

Vihreä siirtymä - vähähiilisyyys

Jouni Punkki
Aalto-yliopisto

Vihreä siirtymä

- Mitä se on?

- **Muutos kohti ekologisesti kestäväää taloutta (Ilmaston muutoksen hillitseminen)**
 - Energian kulutuksen aiheuttamat päästöt
 - Materiaalien käyttö
- **Energia**
 - Fossiilisesta energiasta uusiutuvaan energiaan (hiili -> tuuli-, aurinko- ja bioenergia)
 - Energian kulutuksen vähentäminen
- **Materiaalien käyttö**
 - Vähähiiliset ratkaisut
 - Kestävät materiaalit
 - Kierrätettävät ja uudelleen käytettävät materiaalit

Vihreä siirtymä

- Mitä tarkoittaa rakentamisessa

- **Rakentamislaki 2025**

- Tavoitteena rakentamisen sekä rakennusten käytön aiheuttaminen päästöjen vähentäminen
 - Rakennus suunniteltava ja rakennettava vähähiiliseksi (käyttötarkoitus)
 - Ilmastaselvitys toimitettava lopputarkistuksen yhteydessä
 - Hiilijalanjäljen laskentavelvollisuus 1.1.2026
 - Raja-arvo hiilijalanjäljelle, koko elinkaaren aikainen materiaalien ja energian kulutus

- **Kestävä rahoitus, taksonomia**

- Voi vaikuttaa rahoituksen saamiseen

- **Kustannusvaikutukset**

- Päästökauppa tulee aiheuttamaan merkittäviä kustannuksia yksittäisille toimijoille -> tuotteen hinta

Vihreä siirtymä

Paalut

- Perustukset ovat mukana rakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa, mutta päästörajat ei koske perustuksia (riippuvat voimakkaasti rakennuspaikasta)
- Paalutuksista voi aiheutua merkittäviä päästöjä (päästöihin tullaan kiinnittämään yhä enemmän huomiota)
- Paalujen ominaispiirteet
 - Tarvitaan korkea alkulujuus
 - Altistuvat maaperän rasituksille
 - Mahdollinen vaurioituminen on vaikea havaita
 - Paalujen / perustusten rooli kriittinen koko rakennuksen kannalta

