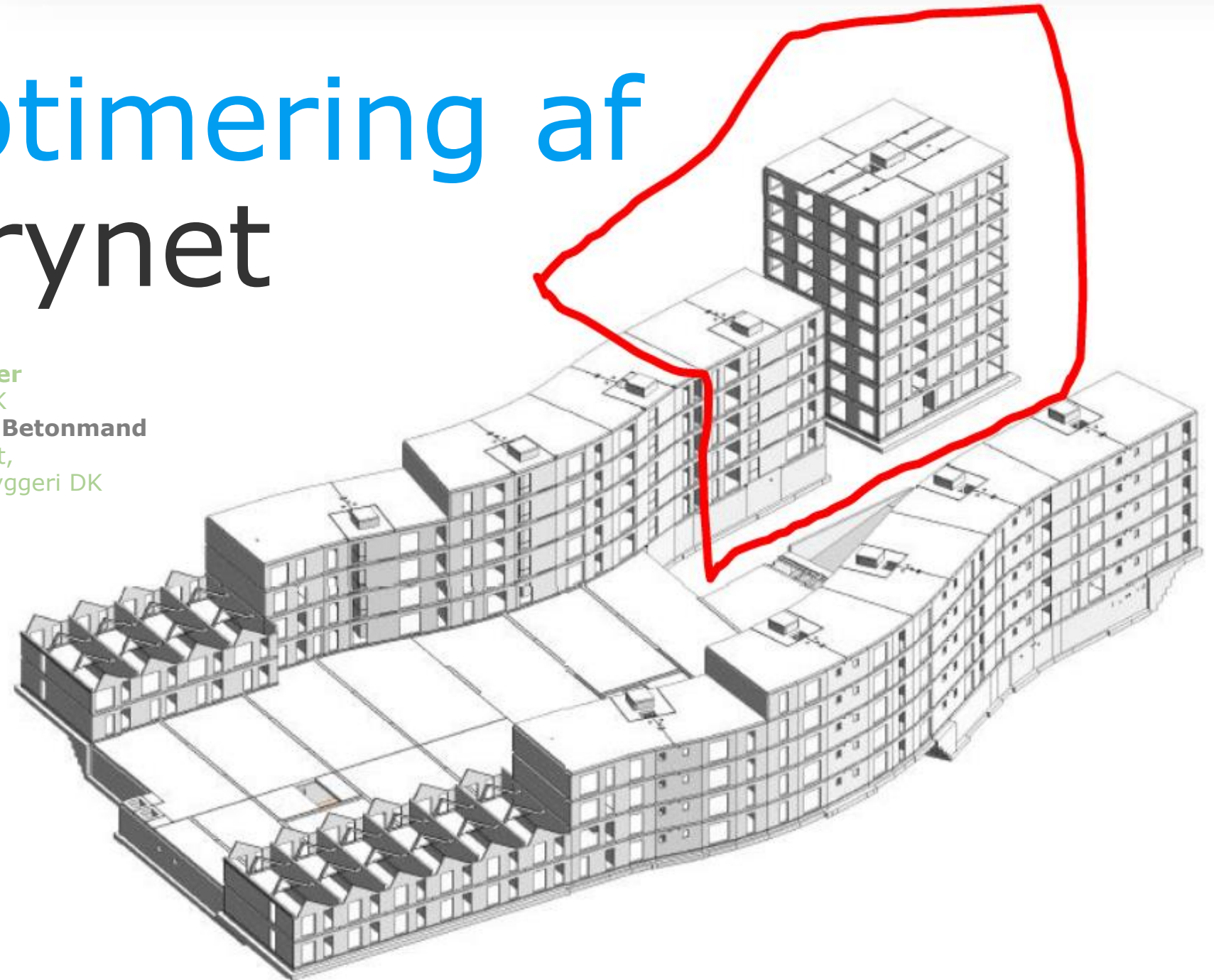


# Designoptimering af Riskov Brynet



**Tim Gudmand- Høyer**  
Ramboll, High Rise DK  
**Dynamisk Statiker, Betonmand**  
Senior Chief Specialist,  
Fagchef for Beton i Byggeri DK  
MSc. Ph.D.

Made in More Sustainable Concrete 2024  
2024 11 28



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.



**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

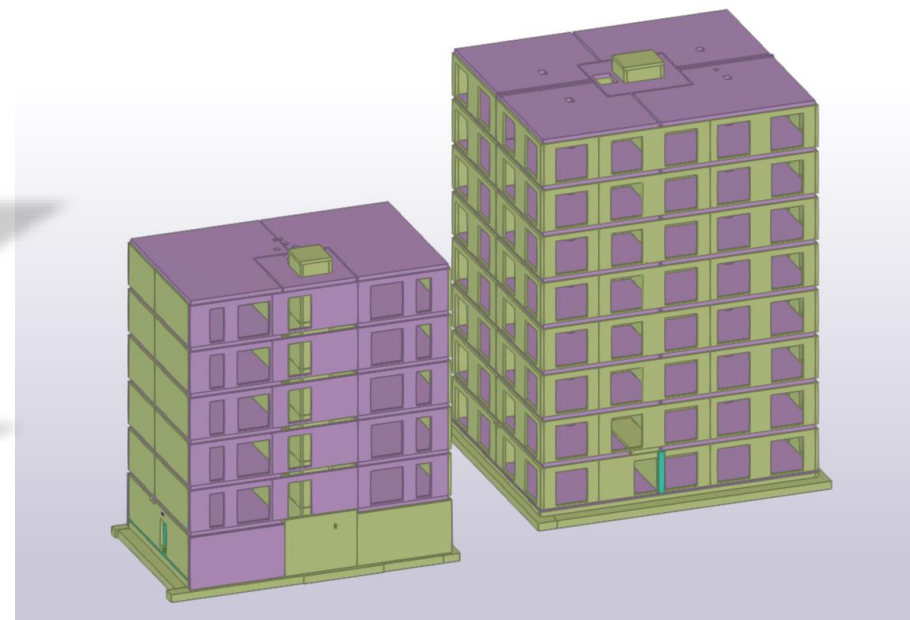




Foto: Torben Eskerod

29.10.24 • Dansk Beton • Pressemeddelelser



## Dansk Beton: Vi bruger for meget beton i betonbygninger

Smartere designmetoder i nybyggeri og mere CO2-reducerede betontyper kan reducere materialeforbruget med 20-25 procent og give knap det halve CO2-aftryk. Det viser en ny analyse, som Rambøll har udarbejdet for Dansk Beton.

**RAMBØLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.

# Materialer

	Opr.	Nu	
C25 insitu	253	182	28%
C35 Element	326	259	21%
Arm element	1,13	0,657	42%
Arm insitu	0,6834	0,422	38%
HD 270	54,1	44,3	18%

Idet størstedelen af oprindeligt projekt er elementer og idet armeringen udgør en forholdsvis lille del af klimapåvirkningen skønnes det for disse bygninger at være 20-25% der kan tilskrives denne udvikling/optimering.

