

- Intro
- Industrihamp
- Kalkbinder
- Hempcrete
- Hempcrete elementer
- Principper
- Produktion
- Montage
- Case
- Videregående potentiale



Hempcrete elementer

Jakob Christian Beicher Nielsen

Kandidat projekt 2023



INTRO

Hvordan kan et byggesystem bestående af hempcrete og træ, påvirke betonelement-branchen til at imødekomme den grønne omstilling?

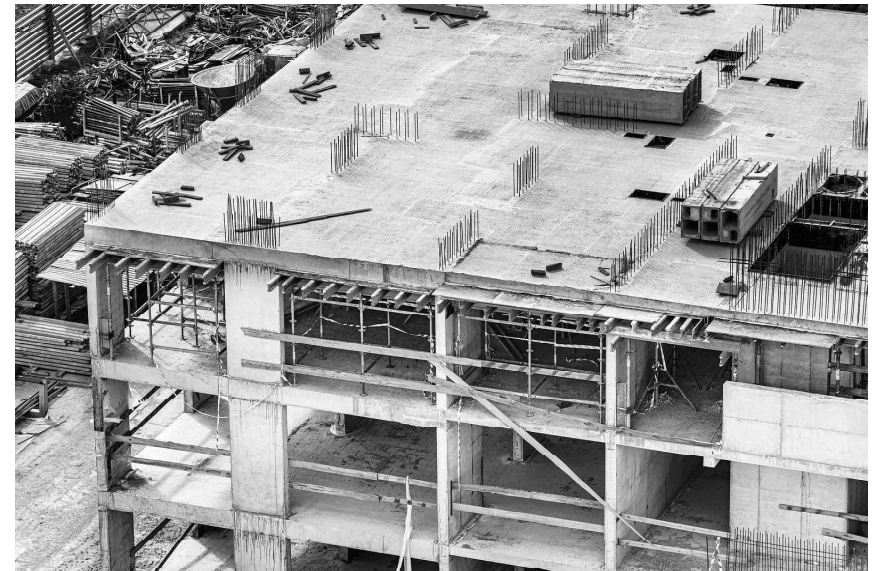
Hvad gør vi i dag?

Hvorfor er beton verdens mest anvendte byggemateriale?

- Alt-i-et-materiale
- Prisdigtigt
- Modstandsdygtigt
- Præfabrikation
- Tilpasningsvenligt

Hvilken betydning har det?

- Medarbejdere
- Stor viden
- Stor kapital
- Bidrager til verdensøkonomien
- Stort materielt indehavende



Bigstock

Mulige løsninger

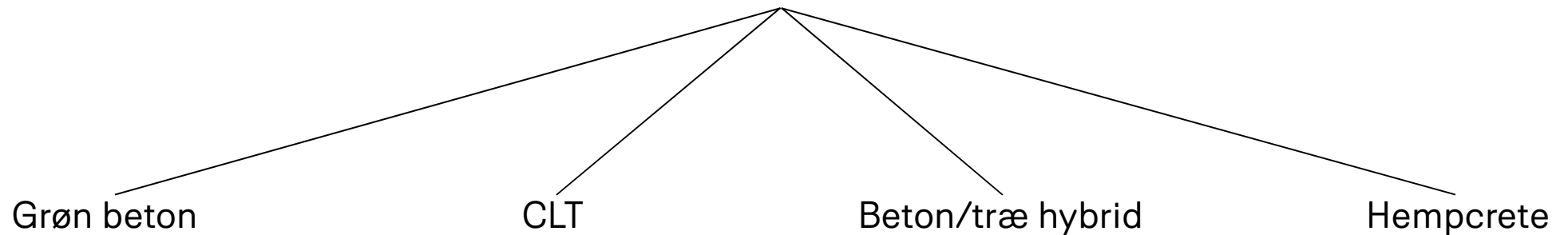
Udgangspunkt

- Inkludere betonelement-branchen
- Norsk eksempel
- Tilbude dem en mulighed for at tage et stort skridt mod absolut bæredygtighed

Væsentlige parametre for mulig løsning

- Prisdigtigt
- Muligt at præfabrikere
- Tilpasningsvenligt
- Gerne have op til flere egenskaber
- Gerne modstandsdygtigt
- Gerne kendte produktions- og monteringsmetoder

Mulige bæredygtige veje at gå for betonelement branchen



Mulige løsninger

Grøn beton

- Grønnere cement

 - Reduceret cement indhold

- Finitte ressourcer

 - Mangel på sand

 - Genanvendelse af knust beton

Konsekvenser ved omlægningen

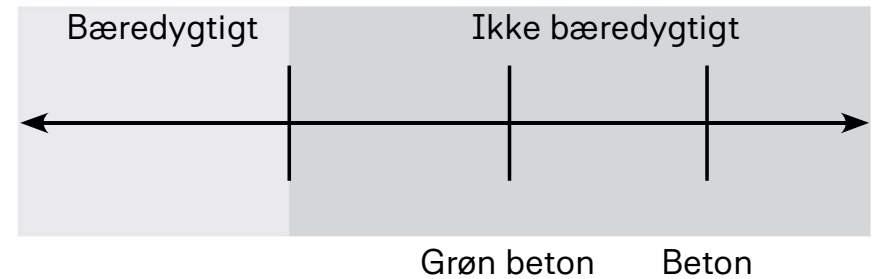
- + Viden

- + Materielt indehavende

- + Kapital

- + Medarbejdere

- / Politisk indflydelse



Mulige løsninger

CLT og andre træelementer

- God løsning i teorien
- Stort pres på levering af træ

Amagerværket

Fredet skovarealer

Brandteknisk dimensionering

Konsekvenser ved omlægningen

- + Kapital
- + Medarbejdere
- / Politisk indflydelse
- Viden
- Materielt indehavende



Scanpix

Mulige løsninger

Beton / træ hybridelement

- Semi-grøn løsning
- Stort pres på levering af træ
- Udvider det materielle behov

Konsekvenser ved omlægningen

- + Materielt indehavende
- + Kapital
- + Medarbejdere
- / Viden
- / Politisk indflydelse



TreeCrete

Mulige løsninger

Hempcrete

- Delvist lignende type produkt
- Delvist lignende egenskaber

Konsekvenser ved omlægningen

- + Materielt indehavende
- + Kapital
- + Medarbejdere
- + Politisk indflydelse
- + Viden



Afrimat Hemp

Hempcrete

Ligheder

- Alt-i-et-materiale
- Støbes
- Produktionsprincipper

Forskelle

- Isoleringsmateriale
- Ikke bærende
- Fornybar ressource
- Mindre "minimumspakke" af egenskaber

Blandingsforhold (volume)

Beton

Cement	1 del
Vand	1 del
Flyveaske, metakaolin, m.m.	1/2 del
Sand	2 dele
Sten	3 dele

Hempcrete

Kalkbinder	1 del
Vand	1 del
Hampeskærver	4 dele

Byggemetoder

Anvendelse

- Væg
- Enfamilies huse
- Forhandles af Saint-Gobain
- Globalt markeds værdi på 5.5 millioner dollars

In-Situ



Michigan News

Blokke



Solar Impulse

Byggemetoder

Anvendelse

- Væg
- Enfamilies huse
- Eksperimentelt niveau

Paneler



Homeland Hempcrete

Elementer



HEMBOO

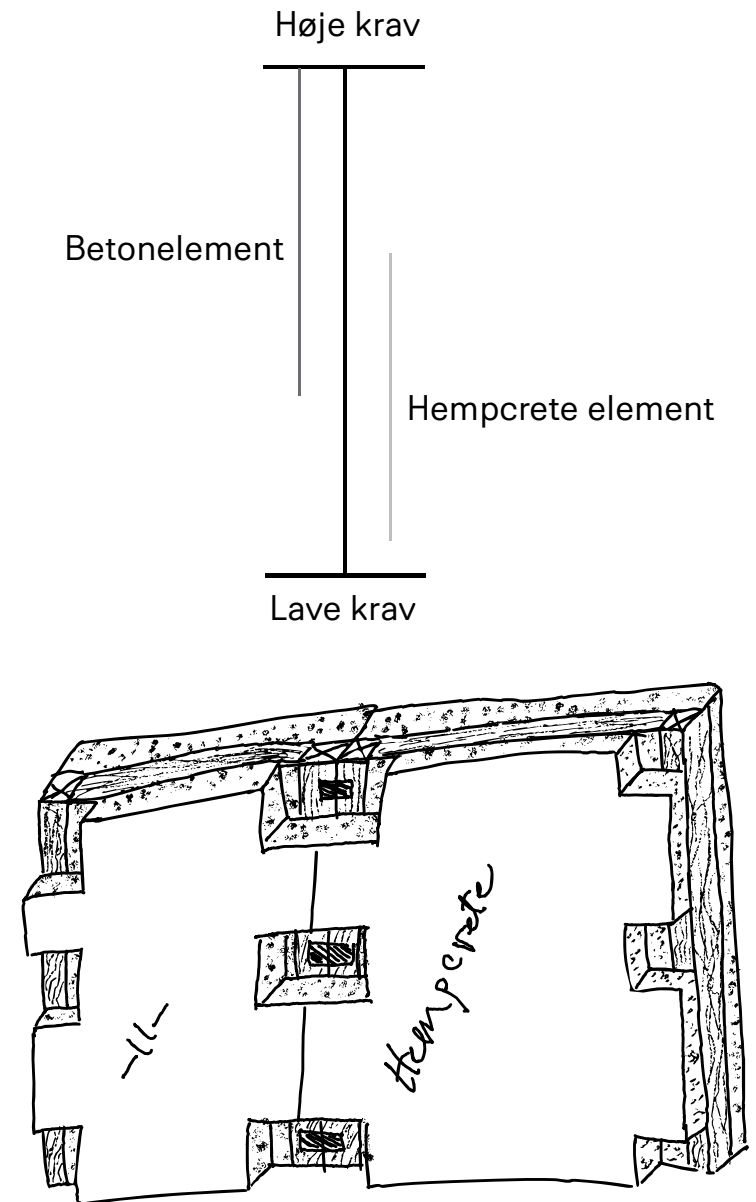
Hempcrete elementer

Funktion

- Udelukkende hempcrete elementer
Lav bebyggelse
- Delvist hempcrete elementer
Mellem/høj- og høj bebyggelse

Element

- Hempcrete
Isolering
Brandbeskyttelse
- Træskelet
Bærende

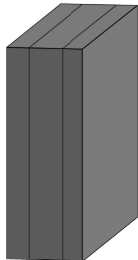


Hvordan vil jeg benytte hempcrete?

3. Semester

- Vægelement

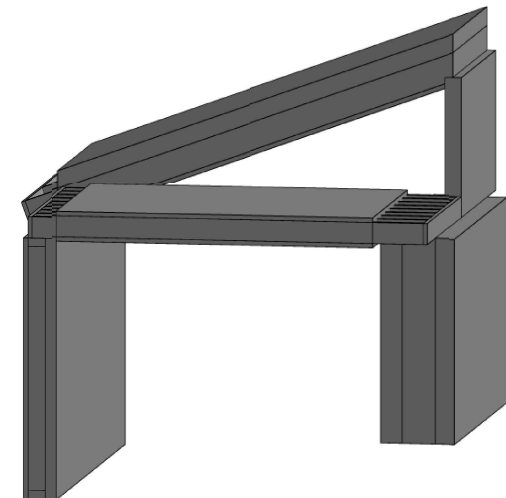
Overfladisk
informationsniveau



4. Semester

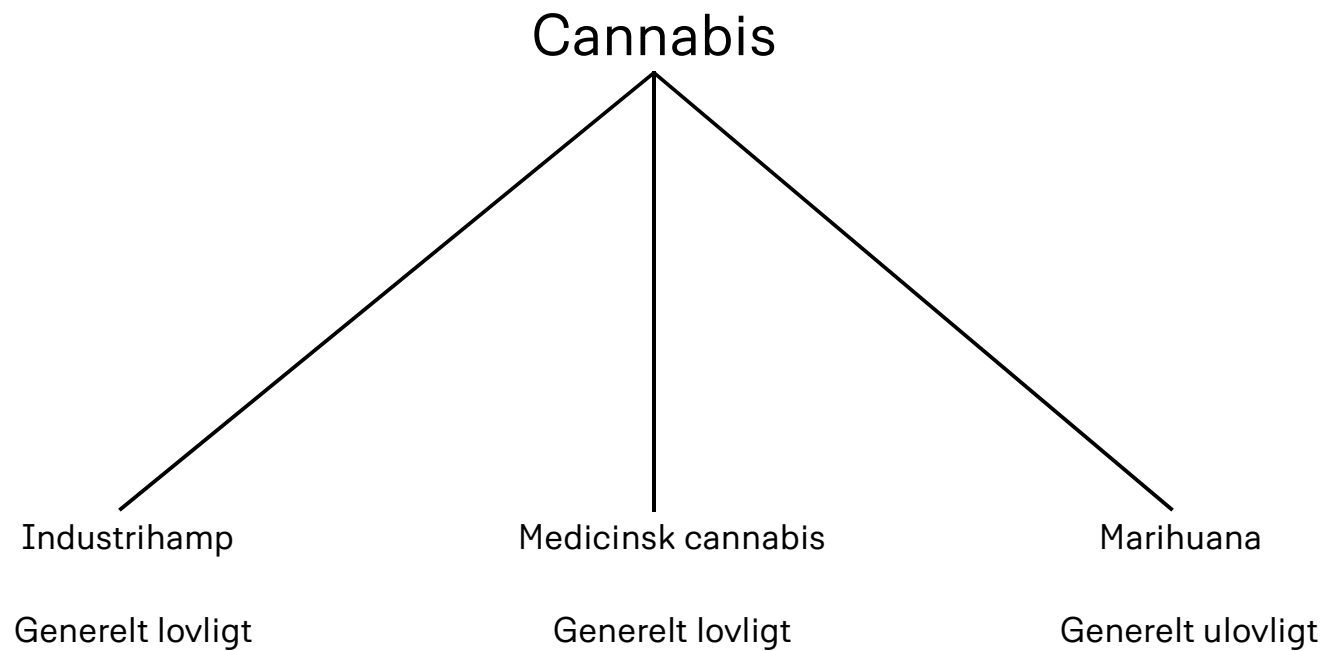
- Byggesystem

Dybdegående
informationsniveau





INDUSTRIHAMP



Historie

- Dyrket i mere end 10.000 år
- Benyttet til reb, tekstiler, papir, medicin, m.v.
- Ulovgiggørelse i det 20. århundrede

Lokale fordele

Ét af de hurtigst voksende landbrug

- Kan dyrkes i største delen af verden
- Kort groetid
- Størst udbytte pr. hektar
- Kræver generelt ingen vanding
- Høj tolerance for temperatur svingninger
- Hele planten kan sælges
- Resistent mod skadedyr og sygdomme
- Renser jorden for tungmetaller
- Reducere jord skred

Frø

Olie

Madlavning
Mælkeerstatning
Skønhedsprodukter
Brændstof
Maling

Frø

Mælkeprodukter
Mel
Øl
Musli
Protein pulver
Dyrefoder

Rod

Medicin



IStock

Blomst og blade

Medicin
Dyrestrøelse

Stilk

Fibre

Tekstiler
Isolering
Reb

Skræver

Papir
Dyrestrøelse
Komposit materialer
Fødevarer konservering
Bioplast

Industri hamp bliver anvendt til mere end 10.000 produkter

Globale fordele

CO2 til biomasse

- Én hektar absorbere i gennemsnit 15 tons CO2
- Én hektar "Ny-skov" absorbere i gennemsnit 6,5 tons CO2
- Producere en stor mængde pollen



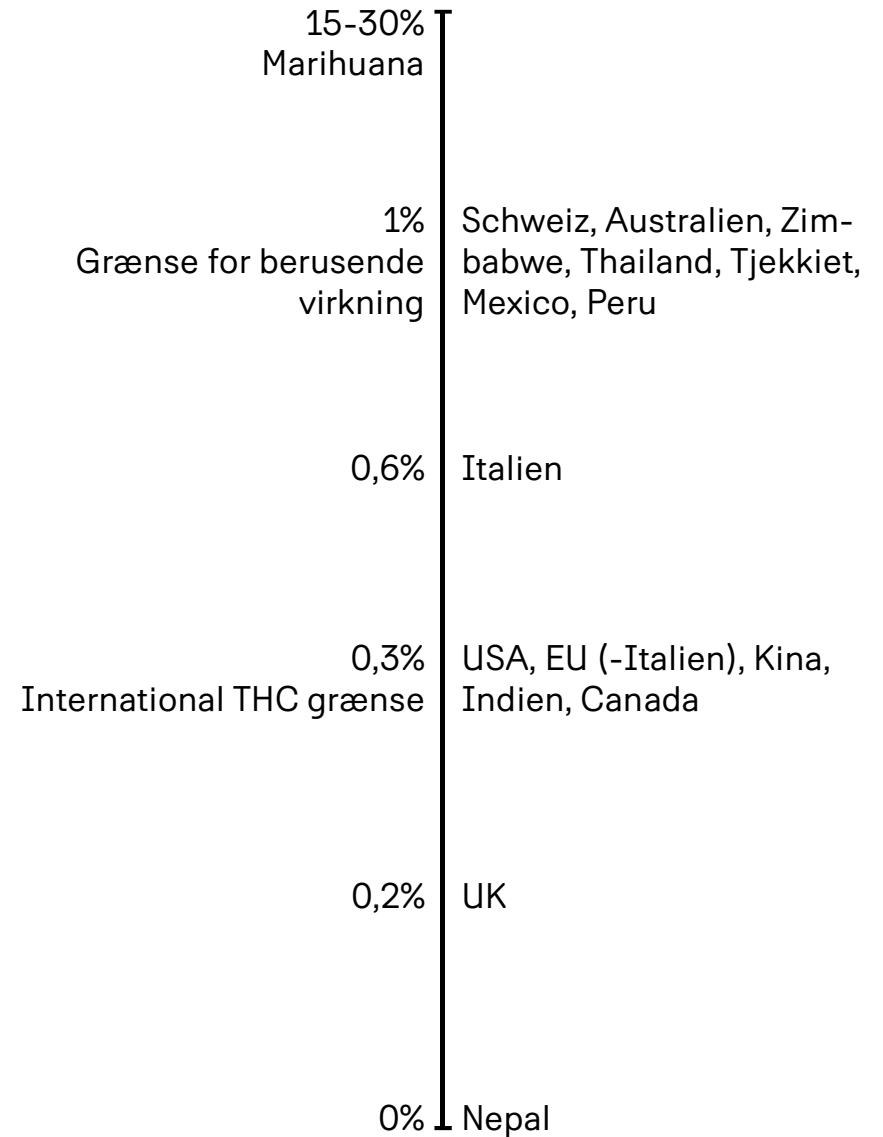
Unsplash

Lovgivning

Udviklingen

- Ulovligt at sælge blade og blomster i UK
- Industrihamp lovliggjort i USA i 2018
- Godkendelsesprocesser og gebyrer
- Destruering af hamp med for højt THC indhold
- Indeholder i gennemsnit 0,2% - 4% THC
- Lige konkurrencevilkår

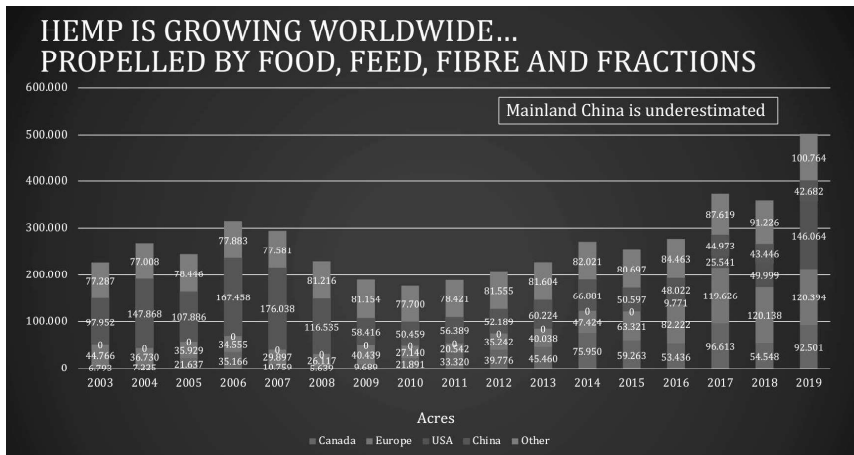
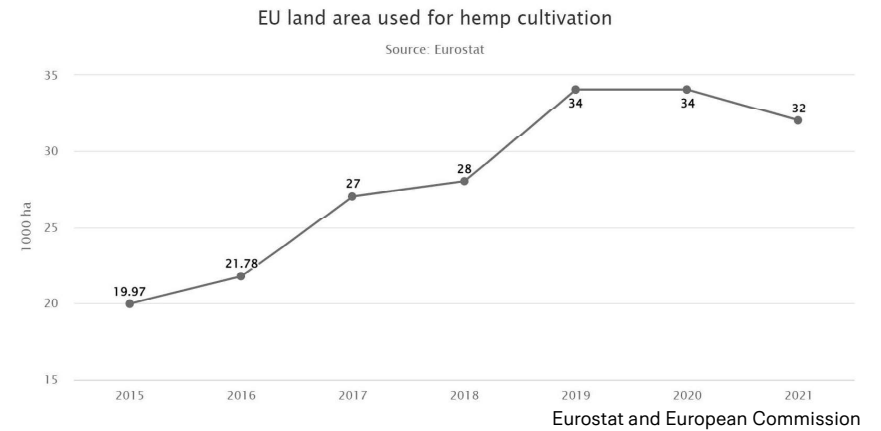
THC indhold