PAALUJEN PÄÄSTÖVÄHENNYKSET TEHTÄVÄ HARKITEN

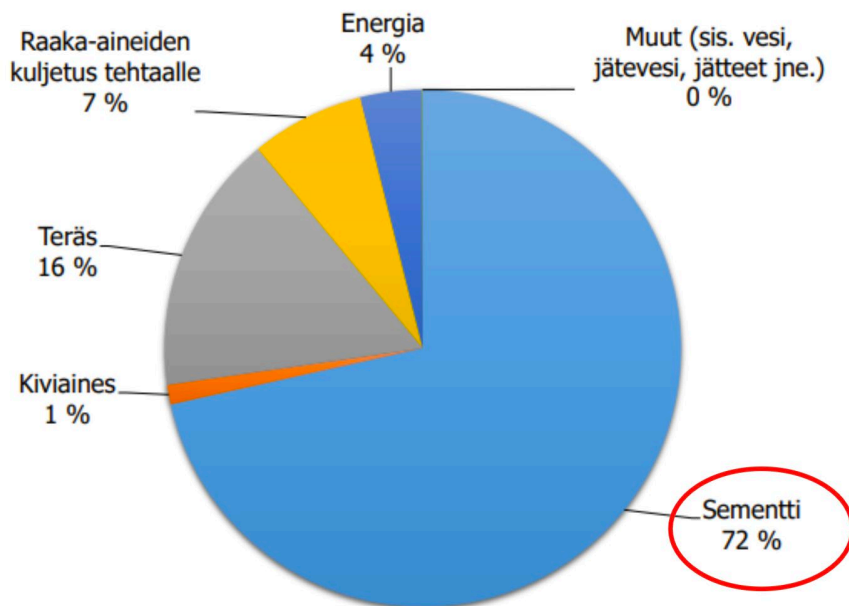
Paalujen CO₂-päästöt

Mistä päästöt muodostuu

PAALU RTB-300-16®

A1-A3 päästöt (GWP): **37 kg CO₂ eq./paalu-jm**

Hiilijalanjäljen muodostuminen moduuleissa A1-A3



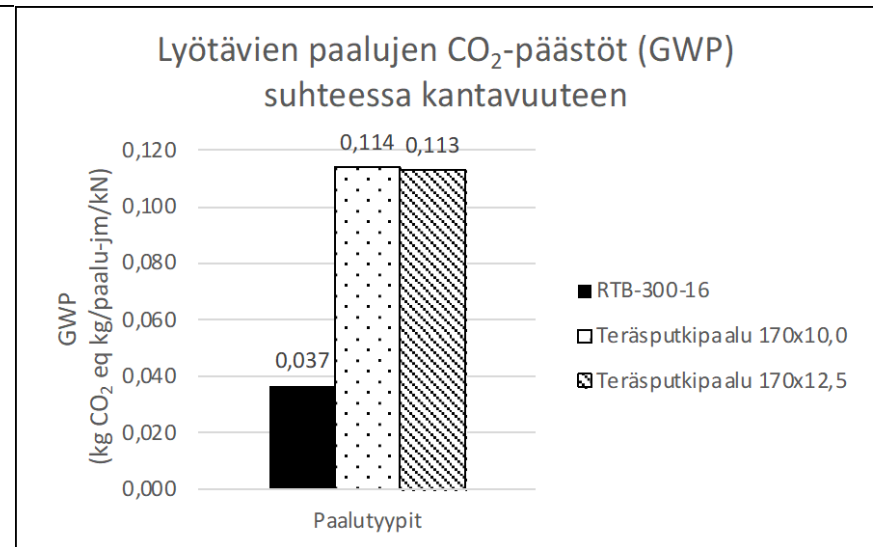
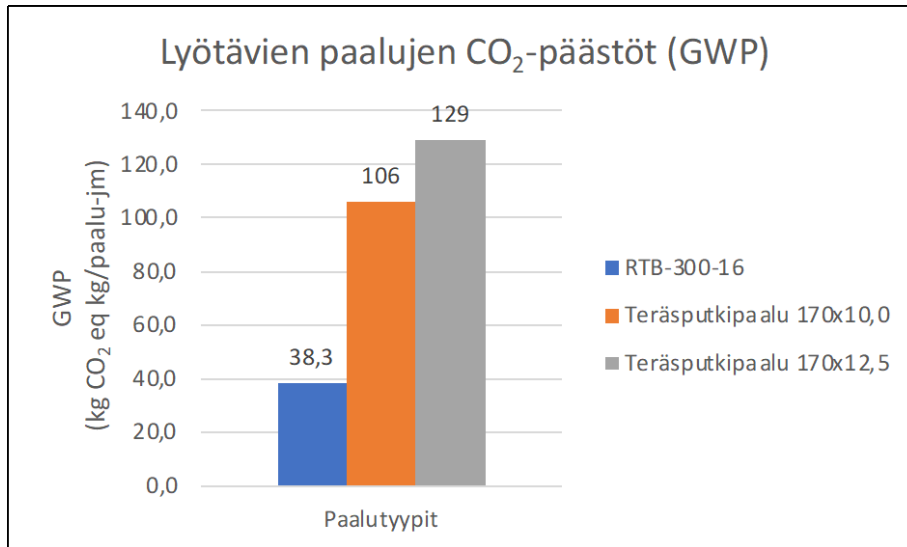
- **Onko 37 kg-CO₂/jm paljon?**
 - Vastaa polttomoottori-autolla noin 250 km ajoa
 - 1000 jm paalutus: vastaa 4 suomalaisen vuosipäästöjä
- **Sementillä on erittäin merkittävä rooli**

