

Kokemuksia demomeluidan toteutuksesta

DemoMelu – biohiili rakennusmateriaalina –
webinaari, 10.6.2026

Jussi Heinimö
Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy



MIKKELI

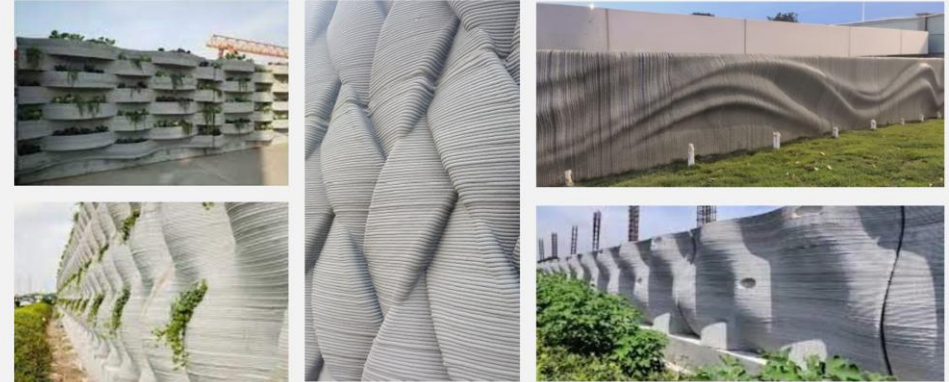
MIKSEI MIKKELI



Mistä lähdettiin liikkeelle?

- Kunnianhimoinen tavoite: biohiiltä sisältävä 3D-tulostettava meluaitaratkaisu
- Mahdollisuus vähentää betonin määrää ja hiilijalanjälkeä (rinnalla yrityksen EU/EIC hanke 3D-tulostettavien betonimateriaalien kehittämiseen)
- Julkinen demo uuden vähähiilisen rakennustuotteen kaupallistamisen vauhdittajana
- Tavoite ei ollut vain rakentaa aita, vaan testata toteutettavuus oikeassa infraympäristössä

Reference - 3D printed walls from around the world



Sound Barrier along the Suzhou Expressway, Winsun planter wall, Wall pattern by SCG.

Confidentially notice: This document is for the sole use of the intended recipient(s) and may contain confidential and privileged information. Any unauthorized review, use, disclosure or distribution is prohibited. If you are not the intended recipient, please contact the sender by reply e-mail and destroy all copies of the original message.

hyperion



Taustalla aiempi kehitystyö

Aiemmassa Bibe -hankkeessa kehitetty biohiiltä sisältävä 3D-tulostettava betoniseos:

- Biohiilipitoisuus 2,4 %
- Puristuslujuus noin 51 MPa
- 3D-tulostuskelpoisuus todennettu ja osoitettu
- Jatkotarpeiksi tunnistettiin jo silloin kestävyystestit ja biohiilen käsittelyn skaalaus
- Lupaava lähtökohta, mutta ei vielä valmis infratuote

Test results

By incorporating biochar, we have fine tuned our 3DCP mix and adapting it to be 3D printable to produce concrete elements.

Total percentage of biochar in the mortar = 2.4%

Total amount of biochar in 1 ton of mortar = 24 kg

Total amount of CO2 sequestered per ton of mortar = 86.4 kg

Ultimate compressive strength of the mortar = 51.31 MPa
(standard value is 30 Mpa)

Fresh density of the mortar = 2165 kg/m³

*Addition of biochar decreased the performance by 10%
(this is still 2x performance than normal 25 Mpa structures)

