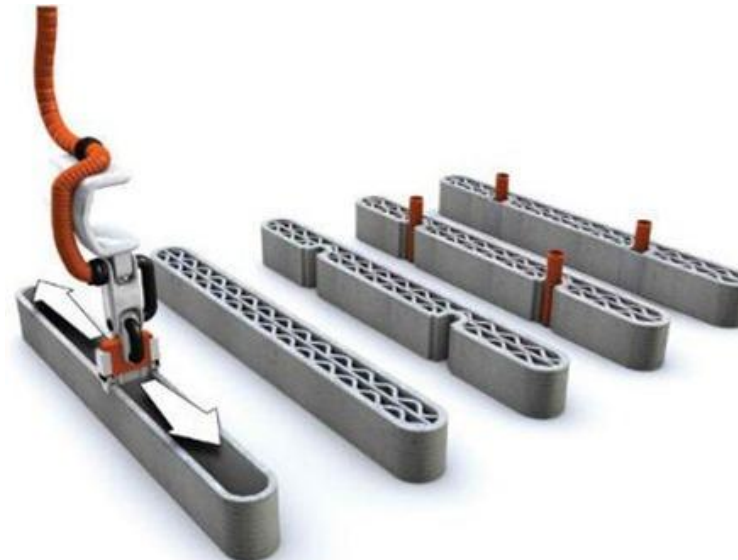


Konstruktionsmæssige forhold med 3D betonprint

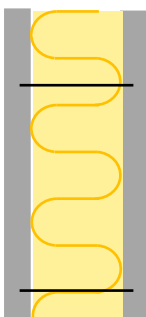
Eksisterende printprincipper og deres statiske muligheder og begrænsninger

v. Kåre Flindt Jørgensen, NCC Danmark A/S



Vægprincipper

Kantvægge



The BOD - DK



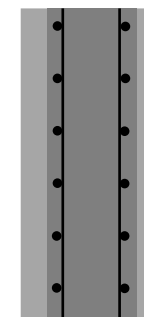
V-gitret væg



WinSun - CN, Contour Crafting – US
Apis Cor – RU, XtreeE – FR



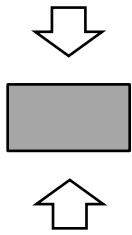
Print af forskalling



Total Kustom – USA, The BOD – DK



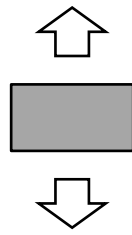
Betonens styrkemæssige egenskaber



Trykstyrke

= 20-60 MPa

= 2000-6000 tons/m²



Trækstyrke

= 1-3 MPa

= 100-300 tons/m²

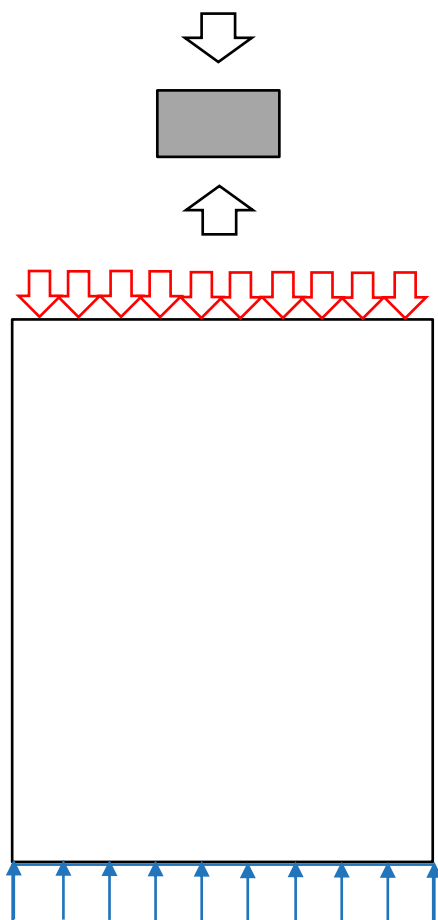


Beton har meget bedre egenskaber til at optage tryk end træk.

