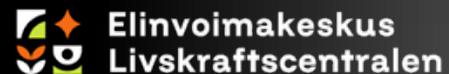


Tervetuloa!

**DemoMelu –
biohiili
rakennusmateriaalina
–hankewebinaari**

ke 10.6.2026 klo 9.30-11.00



Tilaisuuden ohjelma

- Tilaisuuden avaus
*Projektipäällikkö Taru Seppälä,
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu*
- Biohiilen raaka-aineet ja valmistus,
*Biohiiliasiantuntija Tuomo Leppänen,
Mayt Oy*
- Laboratoriokokeet – biohiili betonissa,
*Tutkimusinsinööri Jukka Louko,
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu*
- Biohiilibetonin ympäristövaikutukset,
*Projektitutkija Jonna Hauvala,
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu*
- Biohiilibetonin ilmastovaikutukset,
*Projektipäällikkö Taru Seppälä,
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu*
- 3D-tulostuksen mahdollisuudet
betonirakentamisessa,
*TKI-asiantuntija Mikko Nykänen,
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu*
- Kokemuksia demomeluaidan toteutuksesta,
*Johtaja, invest in, Jussi Heinimö
Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy*
- Kysymyksiä, keskustelua ja loppusanat

Webinaaria ei tallenneta. Esitysmateriaalit lisätään: xamk.fi/demomelu



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

DemoMelu-hankekokonaisuus

Toteutusaika 1.1.2024-31.12.2026

DemoMelu – T&K-hanke

- **Xamk** tutkii ja testaa biohiilen käyttöä betonin osa-aineena, sekä 3D-tulostuksen mahdollisuuksia betonirakentamisessa
- **Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy** edistää yritys- ja liiketoimintaa

DemoMelu-investointihanke

- **Mikkelin kaupunki** vastaa meluaidan rakennuttamisesta

DemoMelu – biohiili rakennusmateriaalina -hanke on Euroopan unionin osarahoittama. Rahoituksen on myöntänyt Etelä-Savon ELY-keskus, jonka toimia nykyisin hoitaa Itä-Suomen elinvoimakeskus.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

DemoMelu-hanke – Tavoitteet

- Kehittää laboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeiden avulla uudenlaisia teollisia vähähiilisiä biohiilibetoni-tuotekonsepteja ja –vaihtoehtoja.
- Kehittää ja demonstroida uudenlainen ilmasto- ja energiatehokas monistettavissa oleva ratkaisu meluaidan rakentamiseen.
- Selvittää kaupallistamismahdollisuuksia ja potentiaalia.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

DemoMelu-hanke – Toimenpiteet (Xamk & Miksei)

TP 1. Demonstraation toteutukseen liittyvät selvitykset, suunnitelmat ja testaukset (Miksei)

- Demonstraationa 3D tulostettu betoninen meluaita

TP 3. Uudet teolliset avaukset biohiilibetonituotteiksi (Xamk)

- Tutkittiin eri raaka-aineista valmistettujen biohiilien potentiaalia
- Kehitettiin biohiilibetonivedoksia ja tehtiin näille laboratoriotutkimuksia
- Selvitettiin 3D tulostuksen mahdollisuuksia

TP 4.1 Demonstraatio ja pilot-kohteiden seuranta (Xamk)

- Ympäristö- ja ilmastovaikutuksen arviointi
- Ympäristömelun mittauksia

TP 4.2 Kaupallistamismahdollisuuksien arviointi (Miksei)

TP 5 Tulosten vaikuttavuuden seuranta ja tiedottaminen (Xamk & Miksei)



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Laboratoriotutkimus – biohiili betonissa

Jukka Louko
Tutkimusinsinööri
KymiLabs



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Johdanto

- Aloitettiin laastikokeilla, joilla testattiin erityyppisiä biohiiliä seuraavilla eroavaisuuksilla
 - Pyrolyysilämpötila
 - Lähtömateriaali
 - Partikkelikoko pidettiin pienenä, jotta saatiin pakkasenkestävyys ominaisuuksia
- Laastikokeilla haarukoitiin eroavaisuuksia, miten käyttäytyminen muuttuu erityyppisten biohiilten välillä ja tarkasteltiin mikrorakennetta ym.
- Betonikokeissa päädyttiin käyttämään kahta eri hyödyntämätöntä sivuvirtaa
- Betonikokeissa tutkittiin 3D-tulostettujen muottien toimivuutta, puristuslujuutta, huokosrakennetta ja pakkasenkestävyyttä



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Laastikokeissa olleet materiaalit

