilla puutavaraliikkeistä.

Taulukon mukaan havupuiden suurimmat ominaislujuudet saavutetaan lujuusluokissa C35 ja C40, jotka eivät yleensä ole suoraan saatavilla sahatavarana.

Puupaaluja voidaan käyttää paalutusluokissa 1 ja 2. Puupaalujen käyttökohteet ovat toisarvoisia rakenteita. Toisarvoisia rakenteita ovat sellaiset rakenteet, jotka eivät ole suunniteltu pitkälle käyttöille tai pysyviksi rakenteiksi, eivätkä ne ota vastaan suuria kuormia. Niiden suurin sallittu jännitys pienimmässä poikkipinta-alassa, yleensä siis kärjessä saa olla korkeintaan 5MN/m² (1, s. 53).

3.1.3 Kustannusten näkökulma

Karkealla hintatarkastelulla puu on materiaalikustannuksiltaan terästä ja betonia edullisempi vaihtoehto. Puu ja betoni myydään kuutio hinnalla, kun taas teräs myydään kilohinnoilla. Puun materiaalihinta oli keväällä 2023 kotimaisen kuusen ja männyn kohdalla noin 74–76 €/m³, hinta oli katsohetkellä nousussa (14). Kotimaisen männyn tiheys on 370–550 kg/m³ ja kuusen 300–470 kg/m³. Jos mäntytkin myytäisiin tonni hinnalla, olisi mäntytkin hinta tonnilta tällöin noin 150 €/tn. Betonin kuutio hinta perustuu kokemukseen, ja sen hinta on ollut noin 140 €/m³. Valmisbetoni myydään kuljetuksen kanssa, ja täten kuljetuskustannukset määräävät betonin lopullisen hinnan. Rakentamiseen tarkoitetun ruostumattomasta teräksestä valmistetun harjatangon hinta oli samaan aikaan 1320 €/tn. Materiaalien hintaerot tarkastelun perusteella teräksen, betonin ja puun välillä ovat valtavat. Kustannuksiin vaikuttavat kuitenkin myös materiaalien työstö sekä niihin kohdistuvat kuljetuskustannukset. (15.)

Materiaaleja on vaihtelevasti saatavilla, niin eri vahvuisia teräksiä kuin eri laatuista betonia voi olla joissakin tilanteissa vaikeaa saada nopealla toimitusajalla, sillä monia tuotteita ei pidetä niin sanotusti hyllytavaranä. Kuitenkin jos hankinta on ajoitettu siten, että ilmoitetussa toimitusajassa pysytään, on materiaalien saatavuus hyvä. Maailmantilanteen 2021–2022 aikana teräksen saatavuus heikkeni merkittävästi, koska materiaalipula ja kova kysyntä tyhjensivät toimijoiden varastot. Koronakriisi, Ukrainan sota ja maailmanlaajuiset toimitusketjut hankaloittivat materiaalien saatavuutta, minkä vuoksi hinnat kohosivat odottamattoman korkealle. Tällaisissa tilanteissa materiaalien saatavuuden arvioiminen pidemmällä aikavälillä on tarpeellista, mikä johdattelee tarkastelemaan vaihtoehtoisten materiaalien käytön mahdollisuutta rakentamisessa. (16.)

3.2 Asennusmahdollisuudet

Paalujen asentamiselle on olemassa erilaisia laitteita niin kokoluokiltaan kuin toimintaperiaatteiltaan. Hankkeeseen valitaan paalutusluokille, paalun materiaalille ja maaperäolosuhteille sopiva asennuslaite siten, että laite pystyy ominaisuuksiltaan ja toimintatavaltaan täyttämään paalutustyön asettamat vaatimukset, ja että paalun tunkeutumista maaperään pystytään seuraamaan mahdollisimman tarkasti. Lyöntien voimakkuutta ja paalujen kaltevuutta on pystyttävä säätämään siten, että ne täyttävät suunnitelmissa asetetut vaatimukset. (5, s. 100).