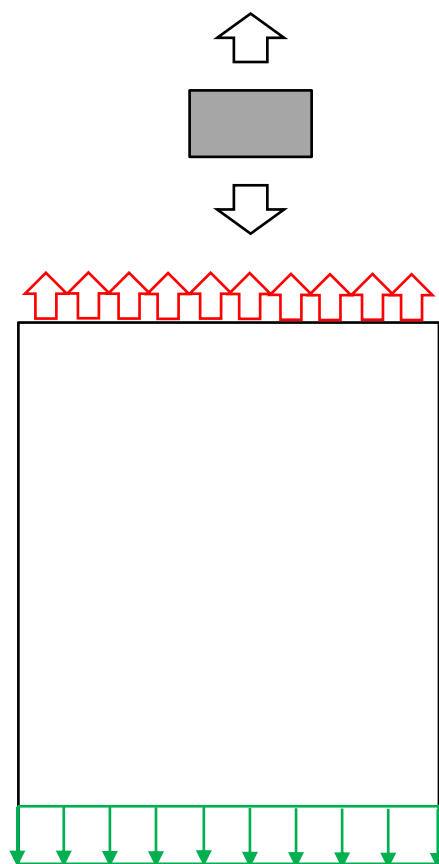
Trækstyrken svarer ca. til 1/20 af trykstyrken.