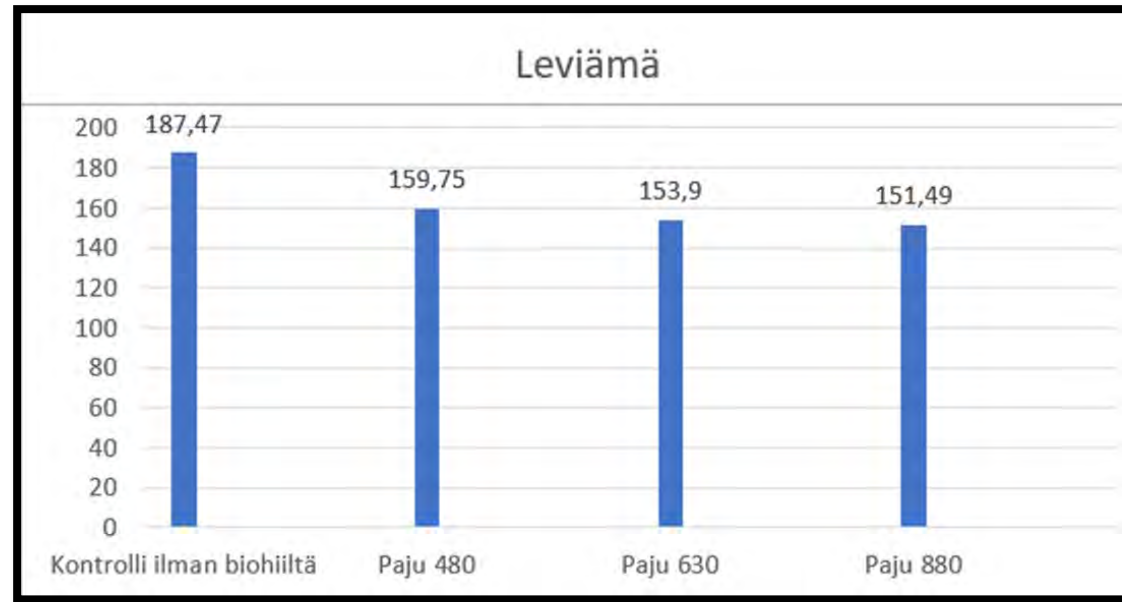
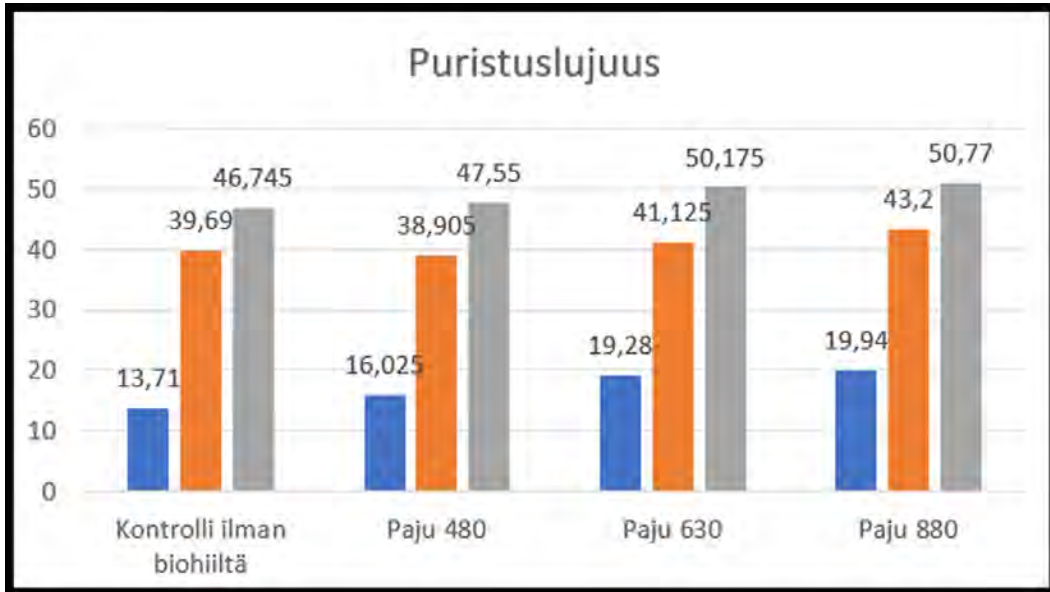
- Mäntyhake, valmistuslämpötila 750 ° C
- Pelletti valmistuslämpötila 450-500 ° C
- Kuusi, valmistuslämpötila 650 ° C
- Koivuhake, valmistuslämpötila 500 ° C
- A-luokan purkupuu, valmistuslämpötila 450-500 ° C
- Paju 480 ° C, paju 630 ° C, paju 880 ° C
- Paju 830° C
- Paju 830° C aktivoitu 1000° C
- Kahvi 420° C aktivoitu 1000° C
- Kahvi 830° C



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu


Pyrolyysilämpötilan vaikutus

- Pyrolyysilämpötilan nosto pienentää leviämää, eli työstettävyys huononee
- Pyrolyysilämpötila vaikuttaa myös lujudenkehitykseen



Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvat 1/2

- Kuvassa näkyy sementin hydrataatiotuotteita kiteytyneenä biohiilen pintaan

SED 10.0 kV WD 9.5 mm Std.-PC 10.0 HighVac.  x25,000
STD 0818 Aug. 30 2024



1 μ m




Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvat 2/2

- Biohiilen johtosolukko osittain täyttynyt sementtikivellä



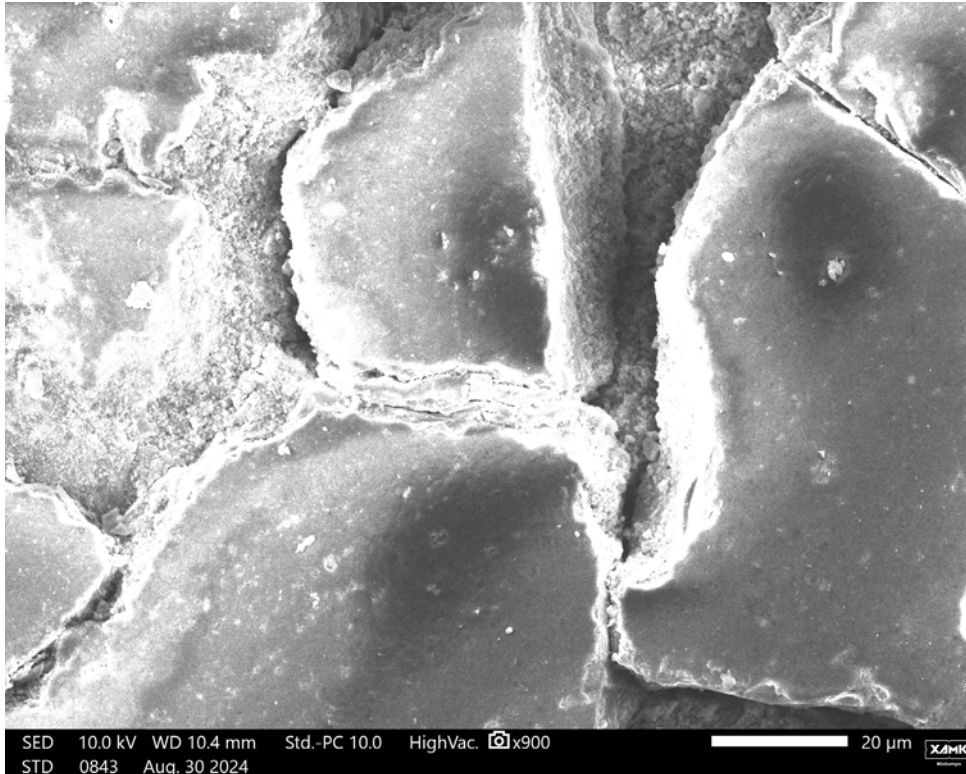
SED 10.0 kV WD 9.4 mm Std.-PC 10.0 HighVac.  x330
STD 0813 Aug. 30 2024