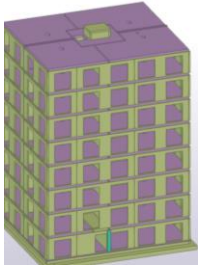
# Opsummering – CO2e reduktioner



## Lav bygning

Lav	CO2e kg		
	Oprindelig	Optimeret	Besparelse
Fundamenter	14.838	6.083	8.755
Terrændæk	5.110	1.904	3.206
Indervægge	34.777	14.005	20.772
Facadevægge	30.820	16.428	14.392
Dæk	54.401	35.557	18.845
Elevatorkerne	9.237	2.666	6.571
Kælderydervægge	9.817	5.896	3.921
Total	159.000	82.539	76.461

Værdier af CO2e i kg



## Høj bygning

Høj	CO2e kg		
	Oprindelig	Optimeret	Besparelse
Fundamenter	41.668	14.347	27.321
Terrændæk	8.851	2.933	5.918
Indervægge	70.931	25.059	45.871
Facadevægge	58.651	36.576	22.075
Dæk	111.835	73.095	38.740
Elevatorkerne	14.521	3.810	10.711
Total	306.456	155.821	150.635

Værdier af CO2e i kg

# Opsummering – CO2e reduktioner

## Lav bygning



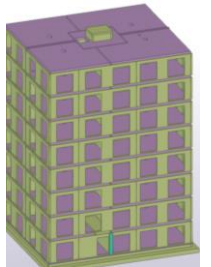
Lav	%Besparelse	
	% enkelt	% tot
Fundamenter	59%	7%
Terrændæk	63%	3%
Indervægge	60%	18%
Facadevægge	47%	12%
Dæk	35%	16%
Elevatorkerne	71%	6%
Kælderydervægge	40%	3%

• Total 48%

% enkel er CO2e besparelsen i forhold til oprindeligt CO2e for den enkelte konstruktionsdel

% tot er CO2e besparelsen i forhold til oprindeligt CO2e for hele bygningen

## Høj bygning



Høj	%Besparelse	
	% enkelt	% tot
Fundamenter	66%	18%
Terrændæk	67%	4%
Indervægge	65%	30%
Facadevægge	38%	15%
Dæk	35%	26%
Elevatorkerne	74%	7%

• Total 49%

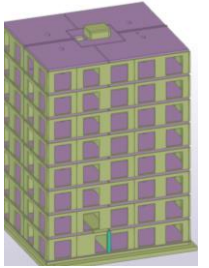
# Opsummering – Materiale-mængder

## Lav bygning



Lav	%beton	%armering
Fundamenter	50%	24%
Terrændæk	41%	0%
Indervægge	3%	15%
Facadevægge	26%	-7%
Dæk	14%	
Elevatorkerne	35%	52%
Kælderydervægge	27%	-75%
Total	21%	5%

## Høj bygning

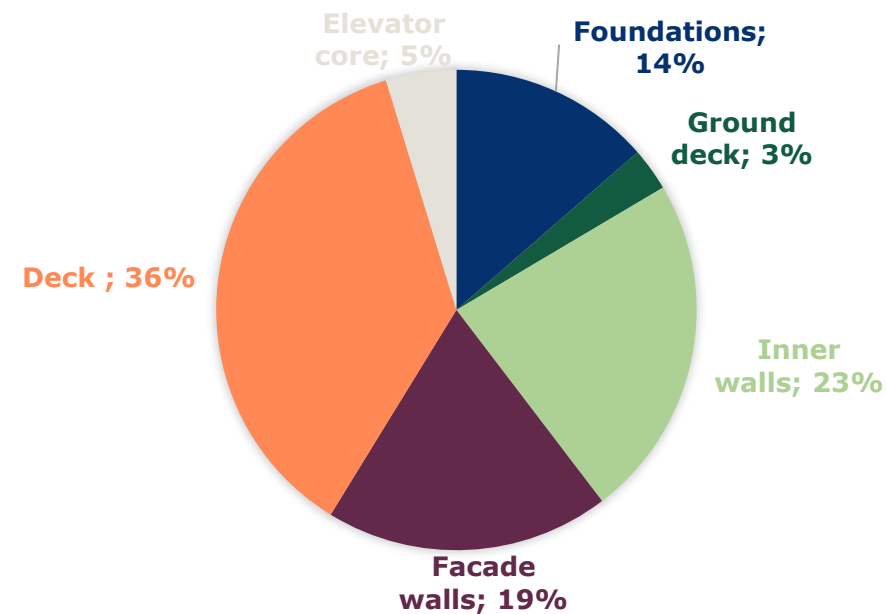
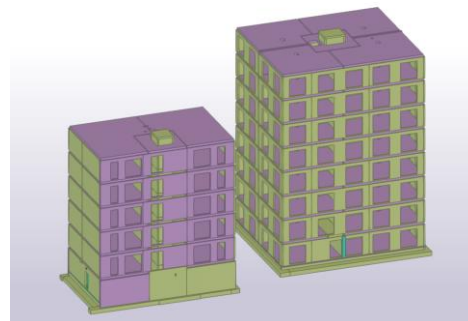
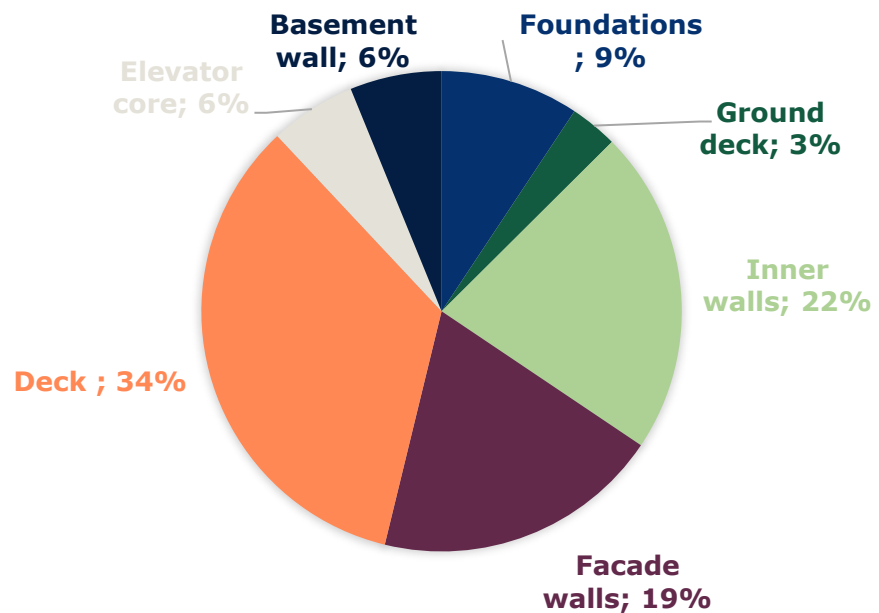