Statik - Begreber

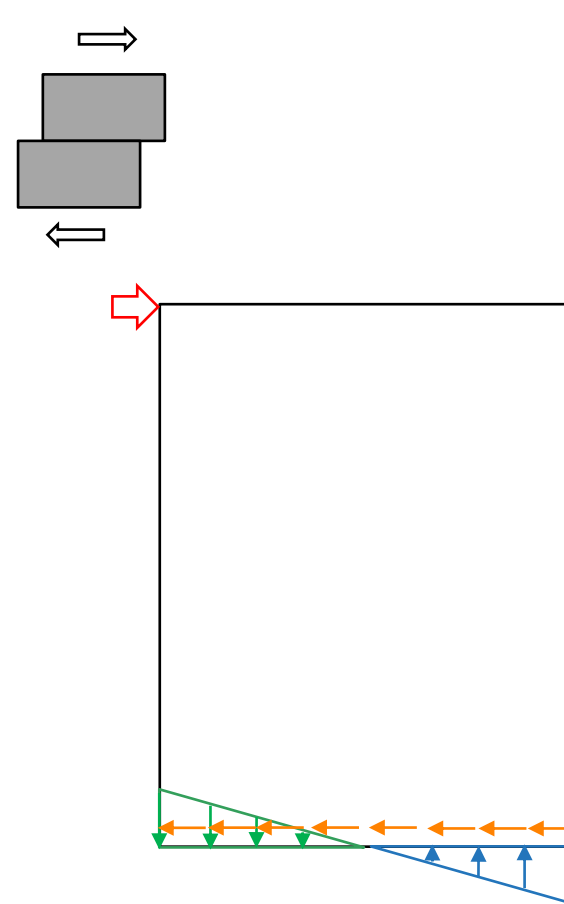
Tryknormalkraft



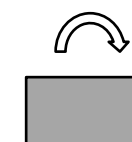
Træknormalkraft



Forskydning



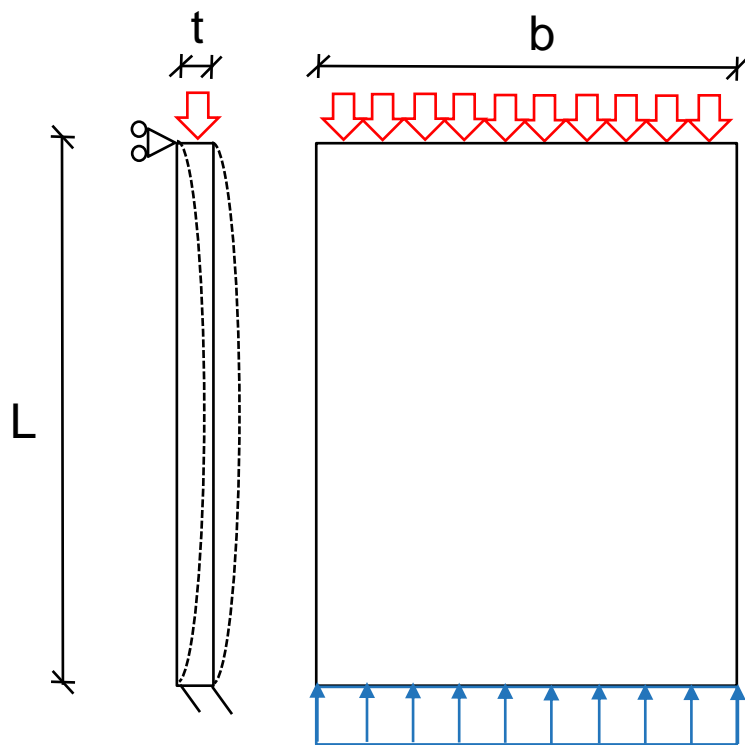
Moment



Statik – Uarmeret væg

Uarmeret væg i tryk (foldning vs. knusning)

En vægs bæreevne bestemmes af den mindste værdi af bæreevnen for knusning af betonen og bæreevnen hvor væggen opnår foldning.



Bæreevnen for en centralt belastet væg findes af Eulers formel

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L^2} \quad I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3$$

Bæreevnen afhænger af tykkelsen af væggen, t , i 3. potens og højden/søjlelængden, L , i 2. potens.

Printerprincipper



Kantvægge

$l = 4\text{m}$

$t = 2 \times 50\text{mm}$ (væggene virker hver for sig)

$N_{cr, \text{foldning}} = 2 \times 23 \text{ tons/m}$

$N_{cr, \text{knusning}} = 2 \times 200 \text{ tons/m (40MPa)}$



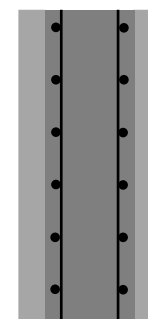
V-gitret væg

$l = 4\text{m}$

$t \sim 200\text{mm}$ (virker stabilitetsmæssigt som 200mm væg)

$N_{cr, \text{foldning}} = \sim 1480 \text{ tons/m}$

$N_{cr, \text{knusning}} = 545 \text{ tons/m (40MPa)}$



Print af forskalling

$l = 4\text{m}$

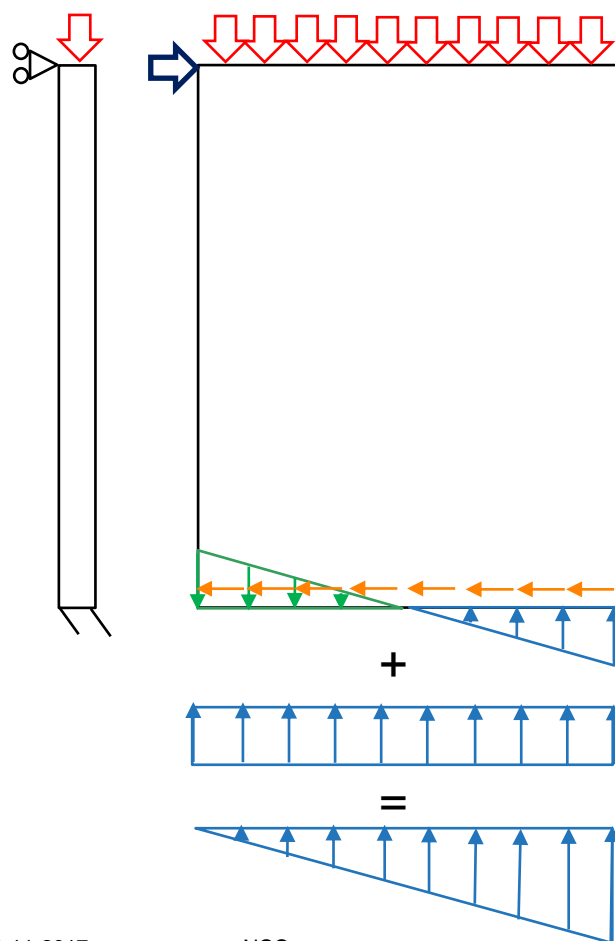
$t = 120\text{mm}$ (forskalling ikke effektiv, $2 \times 40\text{mm}$)

$N_{cr, \text{foldning}} = 320 \text{ tons/m}$

$N_{cr, \text{knusning}} = 480 \text{ tons/m (40MPa)}$
(uarmeret, højere hvis armeret)

Statik – Uarmeret væg

Uarmeret væg i tryk som optager vandret last (vindlast)