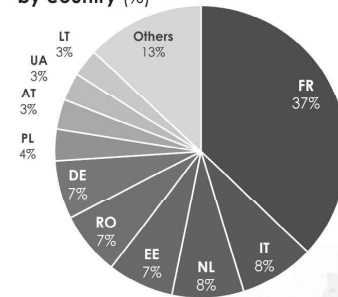
Tilgængelighed

Udbud / Efterspørgsel

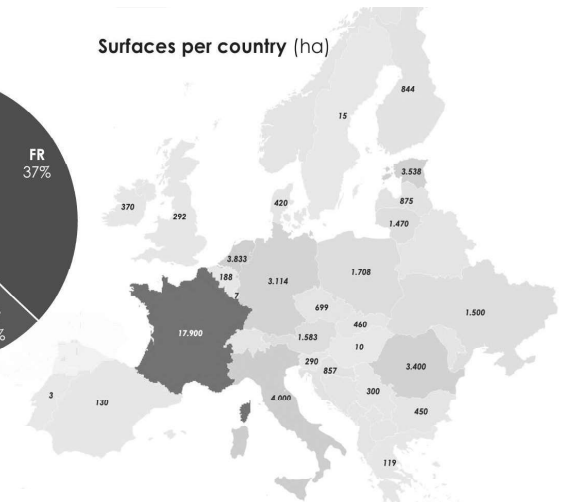
- Hampefrø
- Lempelse af lovgivning



Share of surfaces by country (%)



Surfaces per country (ha)



European Industrial Hemp Association

Hampeskærver

Hampeskærver

- Bi-produkt
- Træ-agtige del
- Primær kundegruppe er ikke hempcrete
- Består af op til 44,4% CO₂
- Manglende specifikationer

Dimensioner

- 1% under 1 mm
- 85% mellem 1 - 20 mm
- 14% over 20 mm



Natural Fiber



KALKBINDER

Kalkbinder

Historie

- Benyttet i mere end 6.000 år
- Pyramiderne i Giza

Luftkalk (kulekalk, læsket kalk)

- Geo-baseret
- Ren kalksten
- Brændes ved ca. 900 grader
- 50-90% kan benyttes
- Karbonisere kun i kontakt med CO₂

Egenskaber

Fugthåndtering ●●●●

Elasticitet ●●●●

Densitet ●●●●

PH-værdi ●●●●

Hærdningstid ○○○○

Tilgængelighed ●●●○

Kostpris ●●●○

Hydrauliske bindere

Fællestræk

- Geo-baseret
- Karbonisere i kontakt med CO₂
- Hydrauliske egenskaber på egen hånd

Naturlig hydraulisk kalk

- Op til 25% lerindhold
- Brændes ved ca. 1200 grader
- 20-50% kan benyttes

Egenskaber

Fugthåndtering ●●●○

Elasticitet ●●●○

Densitet ●●●○

PH-værdi ●●●○

Hærdningstid ●●●○

Tilgængelighed ●●●○

Kostpris ●●○○

Hydrauliske bindere

Natural Cement

- Op til 50% lerindhold
- Brændes ved ca. 1200 grader
- 20-50% kan benyttes

Portland Cement

- Kridt og sand
- Brændes ved ca. 1400 grader
- 10-25% kan benyttes

Egenskaber

Fugthåndtering	●●○○	Hærdningstid	●●●●
Elasticitet	●●○○	Tilgængelighed	●●○○
Densitet	●●○○	Kostpris	●●○○
PH-værdi	●●○○		

Egenskaber

Fugthåndtering	●○○○	Hærdningstid	●●●●
Elasticitet	●○○○	Tilgængelighed	●●●●
Densitet	●○○○	Kostpris	●●●●
PH-værdi	●○○○		

Puzzolaniske bindere

Fællestræk

- Højt indhold af siliciumdioxid
- Hydrauliske egenskaber når kombineret med luftkalk
- Reducere skrumpning

Metakaolin

- Geo-baseret
- Porcenlænsjord
- Brændes ved ca. 700 grader
- 40-50% kan benyttes

Egenskaber

Fugthåndtering ●●●○

Elasticitet ●●●○

Densitet ●●●○

PH-værdi ●●●○

Hærdningstid ●●○○

Tilgængelighed ●●○○

Kostpris ●●●●

Puzzolaniske bindere

Zeolitter

- Geo-baseret
- Vulkan
- Brændes ved ca. 700 grader

Flyveaske

- Restprodukt
- Kulkraftværker

Egenskaber

Fugthåndtering	●●●○	Hærdningstid	●●○○
Elasticitet	●●●○	Tilgængelighed	●●●○
Densitet	●●●○	Kostpris	●●●○
PH-værdi	●●●○		

Egenskaber

Fugthåndtering	●●●○	Hærdningstid	●●○○
Elasticitet	●●●○	Tilgængelighed	●●●●
Densitet	●●●○	Kostpris	●●●●
PH-værdi	●●●○		

Puzzolaniske bindere

Højovns slagge

- Restprodukt
- Jern produktion

Ris skalle aske

- Restprodukt
- Ris produktion
- Brændes ved ca. 600 grader

Egenskaber

Fugthåndtering	●●●○	Hærdningstid	●●○○
Elasticitet	●●●○	Tilgængelighed	●●●●
Densitet	●●●○	Kostpris	●●●●
PH-værdi	●●●○		

Egenskaber

Fugthåndtering	●●●○	Hærdningstid	●●○○
Elasticitet	●●●○	Tilgængelighed	●●●●
Densitet	●●●○	Kostpris	●●●●
PH-værdi	●●●○		

Kalkbinder

Optimal blanding ift. bæredygtighed

- 50% luftkalk
- 50% puzzolanske binder, restprodukt
- Kan variere ift. område
- Lave brændingstemperaturer giver bedre mulighed for at benytte grøn energi



HEMPCRETE

Hempcrete

Blanding af hempcrete

- Tvangsblander / Betonblander
- Hampeskærver + Kalkbinder
- Vand tilføjes løbende
- Hydreret kalkbinder dækker hampeskærvernes overflade
- Efterlader luftlommer

Blandingsforhold (volume)

Kalkbinder	1 del
Vand	1 del
Hampeskærver	4 dele



Hempitecture

Egenskaber

Alt-i-et-materiale

- Isolerende
0,05 - 0,1 W/mK
- Klassificeret som ubrændbart materiale
50 mm
- Modstandsdygtig
Skadedyr, svampe og mikroorganismer
- Bæreevne
0,5 - 3,5 MPa
- Formfast
Forhindre bøjning af konstruktionstræet
- Akustiske egenskaber
45 - 58 dB
- Relativ høj termiskmasse
Holder på varmen

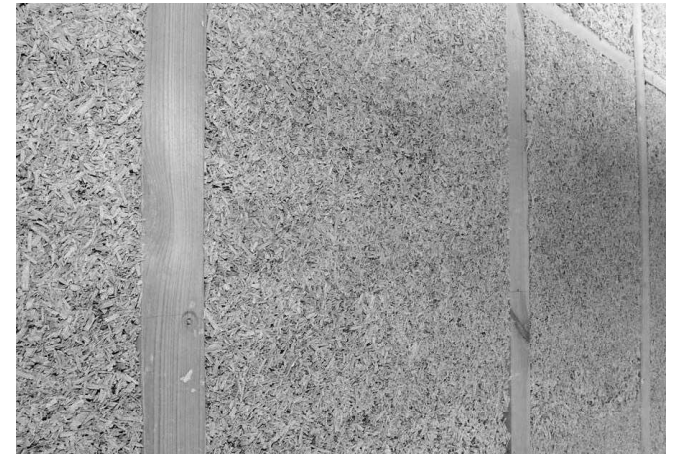


Baddabell

Egenskaber

Miljø og indeklima

- CO₂-negativt
110 kg CO₂/m³
- Fugtregulerende
Luftfugtighed på op til 93%
- Diffusionsåbent
Reducerer behovet for mekanisk ventilation
- Naturligt byggemateriale
Ingen kemi
- Genanvendelig
Hampeskærver
- Bio-nedbrydelig
Landbruget



Adrien Heckstall

Præfabrikation/produktion egenskaber

Attraktivt for fabrikant

- Modstandsdygtig
Skadedyr
- Letvægt
Større mængde
- Fungere som midlertidig regnskærm
Fugtskade
- Formbart og hurtig sætning
Effektiv produktion
- Tilpasses ift. til størrelse, funktion og beklædning
Simplificering

Attraktivt for entreprenør

- Modstandsdygtig
Reduceres risici
- Letvægt
Nemmere håndtering
- Fungere som midlertidig regnskærm
Reducere materiale forbrug
- Fungere som vindspærre
Reducere materiale forbrug
- Diffusionsåbent
Reducere materiale forbrug

Densitet

Meget lav densitet

- 150 - 200 kg/m³
- 1 del hampeskærver, 1 del kalkbinder og 1,5 del vand (vægt)
- Ingen stampning
- Lambda-værdi på omkring 0,05 W/mK
- Etageadskillelser og fladt tag

Mellem densitet

- 250 - 350 kg/m³
- 1 del hampeskærver, 1,75 del kalkbinder og 1,75 del vand (vægt)
- Lambda-værdi på omkring 0,07 W/mK
- Stampes til let kompakt
- Blottede- eller pudsede vægge

Lav densitet

- 200 - 250 kg/m³
- 1 del hampeskærver, 1,25 del kalkbinder og 1,75 del vand (vægt)
- Stampes let
- Lambda-værdi på omkring 0,06 W/mK
- Vægge beklædt med plademateriale og tage med hældning

Høj densitet

- 350 - 500 kg/m³
- 1 del hampeskærver, 2,5 del kalkbinder og 2,25 del vand (vægt)
- Har en lambda-værdi på omkring 0,1 W/mK
- Stampes indtil fast
- Isolerende undergulv i terrændæk.



HEMPCRETE ELEMENTER

Idéen

Udgangspunkt

- Inkludere betonelement-branchen
- Norsk eksempel
- Tilbude dem en mulighed for at tage et stort skridt mod absolut bæredygtighed

Væsentlige parametre for mulig løsning

- Prisdigtigt
- Muligt at præfabrikere
- Tilpasningsvenligt
- Gerne have op til flere egenskaber
- Gerne modstandsdygtigt
- Gerne kendte produktions- og monteringsmetoder

Betonelement-branchen besidder

- Materielt indehavende
- Kapital
- Medarbejdere
- Politisk indflydelse
- Viden

ELEMENTTYPER	BETONELEMENT	HEMPCRETE ELEMENT
Styrke	Medium / Høj	Ingen / Medium
Brand	Ubrandbar	Ubrandbar
Lyd	God	God
CO2	CO2 positiv	CO2 negativ
Materialepris	Lav	Lav / Medium
Vægt	Høj	Lav
Bygbarehed	Kran	Kran
Tykkelse	Lav / Medium	Lav / Medium
U-Værdi	God	God
Indeklima	Diffusionslukket	Diffusionsåben

Idéen

Konstruktionstræ

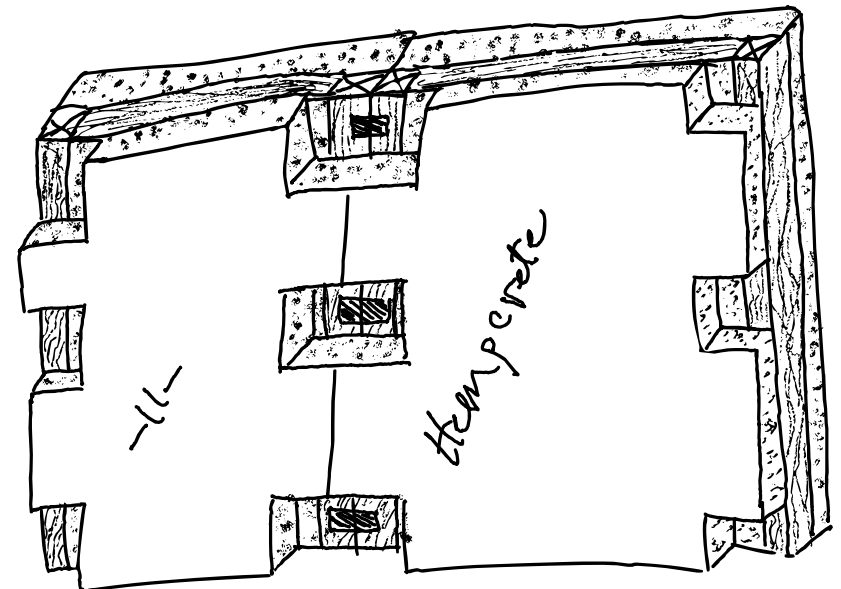
- Typisk træskelet
- LVL bjælker

Element typer

- Tagelementer
- Dækelementer
- Væg elementer

Vægtyper

- Bærende vægge
- Stabiliserende vægge
- Boligadskillende vægge
- Skaktvægge
- Skillevægge



Egenskaber

Træskelet

- Bæreevne fra træskelet
- Tilpasningsevne

Hempcrete

- Isolerende
- Svamp- og brandbestykkende
- Forhindre bøjning
- Tilpasningsevne



Michigan News

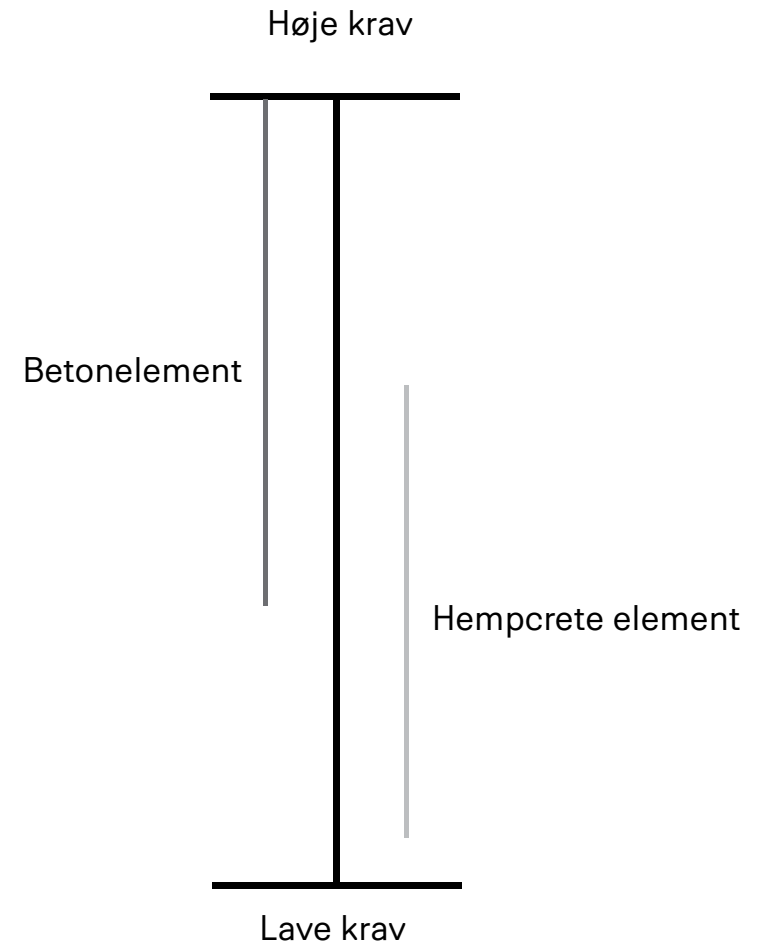
Funktion

Muligheder

- Mindre “minimumspakke” af egenskaber
- Erstatte de “nemmere” dele af et betonbyggeri
- Benyttes til alle konstruktionstyper
- Benyttes i sammenspil med betonelementer

Anvendelse

- Udelukkende hempcrete elementer
Lav bebyggelse
- Delvist hempcrete elementer
Mellem/høj- og høj bebyggelse



The background of the image is a dense, textured surface of light brown wood chips or mulch. The chips are irregular in shape and size, creating a complex, organic pattern. The lighting is even, highlighting the natural grain and texture of the wood.

PRINCIPPER

Dækelement

Vægt = 1124 kg

CO2 = -771 kg

Spændvidde = 5400 mm

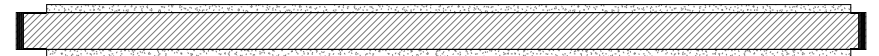
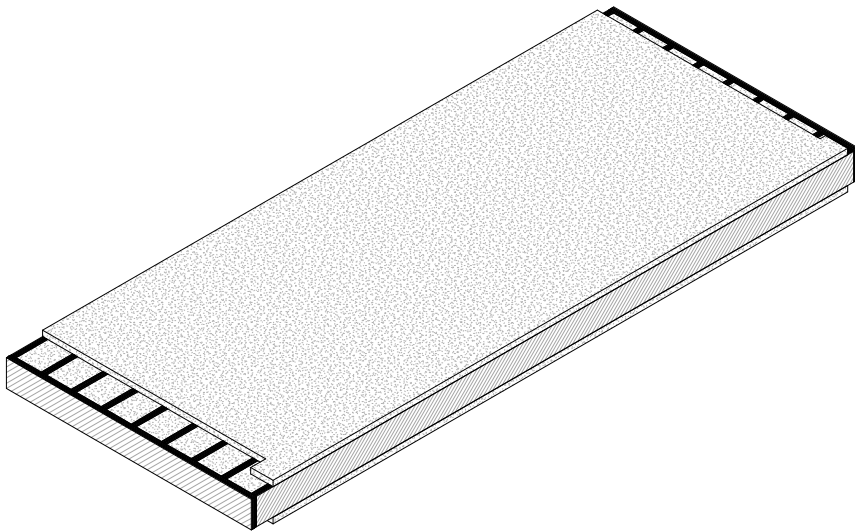
Hempcrete densitet = 250 kg/m³

LVL bjælker 45 x 240 mm, C/C 300 mm

Længde = 5490 mm

Bredde = 2215 mm

Tykkelse = 340 mm



Tagelement

Vægt = 1895 kg

CO2 = -984 kg

Spændvidde = 5400 mm

Hempcrete densitet = 250 kg/m³

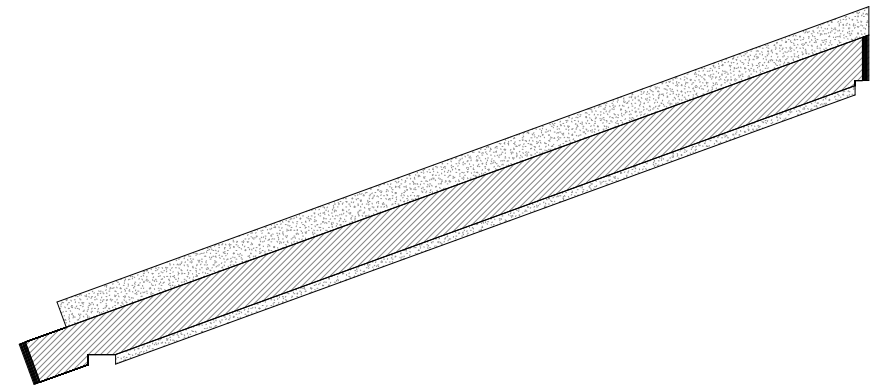
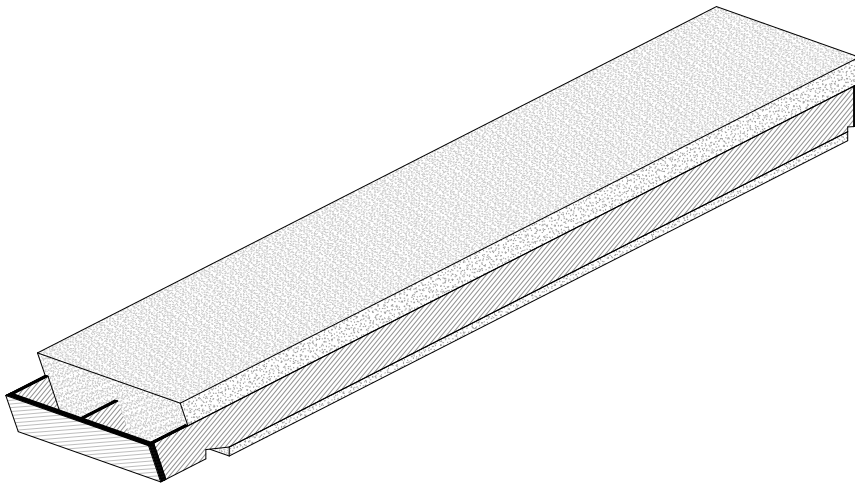
U-værdi = 0,11 W/(m²K)