Høj	%beton	%armering
Fundamenter	49%	52%
Terrændæk	33%	4%
Indervægge	2%	46%
Facadevægge	19%	17%
Dæk	14%	
Elevatorkerne	36%	26%
Total	25%	35%

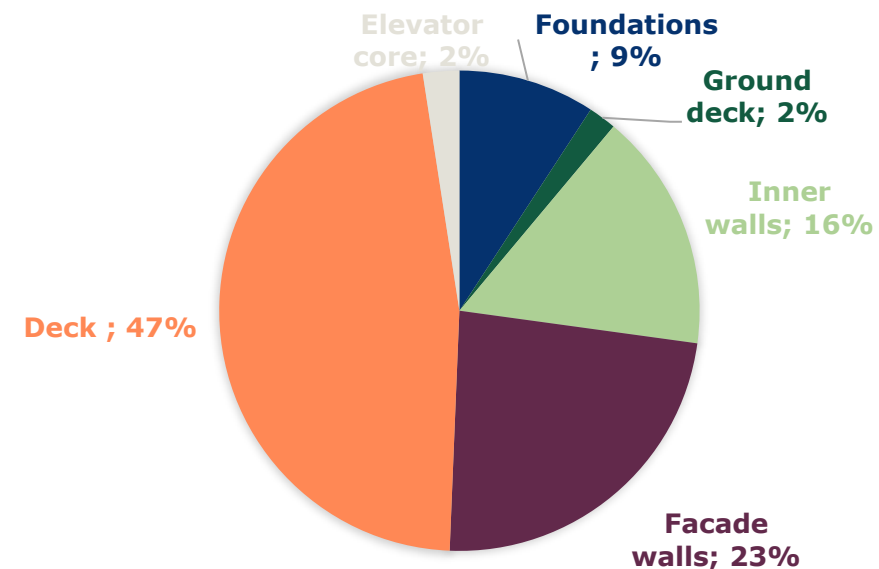
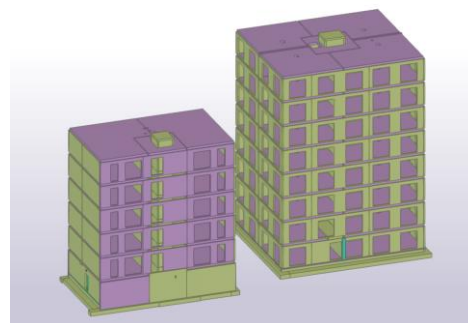
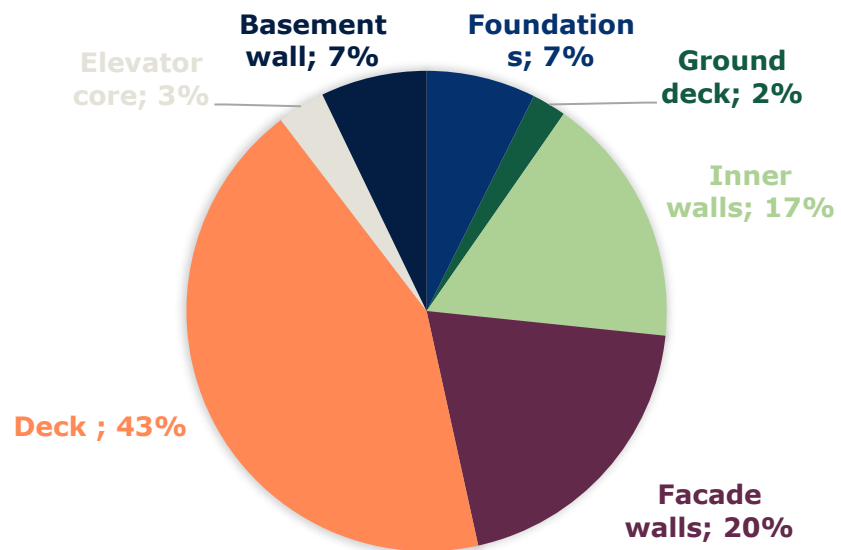
% vis besparelse er den reduceret materiale-mængde i forhold til oprindelig materiale-mængde



# Fordeling af CO2e - oprindelig



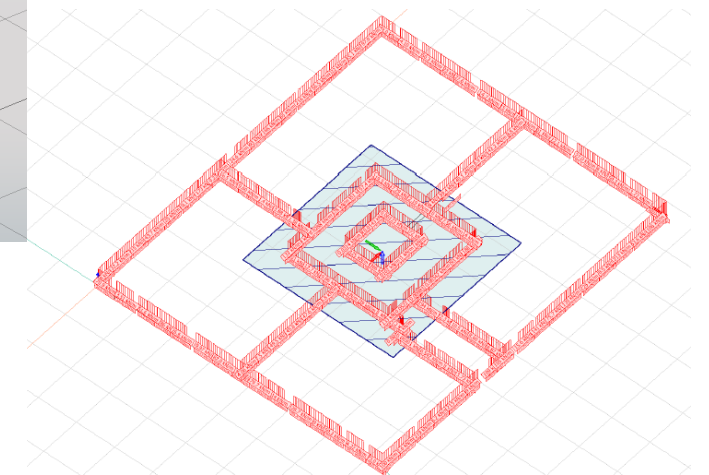
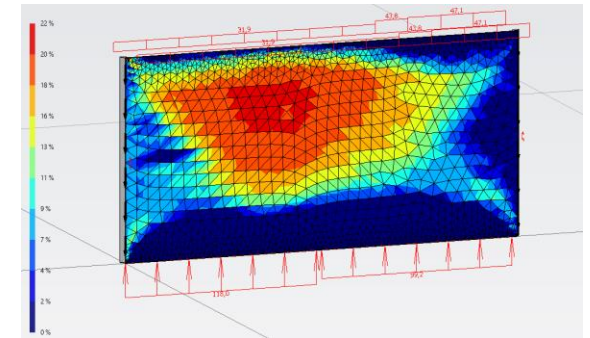
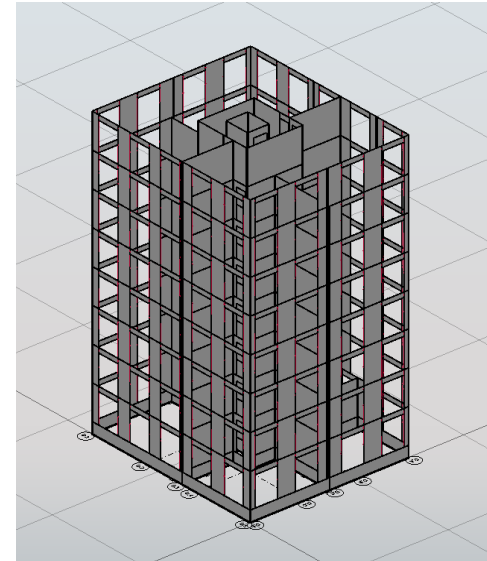
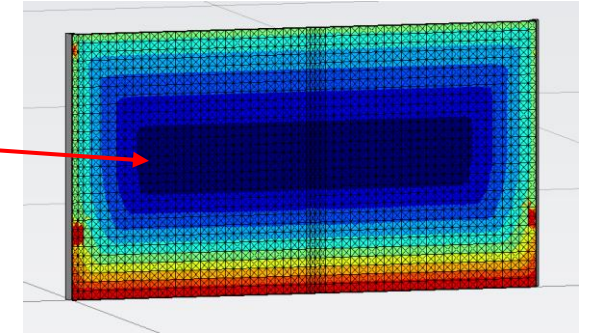
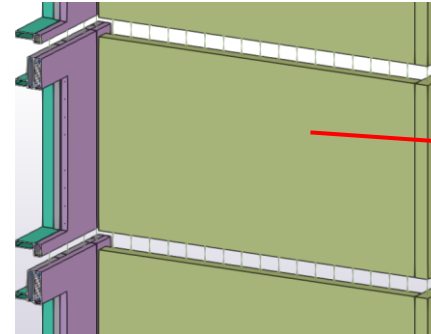
# Fordeling af CO2e - optimeret