For at undgå træk i konstruktionen skal den lodrette tryklast være større end trækket fra momentet. Dvs. de resulterende kræfter overalt i tværsnittet er i tryk

Vandret last (moment og forskydning)

+

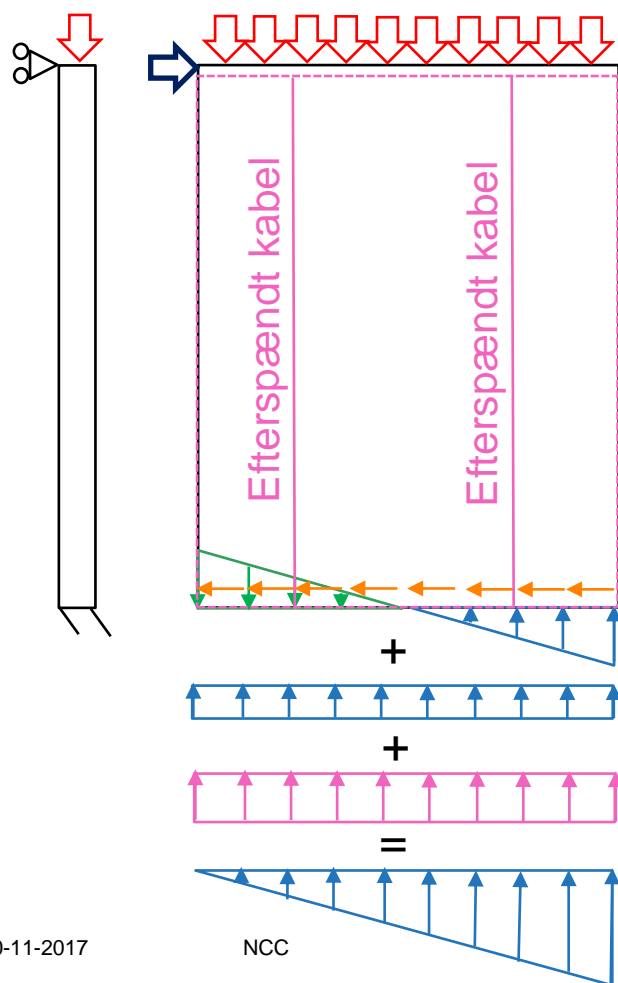
Lodret last

=

Resulterende kræfter

Statik – Uarmeret væg

Uarmeret væg i tryk som optager vandret last (vindlast) og efterspændes



Ved vægge med kun lidt lodret last kan det være aktuelt at efterspænde væggene

Vandret last (moment og forskydning)