Paalutuslaitteen tulee olla sellainen, että sillä pystytään työn suorituksen aikana liikkumaan työmaa-alueella riittävän turvallisesti ja luotettavasti, sekä laitteen tulee täyttää mahdolliset suunnitelmien asettamat vaatimukset kaluston painolle tai koolle. Kaluston tulee täyttää suunnitelmien asettamat vaatimukset paalujen tunkeutumistasolle, mahdollisten mekaanisten jatkosten asentamiselle luotettavasti, ja paalujen säilymiselle rakenteellisesti ehjinä paalujen asentamisen jälkeen. (4, s. 207).

3.2.1 Tärylaite

Tärylaitteet ovat kaivinkoneisiin suunniteltuja lisälaitteita, jotka kiinnitetään kaivinkoneen kauhan pyörittäjään. Tärylaitteet ovat sivutartuntaisia paaluniskijöitä, joita Suomessa valmistaa yritys nimeltä Movax Oy. Kaivinkoneen ohjausyksiköstä kuljettaja pystyy säätämään materiaalille sopivan puristusvoiman tärylaitteen painemittaria seuraamalla. (17.)

Tärylaitteella paalujen asentaminen on turvallinen vaihtoehto, sillä tärinä ei aiheuta kohtuuttoman suurta voimaa paalun yläpäähän, mistä suurimmat puupaalutusvirheet johtuvat paalujen rikkoutuessa liian voimakkaista iskuista. Kaivinkoneen lisälaitteella paalujen asentaminen on hyvä vaihtoehto työmailla, joissa tarvitaan kevyempää laitteistoa, ja kaivinkoneen muita ominaisuuksia voidaan käyttää yhdessä tärylaitteen kanssa. Tärylaitteen heikkous on sen tunnottomuus, ja kun laitetta käyttää kokematon kuljettaja, voi huomaamattaan laitteella puristaa paalua liian suurella voimalla, joka lopulta murskaa paalun. Puupaaluja asentaessa puupaaluja ei tule vääntää, sillä liian suuri vääntö rikkoo paalun. (17.)

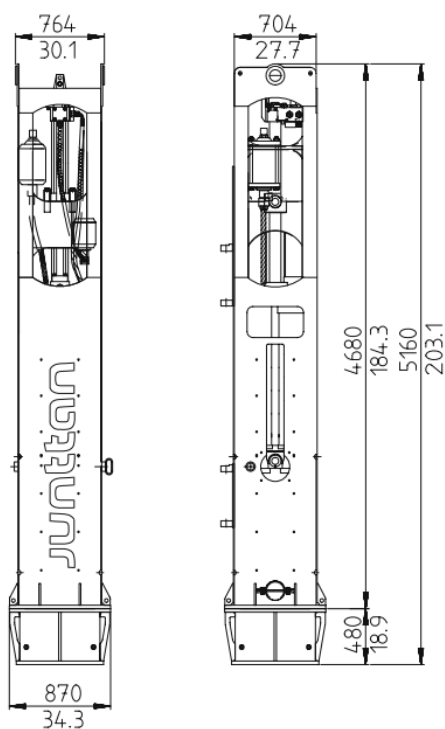


KUVA 5. Kaivinkoneen tärylaite ja puupaalu puristin (18.)

3.2.2 Hydraulijärkäle ja paineilmavasara

Hydraulijärkäleet voidaan jakaa kahteen toimintaluokkaan. Yksitoimiset hydraulijärkäleet toimivat siten, että pudotusjärkäle nostetaan hydraulisilla sylintereillä pilarin yläosaan, missä sylinteri tyhjenetään, ja ylös nostettu pudotusjärkäle pääsee putoamaan vapaasti alas. Kaksitoimisissa hydraulijärkäleissä toimintatapa on sama, mutta järkäleen pudotessa sen vauhti kiihtyy hydraulisynterinin kaasupaineen avulla. Paineilmavasarat toimivat nimensä mukaisesti paineilmalla, jossa iskumäntä nostetaan alasynterissä olevalla paineilmalla ylös, ja vapautetaan alasynteri tyhjentämällä vapaaseen pudotukseen, jossa yläsynterinin paineilma kiihdyttää iskumännän pudotusnopeutta. (1, s. 57–60.)