LVL bjælker 45 x 300 mm, C/C 1200 mm

Længde = 6424 mm

Bredde = 2215 mm

Tykkelse = 550 mm



Vægelementer

Vægt = 2040 kg

CO2 = -1159 kg

Bæreevne = 115 kN/m

Hempcrete densitet = 250 kg/m³

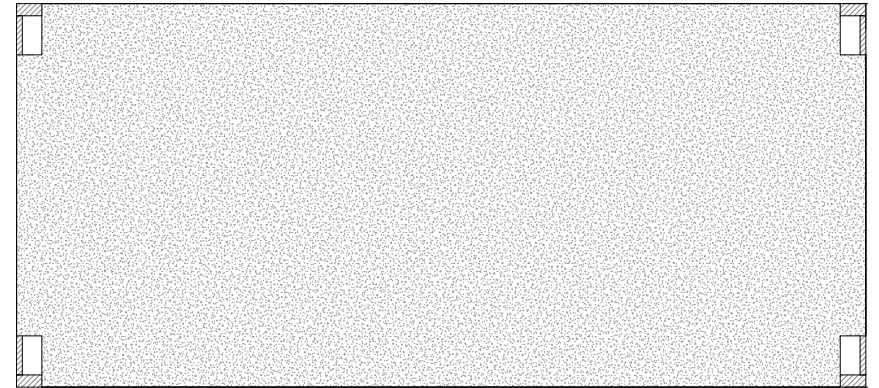
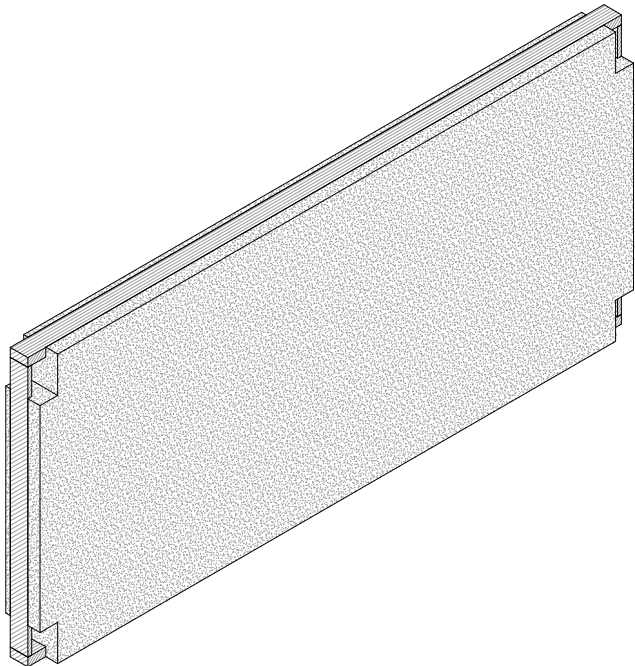
U-værdi = 0,16 W/(m²K)

C18 reglar 45 x 195 mm, C/C 600 mm

Længde = 6645 mm

Højde = 3000 mm

Tykkelse = 380 mm

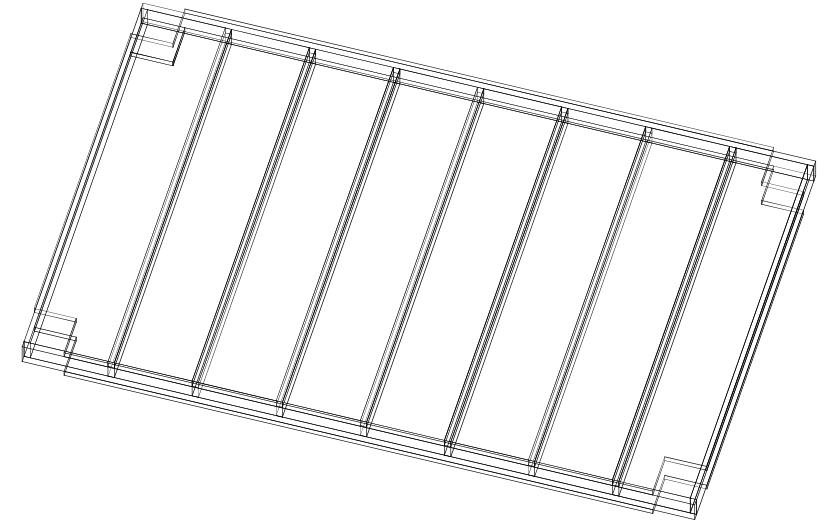


Vægtyper

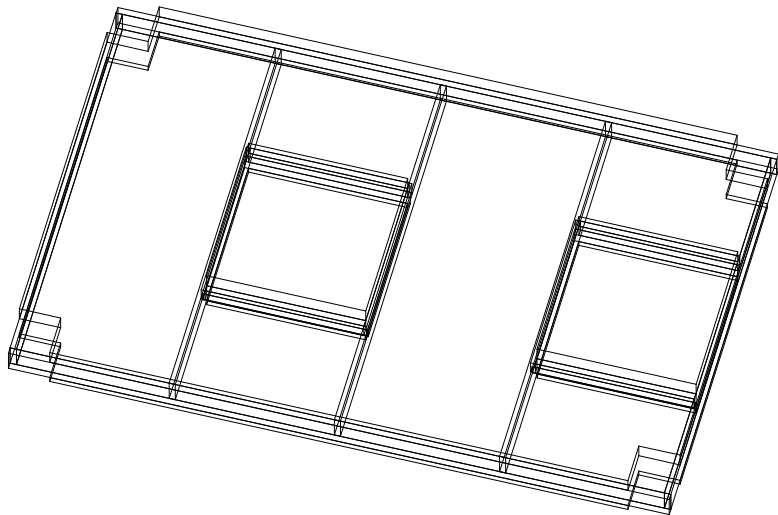
Vægtyper:

- Bærende vægge
- Stabiliserende vægge
- Boligadskillende vægge
- Skaktvægge
- Skillevægge

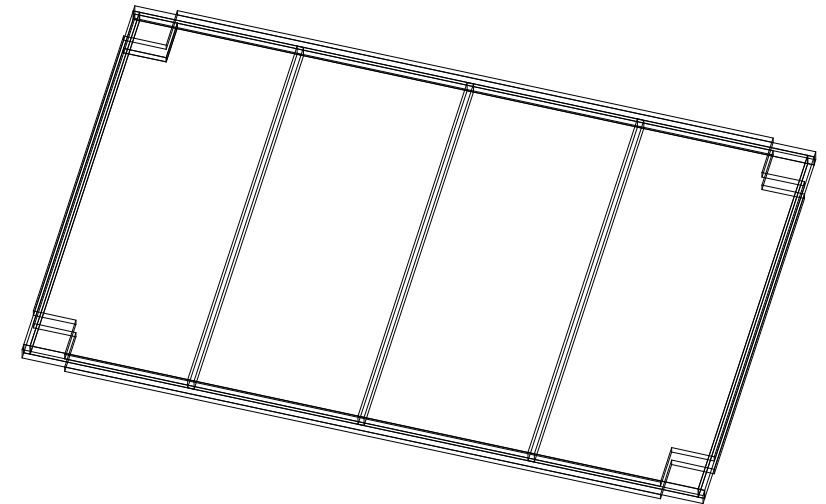
Bærende



Stabiliserende klimaskærm



Brand +/- Lyd

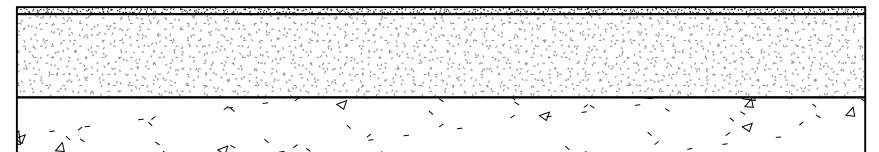
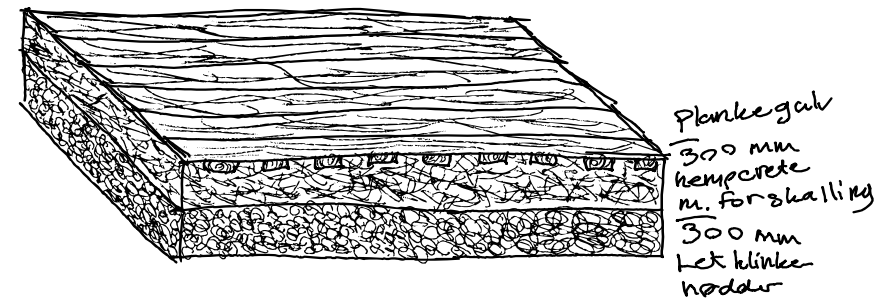
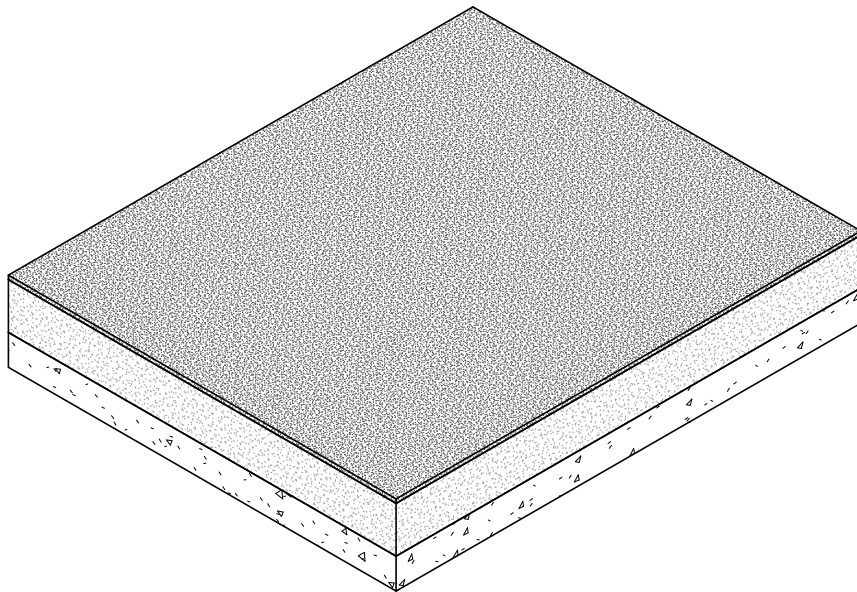


Terrændæk

Hempcrete densitet = 350 - 500 kg/m³

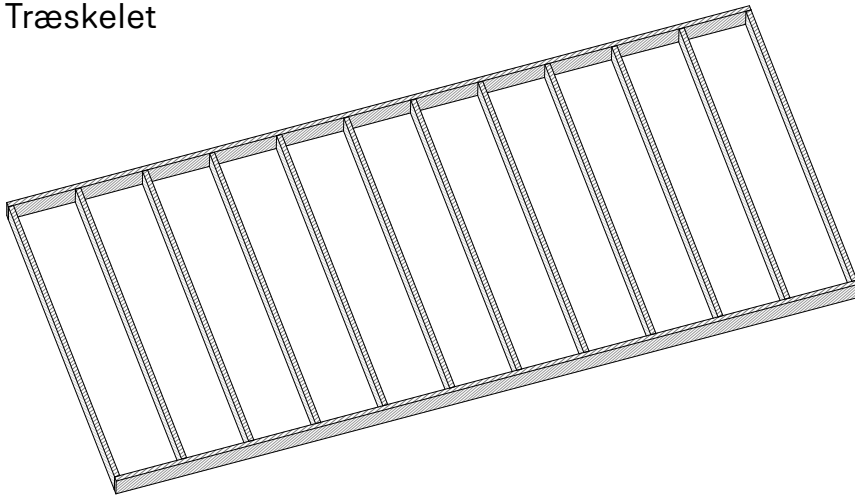
U-værdi = 0,11 W/(m²K)

Tykkelse = 550 mm

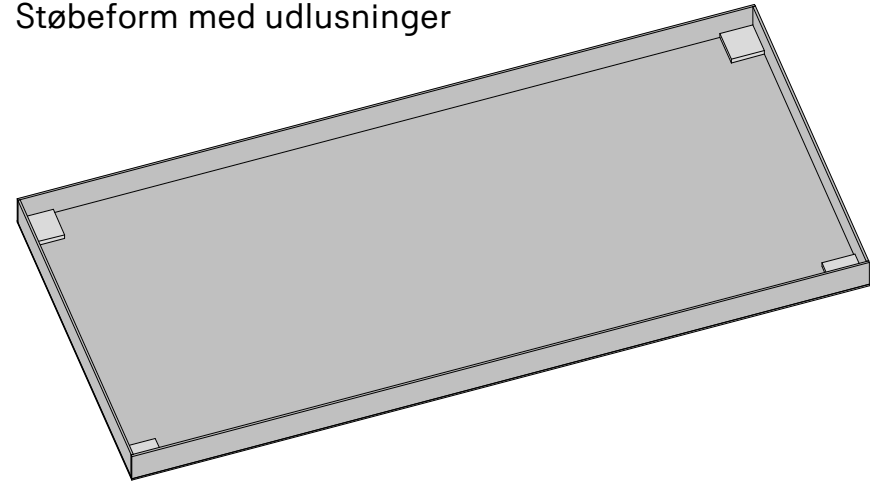


Produktionsprincipper

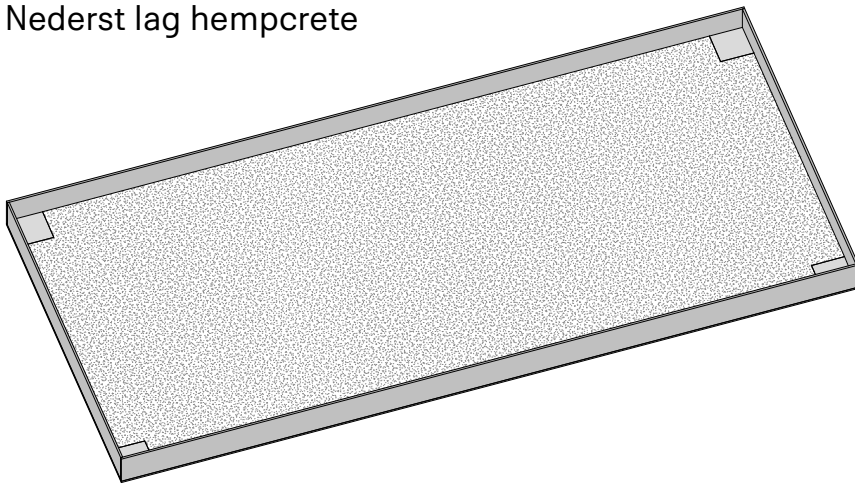
Træskelet



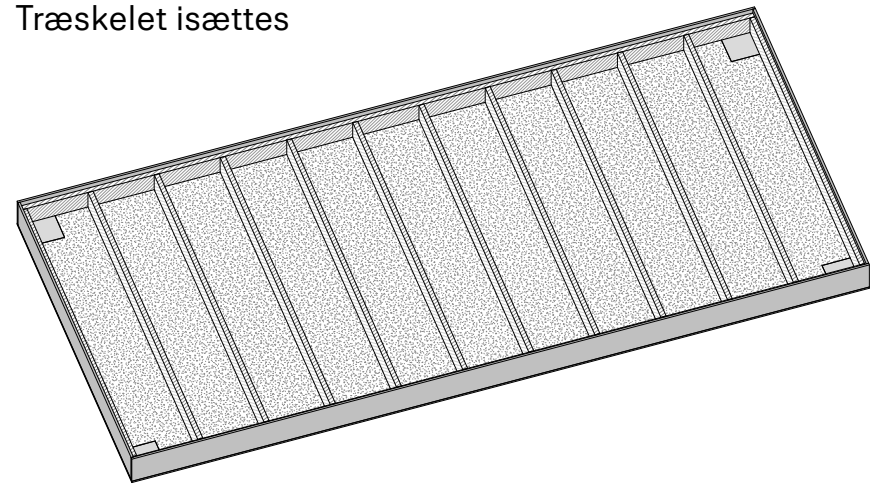
Støbeform med udlusninger



Nederst lag hempcrete

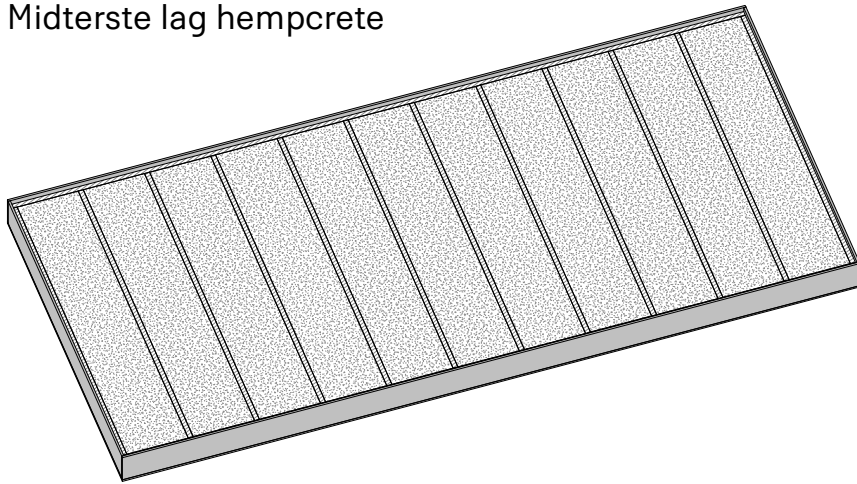


Træskelet isættes

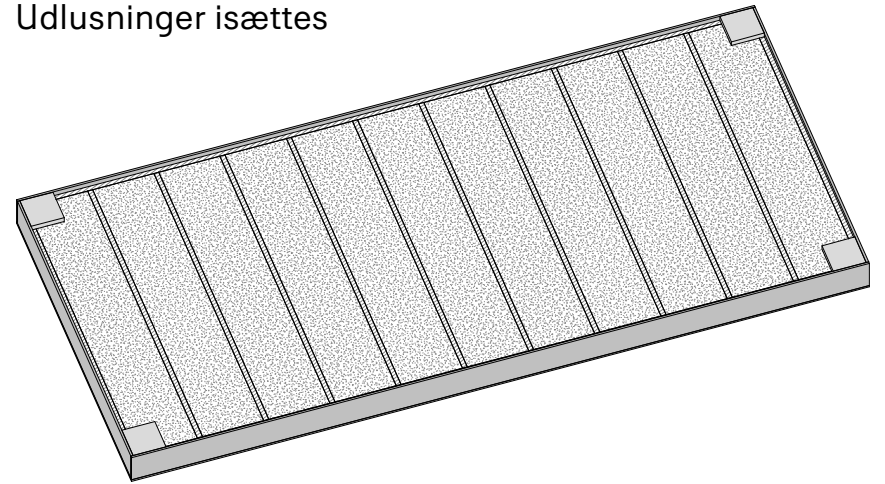


Produktionsprincipper

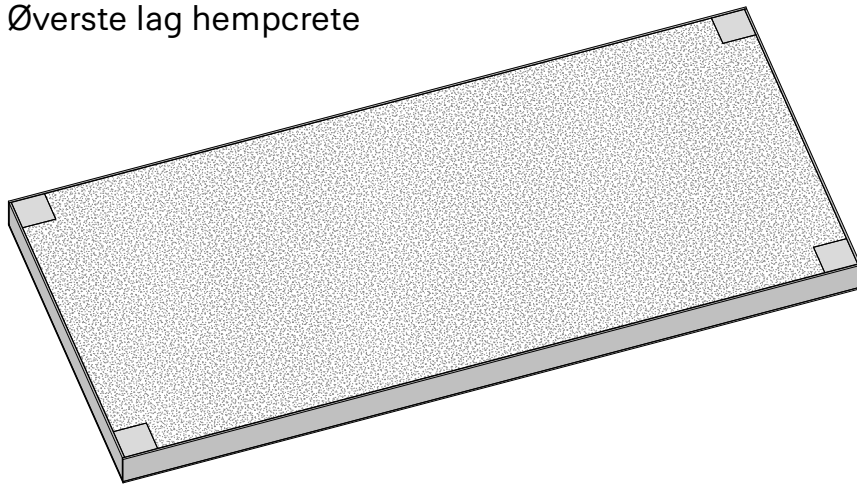
Midterste lag hempcrete



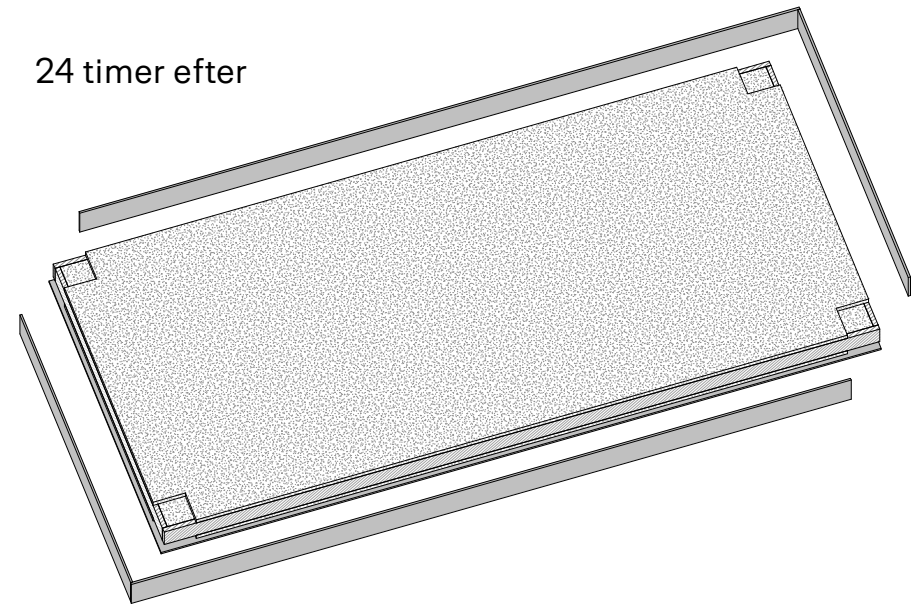
Udlusninger isættes



Øverste lag hempcrete



24 timer efter



The image features a dense, textured background of light brown wood chips or mulch. The chips are irregular in shape and size, creating a complex, organic pattern. The lighting is even, highlighting the natural grain and texture of the wood.