hyperion

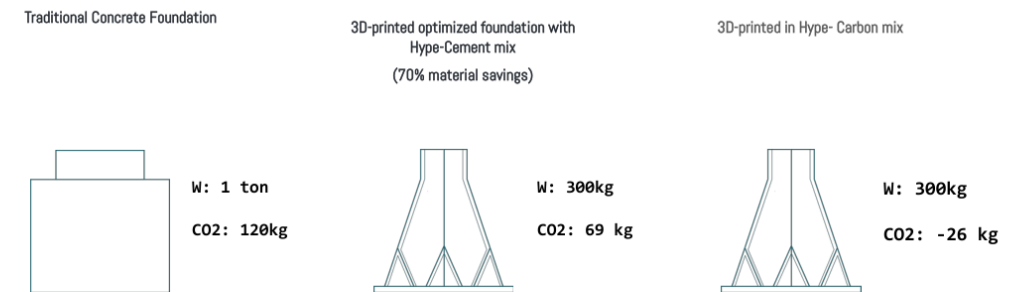


Alkuperäinen visio: ontto ja materiaalitehokas rakenne

- Mahdollisimman pitkälle 3D-tulostettu rakenne
- Ontto tai rakenteellisesti optimoitu geometria
- Vähemmän materiaalia kuin perinteisessä betoniratkaisussa
- Vapaampi muotoilu ja erottuva pinta
- Mahdollisuus merkittävään CO₂-säästöön (verrattuna perinteiseen betoniratkaisuun)

Hyperion mix + Biochar and future eco2 reduction potential

The following carbon savings calculator shows the impact of building Hyperion's optimized foundations with their Hype-Carbon mix with Biochar.

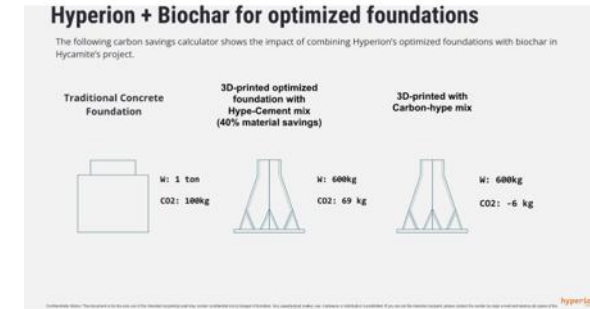


Confidentially Notice: This document is for the sole use of the intended recipient(s) and may contain confidential and privileged information. Any unauthorized review, use, disclosure or distribution is prohibited. If you are not the intended recipient, please contact the sender by reply e-mail and destroy all copies of the original message.

hyperion

Meluitakonseptit: visio vietiin visuaaliseksi ideaksi

- Tutkittiin erilaisia 3D-tulostettavia meluitamuotoja: suora aita, kaareva pinta ja kolmiomainen rakenne
- Tässä vaiheessa kiinnostus oli erityisesti muodossa, materiaalitehokkuudessa ja uuden valmistustavan mahdollisuuksissa



Malli 1: "Perinteinen" suora aita, tekstuuri tulostuksesta



Malli 2: kaareva pinta



Kun idea viedään laboratorion infrakohteeseen, vaatimukset kasvavat

- Meluaita on kaupungin käyttöön tuleva infrarakenne, ei pelkkä koelementti. Tulee täyttää kaupallisen toimituksen ja tuotteen vaatimukset.
- Rakenteen pitää kestää tuuli, kuljetus, nostot, asennus ja perustuksiin liittyvät kuormat
- Tieympäristö tuo mukaan pakkas-sulamisrasituksen, kosteuden ja suolan
- Käyttöikäodotus ja ylläpitovastuu nostavat vaatimustason korkeaksi
- Hyvä puristuslujuus ja tulostettavuus eivät yksin riitä