Junttan Oy on suomalainen yritys, joka tarjoaa paalutuskoneita varustettuina hydraulisilla järkäleillä. Kuvassa 6 on esitettyä Junttan-paalutuskoneen hydraulinen järkäle. Junttanilla paalujen asentaminen tapahtuu lyöntipaalaus tekniikalla, jossa hydraulijärkäle tai paineilmavasara iskee paalun päähän voimalla, joka tunkee paalun maahan syrjäyttäen maa-aineksen paalun ympäriltä. Lyöntipaalutuksessa hetkittäinen meluhaitta voi olla verrattain suurempi kuin kaivinkoneen tärylaitteen avulla paalutettaessa. Junttanin käytössä on heikkoutena laitteiden suuri paino, sekä niiden käytön yksipuolisuus. Hydraulijärkäleellä tai paineilmavasaralla iskiessä on myös suuri vaara iskeä liian suurella voimalla puupaalun päähän, joka rikkoo paalun yläpään tehden siitä heikon ja alttiin laholle. Joissakin tilanteissa tällä tekniikalla paaluttaminen on myös hidasta paalujen nostosta ja asemoinnista johtuen. (19.)



KUVA 6. Junttan-paalutuskoneen hydraulinen järkäle HHK3A (20.)

4 PUUPAALUKOHDE

Puupaaluille sopivia kohteita täytyy miettiä perinpohjaisesti ottaen huomioon puun lujuusominaisuudet. Puusta valmistettujen rakennusmateriaalien kuten puupaalujen käyttöä ei suositella yli 50 vuotta, mutta oikein suoritettuna paalutuksen tuloksena saadaan pitkäikäinen ja ekologinen tuentaratkaisu.

4.1 Esimerkkikohde

Kreate Oy on toteuttanut Helsingissä sijaitsevan Itäväylän alittavan Mustapuron tulvasuojausta puupaalutuksilla kesällä 2022 Mustapuron tulvasuojaus ja Itäväylän sillat -hankkeella. Mustapuron tulva-alue esitettynä kuvassa 7. Paalut asennettiin Itäväylän reunalle vahvistamaan eteläpuolen tienpengertä alueen heikon stabiiliteetin vuoksi. (21.)



KUVA 7. Mustapuron Tulva-alue (Miikka Kalke, Helsinki/KYMP)

Hankkeella Mustapuron tulvasuojaus perustettiin uuteen linjaan, missä puupaalut olivat suunnitelma asiakirjoissa esitetty asennettavaksi Itäväylän reunalle vahvistamaan väylän eteläpuolen tienpengertä. Alueella maa-aines oli pehmeää savea ja pohjaveden pinta on alueella korkealla,

tästä syystä alue on puupaalujen käyttöön ja ominaisuuksien näkökulmasta ihanteellinen. Tulvasuojauksen stabiliteetti ennen paalutusta ei ollut riittävä, joten puupaalut asennettiin ennen kaivutöiden aloittamista alueella. Asennettuja puupaaluja esitettynä kuvassa 8. Paaluja asennettiin neljään riviin yhteensä lähes 400 kappaletta, ja paalujen välinen etäisyys oli noin puoli metriä. (21.)