Lisäksi:

- Kuljetus: n. 3 kg/jm (75 km)
- Paalukone: 1...2 kg/jm

Paalujen CO₂-päästöt

Päästöt verrattuna teräspalkkipaaluihin



TB-paalut ovat erittäin kilpailukykyisiä CO₂-päästöjen kannalta

Paalujen CO₂-päästöt

Voidaanko paalujen päästöt välttää / vähentää

- **Rakennetaan koko ajan haastavimpiin paikkoihin pohjarakentamisen kannalta**
 - Paalutuksille ei taida olla kilpailukykyisiä vaihtoehtoja
- **Voidaanko betonipaalut korvata muilla materiaaleilla**
 - Jossain määrin kyllä; teräs, puu
 - Ei kuitenkaan saavuteta merkittäviä päästövähennyksiä
 - Teräspaalun päästöt korkeammat kuin betonipaalun
 - Puupaalujen käyttömahdollisuudet marginaalisia
- **Potentiaalisin vaihtoehto on alentaa betonipaalujen päästöjä**
 - Kuitenkaan unohtamatta paalujen ominaispiirteitä

Paalujen CO₂-päästöt

Miten betonipaalujen päästöjä voidaan vähentää

- Käynnissä on betonialan yhteinen hanke: *Vähähiilisen betonin tiekartta*
 - Kartoitetaan eri vaihtoehdot betonin päästöjen vähentämiseksi
 - 10 eri mahdollisuutta, jaettu kolmeen eri ryhmään:
 1. Sementti
 2. Betoni
 3. Tuotteet

Paalujen CO₂-päästöt

Vähähiilisen betonin tiekartta

SEMENTTI

SEMENTIN VALMISTUS

Klinkkerin määrä

- Seossementit
- Sementit raaka-aineet

SEMENTIN VALMISTUS

Energian kulutus

- Polttoaineet
- Energiatehokkuus

SEMENTIN VALMISTUS

CO₂-talteenotto

- CCS
- CCU

BETONI

SEOSAINEEET

- Nykyiset seosaineet
- Uudet seosaineet

VAIHTOEHTOISET SIDEAINEEET

- Muut sementtityypit
- Aktivoidut seosaineet

RESEPTIOPTIMOINTI

- Sementin / klinkkerin määrä betonissa
- Kiviaineksen laatu

VALMISTUSTEKNIikka

- Erityisesti elementit
- Sementti vs. lämpöenergia

TUOTTEET

CO₂ SITOUTUMINEN BETONIIN

- Karbonatisoituminen
- CO₂-käsittely
 - Tuore betoni
 - Kovettunut betoni

RAKENTEET

- Lujuusluokka
- Rakenteiden dimensiot

HIILEN VARASTOINTI BETONIIN

- Esim. biohiili vedyn tuotannosta

Paalujen CO₂-päästöt

Potentiaalisimmat vaihtoehdot päästöjen vähentämiseksi - Sementti

- **Klinkkerin määrän vähentäminen**
 - Käytännössä kuonasementtien / kuonan käyttö
 - Paaluissa voitaisiin saavuttaa arviolta 25...30% päästövähennys
 - Vaikuttaa merkittävästi alkulujuuden kehitykseen, muuttaa valmistusprosessia
 - Ei säilyvyysriskejä paaluissa
- **Hiilidioksidin talteenotto CCS/U**
 - Ei vaikuta betonin ominaisuuksiin
 - Merkittävä kustannusvaikutus
 - Sementin hinta: 3...5-kertainen