hyperion

4

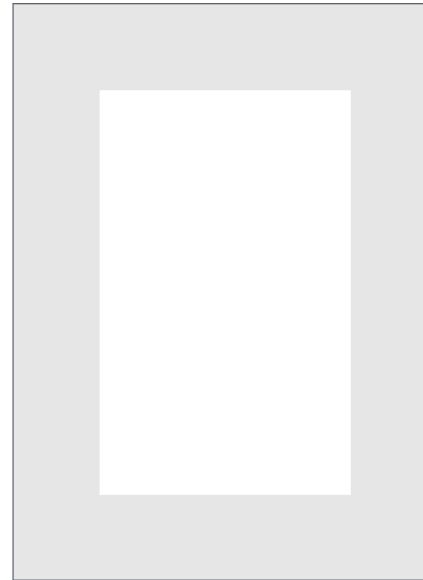
Yleistä

- Rakenteet suunnitellaan Eurokoodien mukaiseen seuraamusluokkaan CC2. Betoni- ja puurakenteet toteutusluokkaan 2.
- Seinärakenne on sellainen, että se ei kerää vettä sisäänsä.
- Saumasaineet ovat säänkestäviä. Säänkestävyys voidaan osoittaa SILKO-hyväksynnällä tai vastaavalla.
- Seinän mekaaniset ominaisuudet suunnitellaan InfraRYL vaatimusten ja Väyläviraston ohjeen mukaisesti
- Elementit tulee olla turvalliset kuljettaa ja helppo asentaa

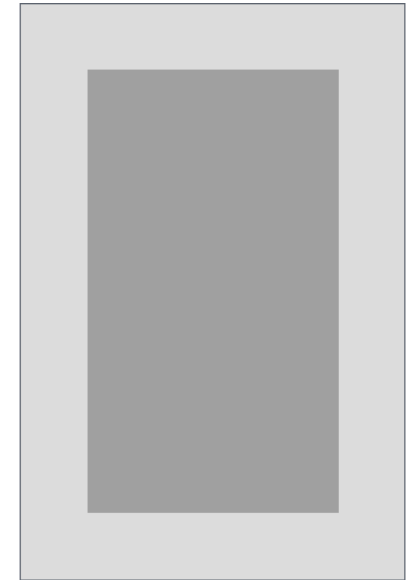
Miksi ontosta rakenteesta siirryttiin hybridimalliin?

- Kokonaan 3D-tulostetussa aidassa tulostetun materiaalin olisi pitänyt toimia myös kantavana rakenteena
- Tämä olisi edellyttänyt rakenteellista osoittamista mm. taivutuksen, vetojännitysten, halkeilun, kuljetusten, asennuksen ja pitkäaikaiskestävyyden osalta

=> Hybridimalli pienensi rakenteellista riskiä ja toi ratkaisun lähemmäs tavanomaista hyväksyntää



Alkuperäinen ajatus:
ontto 3D-printattu rakenne



Toteutuspolku:
3D-kuori + raudoitettu SCC-ydin

Suunniteltu rakenne

- Elementti valmistetaan tehtaalla
- 3D-tulostettu osa toimii pysyvänä muottina ja pintana
- Sisään asennetaan raudoitus
- Rakenne täytetään itsetiivistyvällä betonilla (SCC)
- Valmis elementti kuljetetaan ja asennetaan työmaalle

1. Details of Structural Design

This project entails the structural design and development of a modular noise barrier wall system utilizing 3D-printed concrete formwork. The primary objective is to provide prefabricated, transportable wall segments that ensure structural stability, while meeting applicable Eurocode standards and Finnish infrastructure guidelines.

1.1. Description of Structure

The noise barrier wall will be composed of prefabricated modular segments, each 1.5 meters wide and 2.9 meters in total height. The structure features an integrated footing and vertical wall in an inverted T-shaped configuration, cast as a single monolithic unit. The base slab is tapered in cross-section—measuring 120 mm thick at the edges and 200 mm at the center—to optimize material use while maintaining structural integrity.

Manufacturing takes place entirely at Hyperion Robotics' facility. Each module is produced using 3D-printed formwork laid horizontally. After printing, vertical reinforcement is installed, and self-compacting concrete is cast to form the structural element. The cured modules are then transported on their sides using flatbed trucks and installed vertically on-site.

Figure 1.1 shows a conceptual diagram for the 3d printed wall. For detailed drawing of the walls, see **Appendix A**.