# Udvalgte emner

# Optimeret beregninger

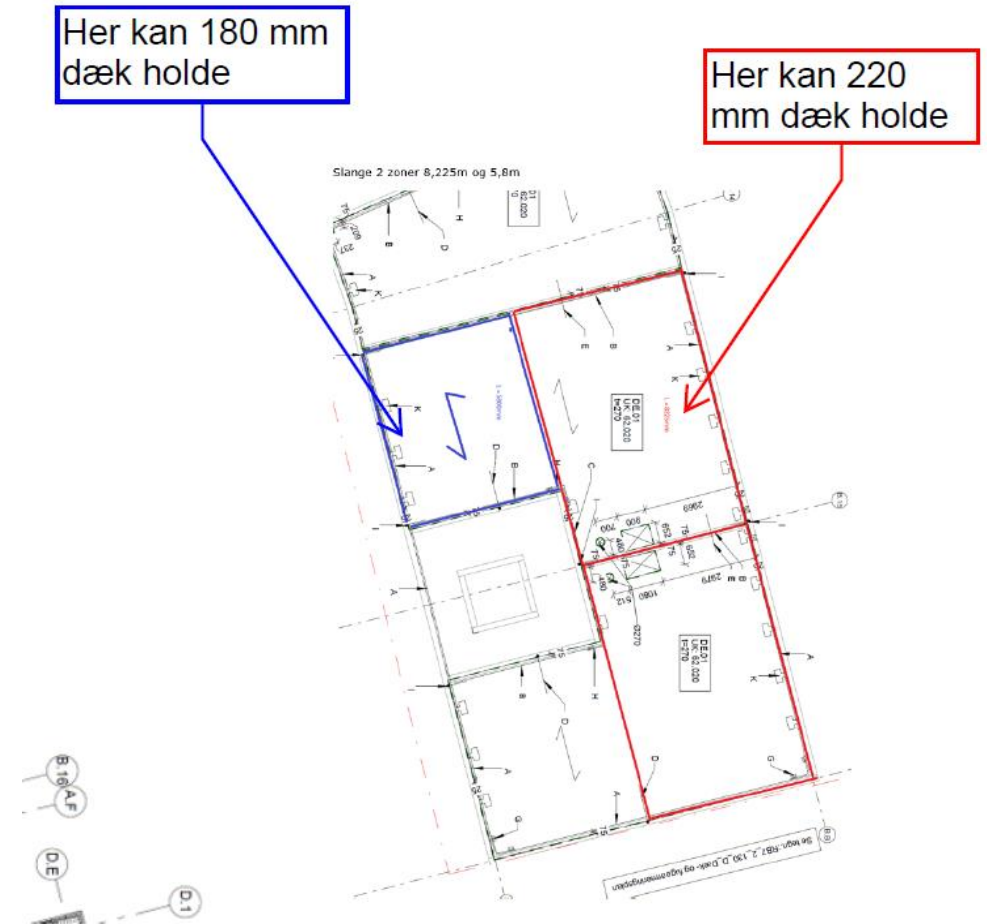
- Plastiske beregninger
  - Der er generelt anvendt plastiske beregninger som muliggøre en omfordeling af laster og mere optimal udnyttelse af materialerne.
- Udnyttelse af tværfastholdelse ved hjørne/sammenbygning med tilstødende vægge i forbindelse med stabilitet af vægge
  - Dette er der generelt gjort brug af idet der regnes med reduceret søjlelængder nær sammenstøbninger og kun fuld søjlelængde et stykke væk fra fastholdelse
- Detaljeret reaktionsfordeling på fundamenter
  - Dette medfører differentierede dimensioner på sribefundamenter og optimerede størrelse på pladefundament



# Etagedæk - Huldæk

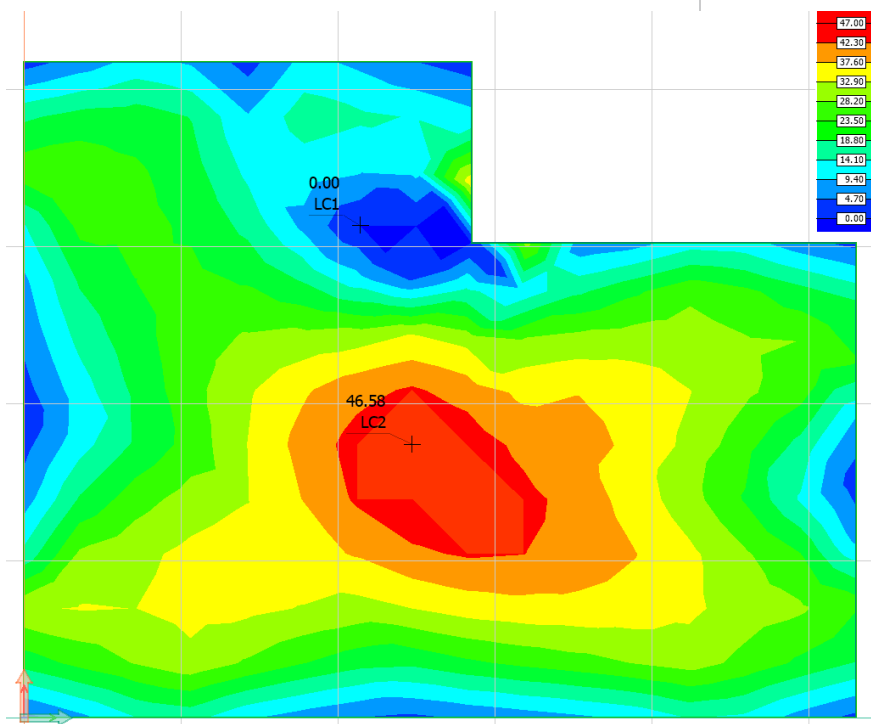
- Efter korespondance med CRH
- OBS: Lydkrav min 310kg/m<sup>2</sup> -> 220mm dæk