+

Lodret last

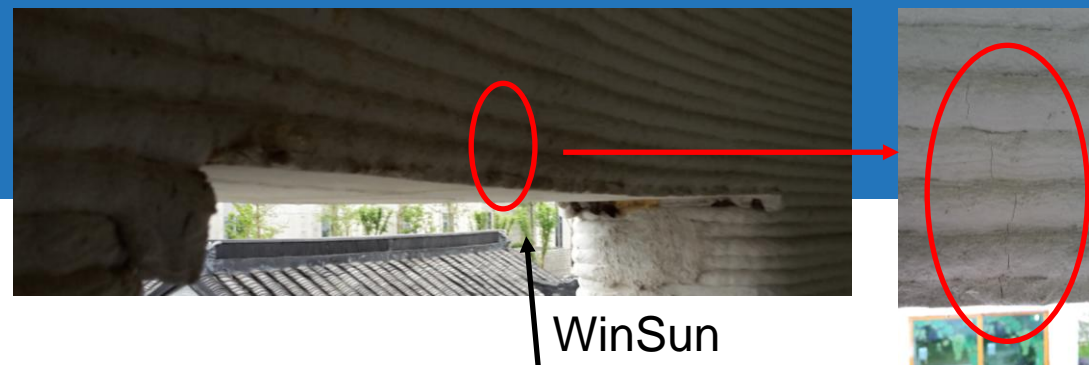
+

Efterspænding

=

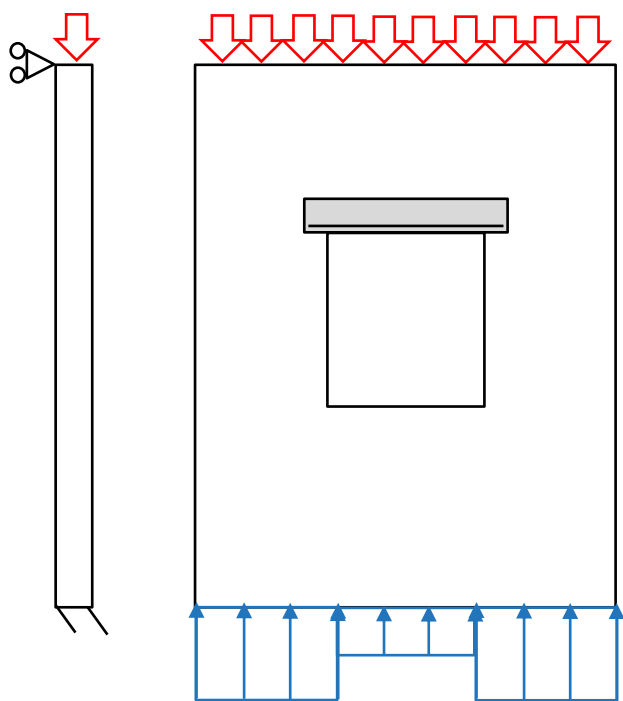
Resulterende kræfter

Statik – Uarmeret væg

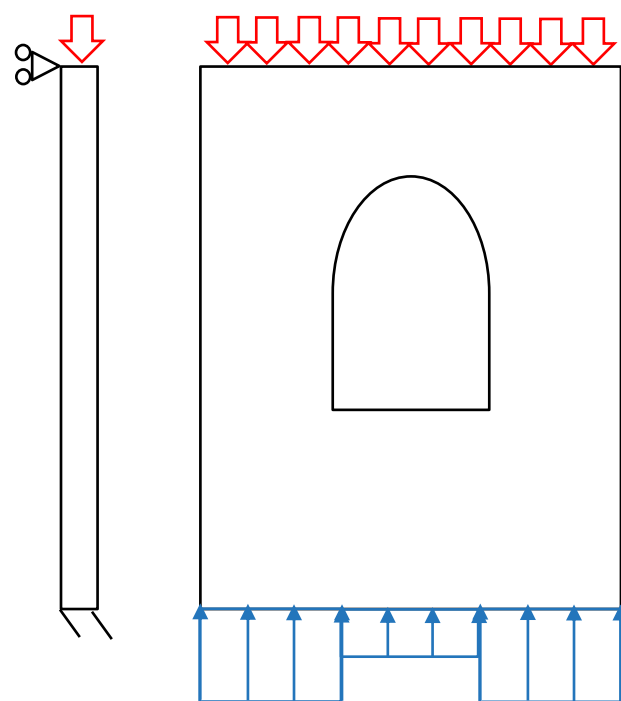


Uarmeret væg med huller

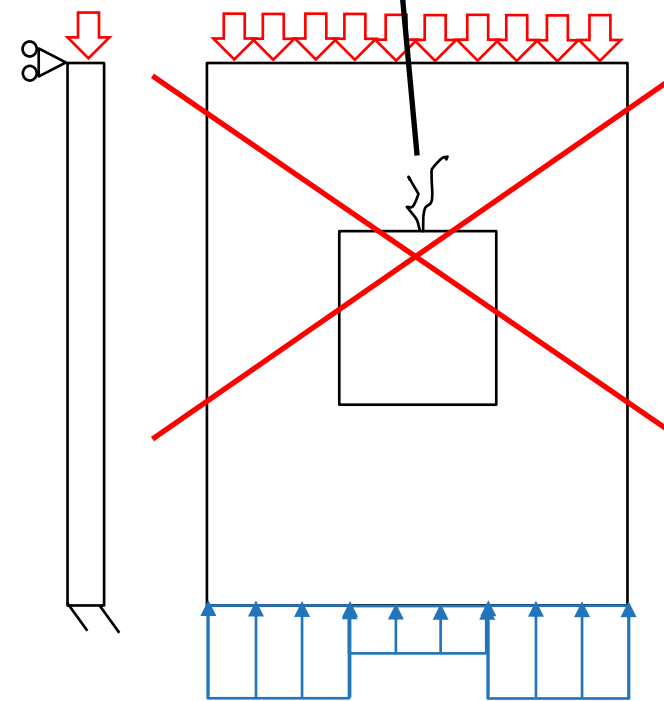
Bjælkeoverligger over huller



Udnytter buevirkning til huller

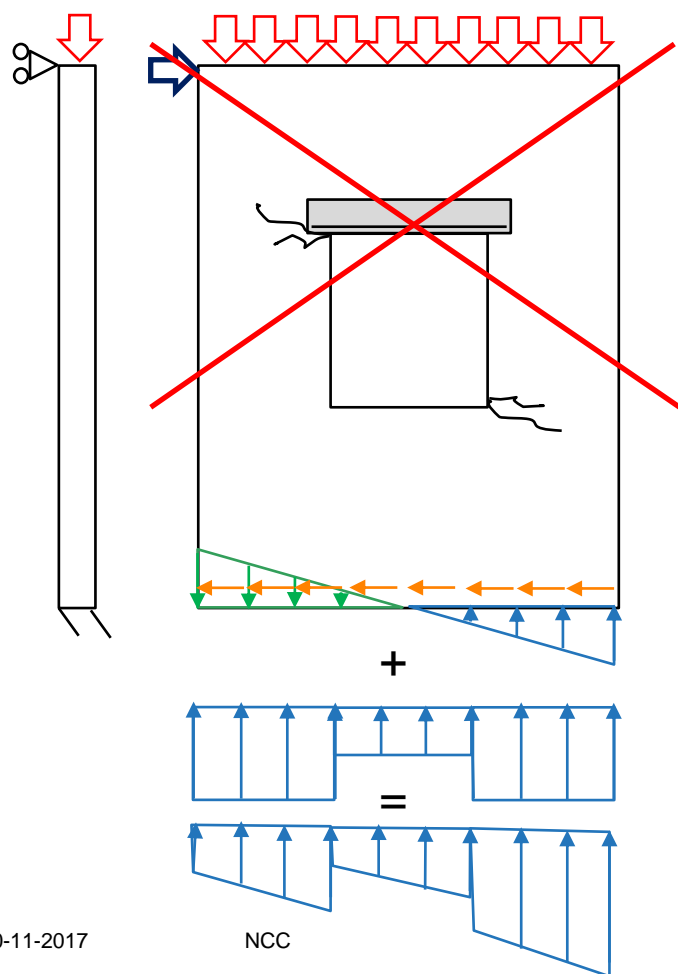


Bjælke uden overligger over huller



Statik – Uarmeret væg

Uarmeret væg med huller og som optager vandret last (vindlast)



Kombineres vandrette laster med større huller vil der næsten altid optræde trækspændinger som overskrider betonens trækstyrke.

Der er altså behov for "netarmering" i væggene.

Vandret last (moment og forskydning)