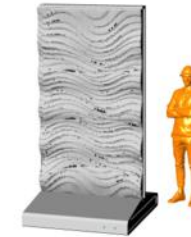
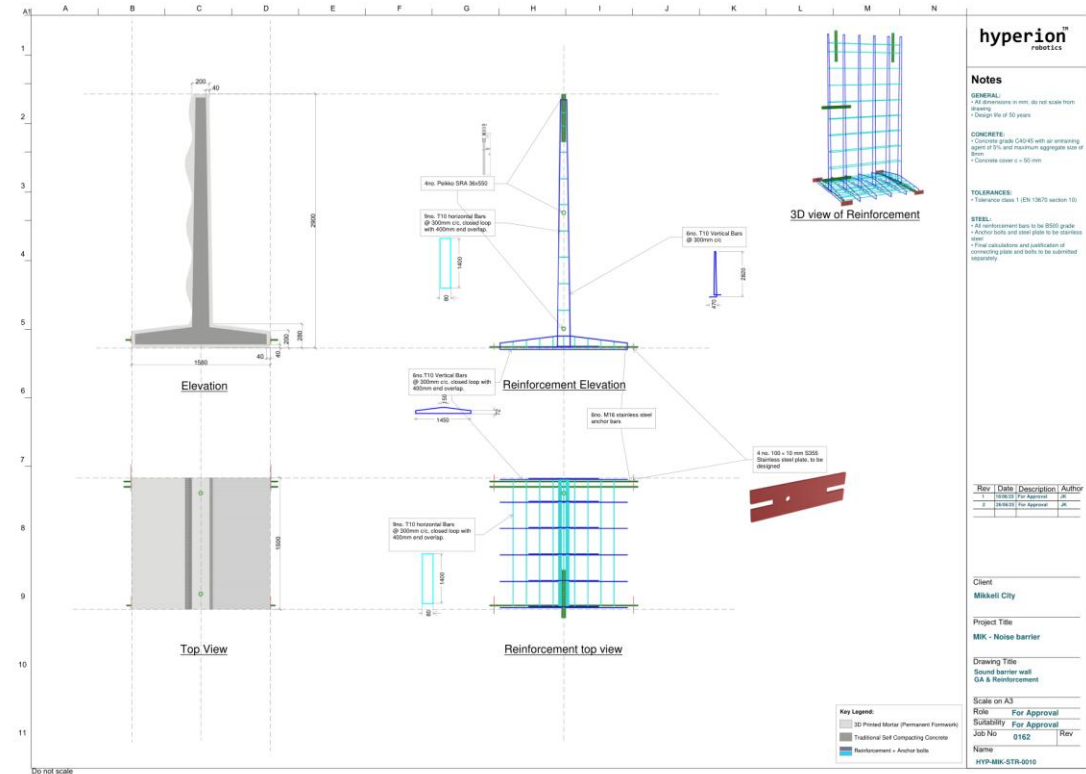


Fig 1.1 Conceptual diagram of the optimized 3d printed wall

Mitä hankkeessa tehtiin?

- Vaatimusselvitys ja infrarakentamisen reunaehdot
- Visuaalinen suunnittelu ja alustava tekninen suunnittelu
- Rakennekonsepti ja laskennallinen tarkastelu
- Perustamisratkaisun valmistelu kaupungin kanssa
- Materiaalitestit ja 3D-tulostustestit
- Biohiilen hankinnan ja käsittelyn arviointi
- Materiaalilta edellytettiin samanaikaisesti lujuutta, tulostettavuutta, kerrosten vakautta, työstettävyyttä ja pitkäaikaiskestävyyttä





Print tests

Representative prints from successful and problematic trials.



Unsuccessful trial: sliding layers



Layer geometry and buildability check



successful print



Successful print

Wall Print tests



Full-scale wall prints

Keskeinen materiaalitekhninen oppi

- Biohiiltä sisältävä 3D-tulostettava materiaali saavutti lupaavia tuloksia lujuudessa ja tulostettavuudessa, mutta pitkäaikaiskestävyys osoittautui vaativaksi tieympäristössä
- Hyperionin testauksessa parhaiden seosten puristuslujuus oli jopa 33,5 MPa ja täysikokoisia seinärakenteita onnistuttiin tulostamaan
- Suolattu tieympäristö ja pitkä käyttöikä nostavat vaatimustason korkeaksi
- Keskeiseksi kehityskohteeksi nousivat erityisesti pakkas-sulamiskestävyys ja pintarapautuminen
- Materiaalin lujuus ei yksin ratkaise infrakäyttöä
- Pitkäaikaiskestävyys on kaupallistamisen keskeinen ehto
- Materiaalin puristuslujuus voi olla hyvä, vaikka pintakestävyys ei vielä riitä infrakäyttöön