KUVA 8. Asennettuja puupaaluja (Kreate Oy)

4.2 Hyödyt ja haitat

Puupaalujen asentaminen tapahtui hankkeella ongelmitta. Materiaali oli hankittuna hyvissä ajoin ennen paalutusta, sillä puupaalujen tarve oli tiedossa jo tarjousvaiheessa. Paalut olivat saapuesaan oikean mittaisia ja hyvässä kunnossa, eikä asentamiselle ollut esteitä materiaalin puolesta. Alueen maa-aines oli pehmeää, eikä paaluja jouduttu lyömään liian kovien kerrosten läpi, mikä nopeutti paalutustyön etenemistä aikataulussa. Myös paalutuksessa käytetty kaivinkone tärylaitteella oli käytettävissä heti paalujen saavuttua, sillä samaa konetta käytettiin työmaalla myös toisissa tehtävissä. Ongelmat, joita kohdattiin työmaalla paalujen osalta, olivat niiden kuljettaminen työmaa-alueelle vilkkaasti liikennöidyn väylän varrelle. Paalukuormat olivat suuria, ja paalut pitkiä, mitkä itsessään vaikeuttivat kuormien purkua väylän varrella. (21.)

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli löytää puupaaluille käyttökohteita infran työnaikaisissa rakenteissa. Materiaalisaatavuuksien ja kustannusten nousujen vuoksi haluttiin tarkastella puun käytön mahdollisuuksia erilaisilla infran rakennushankkeilla. Tavoitteena oli tutkia erityisesti kaivannontuennoissa ja pengerten stabilisoinnissa käytettävien materiaalien vaihtoehtoja. Puupaaluja on käytetty vuosisatoja rakenteissa, mutta teräksen ja betonin tultua markkinoille puupaalujen käyttö on lopetettu lähes kokonaan.

Käyttökohteiden löytymisen edellytyksenä on, että puu materiaalina vastaa tietynlaisia ominaisuuksia mitä hankkeella tapauskohtaisesti vaaditaan. Puupaaluille on määritelty paalutusohjeissa käyttöiäksi enintään 50 vuotta, mutta oikein asennettuna puu säilyy otollisissa olosuhteissa pidempiäkin aikoja. Puupaaluille on olemassa mahdollisia käyttökohteita infran työnaikaisissa rakenteissa, jos ympäristö ja vallitsevat maaperäolosuhteet ovat puun ominaisuudet huomioon ottaen otolliset.

Työn tutkimustulosten mukaan puu ei lujuusominaisuuksiltaan vastaa teräs- tai betonirakenteita. Puupaalujen käyttöä voitaisiin kuitenkin harkita kohteissa, missä puupaalu ei tulisi olemaan pysyvä rakenne, tai se ei vastaanottaisi merkittäviä kuormia. Tällaisissa tilanteissa puupaalujen käytön mahdollisuuksille pitäisi suorittaa tarkempia tutkimuksia suunnittelun yhteydessä.

Puupaaluja voitaisiin käyttää toisarvoisiksi määritellyillä rakennusosilla, esimerkiksi pengerten tukemisessa ja matalissa kaivannoissa, missä yleensä käytetään teräksestä tai betonista valmistettuja paaluja. Tarkemmin sopivia käyttökohteita voisivat olla matalat kaivannot, joiden luiskat eivät savisten maaperäolosuhteiden vuoksi pysy stabiileina luiskaamisesta huolimatta, tai pehmeitten pengerten stabilisointi kosteilla ja savisilla alueilla. Puupaalut luokitellaan koheesiopaaluihin, missä paalun vaippapinta ottaa vastaan siihen kohdistuvat kuormat. Puupaalun hyvänä ominaisuutena pidetään sen luonnollista muotoa, joka maahan iskettäessä antaa kiilamaisuudellaan paremman tartunnan maa-aineksen ja paalun välille. Esimerkiksi koheesiomaissa, matalissa putkikaivannoissa suurimpana riskinä on kaivupohjan nouseminen, voitaisiin tällaisessa tilanteessa puupaalujen käyttöä tutkia kaivannon pohjan stabilointimenetelmänä. Koheesiopaaluina toimiva puupaalu voisi maahan iskettäessä estää kaivupohjan nousemisen.