 50 μ m

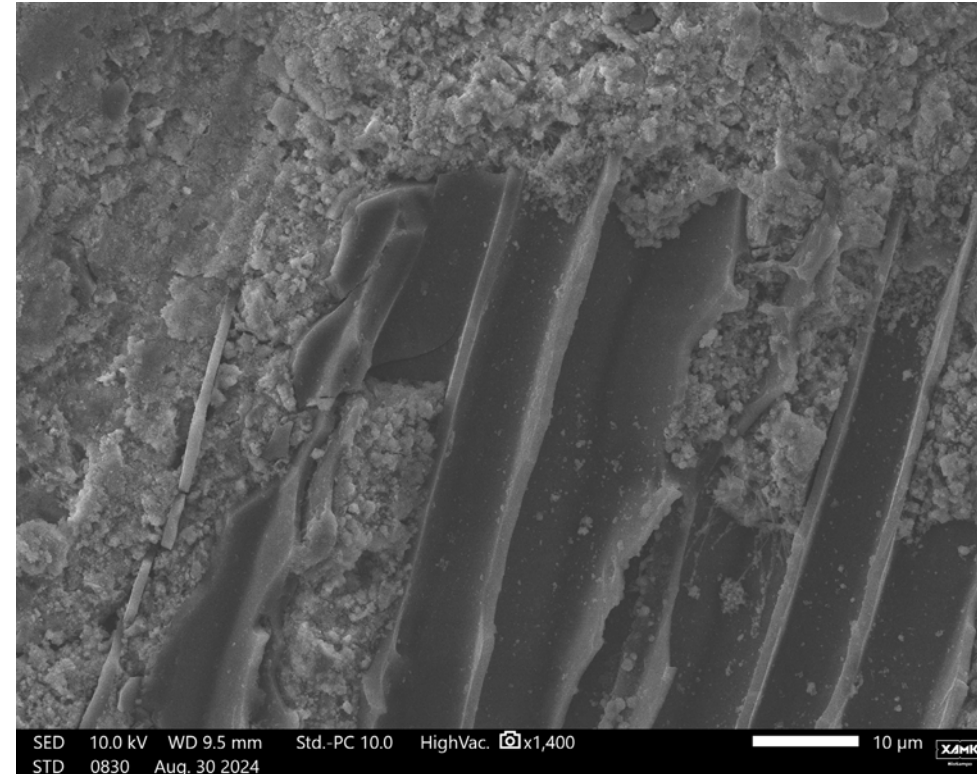


Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Sähkönjohtavuus SEM-kuvien perusteella

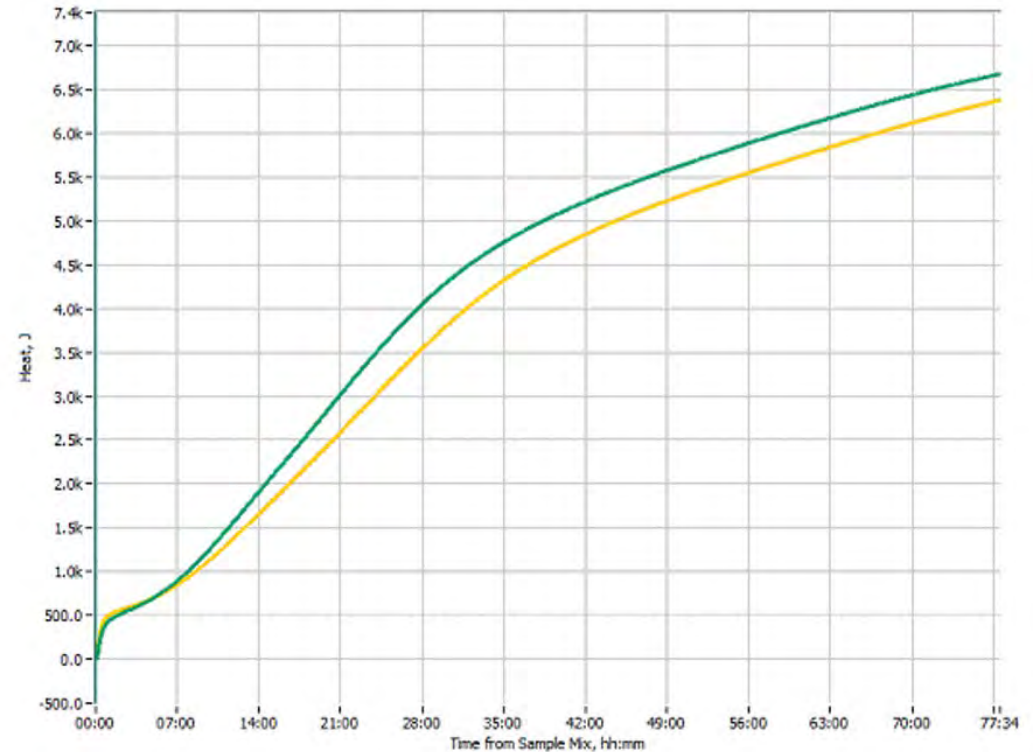
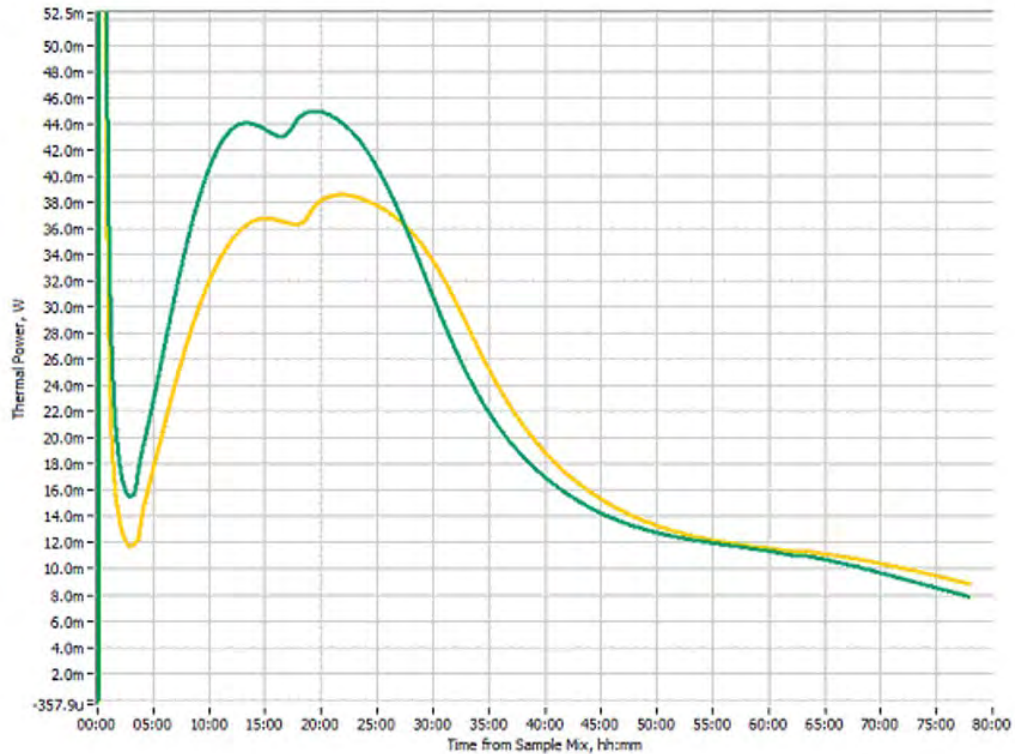