Test results

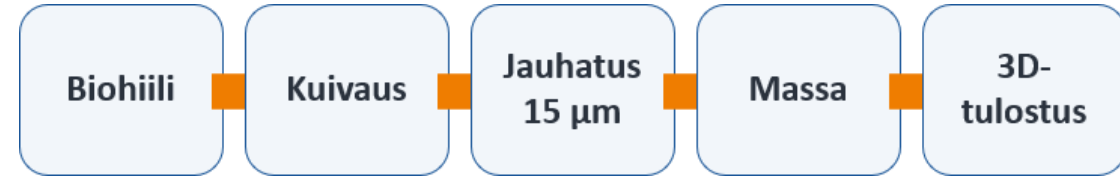
Summary of mechanical, printability and durability outcomes across the successful biochar mixes.

Test results summary

Category	Test result / status
Mechanical strength	17–18 MPa early age; up to 33.5 MPa at 28 days
Printability	Stable prints at 13–19 bar
Open time	Backpressure remained below limit after pause
Water sensitivity	Stable with 15–25 L/h adjustment
Consistency	Clean consistency achieved
Shrinkage	7-day strain between -0.16% and -0.21%
Durability	Freeze-thaw XF2, needs improvement; other tests pending/in progress

Keskeinen tuotannollinen oppi

- Biohiilen käyttö betonissa ei ole vain reseptikysymys
- Tarvitaan kaupallisesti saatavilla oleva, sopiva ja tasalaatuinen raaka-aine
- Biohiili pitää kuivata ja jauhaa hyvin hienoon partikkelikokoon
- Käsittelykapasiteetin pitää vastata täysimittaisen toteutuksen tarvetta
- Biohiilen käsittelyyn liittyvät ATEX- ja pölynhallintavaatimukset nousivat osaksi tuotantovalmiuden arviointia
- Testauksen aikana havaittiin, että biohiilen kosteus, partikkelikoko ja alkuperä vaikuttavat merkittävästi massan käyttäytymiseen
- Osa biohiililaaduista aiheutti kerrosten liukumista ja vaihtelua tulostusprosessissa
- Toimitusketjun skaalautuvuus on yhtä tärkeä kuin laboratoriotulos
- Täysimittainen toteutus vaatisi raaka-aineketjulta teollisempaa valmiutta



Mikkelin kokonaisuuden arvioitu
betonimäärä

65 t

betonimäärä

≈ 2 t

kuivattua ja jauhettua biohiiltä

Kaupallistamisen näkökulma

- Vähähiilisyys ja uutuusarvo eivät yksin riitä kaupalliseksi infratuotteeksi
- Tarvitaan vaatimukset täyttävä materiaali ja osoitettu käyttöikä
- Tarvitaan skaalautuva tuotanto ja toimitusvarmuus
- Tarvitaan kustannusrealismi ja tilaajan hyväksyttävä riskitaso
- Tässä vaiheessa ratkaisu ei ole valmis täysimittaiseen kaupalliseen infratoteutukseen
- Kaupallistaminen edellyttää materiaalin, rakenteen ja toimitusketjun yhtäaikaista kypsyttää
- Kaupallistaminen edellyttää materiaalin lisäksi myös toimivaa raaka-aineketjua, laadunhallintaa ja tuotantovalmiutta

4. Challenges encountered and lessons learned

Testing clarified where the material path is viable – and where process controls must tighten before scale-up.

Challenges encountered

Qualification risk

4.55 wt% wood biochar failed freeze-thaw after 28 cycles because of leakage and surface scaling.

Long test cycle

Durability validation depends on chloride, leaching, sulfate and freeze-thaw tests with multi-week external lead times.

Supply chain delays

Multiple biochar showed promising strength, but could not be secured reliably enough for the test plan.

ATEX lab upgrade

Upgrade of our lab facility to be ATEX compliant before doing biochar handling and testing.