Opinnäytetyön työstämisen alussa huomasin, että ohjeistusta puupaalujen käytölle kaivannontu- ennoissa ei tällä hetkellä ole olemassa kaivanto-ohjeessa, mutta paalutusohjeessa pengervaalu- jen toteuttamiseen puupaaluilla ohjeistus löytyy. Tulevaisuudessa kaivannontu- ennoissa voitaisiin tutkia puupaalujen käyttöä esimerkiksi yhdistetyillä tuentatavoilla, joissa osa teräksisistä tai beto- nisista rakennusosista korvattaisiin puupaaluilla. Tällainen materiaalien yhdistely voisi mahdollis- taa puupaalujen käytön hieman tavanomaista haastavammissakin kohteissa. Puupaaluja käyte- täänkin nykyään yhdistettyinä rakenteina betonipaalujen kanssa siten, että puupaalu asennetaan pohjavedenpinnan alapuolelle lyömällä paalun yläpään jatkeeksi betonipaalu. Tapa ei ole kovin yleinen, mutta se on osoitettu toimivaksi.

Vaikka työnaikaiset rakenteet ovat lyhytkestoisia, pitäisi puu käsitellä sen lahonkestävyyden pa- rantamiseksi. Asennuksessa voi tapahtua virheitä, jotka edistävät puun altistumista lahottajille, mutta käsitelty paalu kestäisi tutkimusten mukaan virheitä tiettyyn pisteeseen saakka, vaikka asennuksessa paalu olisi vaurioitunut. Tavanomaisin virhe on se, että paalun pää jää pohjave- denpinnan yläpuolelle, mikä on paalutusohjeessakin esitetty puun kestävyden kannalta hei- koimmaksi lenkiksi. Paalutusohjeessa kerrotaan, että paalut käsitellään yleensä vain alapääs- tään, missä puu yleensä yhdistetään betonirakenteeseen. Kuitenkin kokemusten mukaan yleisin syy puun lahoamiselle johtuu sen yläpäästä, joka ei pysy pohjavedenpinnan alapuolella esimer- kiksi vedenpinnan vaihteluvälien takia, olisi mielestäni aiheellista tutkia puun käsittelyä kokonaan tai pelkästään sen yläpäästä.

Tutkimuksissani huomasin, että puun käsittelytavoista vain ympäristölle haitallisimmat tavat ovat yleisimpiä tapoja parantaa puun lahonkesto- a. Käsittelytavoista puun hiillostaminen olisi ympäris- töystävällisin tapa, ja sitä on käytetty jo vuosisatojen ajan puun lahonkeston lisäämiseksi. Hiillos- tamisen todellisia lahonkeston ominaisuuksia ei ole tutkittu tarkemmin, ja mielestäni tutkimuksia voitaisiin viedä eteenpäin todentamaan vanhan kansan tapa parantaa puun lahonkestävyyttä. Hiillostaminen olisi edullista, helppo toteuttaa kohteessa ja se olisi ympäristölle ystävällistä, eikä se tekisi puupaalusta ongelmajätettä paalun käytön jälkeen.

Esimerkkikohteeni puupaalutus on toteutettu pysyvänä rakenteena, mutta sen onnistunut toteutus motivoi tutkimaan puun mahdollisuuksia myös työnaikaisina rakenteina. Toivottavasti tämä kohde antaa mahdollisuuden ajatuksille tulevien kohteiden suunnittelussa.