PRODUKTION

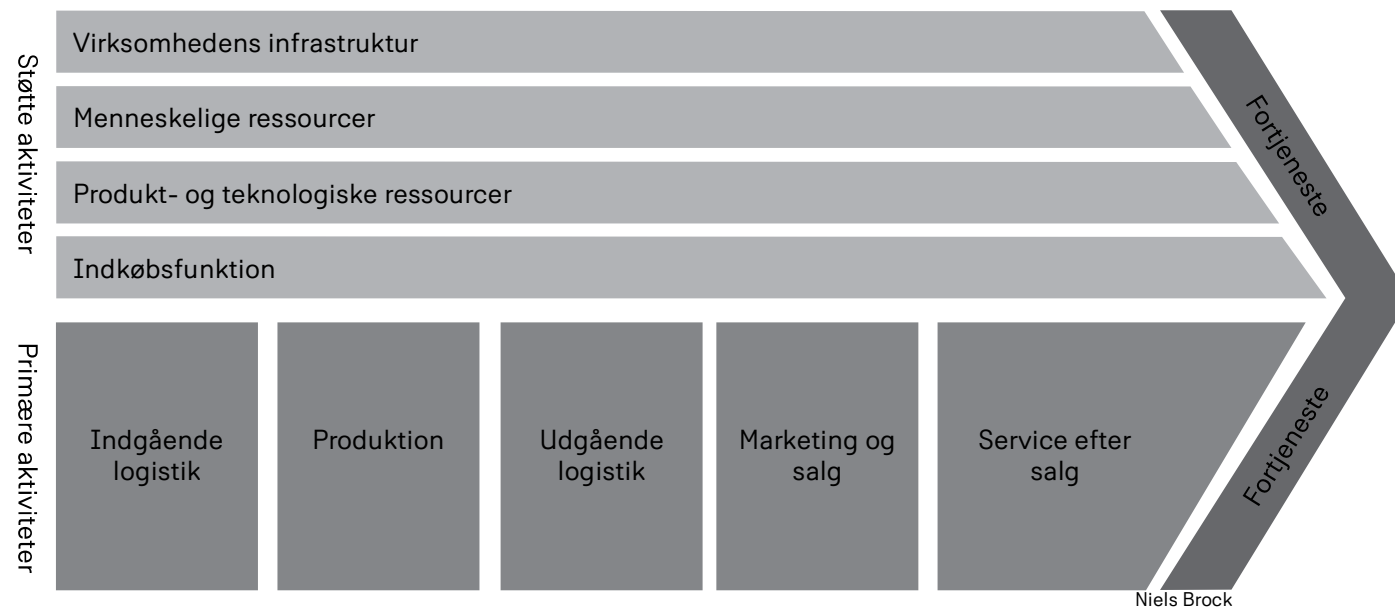
Værdikæde

Støtte aktiviteter

- + Produktion-, kontor- og lagerbygninger
- + Medarbejdere
- / Viden omkring puzzolanske bindere
- + Høj forhandlingsstyrke

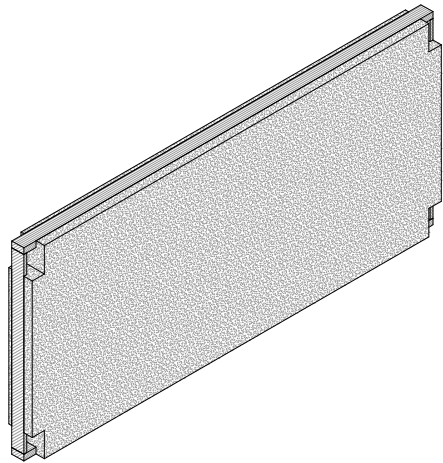
Primære aktiviteter

- Leverandører
- / Produktionsudstyr
- + Eksisterende ordersystem og transport
- / Eksisterende kundegruppe
- Garantier og montagevejledninger