+

Lodret last

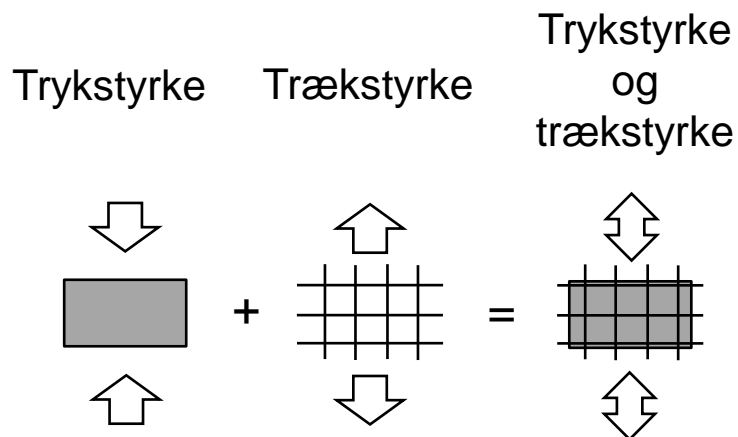
=

Resulterende kræfter

Statik – Armeret væg

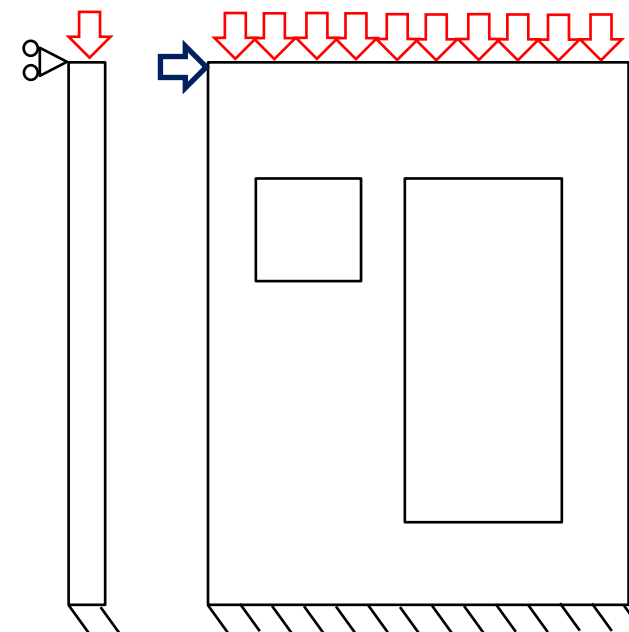
Armeret væg

Når vægge armeres får de meget større trækstyrker, idet armeringen optager trækket. På den måde opnår man et materiale som både kan optage træk og tryk.



Armerede vægge benyttes til hårdt belastede vægge som blandt andet optager store vindlaster.

De kan desuden håndtere vægge med store huller.

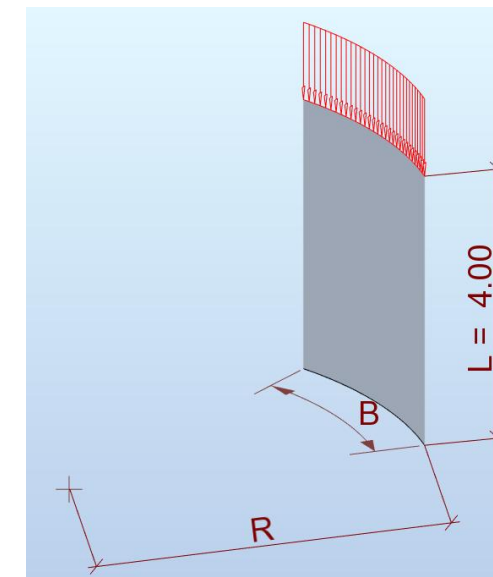
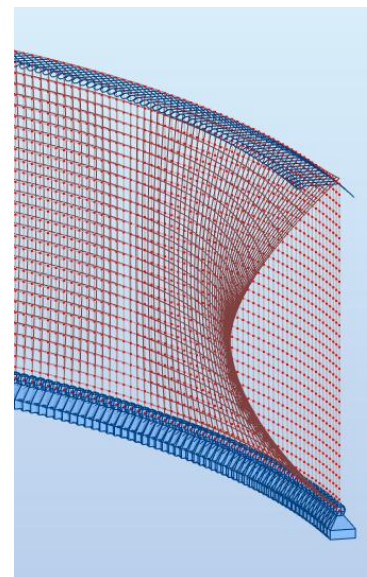


Statik – Buede vægge

Buede vægge har større lodret bæreevne end rette vægge

For buede vægge af en vis længde skal der ske foldning af væggen i lodret retning grundet den krumme form (delvist fastholdt langs lodret side). Denne udbøjning kræver mere energi og væggen har derved større bæreevne.

Uarmerede vægge kan ikke optage vandret last i buede vægge. Armering er nødvendig i buede vægge for at kunne optage vandrette laster, da det er armeringen som knækker kraften rundt langs buen.



B = længde af cirkelstykke

R = cirkelradius

L = højde af væg/søjlelængde = 4m

t = tykkelse af væg = 50mm

L=4m, t=50mm	Lige væg	R=20m	R=10m	R=5m
B = 1m	23 / 6	24 / 6	29 / 7	43 / 11
B = 3m	23 / 6	30 / 8	129 / 32	181 / 45
B = 5m	23 / 6	79 / 20	144 / 36	248 / 200 / 50
B = 10m	23 / 6	93 / 23	156 / 39	266 / 200 / 50

Bæreevne ved foldning = $N_{cr, foldning}$ [tons/m]