SEMENTTI

SEMENTIN VALMISTUS

Klinkkerin määrä

- Seossementit
- Sementit raaka-aineet

SEMENTIN VALMISTUS

Energian kulutus

- Polttoaineet
- Energiatehokkuus

SEMENTIN VALMISTUS

CO₂-talteenotto

- CCS
- CCU

Paalujen CO₂-päästöt

Potentiaalisimmat vaihtoehdot päästöjen vähentämiseksi - Betoni

- **Reseptioptimointi**
 - Tavoitteena sementin määrän vähentäminen
 - Jonkin verran mahdollisuuksia (-10...15%),
 - Toisaalta murskattujen kiviainesten lisääntyvä käyttö voi lisätä sementin tarvetta
- **Valmistustekniikka**
 - Sementti vs. lämmitys
 - Tarvitaan vähäpäästöistä energia
 - Rajallinen säästöpotentiaali (noin -10%)
- **Vaihtoehtoiset sideaineet tai uudet seosaineet tuskin merkittävä mahdollisuus**

BETONI

SEOSAINEEET

- Nykyiset seosaineet
- Uudet seosaineet

VAIHTOEHTOISET SIDEAINEEET

- Muut sementtityypit
- Aktivoidut seosaineet

RESEPTIOPTIMOINTI

- Sementin / klinkkerin määrä betonissa
- Kiviaineksen laatu

VALMISTUSTEKNIikka

- Erityisesti elementit
- Sementti vs. lämpöenergia

Paalujen CO₂-päästöt

Potentiaalisimmat vaihtoehdot päästöjen vähentämiseksi - Tuotteet

- **Paaluhukka**
 - Tarkempi ja ajoissa tehty suunnittelu
 - Kustannussäästöt
- **Rakenteet**
 - Voidaanko paalujen mitoituksella vähentää paalujen / betonin määrää?
 - Säästöpotentiaali taitaa jäädä varsin rajalliseksi?
- **CO₂:n sitoutuminen paaluihin tai hiilen varastointi ainakin tässä vaiheessa vielä aika epätodennäköinen**
 - Voisi olla mahdollisuus tulevaisuudessa

TUOTTEET

CO₂ SITOUTUMINEN BETONIIN

- Karbonatisoituminen
- CO₂-käsittely
 - Tuore betoni
 - Kovettunut betoni

RAKENTEET

- Lujuusluokka
- Rakenteiden dimensiot

HIILEN VARASTOINTI BETONIIN

- Esim. biohiili vedyn tuotannosta

Paalujen CO₂-päästöt

Mihin kannattaisi panostaa (lyhyellä aikavälillä)?

A. Seossementtien käyttö

- Esim. CEM III/A-tyypin sementti
 - Voidaan sekoittaa sopivassa suhteessa esim. Rapid-sementtiin
- Ei säilyvyysriskejä
- Hidastaa lujuudenkehitystä
 - Voidaan (osin) kompensoida lämpökäsittelyllä

B. Reseptioptimointi

- Tavoitteena sementin määrän vähentämiseen
 - Lämpöenergian tehokkaampi hyödyntäminen
 - Saavutetaan myös kustannussäästöjä

C. Paaluhukan vähentäminen

Paalujen CO₂-päästöt

Mitä toimenpiteet tarkoittaisivat käytännössä?

A. Seossementtien käyttö

- Toimintatapojen jonkinasteinen muutos
 - Peruspaalut vähähiilisiä varastotuotteita
 - Nopeasti toimitettavat paalut korkeammalla päästöllä

B. Reseptioptimointi

- Voi tehdä betoneista herkimpiä, vaikeammin valettavia, voi vaikuttaa lujuudenkehitykseen
- Toisaalta mahdollisuus kustannussäästöihin

C. Paaluhukan vähentäminen

- Tarvitaan enemmän panostusta suunnitteluun
- Saavutettavissa kustannussäästöjä (kokonaiskustannukset)
- Ei vaikuta paalun päästöarvoon, mutta paaluja vähemmän



Aalto University
School of Engineering

Kiitos

jouni.punkki@aalto.fi