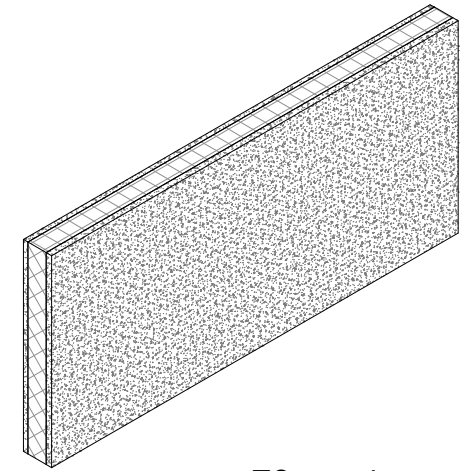


Indgående logistik

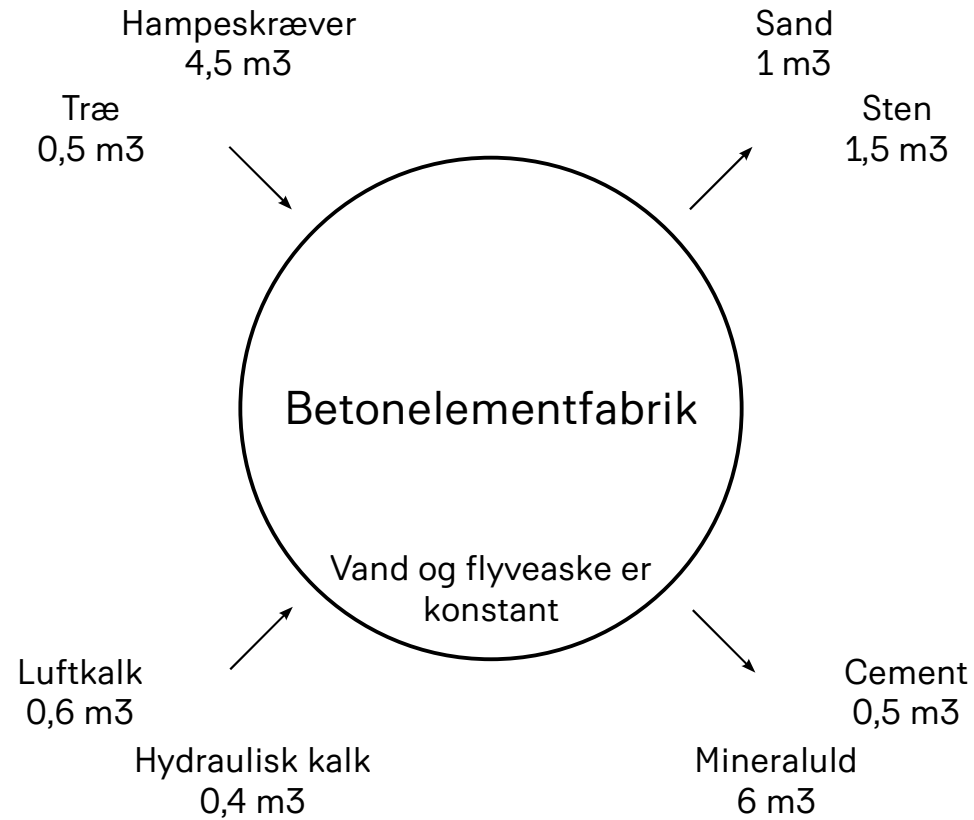
Materialer



135 mm hempcrete
195 mm hempcrete / træ
50 mm hempcrete
= 380 mm

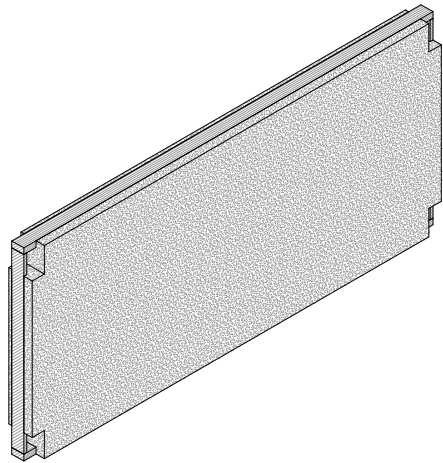


70 mm beton
300 mm mineralduld
90 mm beton
= 460 mm

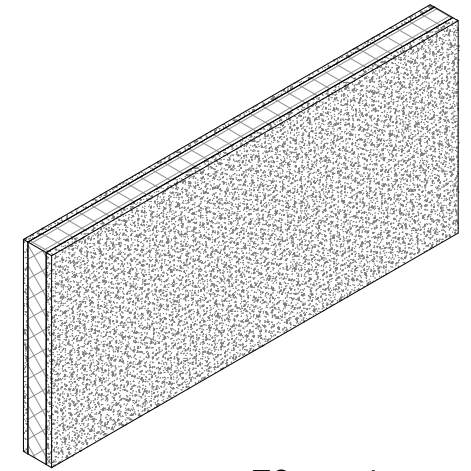


Indgående logistik

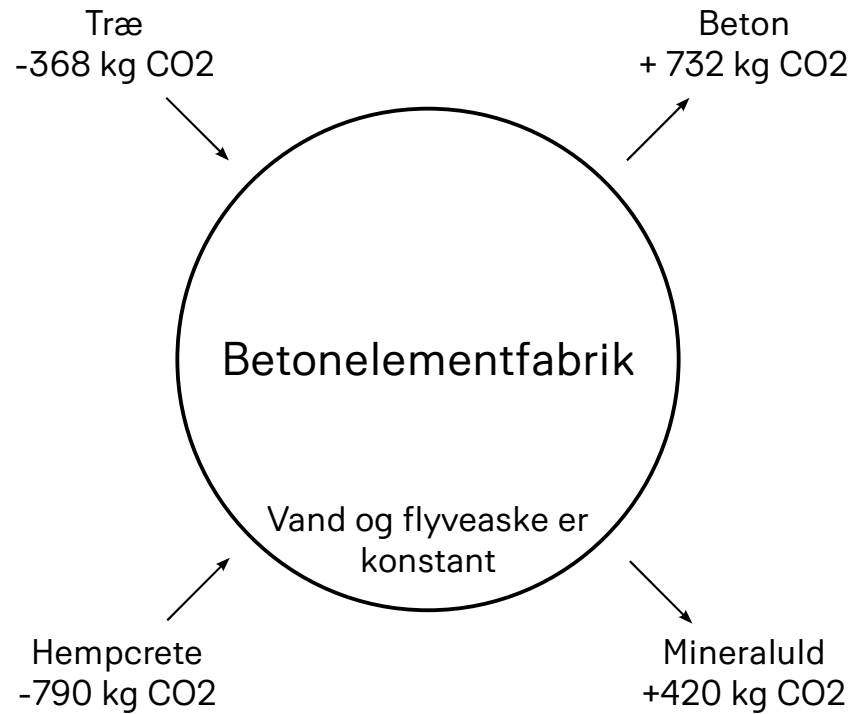
Materialer



135 mm hempcrete
195 mm hempcrete / træ
50 mm hempcrete
= 380 mm



70 mm beton
300 mm mineraluld
90 mm beton
= 460 mm

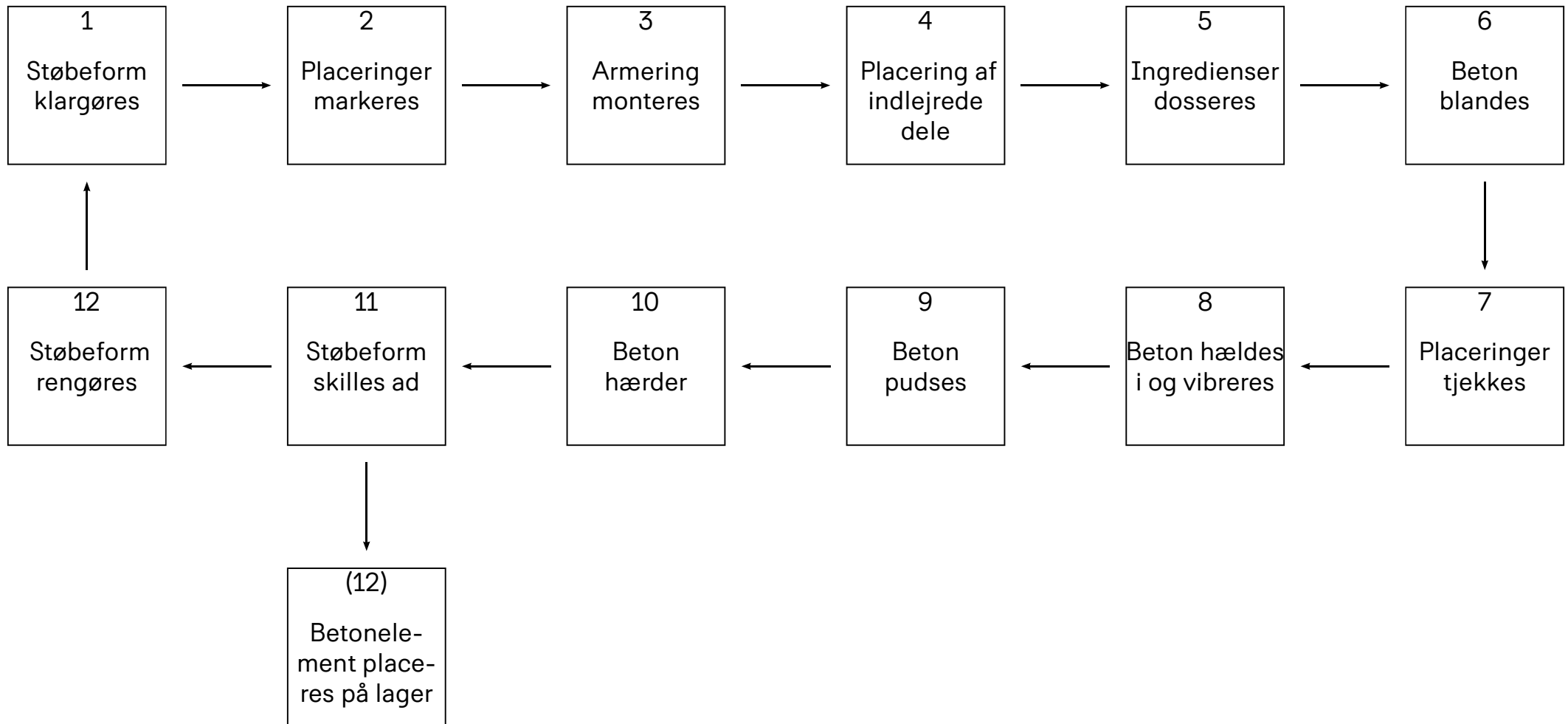


CO₂ difference på 2310 kg

Svarende til benzin forbruget på en gennemsnitlig personbil i 472 dage

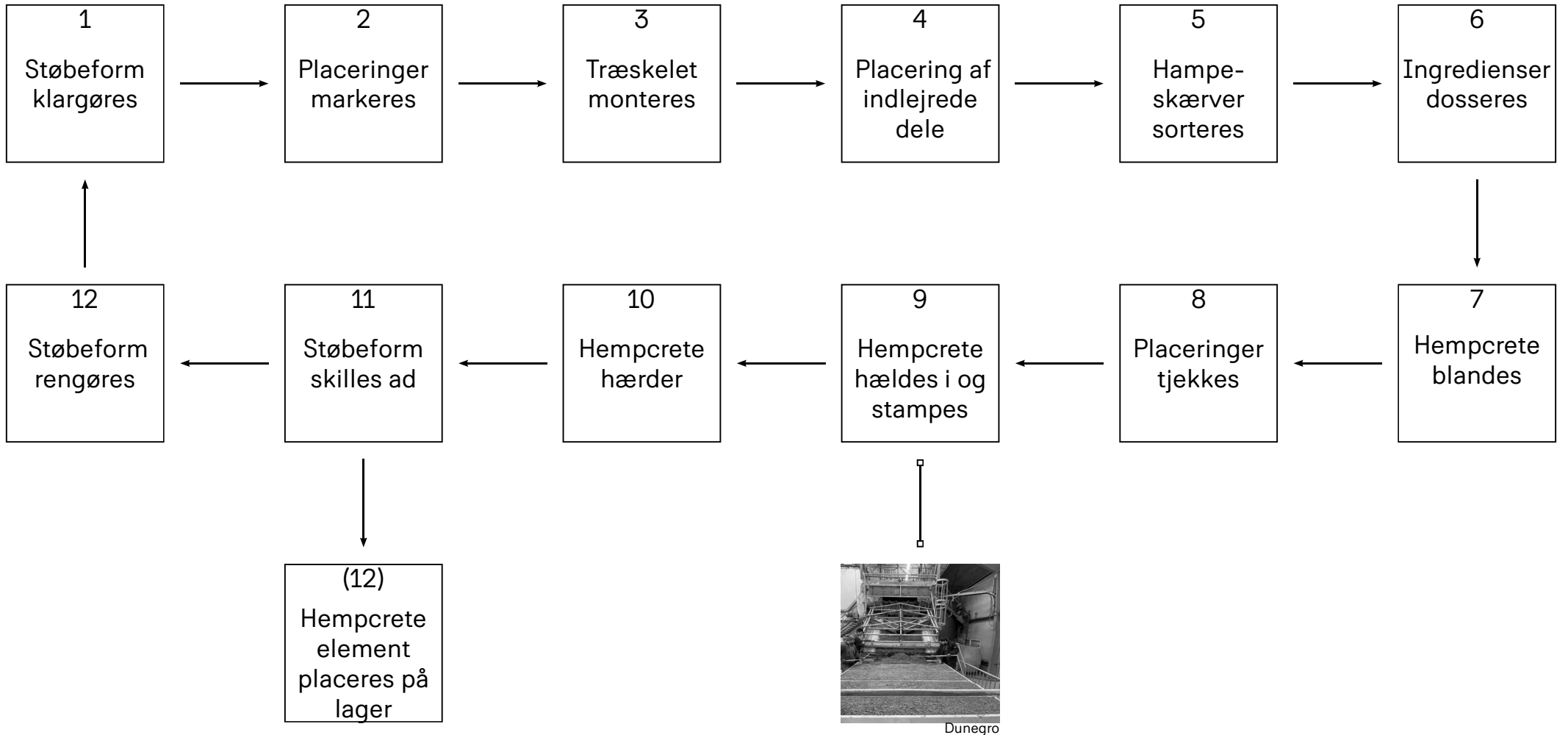
Produktion

Betonelement



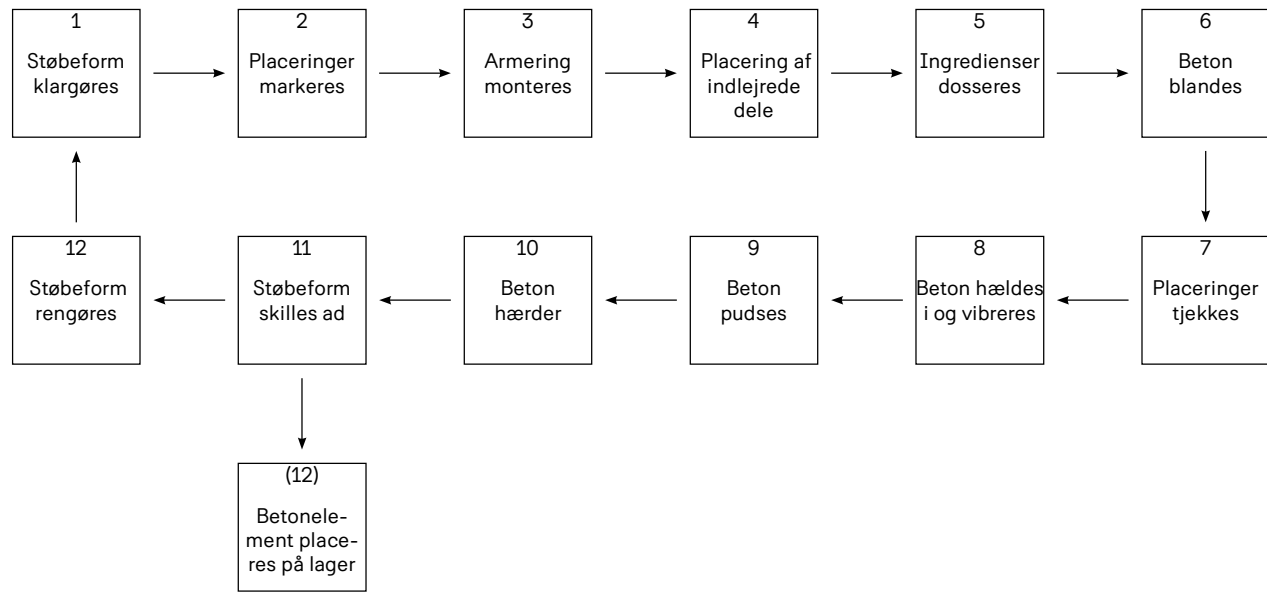
Produktion

Hempcrete element

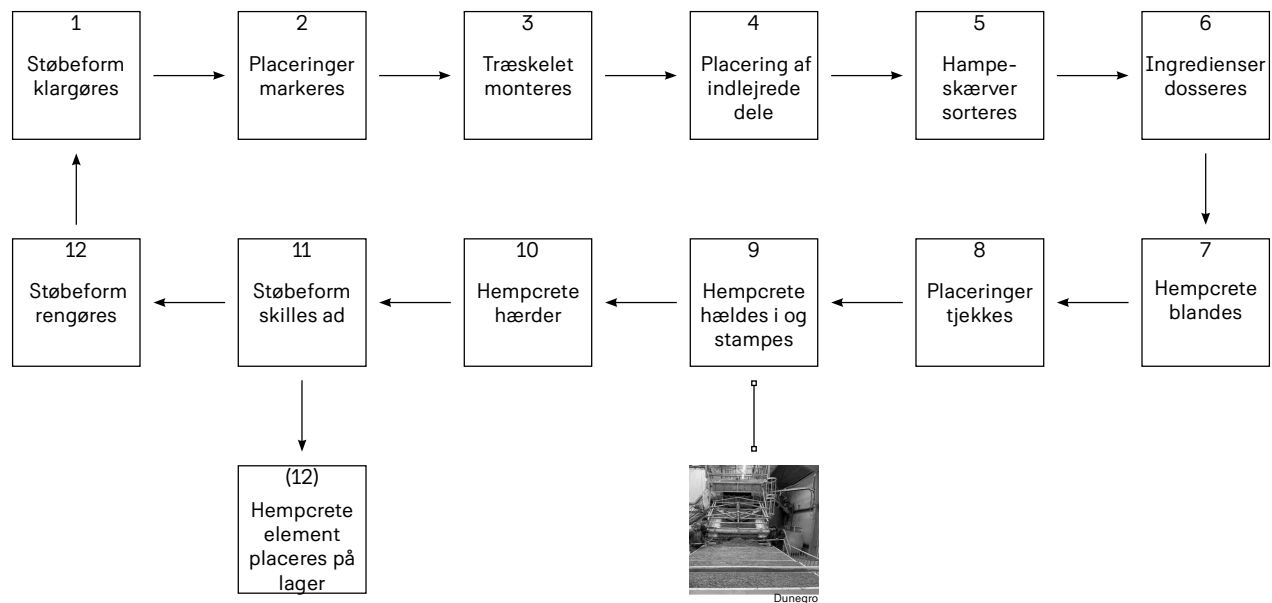


Produktion

Betonelement



Hempcrete element





MONTAGE

Transport

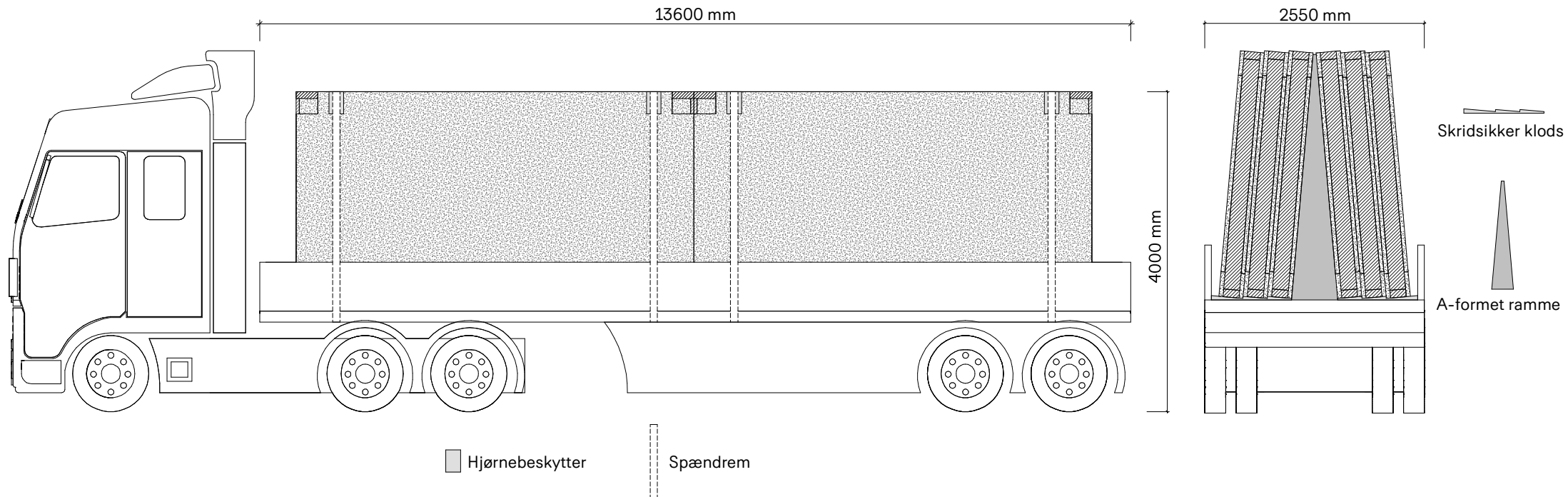
Bestemmelser for standard transport af elementer, med 3 aksler:

Længde: 13,6 meter

Højde: 4 meter

Bredde: 2,55 meter

Vægt: 24 ton



Bestemmelser for specialtransport af elementer, med 4 aksler:

Længde: 21 meter

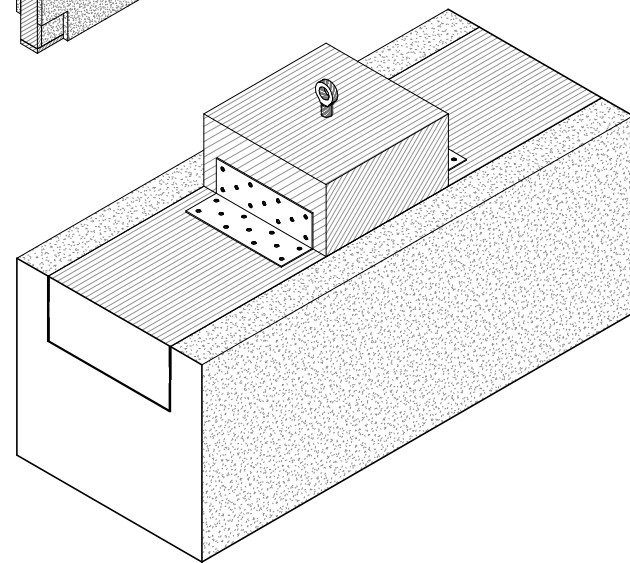
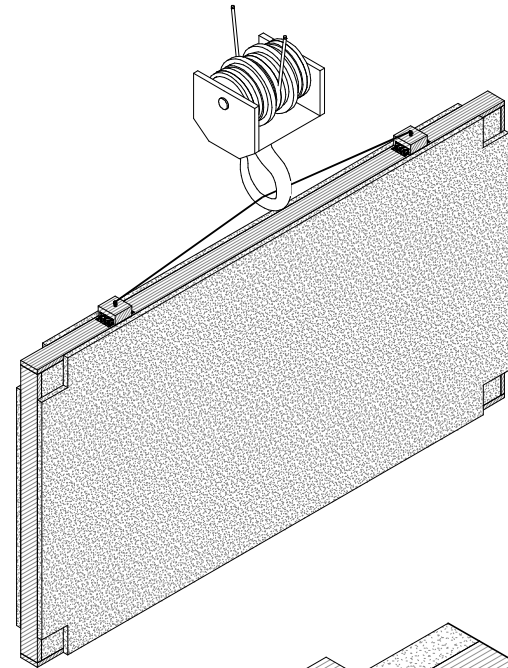
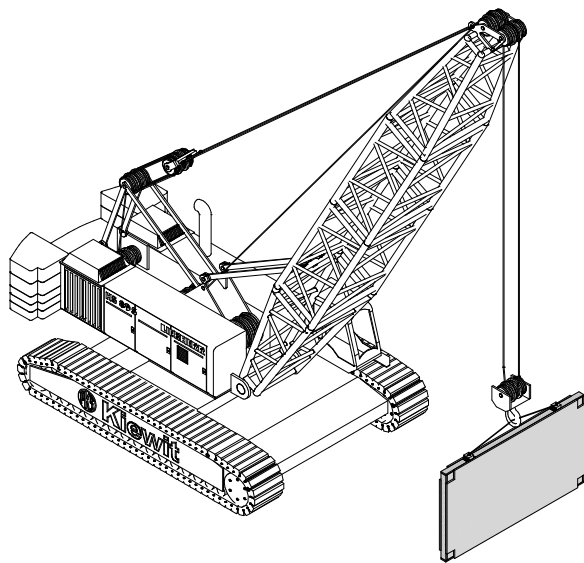
Højde: 4 meter

Bredde: 3,5 meter

Vægt: 32 ton

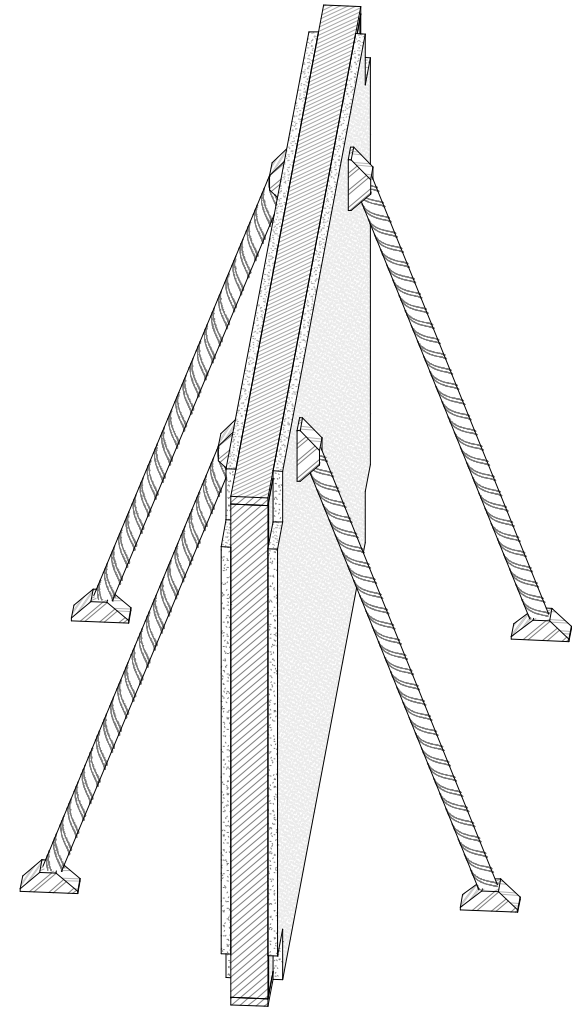
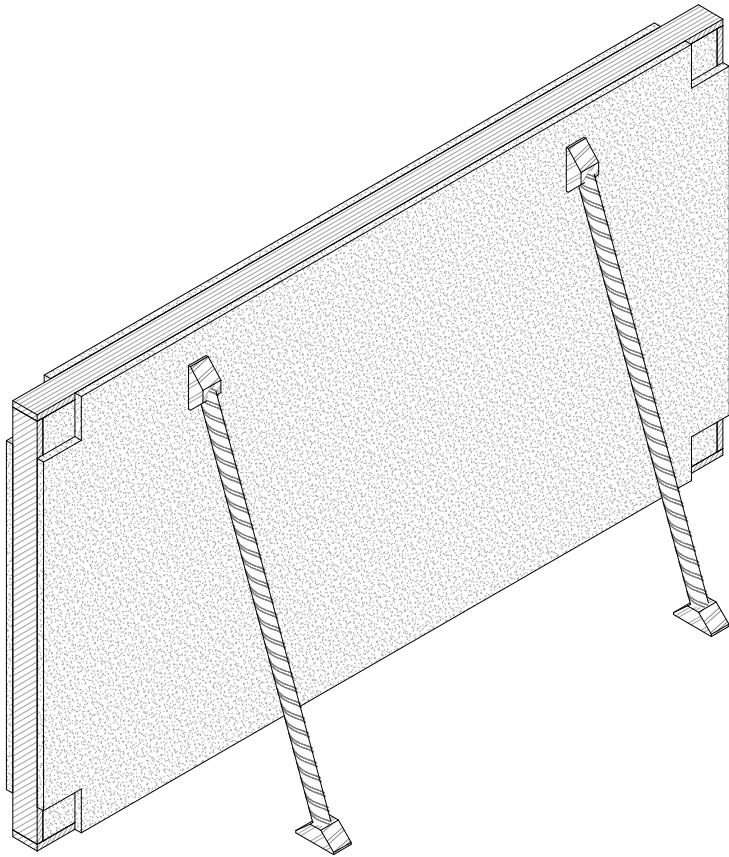
Håndtering

Løfteanker



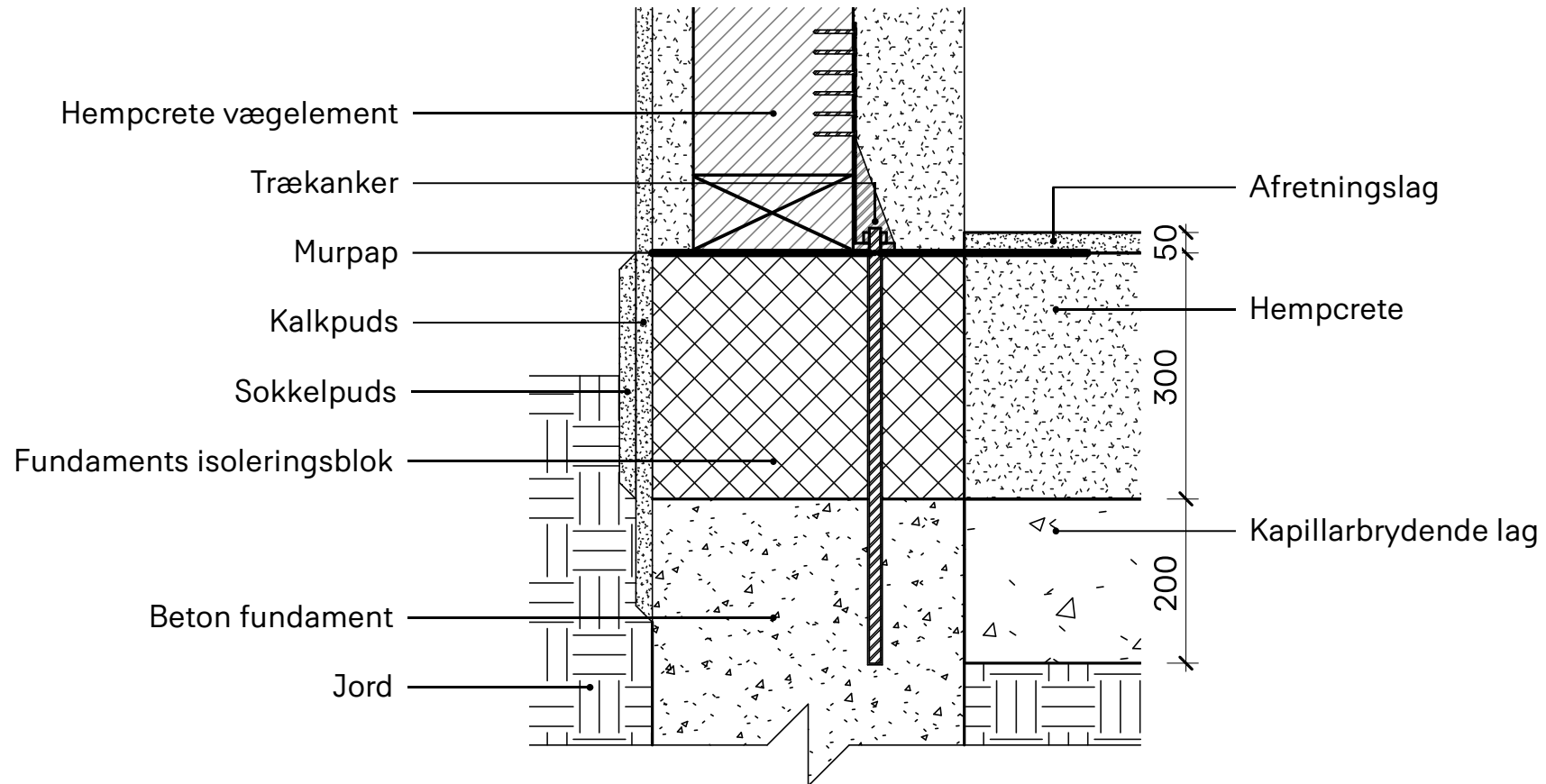
Håndtering

Midlertidigt støttes af elementstøttere



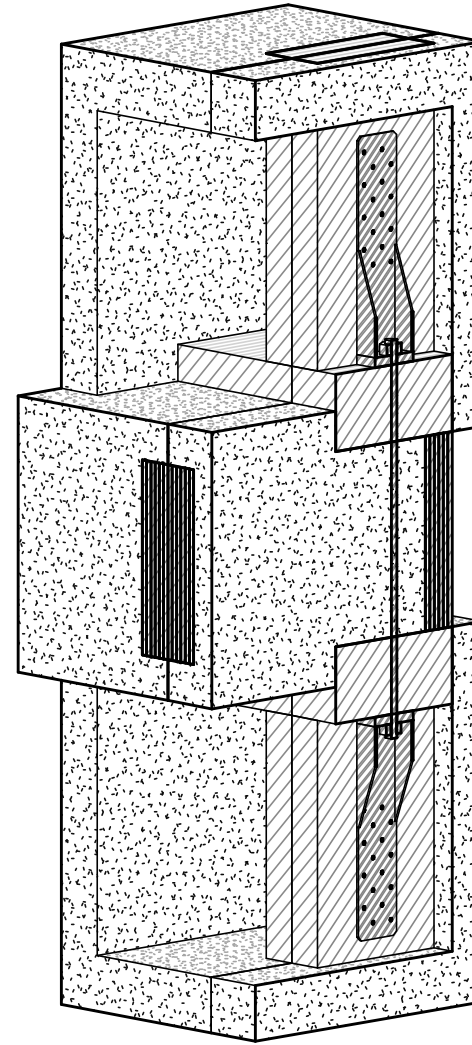
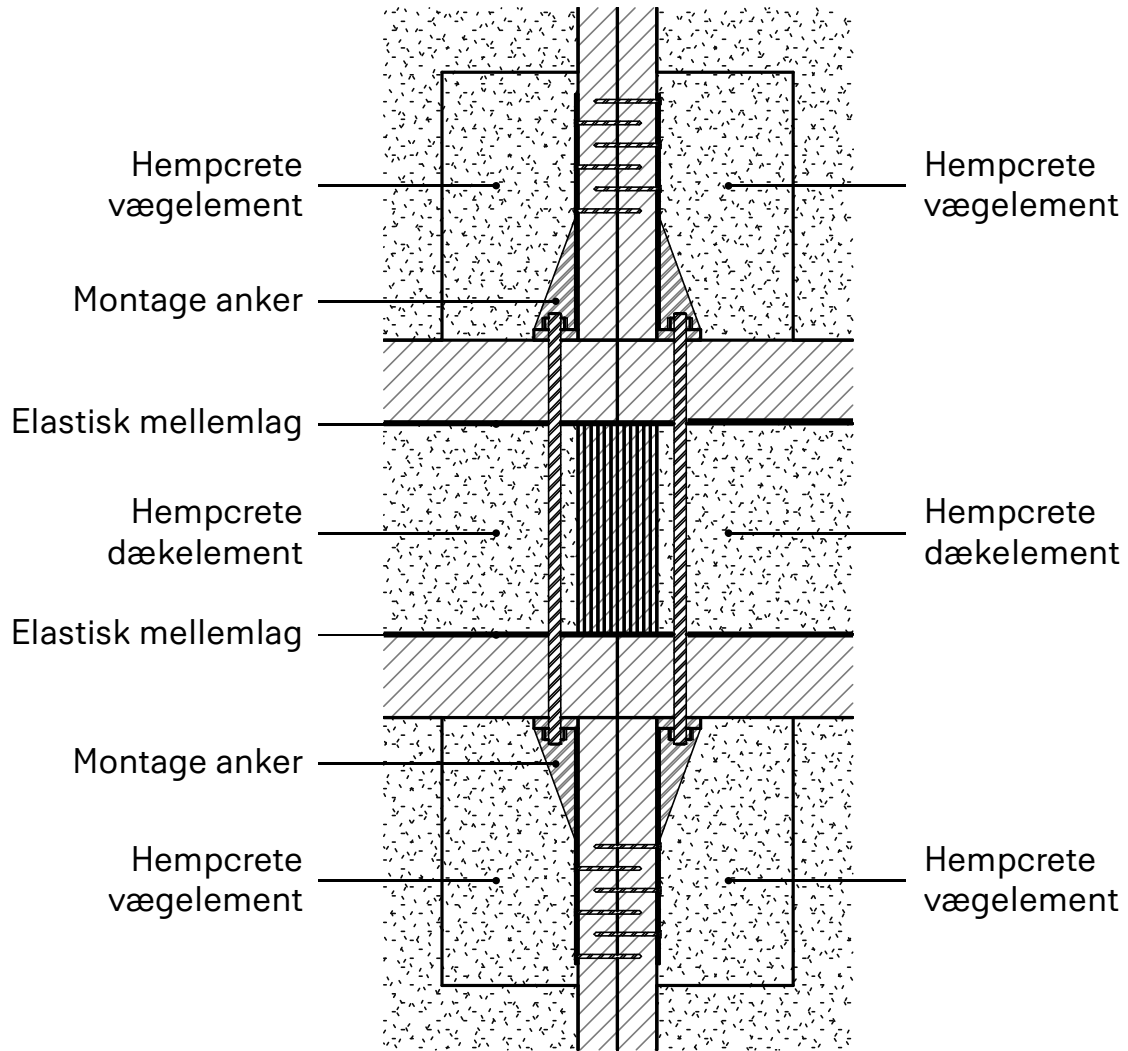
Montage