Lessons learned / mitigation actions

Tighten material QC

Moisture demand, shelf life and strength shift with particle size. Grind, sieve and control incoming QC before batching.

Pre-blend high biochar mixes

High biochar content created inconsistent flow and poor mixing. Pre-blend for 10–20 minutes to improve consistency.

Re-route sticky feedstocks

Digest biogas biochar produced shiny, sticky mixes and sliding layers. Discontinue the current route or reformulate admixtures.

Plan ATEX readiness

Build lab compliance checks, dust-control requirements and equipment upgrades into the schedule before material trials.



Toteutuksen tilanne

- Hankkeen aikana saadut materiaalitestausta- ja tuotantovalmiustulokset osoittivat, että alkuperäisen suunnitelman mukaista täysimittaista demomeluaitaa ei toteuteta tässä hankkeessa
- Kaupungin näkökulmasta aitaa ei ole tarkoituksenmukaista toteuttaa ei-kaupallisena poikkeamana, jos infrarakentamisen vaatimusten täyttymistä ei voida osoittaa ja ratkaisu ei vielä ole kaupallistettavissa

**Aitaa ei rakenneta
vain rakentamisen
vuoksi**

Onko tämä epäonnistuminen?

- Ei. Tämä on TKI-hankkeelle arvokas ja tyypillinen tulos
- Teknologian kehitystyö ei pysähtynyt siihen, että haasteita löydettiin. Hankkeessa tunnistettiin konkreettisesti niitä asioita, jotka on ratkaistava ennen kaupallista käyttöönottoa.
- Hanke tuotti konkreettista tietoa siitä, missä teknologia tällä hetkellä on ja mitä vaaditaan ennen kaupallista käyttöönottoa:
 - materiaalitekniset pullonkaulat
 - 3D-tulostetun rakenteen vaatimustenmukaisuus
 - biohiilen käsittelyketjun vaatimukset
 - kaupallistamisen edellytykset
 - julkisen tilaajan riskienhallinta

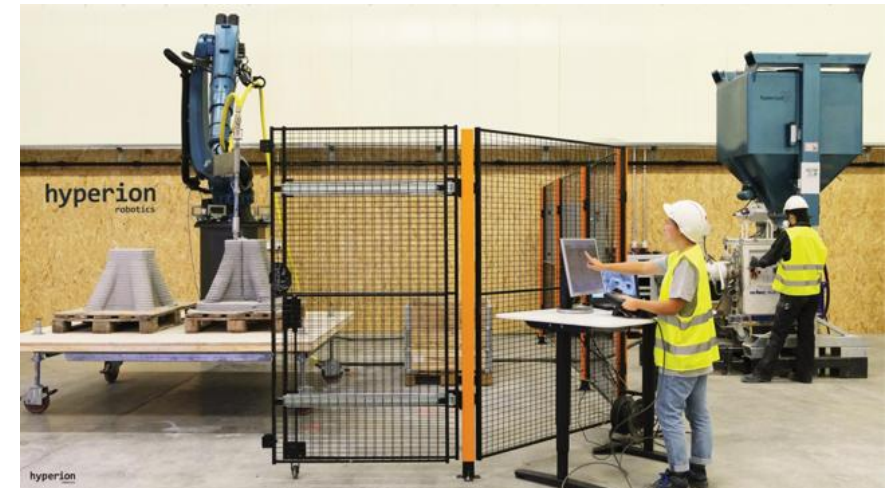
Opit julkiselle tilaajalle

- Innovatiivisessa hankinnassa ja hankkeissa pitää olla tilaa myös sille, että ratkaisu ei vielä ole valmis, vaan sen kehittäminen mahdollistetaan
- Vaatimukset pitää tuoda kehitystyöhön aikaisin
- Pilotin ja kaupallisen tuotteen ero pitää tunnistaa
- Tuotantokyky on yhtä tärkeä kuin laboratoriotulos
- Julkisen tilaajan ei pidä ottaa laajamittaiseen (kaupalliseen) käyttöön ratkaisua, jonka vaatimustenmukaisuutta ei voida osoittaa