220mm huldæk CO<sub>2</sub>e = 35,17 kg/m<sup>2</sup>

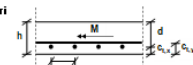


# Etagedæk - Insitu dæk

- Overslag over Insitu løsning
- FE-model af dæk:
  - $t = 180\text{mm}$
  - 20MPa, Y16/100
- Maks moment: 46,6kNm/m
- $\text{CO}_2\text{e} / \text{m}^2 = 40,1 \text{ kg/m}^2$



## Geometri



Pladetykkelse	h	180 mm
Nyttehøjde	d	140 mm
Spændvidde	L	10,000 m
Formfaktor	K	0,063

## Materialedata, beton

Tilslagsstype	Danske tilslag efter DS/EN 206	
Beton, kar. trykstyrke	$f_{tk}$	20,0 MPa
Beton, partialefficienter	$\gamma_c$	1,45
	$\gamma_{ct}$	1,70
	$\gamma_{ct,fl}$	1,00
Beton, slutkræbetal	$e(e_{ct})$	3,0

## BRUDGRÆNSETILSTAND (ULS)

### Bøjning

Tværsnittet er	Normalarmet	
Indre momentarm	z	107 mm
Bæreevne	$M_{ed}$	38,2 kNm/m
Påvirkning	$M_{ek}$	46,0 kNm/m

### Gennemlokning

(Bæreevne svarende til last fjernet fra vederlag, rande og huller)		
Lastareal, sidelængder	a	100 mm
	b	100 mm
Primær kontrolperimeter	$u_1$	2159 mm
Kontrolperimeter ved lastens perimeter	$u_2$	400 mm
Bæreevne	$V_{ed}$	223,9 kN
Påvirkning	$V_{ek}$	0,0 kN

## ANVENDELSESGRÆNSETILSTAND (SLS)

Min. arm. for kontrol af revnedannelse	$A_{s,min}$	139 mm <sup>2</sup> /m
Koeff. for armerings vedhæftning	$k_1$	0,8
Fuldt revnet tv.snit i nedbøjning		Nej

## CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> -ækv. udledning fra produktion	
Beton	137 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Stål	0,425 kg CO <sub>2</sub> /kg
Samlet	40,10 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> plade

## Materialedata, armering

Armering, kar. flydesp.	$f_{yk}$	550 MPa
Armering, partialefficienter	$\gamma_s$	1,20
Fabrikationsmetode	$\gamma_{st}$	1,00
		Ukendt

## Materialedata, øvrige

$E_s/E_c$ (korttid)	$\alpha_{sk}$	6,7
$E_s/E_c$ (langtid)	$\alpha_{sl}$	26,7
$E_s/E_c$ (total)	$\alpha_{st}$	26,7

## Armeringsareal

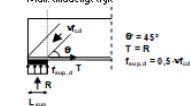
Minimumarmering	$A_{s,min}$	182 mm <sup>2</sup> /m
Armeringsareal (hovedretning)	A	2011 mm <sup>2</sup> /m

## Forskrydning u. buevirkning

Skalaeffekt	k	2
Effektivt armeringsareal	$A_{s,eff}$	2010 mm <sup>2</sup> /m
Bæreevne	$V_{ed}$	106,4 kN/m
Påvirkning	$V_{ek}$	0,0 kN/m

## Vederlag

Max. tilladeligt tryk	$f_{t,red}$	5,5 MPa
-----------------------	-------------	---------



## Armeringsgeometri

### Armering - x-retning (hovedretning)

		Lag 1	Lag 2
Diameter	$\phi$	16	
Åfstand mellem jern	s	100	
Åfst. fra u.side til center	$c_{1x}$	40	
Geometrisk arm-forhold	$\rho_{lx}$	0,0144	

### Armering - y-retning (tværrretning)

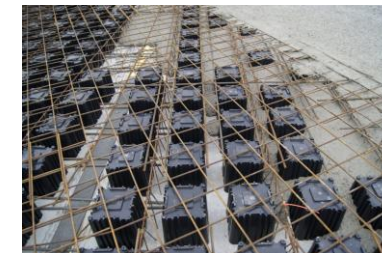
		Lag 1	Lag 2
Diameter	$\phi$	16	
Åfstand mellem jern	s	100	
Åfst. fra u.side til center	$c_{1y}$	40	
Geometrisk arm-forhold	$\rho_{ly}$	0,0144	

	Påvirkninger og beregnede værdier					Maksimal tilladelige værdier			
	Bøjnings-påvirkning $M_{ed}$ [kNm/m]	Nulllinie-dybde $z$ [mm]	Betonant-spænding $\sigma_c$ [MPa]	Trækarm-spænding $\sigma_{st}$ [MPa]	Revevidde $w_k$ [mm]	Max. nedbøjning $u$ [mm]	Betonant-spænding $\sigma_c$ [MPa]	Trækarm-spænding $\sigma_{st}$ [MPa]	Revevidde $w_k$ [mm]
Korttid	0								
Langtid	40	80	8,8	176	0,11	89	9,0		
Total	40	80	8,8	176	0,11	89	12,0	440	0,4

Tillægsarmering, der ikke indgår i de statiske beregninger, men er et tillæg til CO<sub>2</sub> beregningerne

		Lag 1	Lag 2
Diameter	$\phi$	8	8
Åfstand mellem jern	s	150	150

# Etagedæk - Airdeck



- Der foretages overordnet vurdering alene på baggrund af CRH's oplysninger. Beton stryken oplyses til 35MPa. I overslag tages simplificeret udgangspunkt i CO2 værdier for en 35MPa beton.
- For at være mere effektiv end 220mm huldæk skal CO2 tryk være mindre end 35,17 kg/m<sup>2</sup>
- A280 har 0,159 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> insitubeton og 60mm elementbeton –simplificeret regnet samlet som 0,219m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, svarende til 47,3 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (35MPa 216 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)
- CO2 for armeirng anslås simplificeret at være lig CO2 aftryk for insitu løsning 280mm: Y8/110 I.B. R I.B.S. svarende til 6,4kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>
- Samlet CO2 er således ca 53,7kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