Terrændæk



Montage

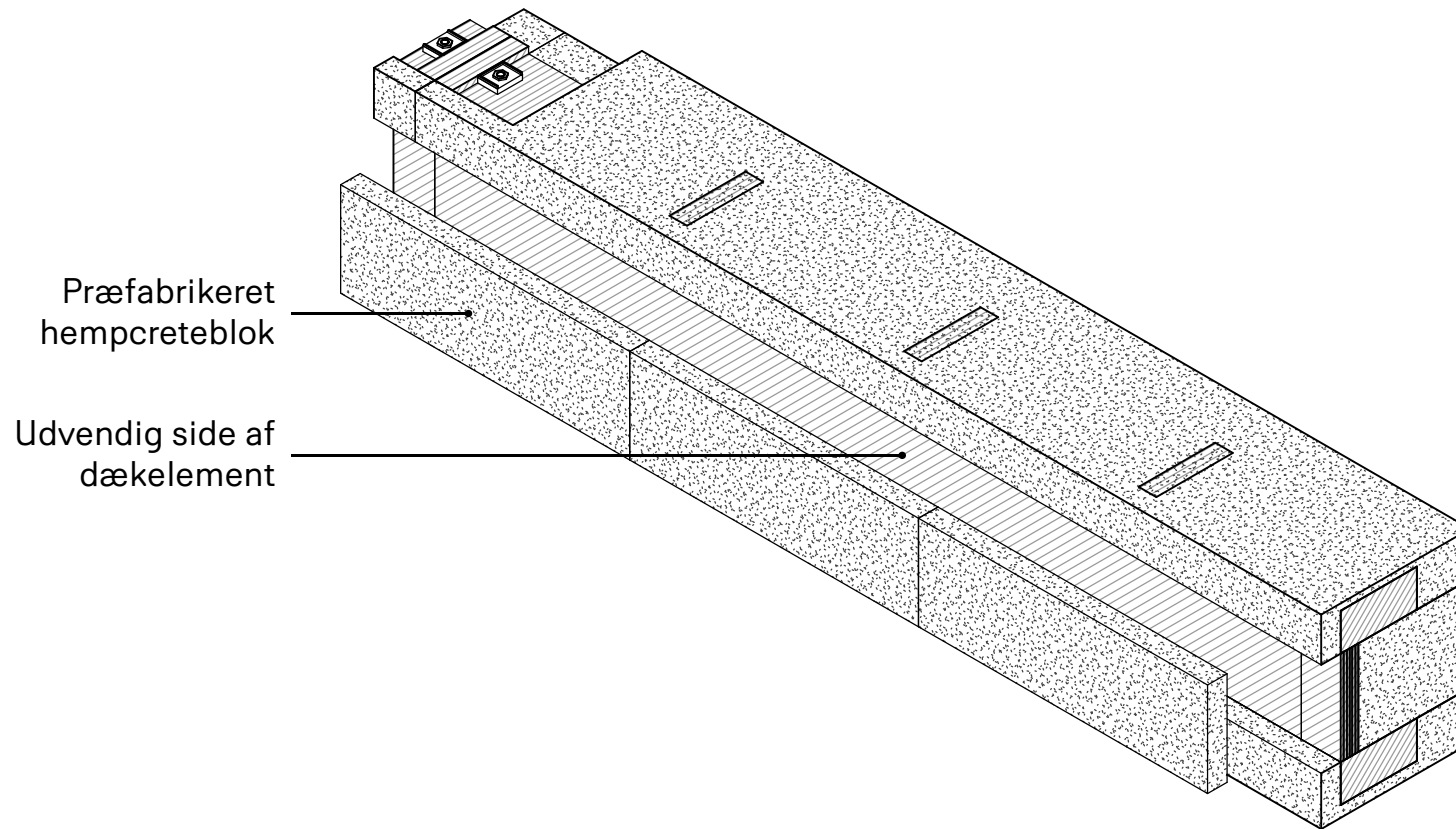
Etageadskillelse



Indvendig

Montage

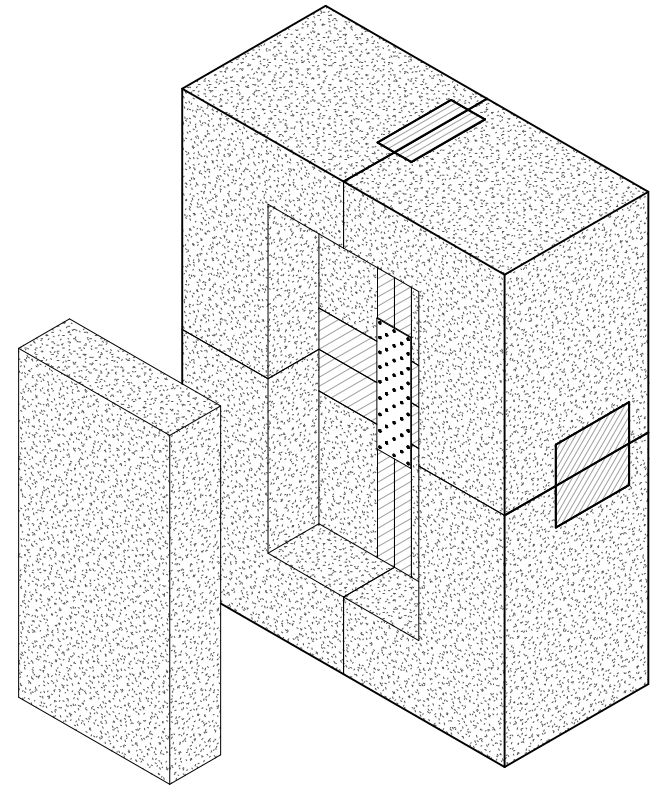
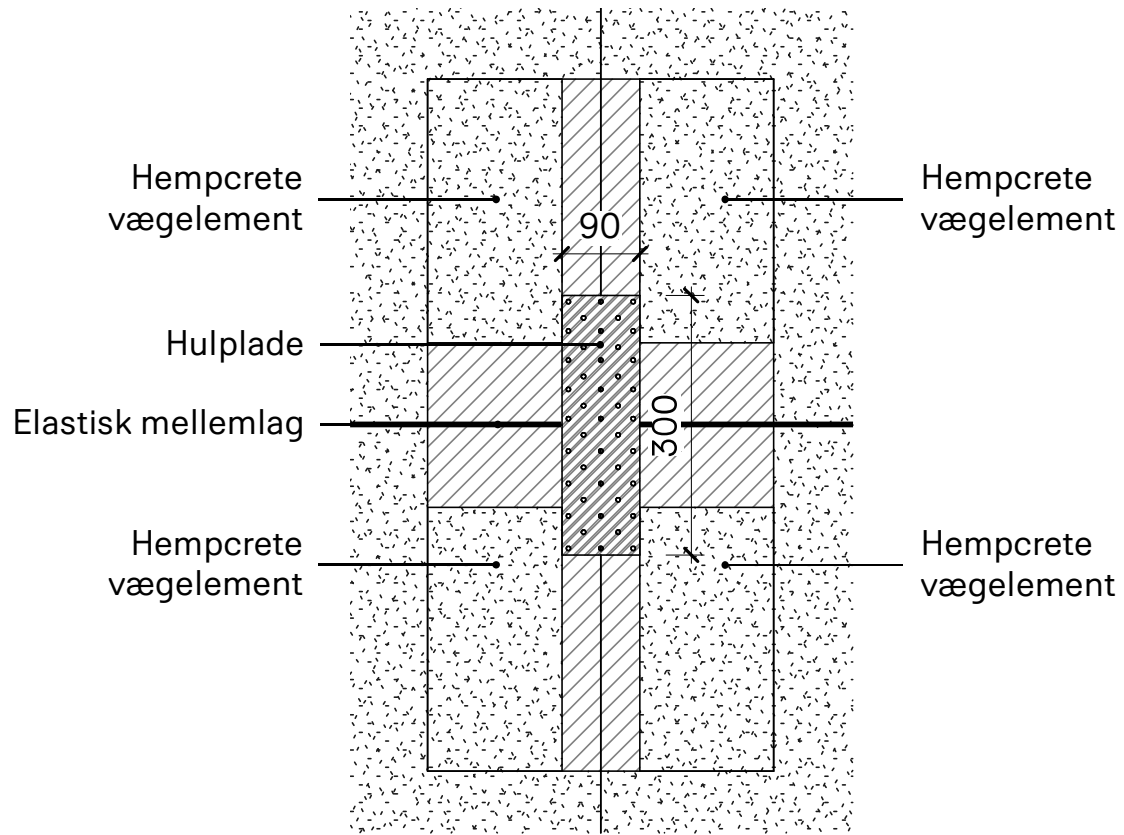
Etageadskillelse



Udvendig

Montage

Vægsamling

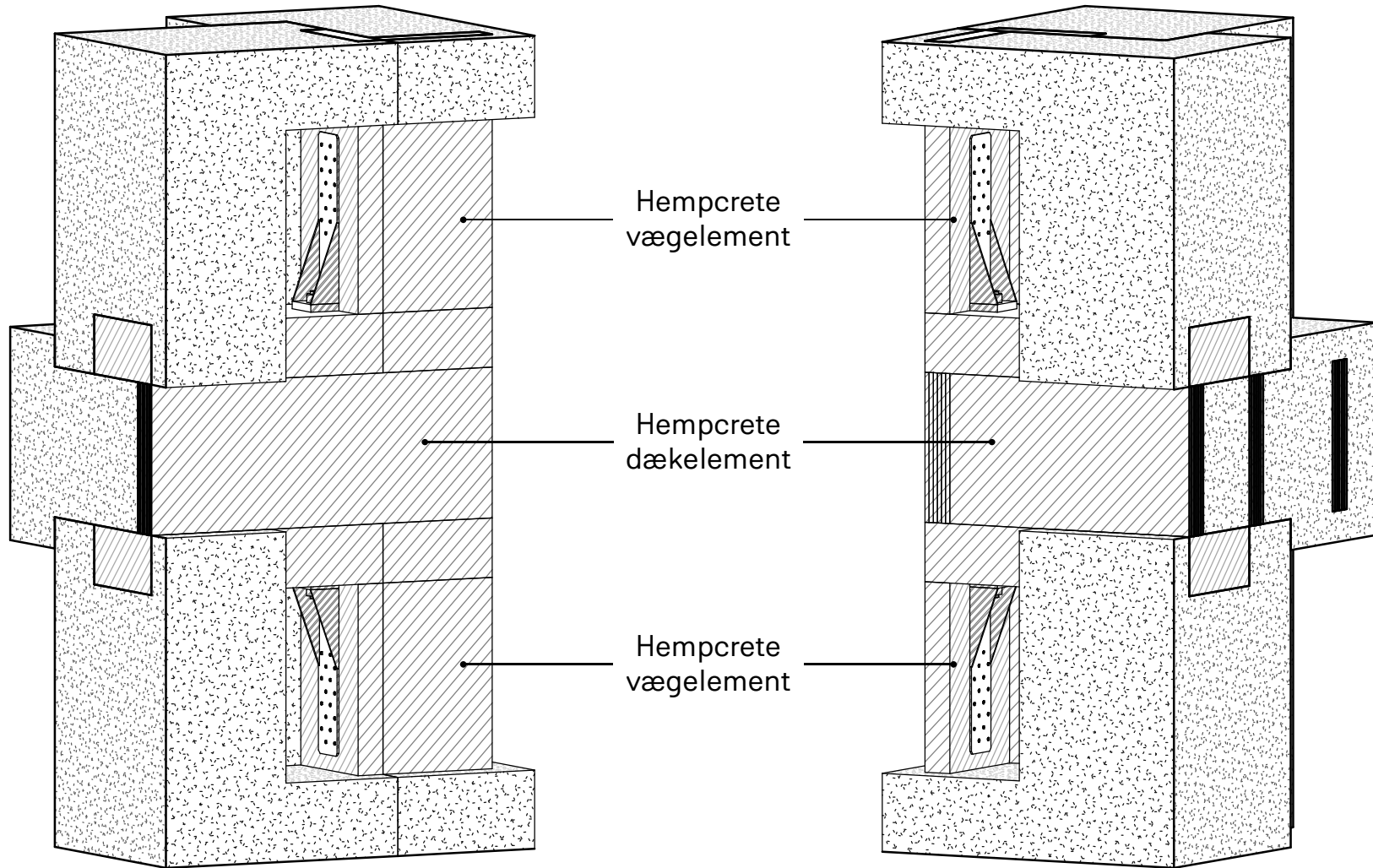


Løsning som potentielt kan udvikles for at gøre montering hurtigere og nemmere

Indvendig

Montage

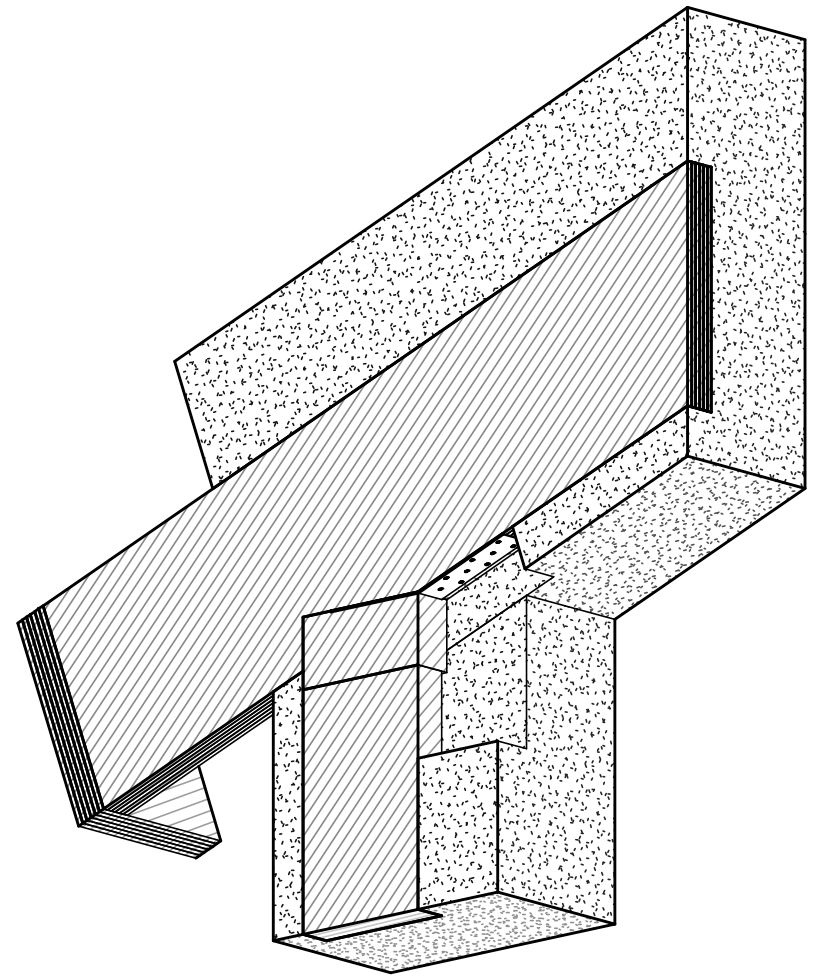
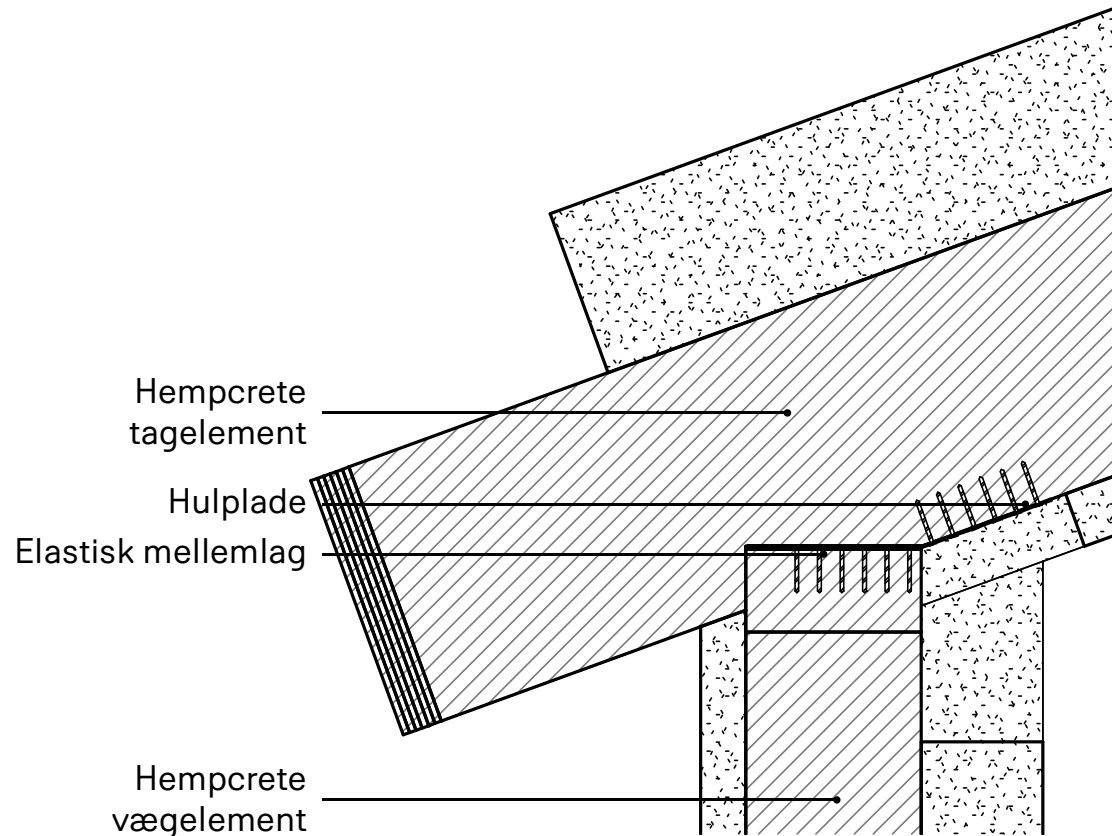
Vægsamling - Hjørne



Udvendig

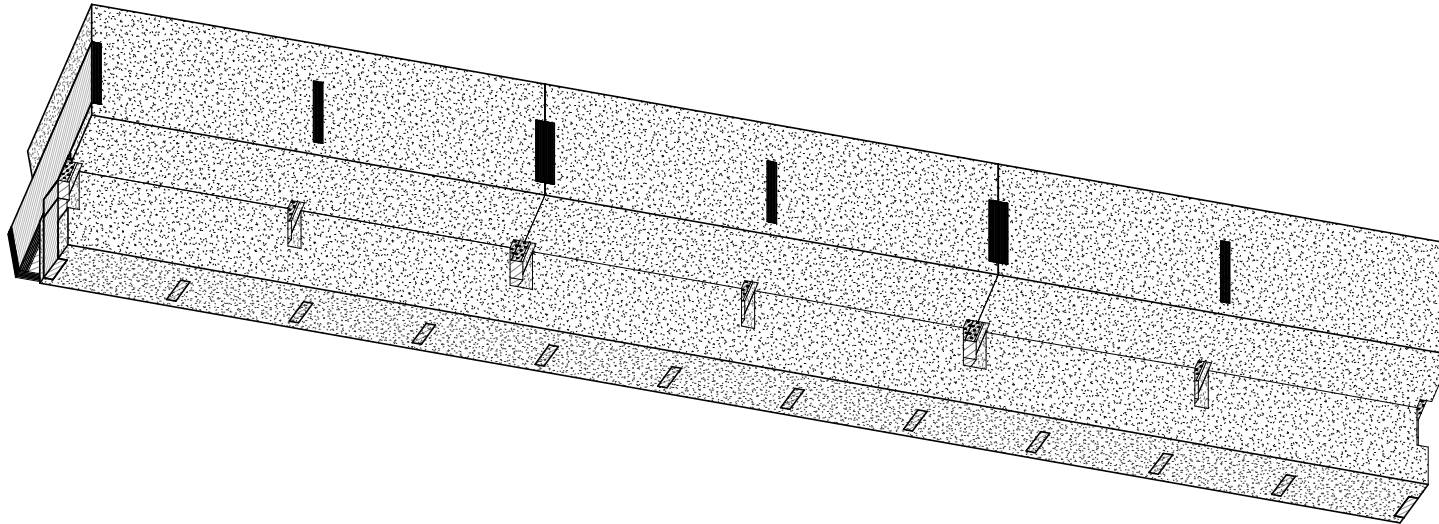
Montage

Tagfod



Montage

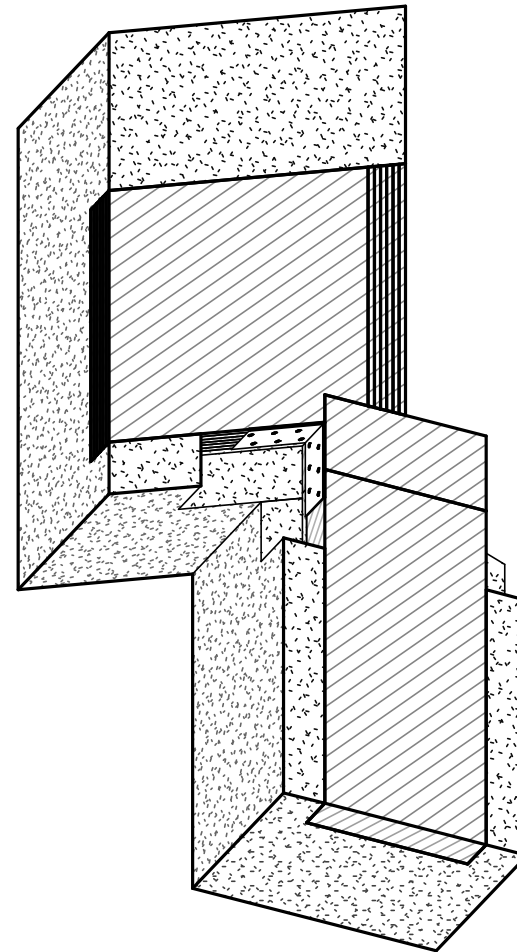
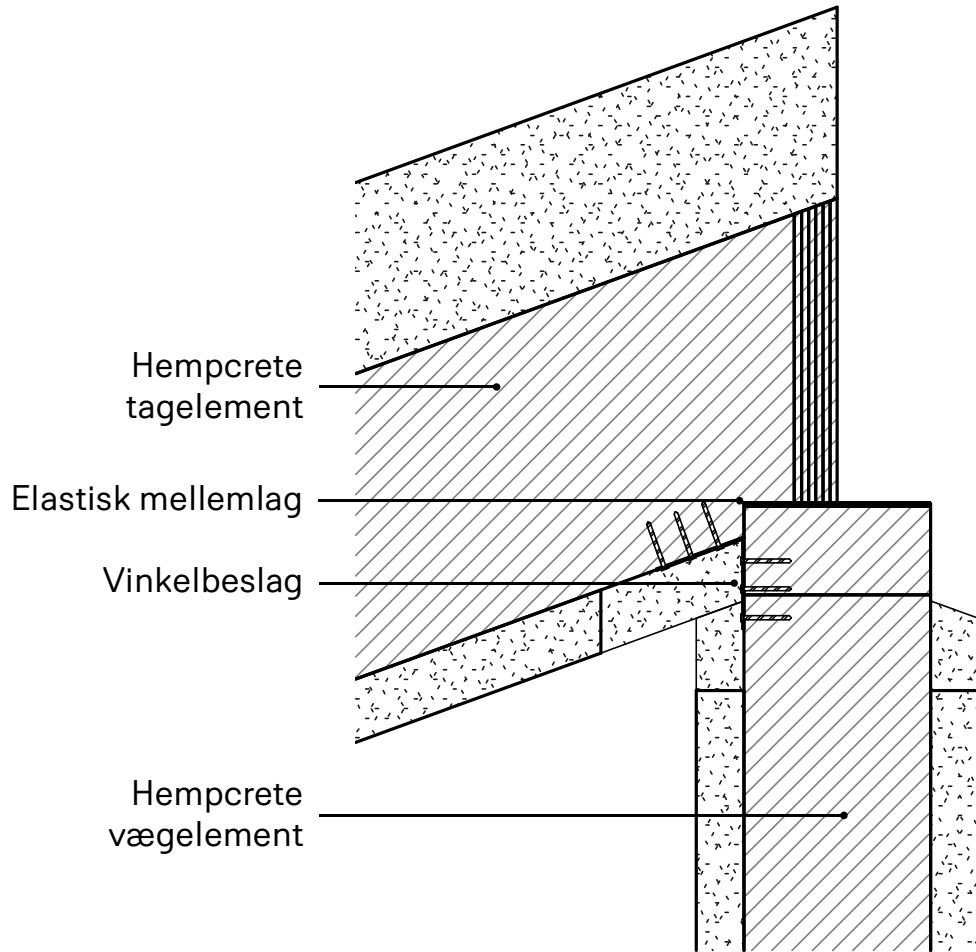
Tagfod