- Kontrollinäytteen huono sähkönjohtavuus aiheuttaa varautumista SEM-kuvissa



- Biohiilinäytteessä ei varautumista havaita paremman sähkönjohtavuuden takia

Hydrataatioprofiilit



- Vihreä hydrataatioprofiili: Purkupuubiohiili 2024, 5 %
- Keltainen hydrataatioprofiili: Kontrolli



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Betonikokeet

- Betonikokeet aloitettiin reseptin muokkauksella, laastikokeiden tietojen perusteella
- Reseptiä säädettiin eri pitoisuuksille
- Betonikokeissa päädyttiin käyttämään purku- ja hamppubiohiiltä
- Biohiiltä käytettiin fillerinä, tämä siksi kun kotimaisissa lähtömateriaaleissa ei ole reagoivia aineita
- Betonikuutioista tehtiin 1d, 7d ja 28d puristukset
- Pintahietulosten perusteella valittiin reseptit suolapakkaskokeisiin
- Meluaidalta vaaditaan rasitusluokkaa XF2 ja 50 vuoden käyttöikä
- 3D-tulostettuja muotteja koe valettiin ja kokeiltiin graafisen betonin kalvoja biohiilibetonin kanssa



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tuoreen massan säätäminen

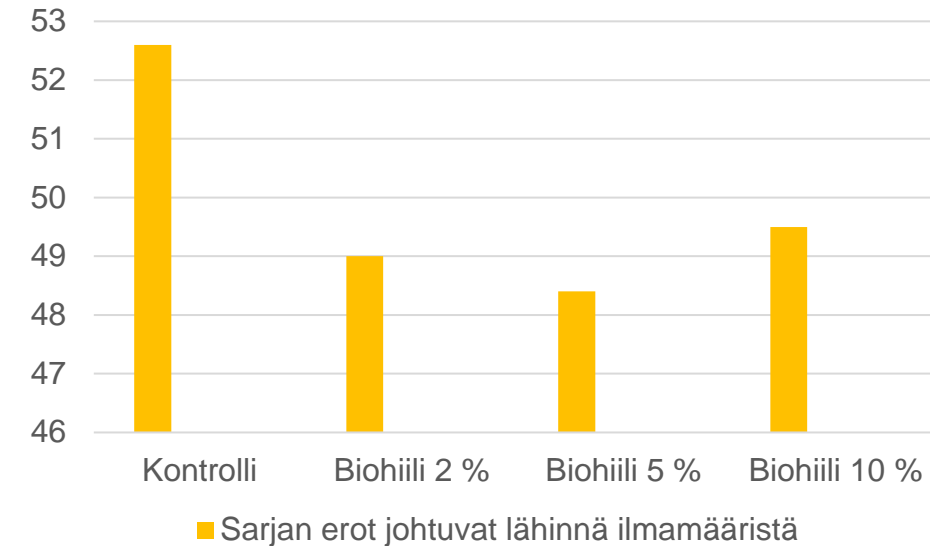
- Tuoreen massan työstettävyyttä säädettiin monin keinoin
- Biohiilellä ei korvattu sementtiä, koska kotimaisissa lähtömateriaaleissa ei ole sementtimatriisin kanssa reagoivia aineita
- Hienoa kiviainesta vähennettiin biohiilen määrän verran
- Notkistinta lisättiin kontrolliin verrattuna
- Isommissa pitoisuuksissa käytettiin lisävettä biohiilen suuren absorption takia
- Näillä keinoilla saatiin työstettävyys samalle tasolle kontrollimassan kanssa



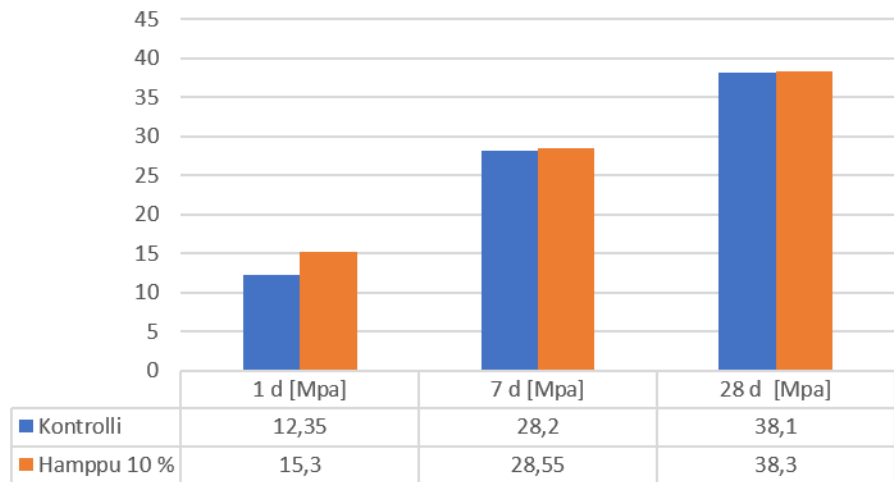
Puristuslujuuksista

- Pienillä biohiilipitoisuuksilla (2 %) saatiin nostettua hieman puristuslujuutta, varsinkin lujuuden kehityksen alkupäässä
- Suuremmilla pitoisuuksilla (5 %-10 %) puristuslujuus pysyi samana tai heikkeni hieman