Bæreevne ved knusning = $N_{cr, knusning}$ [tons/m] – 40MPa

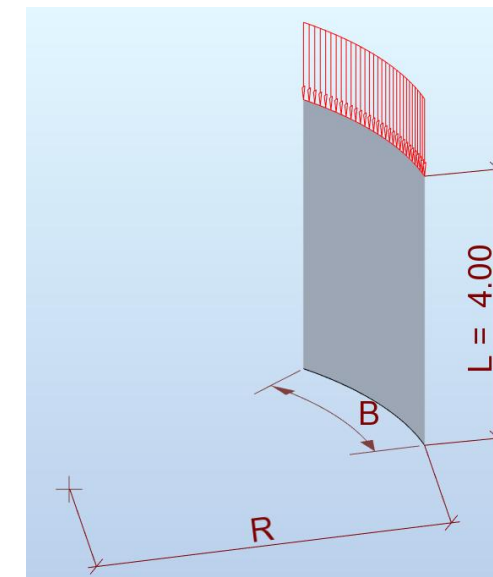
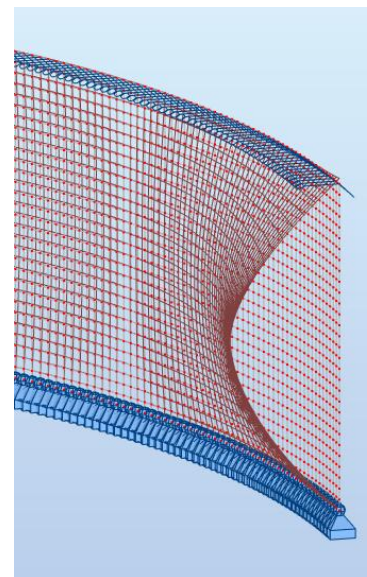
Effektiv tykkelse = t_{eff} [mm]

Statik – Buede vægge

Buede vægge har større lodret bæreevne end rette vægge

For buede vægge af en vis længde skal der ske foldning af væggen i lodret retning grundet den krumme form (delvist fastholdt langs lodret side). Denne udbøjning kræver mere energi og væggen har derved større bæreevne.

Uarmerede vægge kan ikke optage vandret last i buede vægge. Armering er nødvendig i buede vægge for at kunne optage vandrette laster, da det er armeringen som knækker kraften rundt langs buen.



B = længde af cirkelstykke

R = cirkelradius

L = højde af væg/søjlelængde

t = tykkelse af væg

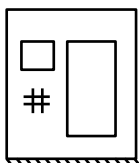
L=4m, t=50mm	Lige væg	R=20m	R=10m	R=5m
B = 1m	23 / 200 / 6	24 / 200 / 6	29 / 200 / 7	43 / 200 / 11
B = 3m	23 / 200 / 6	30 / 200 / 8	129 / 200 / 32	181 / 200 / 45
B = 5m	23 / 200 / 6	79 / 200 / 20	144 / 200 / 36	248 / 200 / 50
B = 10m	23 / 200 / 6	93 / 200 / 23	156 / 200 / 39	266 / 200 / 50

Bæreevne ved foldning = $N_{cr, \text{foldning}}$ [tons/m] / Effektiv tykkelse ift. foldning = t_{eff} [mm]

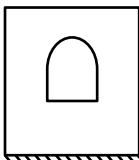
Bæreevne ved knusning = $N_{cr, \text{knusning}}$ [tons/m] – 40MPa

Konklusion

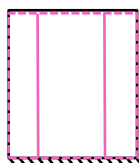
Vægprincipper



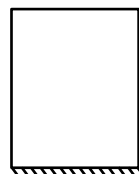
Armeret væg med huller



Uarmeret væg med huller



Uarmeret væg som efterspændes



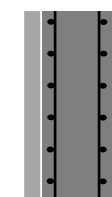
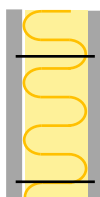
Uarmeret væg

N/A	N/A	Stort tryk Vandret last
(N/A) Kun buede huller	Stort tryk	Middel tryk
N/A / Lille tryk	Middel tryk Vandret last	Middel tryk Træk Vandret last
Ingen tryk /	Stort tryk (Vandret last)	Middel tryk (Vandret last)

Kantvægge

V-gitret væg

Print af forskalling



Gælder for buede vægge

Gælder for lige vægge

Større kapacitet

Printerprincipper