Type	Højde	Bokshøjde	In situ beton mængde	Typisk vægt, 60 mm element	Typisk vægt, 90 mm element	Typisk spænd kontor, 60 mm	Typisk spænd kontor, 90 mm
A280	280 mm	180 mm	0,159 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5,3 kN/m <sup>2</sup>	5,6 kN/m <sup>2</sup>	8,5 x 8,5 m	7,5 x 7,5 m
A340	340 mm	240 mm	0,195 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	6,4 kN/m <sup>2</sup>	6,7 kN/m <sup>2</sup>	10,0 x 10,0 m	9,0 x 9,0 m
A390	390 mm	290 mm	0,226 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	7,3 kN/m <sup>2</sup>	7,6 kN/m <sup>2</sup>	11,0 x 11,0 m	10,5 x 10,5 m
A450	450 mm	350 mm	0,264 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	8,3 kN/m <sup>2</sup>	8,6 kN/m <sup>2</sup>	12,0 x 12,0 m	11,5 x 11,5 m

- Det vurderes at der er en smule mere optimeringspotentialer ved at differentierer betonstyrker og anvende svagere udstøbningsbeton. Dog medføre denne løsning laster på facader og mindre på vægge mellem lejlighedsskel der I forvejen har tykkelse styret af akustik.
- Derfor fravælges denne løsning

# Etagedæk - Bubbledeck



- Bubbledeck med højde på 280 har en har insitu udstøbning der er 0,140m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> og således tilnærmelsesvis det same som Air deck og disse har overslagsmæssigt same egenskaber.
- Samme argumenter som ved Air deck er således gældende og det fravælges.

Type	Height mm	Balls mm	Span m	Mass kg/m <sup>2</sup>	Conc on-site m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
BD 230	230	Ø 180	7 - 10	370	0.10
BD 285	280	Ø 225	8 - 12	460	0.14
BD 340	330	Ø 270	9 - 14	550	0.18
BD 395	380	Ø 315	10 - 16	640	0.20
BD 450	420	Ø 360	11 - 18	730	0.25



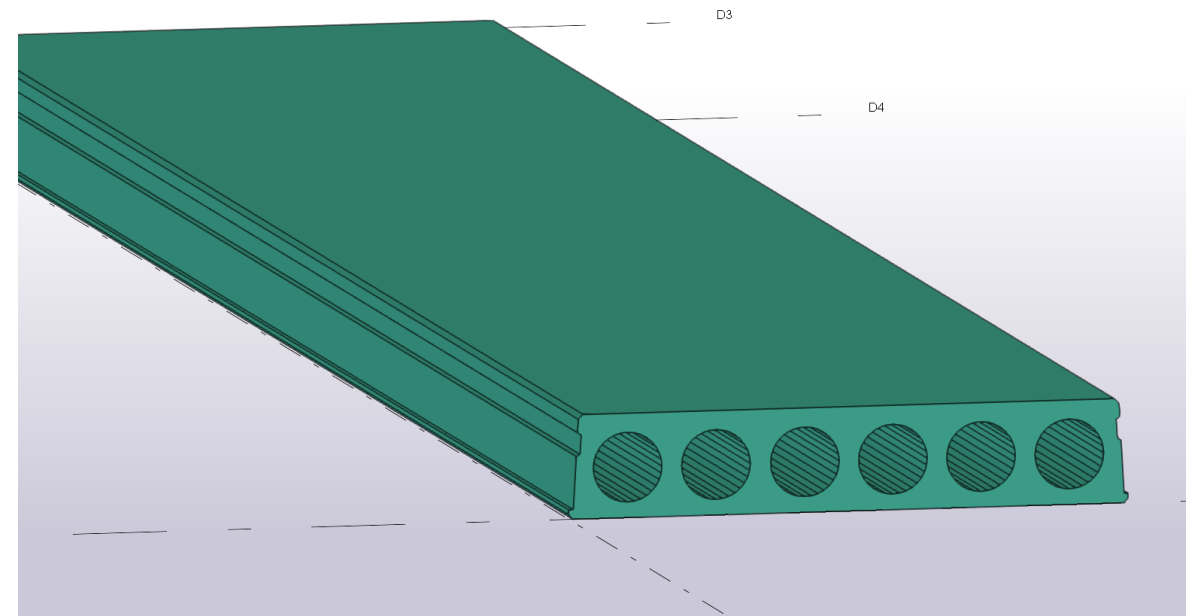
# Etagedæk - Vurdering

Primære optimeringstiltag:

- Reduceret tykkelse af dæk ( $t = 220\text{mm}$ )
- Differentieret tykkelse efter spænd (dog ikke muligt aht. lyd)

Vurdering

Den samlet reduktion af klimapåvirkning på ca. 35% skyldes primært reduktionen af betonmængden, idet tykkelsen er reduceret.



# Dæk-konsekvenser

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for beregninger:

- Ingen

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for udførelse:

- Ingen
  
- Det bemærkes at optimeringen i dette tilfælde ikke resulterede i differentieret dyktykkelser ide lydkrav medførte at reduktion til 180mm dæk ikke var muligt. I andre optimering tilfælde kunne det have medført spring i dæktykkelser med varierende underside af vægge til følge.

# Indervægge – Vurdering

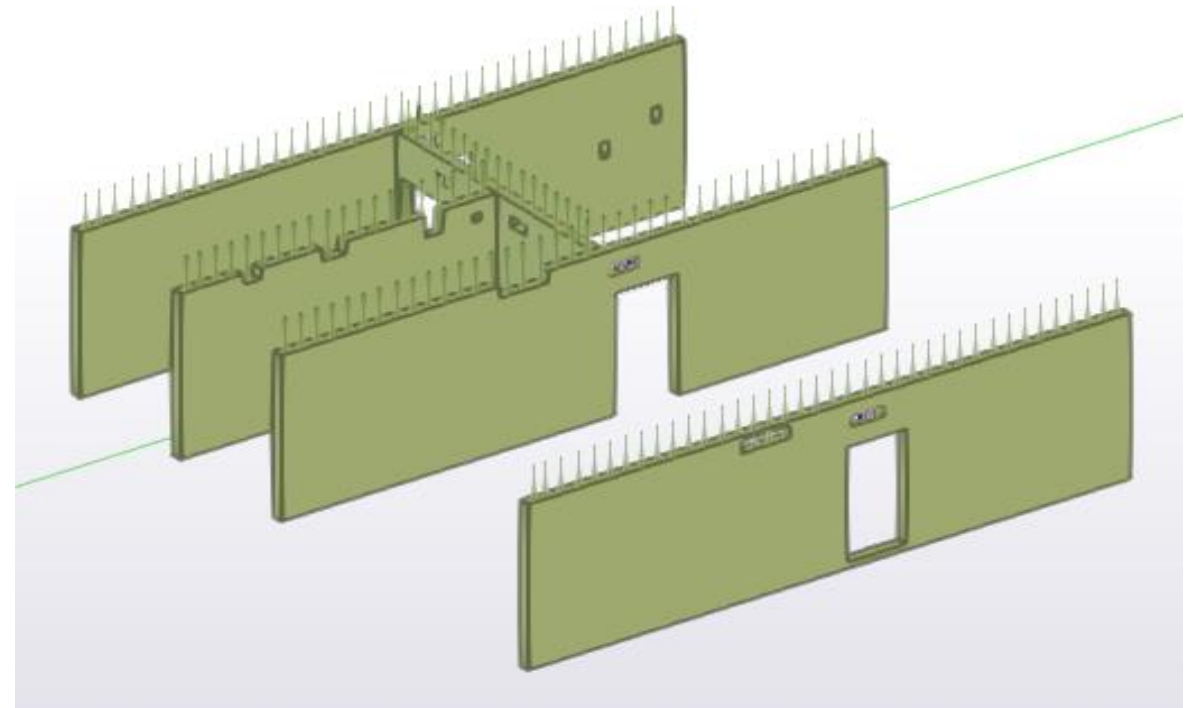
Primære optimeringstiltag:

- Reduceret tykkelse under hensyntagen til lydkrav (t=180mm og 190mm)
- Reduceret betonstyrker (passiv C12, C16 og C20)
- Insitu-støbning muliggøre valg af lavere styrke

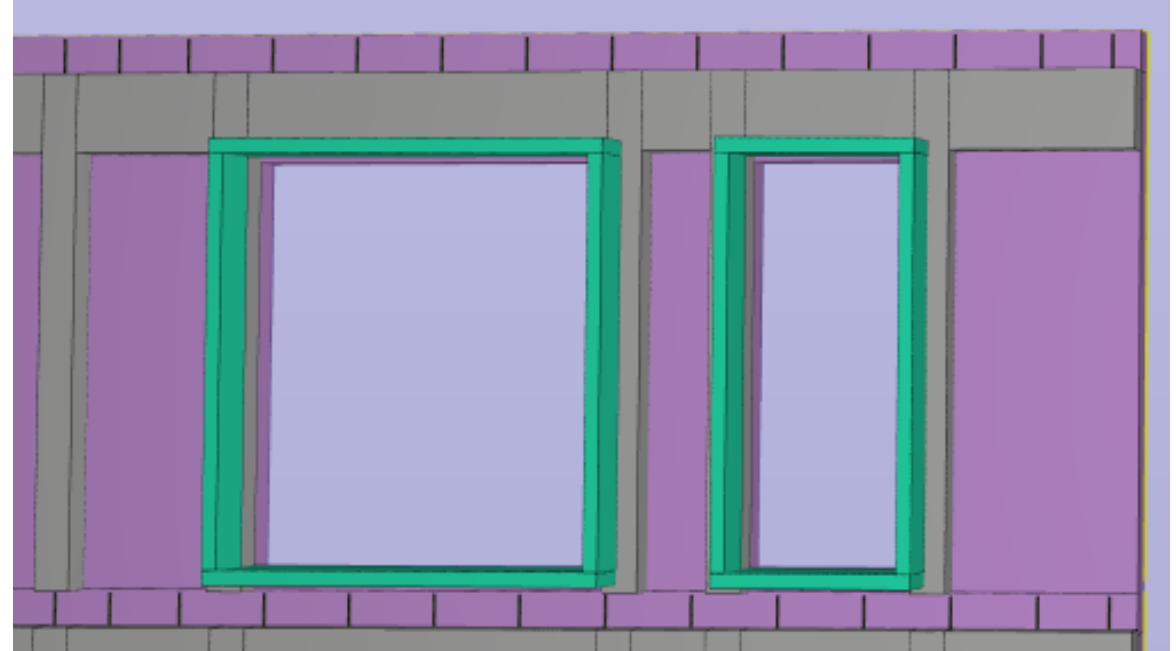
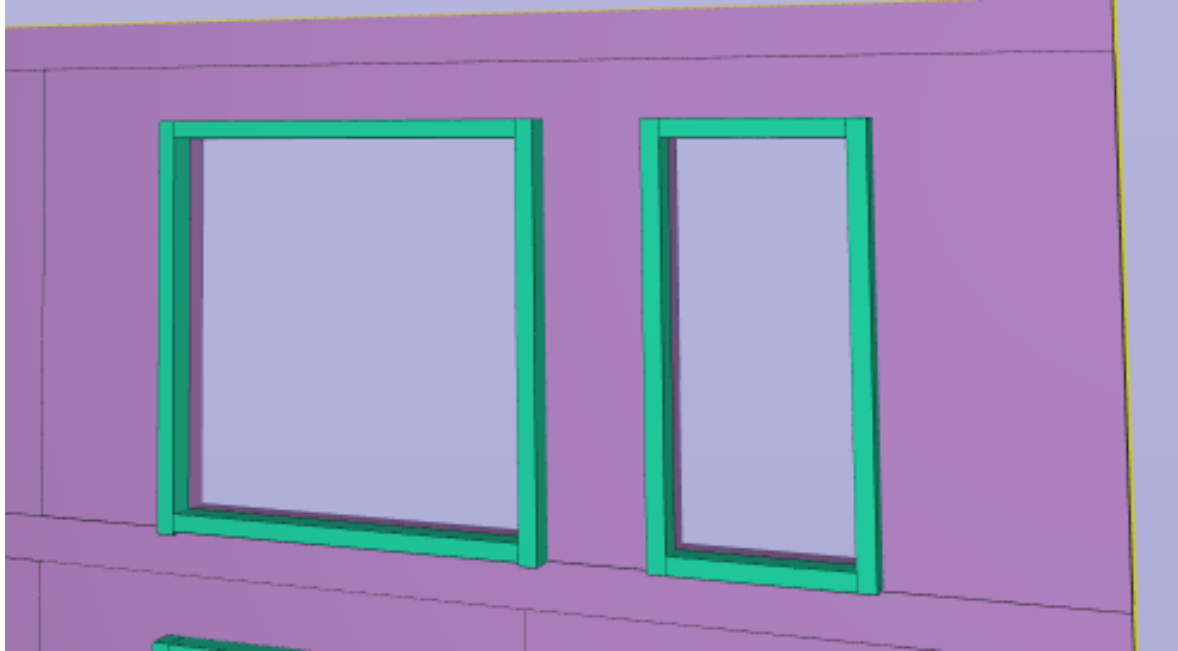
Vurdering

Den samlede reduktion af klimapåvirkning på ca. 60% tilskrives primært valg af lavere betonstyrke. Reduktionen af betonmængden er begrænset, 3%, og skyldes en mindre tykkelsesreduktion.

Reduktionen af armering er på 11%. Anvendelse af svagere beton vil for søjlevirkning vi vægge, normalt medføre armeringsforøgelse, og reduktionen kan tilskrives optimeret plastiske beregninger, og inklusion af gunstig virkning af tilstødende vægge.