CHARACTERIZATION OF HYPERION 3D MORTAR

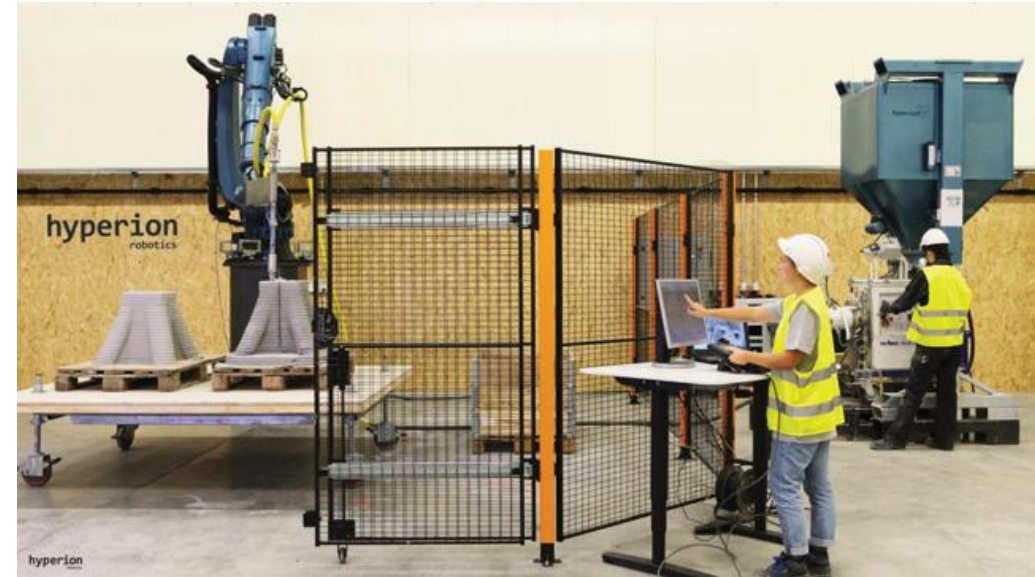


	Hyperion 3D mortar		Conventional concrete
Compressive strength (x)	49.9	MPa	40 to 45 MPa for C32/40 and C35/45 classes
Compressive strength (y)	53.4	MPa	
Compressive strength (z)	51.53	MPa	
Bending Tensile strength (y)	7.05	MPa	3 to 3.2 MPa for C32/40 and C35/45 classes
Bending Tensile strength (z)	5.64	MPa	
Density	2079	kg/m ³	2400 kg/m ³
Chloride penetration coefficient	1.83×10^{-12}	m ² /s	Based on fib Bulletin 34, this concrete is considered as a high quality material in subject to chloride exposure
Freeze Thaw	M ₃₂ = 0.26	kg/m ²	XF3, XF1 with design life of 50 years as per EN 206



Mitä jäi selvitetäväksi?

- Mikä biohiilipitoisuus on realistinen vaativassa infrabetonissa?
- Voidaanko 3D-tulostettava pintamateriaali saada pakkasrasitusta kestäväksi?
- Onko tulevaisuuden ratkaisu hybridimalli?
- Voiko 3D-tulostus toimia ensisijaisesti muottina, muotona tai pintarakenteena?
- Millainen biohiilen käsittelyketju olisi kaupallisesti realistinen?
- Missä sovelluksissa teknologia voisi toimia jo ennen vaativaa tieympäristöä?
- Tulokset palvelevat mahdollisten jatkotutkimusten ja kehitystyön lähtötietona



Yhteenveto

- DemoMelu -hanke osoitti, että biohiiltä sisältävä 3D-tulostettava betoni on kiinnostava, mutta vielä kehitysvaiheessa oleva ratkaisu vaativaan infrarakentamiseen
- Ideasta päästiin konkreettiseen tekniseen arviointiin, jossa tunnistettiin ne materiaalitekniset, rakenteelliset ja tuotannolliset edellytykset, jotka pitää ratkaista ennen kaupallista käyttöönottoa
- Lupaava teknologia tarvitsee vielä kehitystä ennen ensimmäistä vaativaa infrareferenssiä