Indvendig

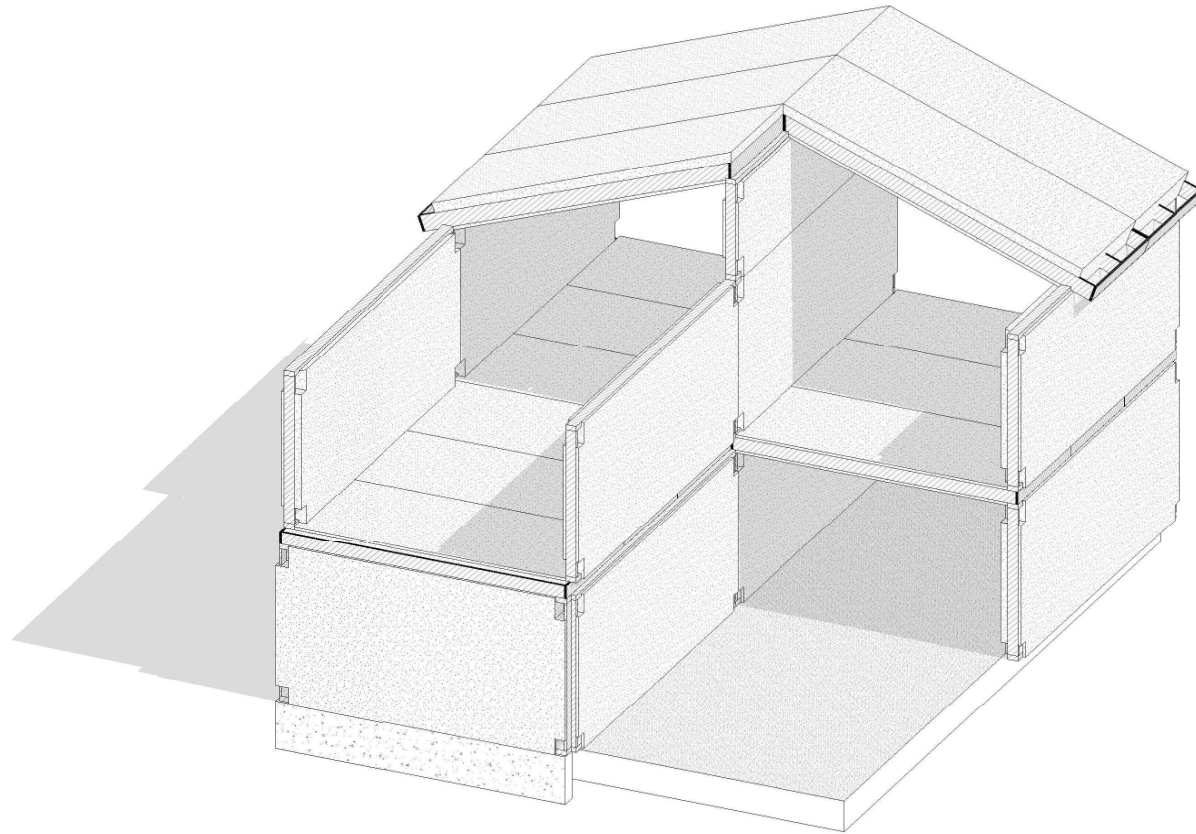
Montage

Kip

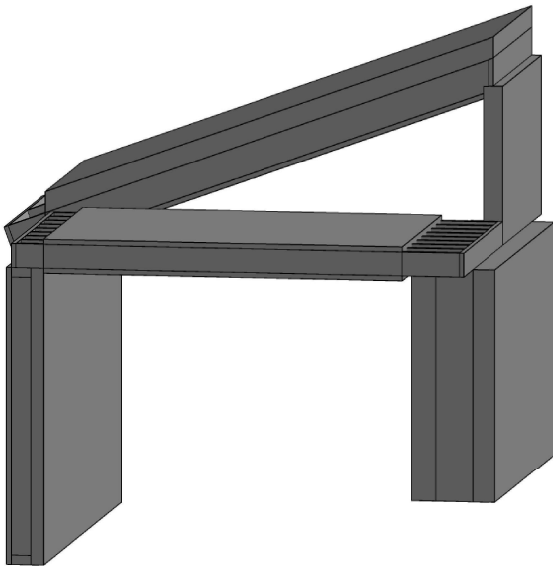


Indvendig

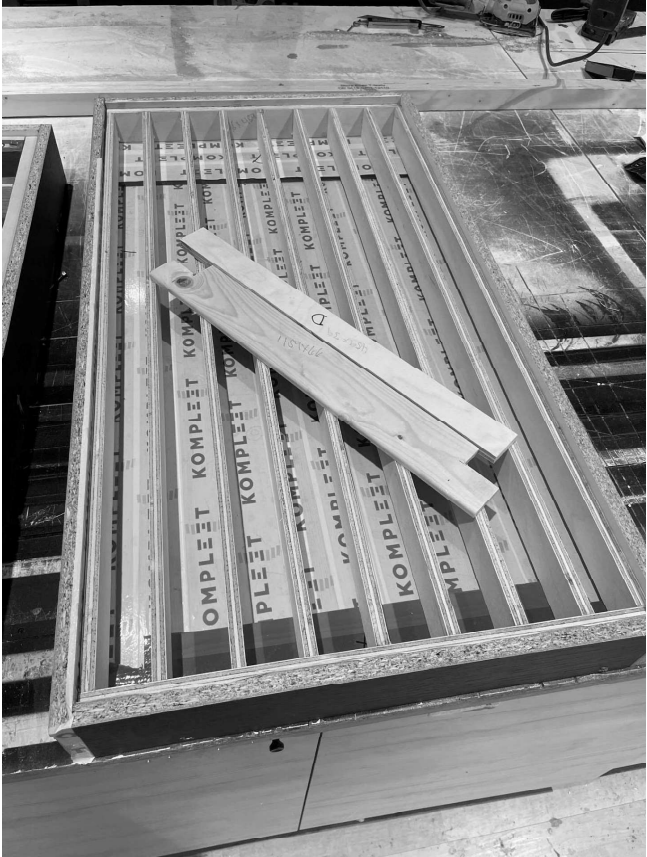
Råhus



Model



Model



Model



Overflader

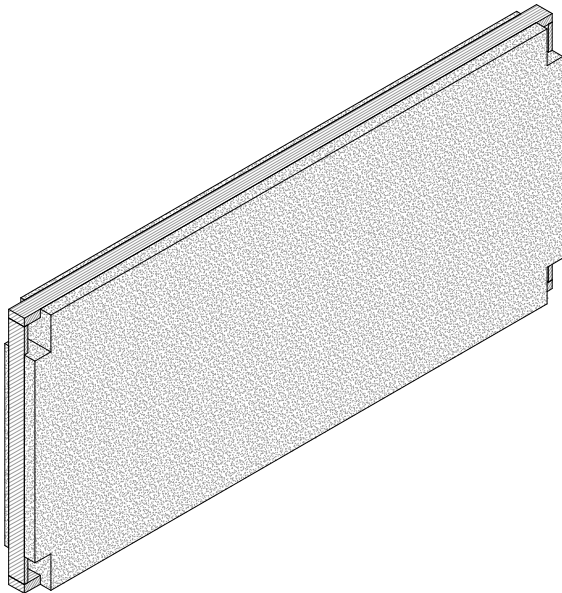
Rå hempcrete



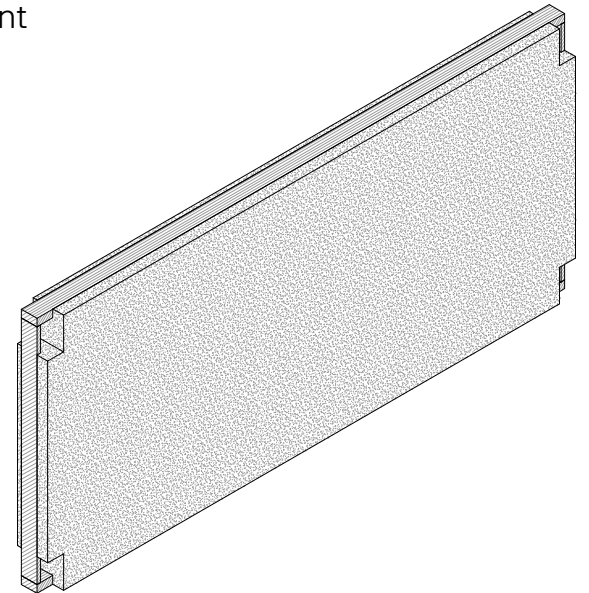
Puds



Basis element



Basis element

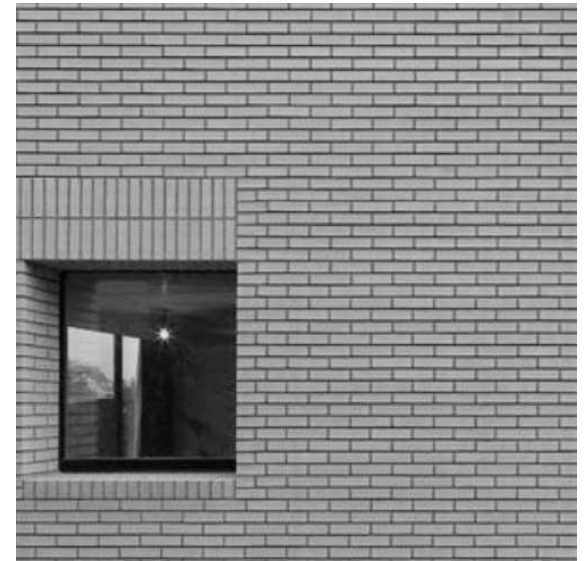


Overflader

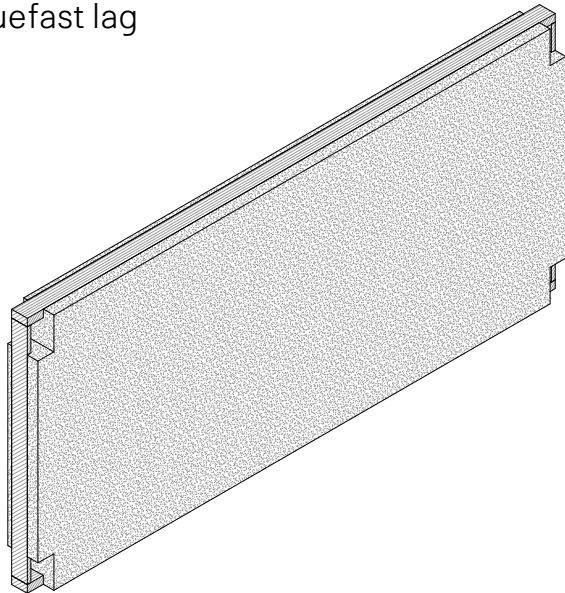
Let facade



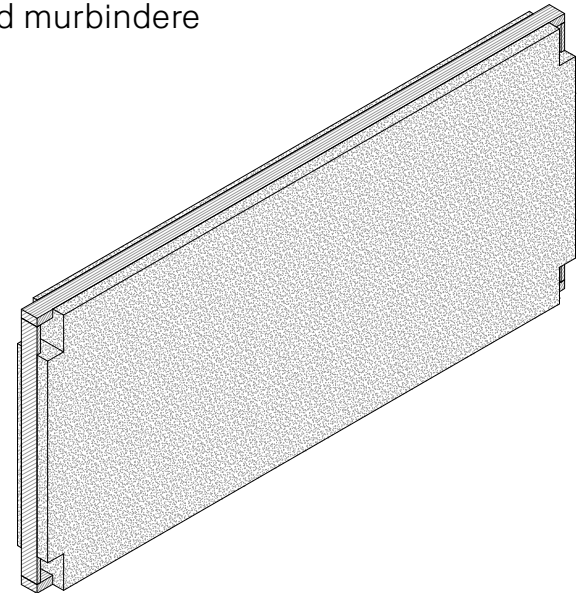
Tung facade



Element med skruefast lag



Element med murbindere

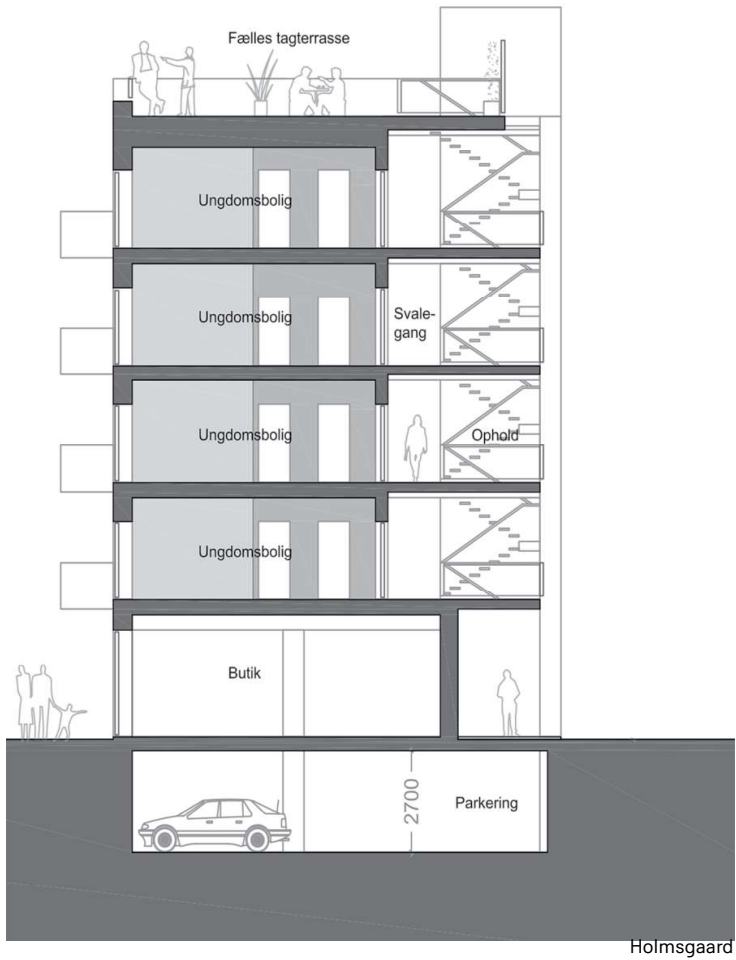




CASE

Anvendelse af hempcrete elementer i typisk betonbyggeri

P-kælder, butikker i stueetagen og ungdomsboligere



Bæreevne for C18 45x145 stolpe =
 $45/145 = 0,31$
 $0,31 * 194 * 0,6 = 36 \text{ kN}$

$107,6 \text{ kN/meter} / 36 \text{ kN/stolpe} = 2,98 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 2,98 \text{ stolpe/meter} = 0,33 \text{ meter C/C afstand}$

$215,2 \text{ kN/meter} / 36 \text{ kN/stolpe} = 5,97 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 5,97 \text{ stolpe/meter} / 1 \text{ m} = 0,16 \text{ meter C/C afstand}$

1. Sal

Bæreevne for C18 45x195 stolpe =
 $45/195 = 0,23$
 $0,23 * 507 * 0,6 = 70 \text{ kN}$

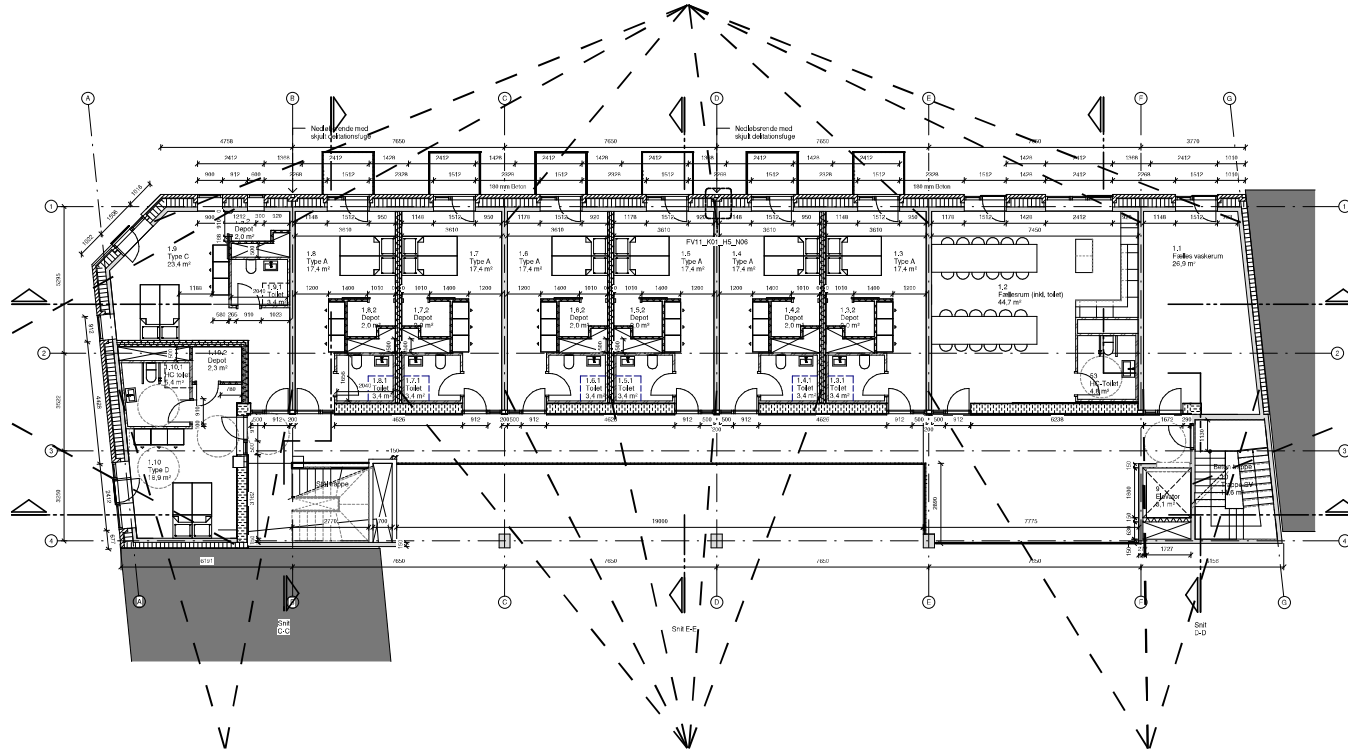
$107,6 \text{ kN/m} / 70 \text{ kN/stolpe} = 1,53 \text{ stolpe/m}$
 $1 \text{ meter} / 1,53 \text{ stolpe/meter} = 0,65 \text{ meter C/C afstand}$

$215,2 \text{ kN/m} / 70 \text{ kN/stolpe} = 3,07 \text{ stolpe/m}$
 $1 \text{ meter} / 3,07 \text{ stolpe/m} / 1 \text{ m} = 0,32 \text{ meter C/C afstand}$

Bærende betonvægge
- Spænd = 7,6 meter
- Min. bæreevne = 362,4 kN/m

Klimaskærm / Stabiliserende
hempcrete element
- U-værdi = 0,16 W/(m²K)