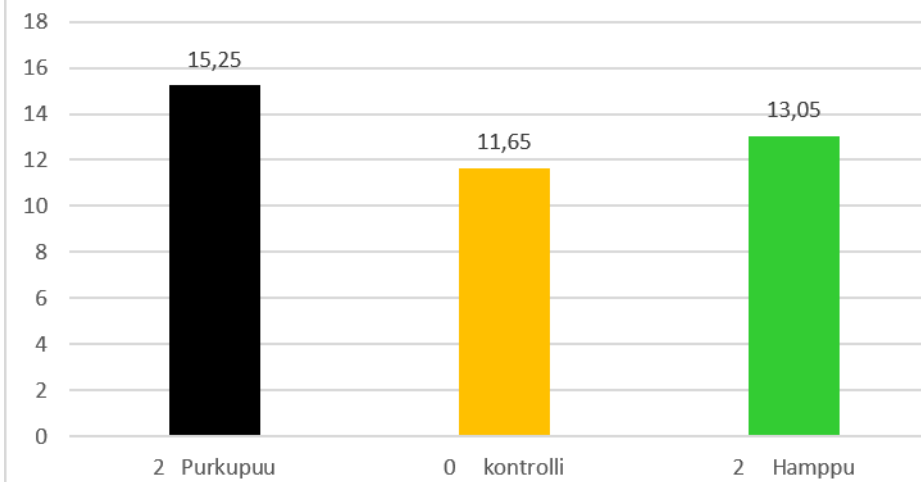
Hamppubiohiilen puristuslujuudet 126 d



Puristuslujuuden kehitys



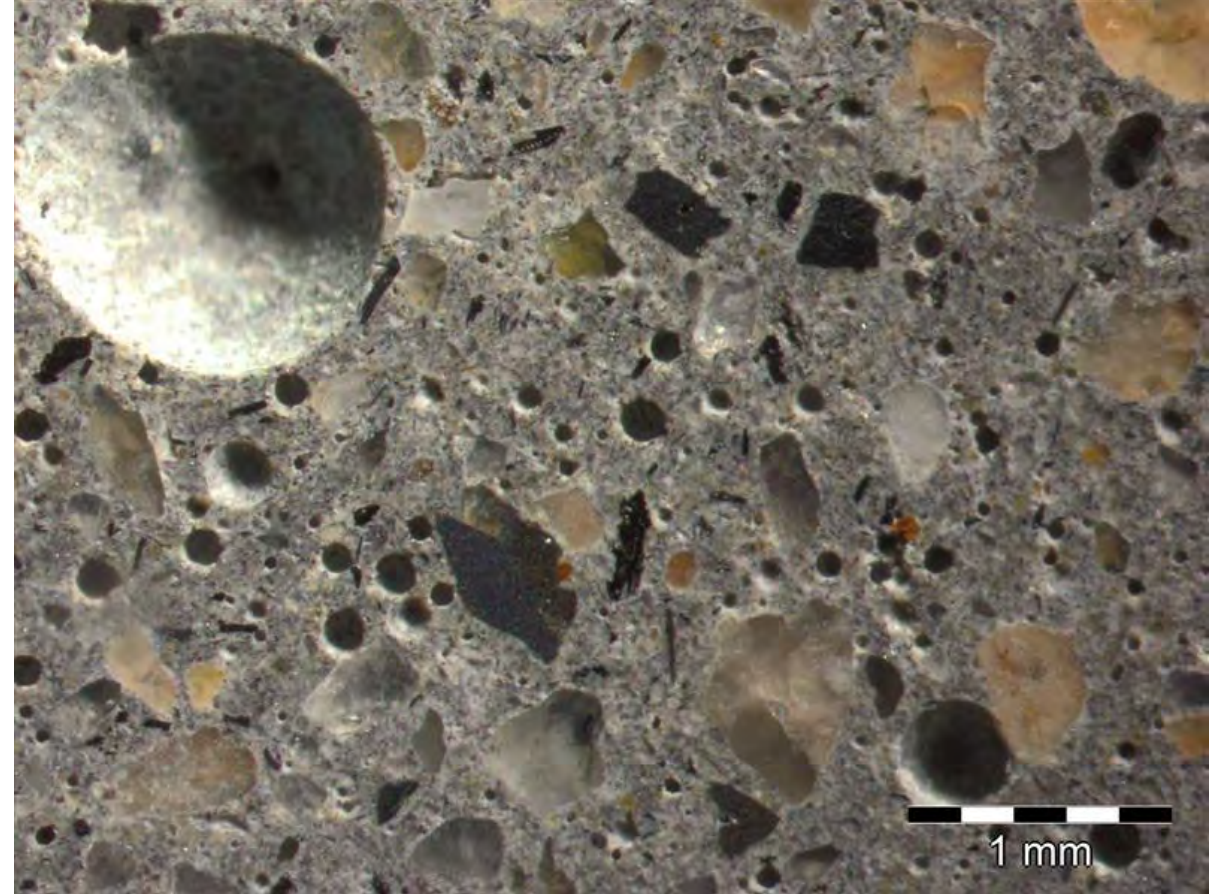
Puristuslujuus 1 vrk [MPa]



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Suola-pakkaskokeet

- Pintahietulosten perusteella valikoitiin reseptit suola-pakkaskokeisiin
- Purkupuubiohiilibetoni 2 % seos saavutti XF2-rasitusluokan 100 vuoden kestävyys ja XF4-rasitusluokan 50 vuoden kestävyys
- Hamppubiohiilibetoni 10 % seos saavutti XF2-rasitusluokan 50 vuoden kestävyys, joka riittää meluaidan vaatimukseen



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Muita kokeiluja

- Graafisen betonin kalvoja kokeiltiin biohiilibetonissa → Toimii
- 3D-tulostettuja muotteja koe valettiin
 - Jyrkät päästökulmat oli haasteellisia
 - Saatiin mielenkiintoisia muotoja
 - Mahdollisia sovellusmahdollisuuksia teollisuuteen
- Sähkönjohtavuus kokeiluja → löydettiin resistanssia biohiilibetonista



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Kiitos!



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Biohiilibetonin ympäristövaikutukset

Jonna Hauvala, projektitutkija



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Miksi biohiilibetonin haitta-aineita tutkitaan?