LÄHTEET

1. Jääskeläinen, Raimo 2003. Pohjarakennuksen perusteet oppikirja. 1. painos. Tampere: Te-hokopiointi.
2. Infra 2015. Rakennusosa- ja hankenimikkeistö Määrämittausohje. Hakupäivä 20.12.2022. https://tiedostot.rakennustieto.fi/liitteet/infraryl/Infra_2015_Maaramittausohje.pdf.
3. Rantamäki, Martti – Tammirinne, Markku 1979. Pohjarakennus oppikirja. 11. muuttumaton painos. Helsinki: Hakapaino Oy
4. RIL 254-2016 Paalutusohje. 2016. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
5. RIL 223-2005 Lyöntipaalutusohje- Teräsbetoni- ja puupaalut. 2005. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
6. Tukes. Kreosotilla kyllästetyn puun käyttö ja hävittäminen. Hakupäivä 9.4.2023. <https://tukes.fi/kemikaalit/biosidit/kreosootin-kayton-rajoitukset>.
7. Tausta-aineisto: Kreosoottipylväitä, Shutterstock. Hakupäivä 9.4.2023. <https://www.shutterstock.com/image-photo/creosote-treated-wood-that-will-be-1410452114>.
8. Puuinfo 2020. Paineekyllästetty sahatavara. Hakupäivä 9.4.2023. <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/painekyllastetty-sahatavara/>
9. Hooli, Jenni 2020. Puupaalujen käyttö infrarakentamisessa. Aalto-yliopisto. Master's Programme in Geoengineering. Diplomityö. Hakupäivä 12.4.2023. https://aaltoodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/47161/master_Hooli_Jenni_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
10. Koivisto, Tomi 2014. Puutavaran hiiltäminen pintakäsittelymenetelmänä. Hämeen ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 14.4.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77879/22052014_tomi_koivisto_pakattu_valmi_s.pdf?sequence=1.
11. Puuinfo 2020. Puutieto. Puun käytön ympäristövaikutukset. Puurakenteissa hiili säilyy pitkään. Hakupäivä 15.3.2023. <https://puuinfo.fi/puutieto/ymparistovaikutukset/puurakenteissa-hiili-sailyy-pitkaan/>.
12. Puuproffa. Puutieto, Rakenneviat. Hakupäivä 14.4.2023. <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-kerrokset/rakenneviat/>.
13. Puuinfo 2018. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje. Eurokoodi 5. 4.painos. Hakupäivä 14.4.2023. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-31.8.-web.pdf>.

14. Metsälehti, puunhinta. ISSN 2737-1131. Hakupäivä 12.4.2023.
https://www.metsalehti.fi/puunhinta/puunhinta-2/?gclid=CjwKCAjwrDmhBhBBEiwA4Hx5g1IEvpV4nKwlg8dXZ3_EzGQJNkclY25YMXygKG-y0TkdiGMbAFuGgBoCOy8QAvD_Bw.
15. Juola, Teppo 2023. Työmaapäällikkö. Kreate Oy. Keskustelu 21.4.2023
16. Mononen, Ari . Prometalli, Metallien saatavuusongelmat ovat uhka teollisuusyrityksille. Hakupäivä 13.4.2023. <https://www.prometalli.fi/natiivi/3024/metallien-saatavuusongelmat-ovat-uhka-teollisuusyrityksille>.
17. Fingeroos, Jyrki 2023. Kaivinkoneenkuljettaja. Maanrakennus E. Majava Oy. Puhelinkeskustelu 14.4.2023.
18. Tausta-aineisto: Kaivinkoneen tärylaite ja puupaalu puristin. Hakupäivä 14.4.2023.
<https://pilingbroker.com/wp-content/uploads/2022/11/SGSideGripPileDriversTechnicalSpecificationJuly2022.pdf>.
19. Junttan Oy 2023. Yritys.Tietoa meistä. Hakupäivä 14.4.2023. <https://junttan.com/fi/tietoa-meista/>.
20. Junttan Oy 2023. Junttan-paalutuskoneen hydraulinen järkäle HHK3A. Hakupäivä 14.4.2023.
https://junttan.com/wp-content/uploads/2016/04/Junttan_HHK_3A_datasheet.pdf.
21. Haimila, Mika 2023. Vastaava työnjohtaja. Kreate Oy. Haastattelu 13.4.2023.