Skakt hempcrete element
- Brand = REI60 A2-s1,d0



Bærende hempcrete element
- Spænd = 7,6 m
- Min. bæreevne = 215,2 kN/m

Bærende hempcrete element
- Spænd = 3,8 m
- Min. bæreevne = 107,6 kN/m

Bærende hempcrete element
- Spænd = 7,6 m
- Min. bæreevne = 215,2 kN/m

45x195 mm C18, med C/C
afstand 32 cm

45x195 mm C18, med C/C
afstand 65 cm

45x195 mm C18, med C/C
afstand 32 cm

Bæreevne for C18 45x145 stolpe =
 $45/145 = 0,31$
 $0,31 * 194 * 0,6 = 36 \text{ kN}$

$82,6 \text{ kN/meter} / 36 \text{ kN/stolpe} = 2,29 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 2,29 \text{ stolpe/meter} = 0,43 \text{ meter C/C afstand}$

$165,2 \text{ kN/meter} / 36 \text{ kN/stolpe} = 4,58 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 4,58 \text{ stolpe/meter} / 1 \text{ m} = 0,21 \text{ meter C/C afstand}$

2. Sal

Bæreevne for C18 45x195 stolpe =
 $45/195 = 0,23$
 $0,23 * 507 * 0,6 = 70 \text{ kN}$

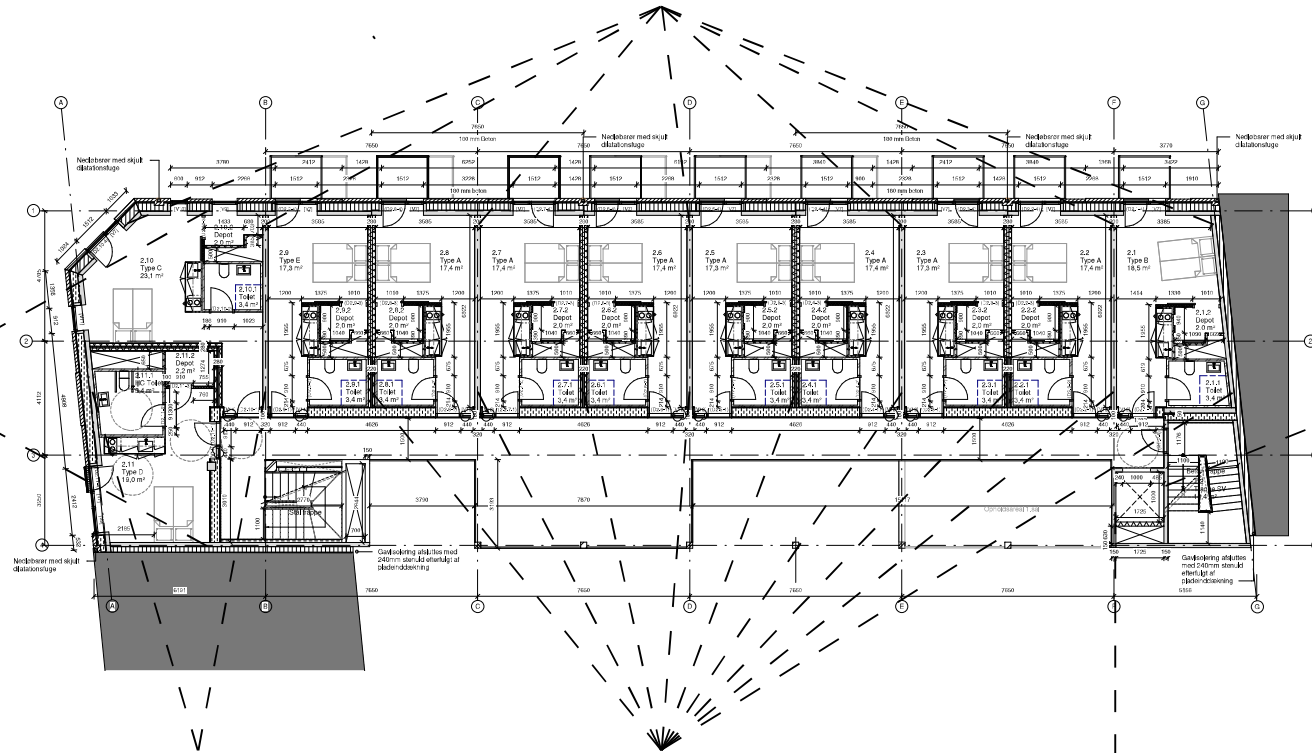
$82,6 \text{ kN/meter} / 70 \text{ kN/stolpe} = 1,18 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 1,18 \text{ stolpe/meter} = 0,84 \text{ meter C/C afstand}$

$165,2 \text{ kN/meter} / 70 \text{ kN/stolpe} = 2,36 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 2,36 \text{ stolpe/meter} = 0,42 \text{ meter C/C afstand}$

Bærende betonvægge
 - Spænd = 7,6 meter
 - Min. bæreevne = 283,7 kN/m

Klimaskærm / Stabiliserende
 hempcrete element
 - U-værdi = 0,16 W/(m²K)

Skakt hempcrete element
 - Brand = REI60 A2-s1,d0



Bærende hempcrete element
 - Spænd = 7,6 m
 - Min. bæreevne = 165,2 kN/m

45x195 mm C18, med C/C
 afstand 42 cm

Bærende hempcrete element
 - Spænd = 3,8 m
 - Min. bæreevne = 82,6 kN/m

45x195 mm C18, med C/C af-
 stand 84 cm

Bærende hempcrete element
 - Spænd = 7,6 m
 - Min. bæreevne = 165,2 kN/m

45x195 mm C18, med C/C
 afstand 42 cm

Bæreevne for C18 45x145 stolpe =
 $45/145 = 0,31$
 $0,31 * 194 * 0,6 = 36 \text{ kN}$

$57,7 \text{ kN/meter} / 36 \text{ kN/stolpe} = 1,60 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 1,60 \text{ stolpe/meter} = 0,62 \text{ meter C/C afstand}$

$115,4 \text{ kN/meter} / 36 \text{ kN/stolpe} = 3,20 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 3,20 \text{ stolpe/meter} / 1 \text{ m} = 0,31 \text{ meter C/C afstand}$

3. Sal

Bæreevne for C18 45x195 stolpe =
 $45/195 = 0,23$
 $0,23 * 507 * 0,6 = 70 \text{ kN}$

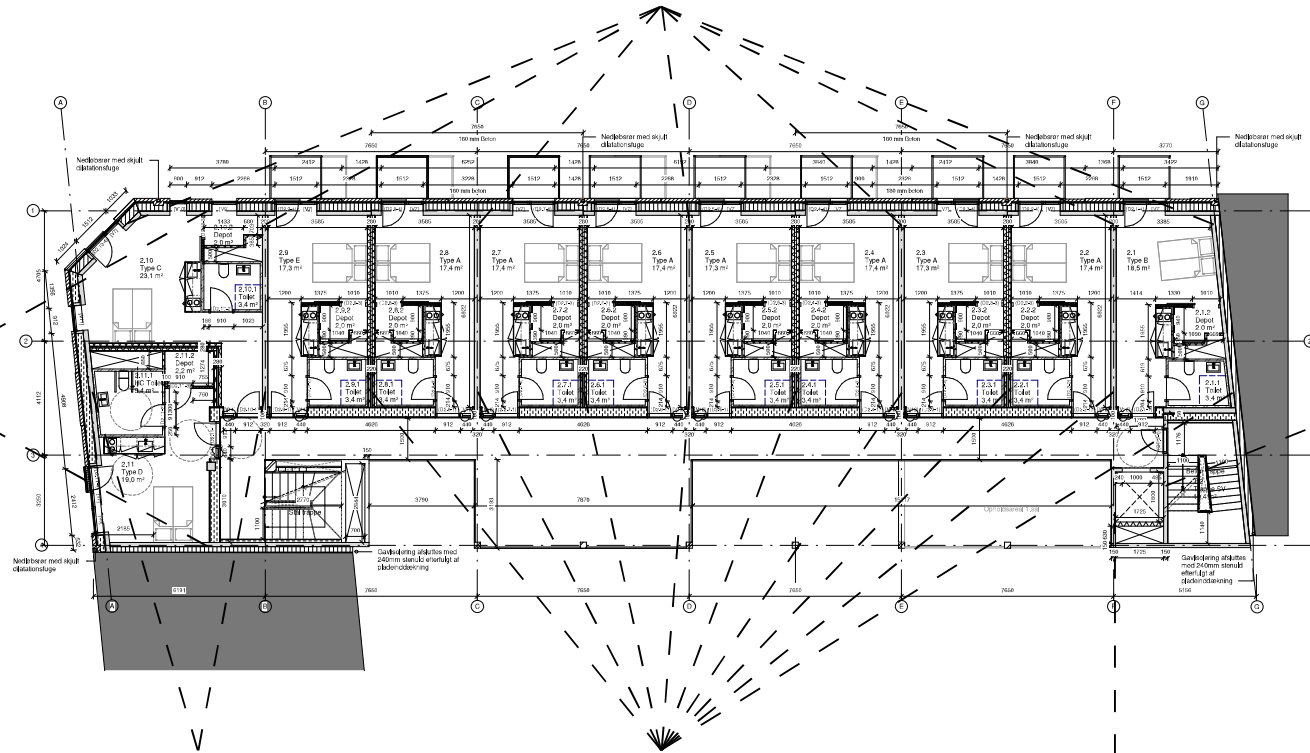
$57,7 \text{ kN/meter} / 70 \text{ kN/stolpe} = 0,82 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 0,82 \text{ stolpe/meter} = 1,21 \text{ meter C/C afstand}$

$115,4 \text{ kN/meter} / 70 \text{ kN/stolpe} = 1,64 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 1,64 \text{ stolpe/meter} = 0,60 \text{ meter C/C afstand}$

Bærende betonvægge
- Spænd = 7,6 meter
- Min. bæreevne = 205 kN/m

Klimaskærm / Stabiliserende
hempcrete element
- U-værdi = 0,16 W/(m²K)

Skakt hempcrete element
- Brand = REI60 A2-s1,d0



Bærende hempcrete element
- Spænd = 7,6 m
- Min. bæreevne = 115,4 kN/m

45x195 mm C18, med C/C
afstand 60 cm

Bærende hempcrete element
- Spænd = 3,8 m
- Min. bæreevne = 57,7 kN/m

45x145 mm C18, med C/C
afstand 62 cm

Bærende hempcrete element
- Spænd = 7,6 m
- Min. bæreevne = 115,4 kN/m

45x195 mm C18, med C/C
afstand 60 cm

4. Sal

Bæreevne for C18 45x145 stolpe =
 $45/145 = 0,31$
 $0,31 * 194 * 0,6 = 36 \text{ kN}$

$32,8 \text{ kN/meter} / 36 \text{ kN/stolpe} = 0,91 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 0,91 \text{ stolpe/meter} = 1,10 \text{ meter C/C afstand}$

$65,6 \text{ kN/meter} / 36 \text{ kN/stolpe} = 1,82 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 1,82 \text{ stolpe/meter} / 1 \text{ m} = 0,55 \text{ meter C/C afstand}$

Bæreevne for C18 45x195 stolpe =
 $45/195 = 0,23$
 $0,23 * 507 * 0,6 = 70 \text{ kN}$

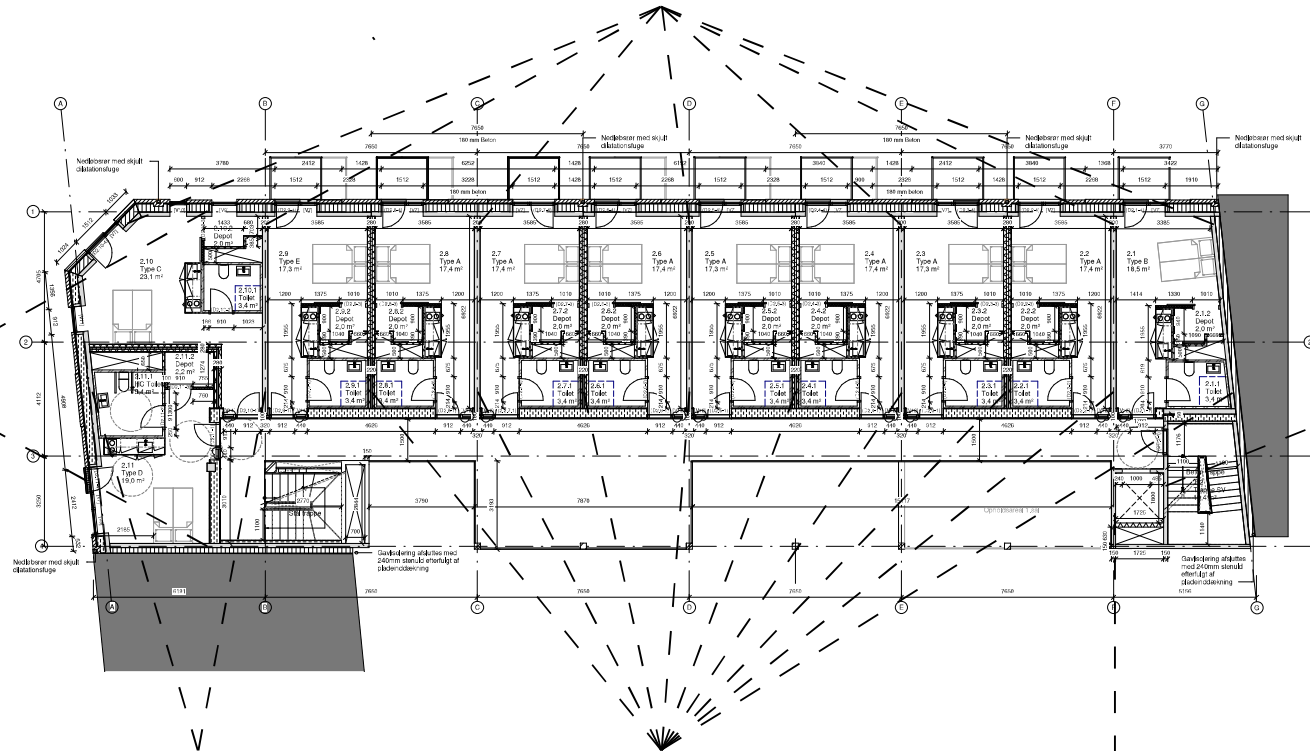
$32,8 \text{ kN/meter} / 70 \text{ kN/stolpe} = 0,46 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 0,46 \text{ stolpe/meter} = 2,17 \text{ meter C/C afstand}$

$65,6 \text{ kN/meter} / 70 \text{ kN/stolpe} = 0,93 \text{ stolpe/meter}$
 $1 \text{ meter} / 0,93 \text{ stolpe/meter} / 1 \text{ m} = 1,07 \text{ meter C/C afstand}$

Bærende betonnægge
 - Spænd = 7,6 meter
 - Min. bæreevne = 116,8 kN/m

Klimaskærm / Stabiliserende
 hempcrete element
 - U-værdi = 0,16 W/(m²K)

Skakt hempcrete element
 - Brand = REI60 A2-s1,d0



Bærende hempcrete element
 - Spænd = 7,6 m
 - Min. bæreevne = 65,6 kN/m

45x145 mm C18, med C/C af-
 stand 55 cm

Bærende hempcrete element
 - Spænd = 3,8 m
 - Min. bæreevne = 32,8 kN/m

45x145 mm C18, med C/C af-
 stand 110 cm

Bærende hempcrete element
 - Spænd = 7,6 m
 - Min. bæreevne = 65,6 kN/m

45x145 mm C18, med C/C af-
 stand 55 cm

Betydning

VÆGTYPEN	BÆRENDE KLIMASKÆRM H: 3000 mm / L: 4800mm		BÆRENDE INDVENDIG H: 3000 mm / L: 4800mm		STABILISERENDE KLIMASKÆRM H: 3000 mm / L: 4800mm		STABILISERENDE INDVENDIGE H: 3000 mm / L: 4800mm		ADSKILLENDE - BRAND +/- LYD SKAKT H: 3000 mm / L: 4800mm	
	BETON ELEMENT 300 mm stenuld 150 mm beton	HEMPCRETE ELEMENT 135 mm hempcrete 45 x 195 mm C18, C/C 60 cm 50 mm hempcrete	BETON ELEMENT 200 mm beton	HEMPCRETE ELEMENT 50 mm hempcrete 45 x 195 mm C18, C/C 60 cm 50 mm hempcrete	BETON ELEMENT 300 mm stenuld 150 mm beton	HEMPCRETE ELEMENT 125 mm hempcrete 45 x 195 mm C18, C/C 120 cm 50 mm hempcrete	BETON ELEMENT 150 mm beton	HEMPCRETE ELEMENT 50 mm hempcrete 45 x 95 mm C18, C/C 120 cm 50 mm hempcrete	BETON ELEMENT 150 mm beton	HEMPCRETE ELEMENT 50 mm hempcrete 45 x 95 mm resttræ, C/C 120 cm 50 mm hempcrete
Styrke	362,4 kN/m	116,62 kN/m	362,4 kN/m	116,62 kN/m	-	-	-	-	-	-
CO2	797 kg CO2	-738 kg CO2	659,5 kg CO2	-604,3 kg CO2	797 kg CO2	-654 kg CO2	494,6 kg CO2	-371 kg CO2	494,6 kg CO2	-354 kg CO2
Materialepris	4940 kr. ex. moms	5107 kr. ex. moms	3515 kr. ex. moms	4086,8 kr. ex. moms	4940 kr. ex. moms	4918 kr. ex. moms	2637 kr. ex. moms	2747 kr. ex. moms	2637 kr. ex. moms	2843 kr. ex. moms
Vægt	5214 kg	1546 kg	6768 kg	1210,8 kg	5214 kg	1486 kg	5076 kg	792 kg	5076 kg	786 kg
Tykkelse	450 mm	380 mm	200 mm	295 mm	450 mm	370 mm	150 mm	195 mm	150 mm	195 mm
U-Værdi	0,16 W/(m2K)	0,16 W/(m2K)	4,07 W/(m2K)	0,21 W/(m2K)	0,16 W/(m2K)	0,16 W/(m2K)	4,41 W/(m2K)	0,30 W/(m2K)	4,41 W/(m2K)	0,30 W/(m2K)
Meter væg	44	44	140	224	118	118	35	35	48	48
Samlet - CO2	7306	-6765	19235	-28201	19593	-16078	3606	-2705	4946	-3540
Samlet - Materialepris	45283	46814	102521	190717	121442	120901	19228	20030	26370	28430
Samlet - Vægt	47795	14172	197400	56504	128178	36531	37013	5775	50760	7860
Samlet - CO2	54.687 kg CO2					-57.288 kg CO2				
Samlet - Materialepris	314.844 kr. ex. moms					406.893 kr. ex. moms				
Samlet - Vægt	461.145 kg					120.842 kg				
Samlet - M2 væg	1407 M2									
Difference - CO2	111.975 kg CO2									
Difference - Materialepris	92.049 kr. ex. moms									
Difference - Vægt	340.304 kg									

ELEMENT TYPER	DÆKELEMENT B: 2215 mm / L: 5490 mm		TAGELEMENT B: 2215 mm / L: 6424 mm	
	BETON ELEMENT 180 mm huldaek	HEMPCRETE ELEMENT 50 mm hempcrete 45 x 240 mm LVL, C/C 30 cm 50 mm hempcrete	BETON ELEMENT 315 mm stenuld 180 mm beton	HEMPCRETE ELEMENT 200 mm hempcrete 45 x 300 mm LVL, C/C 120 cm 50 mm hempcrete
Spændvidde	5400 mm	5400 mm	5400 mm	5400 mm
CO2	344 kg CO2	-771 kg CO2	747 kg CO2	-984 kg CO2
Materialepris	3105 kr. ex. moms	7138 kr. ex. moms	4818 kr. ex. moms	7768 kr. ex. moms
Vægt	3532 kg	1124 kg	4607 kg	1895 kg
Tykkelse	180 mm	340 mm	495 mm	550 mm
U-Værdi	-	-	0,11 W/(m2K)	0,11 W/(m2K)
M2 element	1822	1822	456	456
Samlet - CO2	51464	-115346	24015	-31635
Samlet - Materialepris	464526	1067887	154894	249733
Samlet - Vægt	528408	168157	148111	60922
Samlet - CO2	75.480 kg CO2		-146.981 kg CO2	
Samlet - Materialepris	619.421 kr. ex. moms		1.317.620 kr. ex. moms	
Samlet - Vægt	676.519 kg		229.079 kg	
Samlet - M2 element	2278 M2			
Difference - CO2	222.461 kg CO2			
Difference - Materialepris	698.199 kr. ex. moms			
Difference - Vægt	447.440 kg			

CO2 = 1 gennemsnitlige husstande i 41,3 år

KR = 790.248 kr

KG = 128 lastbiler

En gennemsnitlig husstand benytter 8.100 kg CO2 om året

En lastbil vejen 6,15 tons

The background of the image is a dense, textured surface of light brown wood chips or mulch. The chips are irregular in shape and size, creating a complex, organic pattern. The lighting is even, highlighting the natural grain and texture of the wood.

VIDEREGÅENDE POTENTIALIALE

Videregående potentiale

Internt

- Undersøge puzzolanske binder som erstatning af hydraulisk kalk
- Indregne hempcretes stabilisere effekt på træskellet i bæreevne
- Indregne hempcretes bæreevne
- Billigere alternativ til LVL-bjælker
- Beregne samlingsmetoder med hulplader for at øge effektiviteten af monteringen og bidrage til design-for-dissambly
- Udarbejde standarder

Eksternt

- Lempe lovgivningen
- Tilføj specifikationer til hampeskærver
- Tilføj CO2 afgifter