Biohiilen lähtöaineiden vaihtelu ja käyttöolosuhteet tekevät haitta-aineiden arvioinnista välttämätöntä

Betonirakenteet ovat pitkäikäisiä ja altistuvat vaihtuville sää- ja ympäristöolosuhteille

Mahdollisesti liukenevat haitta-aineet voivat kulkeutua maaperään ja vesistöön

Kuva: Jonna Hauvala

Lainsäädäntö ja vaatimukset

Betonirakenteet, kuten esim. biohiilibetonista valmistettu meluaita kuuluvat rakennustuotteisiin (CPR)

Rakennustuote ei saa vaarantaa ympäristöterveyttä vapauttamalla haitta-aineita ympäristöön (EU 2024/3110)

Materiaalista vapautuvat haitta-aineet on todennettava ja ilmoitettava

Arseenin, kadmiumin, kromin, kuparin, lyijyn, nikkelin, sinkin ja elohopean lisäksi suositellaan määritettäväksi myös pH, sähkönjohtavuus ja liuennut orgaaninen hiili.

Kuva: Anssi Hauvala



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Biohiilen positiiviset ympäristövaikutukset betonissa

Hiilen sidonta

Pienempi hiilijalanjälki

Jätteen hyödyntäminen tukee kiertotaloutta

Voi parantaa betonirakenteen kestävyyttä optimaalisella lisäyksellä

Kuva: Jonna Hauvala



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Haasteet biohiilibetonin käytössä

Vaihteleva laatu biohiilen lähtöaineissa:

- vaikuttaa biohiilen ominaisuuksiin
- pyrolysointilämpötila

Liian suuri biohiilimäärä voi heikentää biohiilibetonin kestävyyttä ja lujuutta

- betonin rapautuessa haitta-aineita voi vapautua ympäristöön

LCA (Life Cycle Assessment) vaikuttaa kokonaisuuteen

- kuljetus
- prosessointi



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Liukoisuustestit biohiilibetoniseoksista

Tutkittavana oli 3 erilaista hamppubiohiilibetoniseosta ja kontrollibetoni (2 %, 5 % ja 10 %)

Näytteet analysointiin kaksivaiheisella liukoisuustestillä akkreditoidussa laboratoriossa

Seoksista analysoitiin yleisimpien raskasmetallien lisäksi, sulfaatti, kloridi, naftaleeni, PAH- ja PCB-yhdisteiden summapitoisuudet.

Tässä tutkimuksessa vertailuarvoina käytettiin MARA-asetuksen (Vna 843/2017) esitettyjä raja-arvoja haitta-aineille → antaa vertailupohjaa raja-arvoihin viranomaiskäytössä



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Liukoisuustestien keskeiset tulokset

Biohiilibetoniseoksissa ei havaittu kohonneita haitta-ainepitoisuuksia

Sulfaatin lisääntyminen biohiilipitoisuuden kasvaessa voi selittyä kuituhampun sisältämistä mineraaleista

Liunneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuus kasvoi biohiilipitoisuuden kasvaessa, mikä oli johdonmukaista.

PAH- ja PCB-yhdisteiden summapitoisuudet olivat hyvin alhaisia.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Haitallinen aine	L/S 10				Maanrakentamiskohteen valli (vertailukohde)
	Kontrolli	2 m-% biohiiltä	5 m-% biohiiltä	10 m-% biohiiltä	
	[mg/kg k.a.]	[mg/kg k.a.]	[mg/kg k.a.]	[mg/kg k.a.]	[mg/kg k.a.]
DOC	43	64	108	198	500
Cl ⁻	20	26	59	24	1800
F ⁻	<4.22	<4.00	<4.44	5	30
SO ₄ ²⁻	35	36	56	81	3400
As	<0.0116	<0.0116	<0.0116	<0.0116	0,5
Ba	3	3	3	4	20
Cd	<0.00500	<0.00500	<0.00500	<0.00500	0,04
Cr	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	1
Cu	<0.0327	<0.0325	<0.0328	<0.169	10
Hg	<0.00107	<0.000480	<0.000323	0	0,03
Mo	<0.0571	<0.0578	0	<0.0587	1
Ni	<0.0313	<0.0308	<0.0313	0	1,2
Pb	0	0	0	0	0,5
Sb	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100	0,7
Se	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	1
V	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	2
Zn	0	0	0	2	15
PAH-yhdisteet (16-yhdisteen summa)	<0.160	<0.160	<0.160	<0.160	30
PCB-yhdisteet (7-yhdisteen summa)	<0.0210	<0.0210	<0.0210	<0.0210	1



Johtopäätökset

Jotta biohiilibetonin käyttö voidaan perustella turvallisesti haitta-ainetutkimus on aina tarpeen

Jokainen uusi materiaaliyhdistelmä on kuitenkin arvioitava tapauskohtaisesti

Biohiilibetonista saadaan biohiilen määrää optimoimalla potentiaalinen ja vähähiilinen rakennusmateriaali, joka tukee kiertotaloutta ja on ympäristölle turvallinen ratkaisu.

Kuva: Jonna Hauvala



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Kiitos

jonna.hauvala@xamk.fi

p. 050-5999182



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Biohiilibetonin ilmasto vaikutus

Taru Seppälä



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Biohiilibetonin ilmastovaikutusarvio

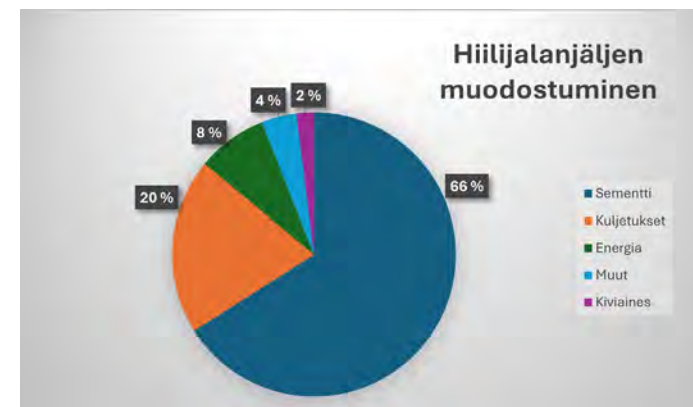
Johdanto

Betoniteollisuus aiheuttaa noin 8 % maailman päästöistä

- Betonin päästöt syntyvät pääosin valmistusvaiheessa
- Sementin valmistuksessa kalkkikivestä vapautuu hiilidioksidia (prosessipäästö) ja valmistus on hyvin energiaintensiivistä (energiapäästö)

Ilmastotavoitteet

- Pienentää päästöjen muodostumista
- Hiilen sidonta



Kuvat mukaellen Salminen 2021.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Biohiilibetonin ilmastovaikutusarvio

Johdanto

Biohiili on luokiteltu yhdeksi merkittävistä ilmastomuutosta hillitsevistä avaintekijöistä (IPCC)

- Hiilivarastovaikutus satoja tai tuhansia vuosia
- Valmistustapa vaikuttaa biohiilen ilmastovaikutukseen
 - pyrolyysikaasuja ei saa päästää ilmakehään

Hiilijalanjäljen laskennassa tärkeä huomioida, ettei biohiilen valmistaja ole myynyt päästökredittejä ulkopuolisille.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Biohiilibetonin ilmastovaikutusarvio

Tarkasteltava biohiilibetoni

Tutkimuksissa valmistetuissa biohiilibetoneissa käytettiin biohiiltä fillerinä eli sillä korvattiin hienoa kiviainesta.

Hiilijalanjäljen laskennassa mukana:

- Kontrollibetoni
- Biohiilibetoni (2 %)
- Biohiilibetoni (5 %)
- Biohiilibetoni (10 %)

Käytetty biohiili on valmistettu kuituhampun hammepukortteesta, jota syntyy teollisuuden sivuvirtana.

Päästökertoimet

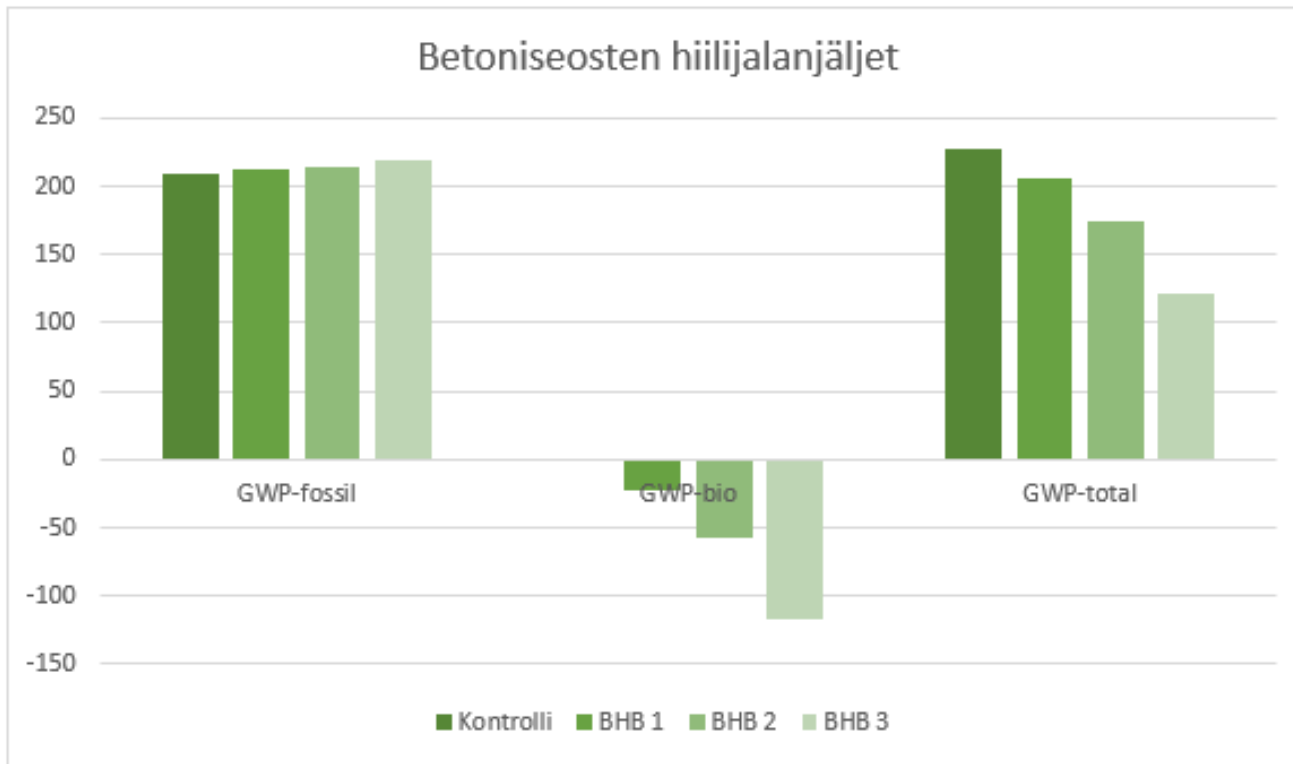
Aines	GWP (kg CO ₂ e/m ³)
Sementti	0,48
Kiviaines	0,005
Biohiili	-2,58
Vesi	0,000001
Notkistin	0,51
Huokostin	0,44



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Biohiilibetonin ilmastovaikutusarvio

Tulokset



Kokonaishiilijalanjälki A1-A3
(GWP-total) laskee:

Kontrolli

BHB 1 (2 %) - 9 %

BHB 2 (5 %) - 23 %

BHB 3 (10 %) - 47 %



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Biohiilibetonin ilmastovaikutusarvio

Johtopäätökset

Tämän hankkeen tutkimuksissa kehitetyillä biohiilibetoneilla hiilivarasto kasvaa.

Betonikokeissa oli nähtävissä biohiilen positiivinen vaikutus betonin ominaisuuksiin, joka antaa osviittaa että sementin määrää voitaisiin vähentää, jolloin myös biohiilibetonin fossiilinen hiilijalanjälki pienenesi.

Lisätutkimuksia kaivataan:

- Biohiilestä saatavilla oleva päästödata on vähäistä, joka vaikeuttaa ilmastohyötyjen arviointia.
- Betonimatriisin mahdollinen vaikutus biohiilen pysyvyyteen.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Kiitos!



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

3D-tulostuksen hyödyntäminen betonirakentamisessa

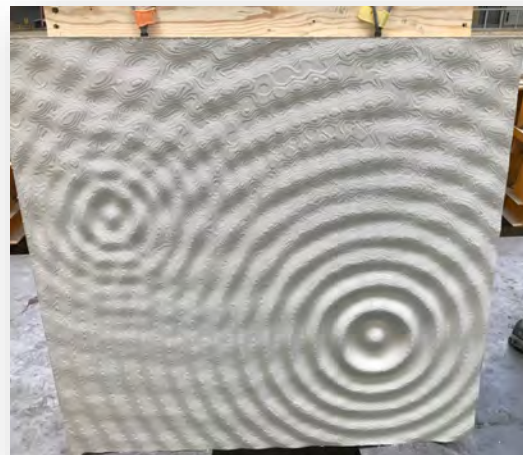
Mikko Nykänen



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Johdanto

- Rakennusala etsii ratkaisuja nopeampaan, edullisempaan ja vähäpäästöisempään rakentamiseen
- 3D-tulostus mahdollistaa **uudenlaiset muodot ja prosessit**
- Muottityö on betonirakentamisen kallein ja hitain vaihe
- Digitalisoitu tuotanto vähentää työvoiman tarvetta ja parantaa toistettavuutta



Betonin 3D-tulostus

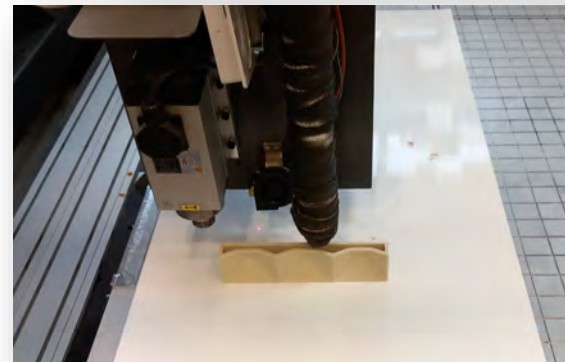
- Betoni tulostetaan kerros kerrokselta ilman muotteja
- Käytetään nopeasti kovettuvia sementtipohjaisia massoja
- Soveltuu parhaiten pieniin infrastruktuurikohteisiin ja muotoiltuihin rakenteisiin
- Kerrosrakenne toimii sekä esteettisenä että rakenteellisena elementtinä
- Haasteita:
 - Rakennusmääräykset mm. kantavuus ja pitkäaikaiskestävyys
 - Standardointi: rakennusstandardit eivät sovellu kerrosrakenteista tulostusprosessille
 - Laadunvarmistus ja toistettavuus



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

3D-tulostetut betonimuotit

- Mahdollistaa monimutkaiset muodot ja yksilölliset rakenteet
- 3D-tulostettu rakenne usein osana perinteisin menetelmin valmistettavaa muottia
- Prosessi:
 - 3D-mallinnus →
 - 3D-tulostus →
 - Jälki- ja pintakäsittely →
 - Muotin kokoonpano →
 - Valu →
 - Muotin purku



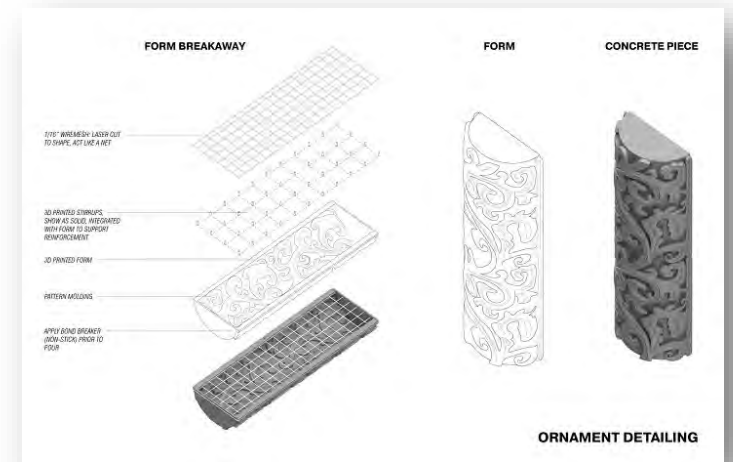
3D-tulostetut betonimuotit

- Haasteita:
 - Muottimateriaalien kestävyys: valupaineen sieto ja muotin irrotus
 - Ympäristövaikutukset: muottien kierrätys ja uudelleenkäyttö
 - Sertifiointi: muottien hyväksyntä osaksi virallista tuotantoprosessia
 - Toleranssit ja pinnanlaatu: tulostusjäljen tarkkuus vaikuttaa valun laatuun



Sovellusesimerkkejä

- Pientalot, pienrakennukset ja tekniset tilat
- Kevyen liikenteen sillat ja muut pilottikohteet
- Tukimuurit, melusteet, kanavat ja kaapelireitit
- Modulaariset elementit ja seinärakenteet
- Arkkitehtoniset julkisivut, seinäpaneelit, akustiset pinnat ja koriste-elementit
- Räätylöidyt rakenne-elementit: pylväät, palkit, paneelit
- Kaupunkikalusteet: penkit, istutusaltaat, valaisinjalustat
- Putkistojen ja kaivojen erikoisosat
- Taide ja tapahtumat: pienoismalliasennukset, näyttelyrakentaminen, veistokset



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Yhteenveto

- 3D-tulostus tuo betonirakentamiseen uuden tavan tuottaa rakenteita ja muotteja
- Suurimmat hyödyt syntyvät nopeudesta, muotoiluvapaudesta ja työvaiheiden automatisoinnista
 - Korostuvat **uniikkikappaleilla ja haastavissa muodoissa**
- Suora tulostus ja tulostetut muotit palvelevat eri tarpeita, mutta täydentävät toisiaan
- Viranomaismääräykset, standardointi ja tekninen kypsyyt rajoittavat vielä laajaa käyttöönottoa
- Kehitys etenee nopeasti, ja 3D-tulostus on vahvasti nousemassa osaksi rakennusalan digitalisoituvaa tuotantoketjua



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Kysymyksiä ja kommentteja



Euroopan unionin
osarahoittama



Elinvoimakeskus

MIKKELI

MIKSEI MIKKELI



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Kiitos osallistumisesta!

Esitysmateriaalit lisätään DemoMelu-hankesivulle:
www.xamk.fi/demomelu



MIKKELI

MIKSEI MIKKELI





Tunne huomisen.