# Façade elementvægge



# Facadeelementer - Vurdering

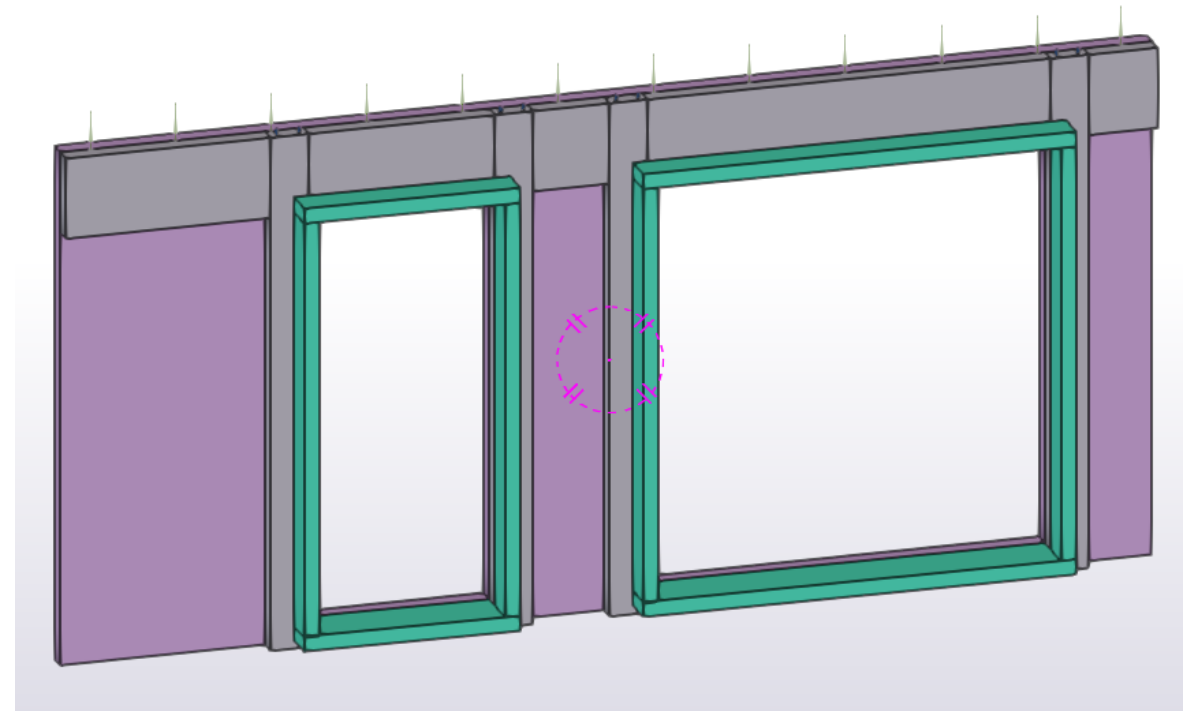
Primære optimeringstiltag:

- Tynd væg med fortykkelser omkring åbninger
- Fortykkelse i top ved bjælkeoverligger og for vederlag
  - Bagvæg  $t = 100\text{mm}$  (lilla)
  - Søjlefortykkelse  $t = 200/250\text{mm}$  (grå)
  - Bjælkefortykkelse  $t = 200\text{mm}$  (grå)
- Reduceret betonstyrke (Passiv C20 og C35)

Vurdering

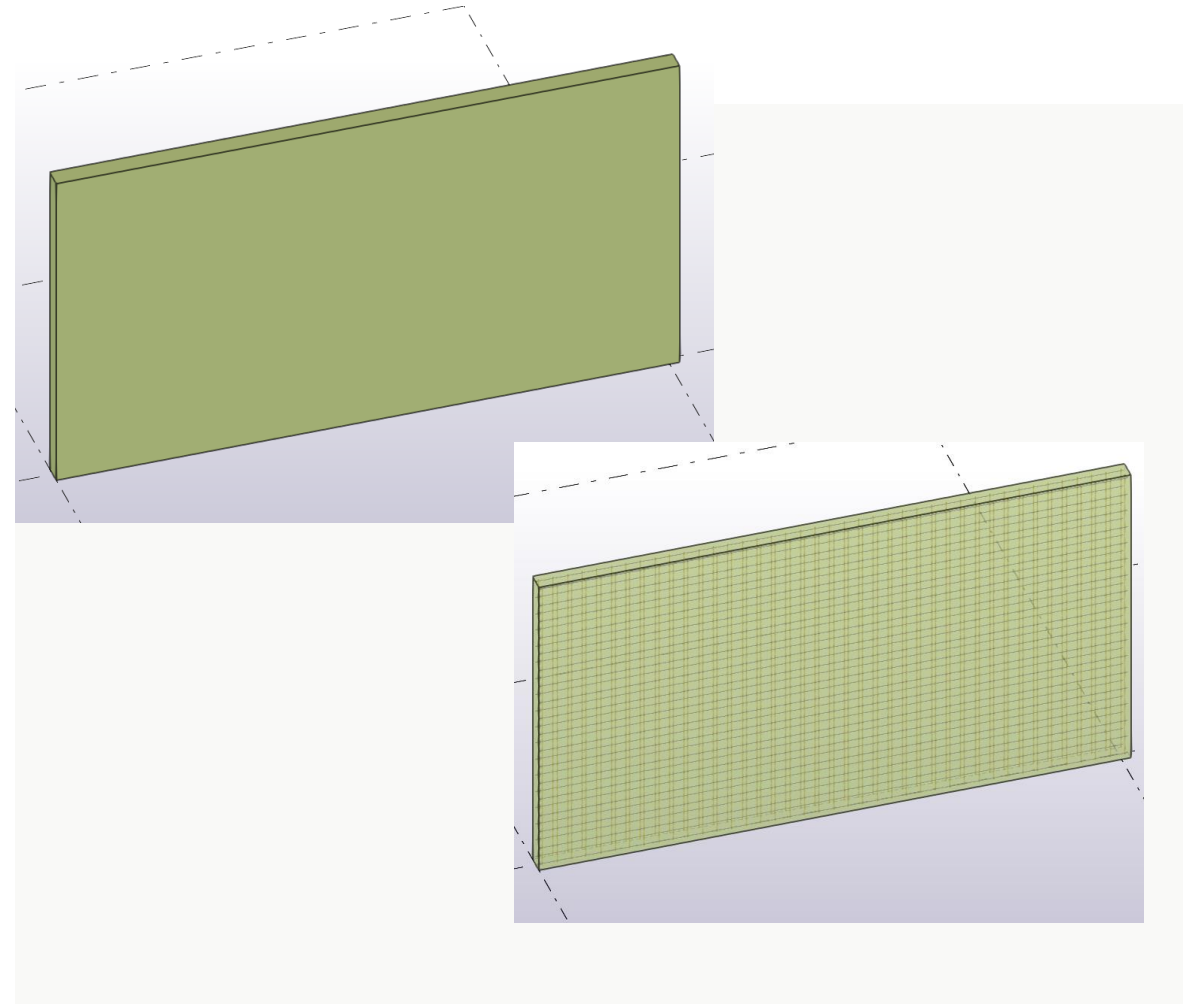
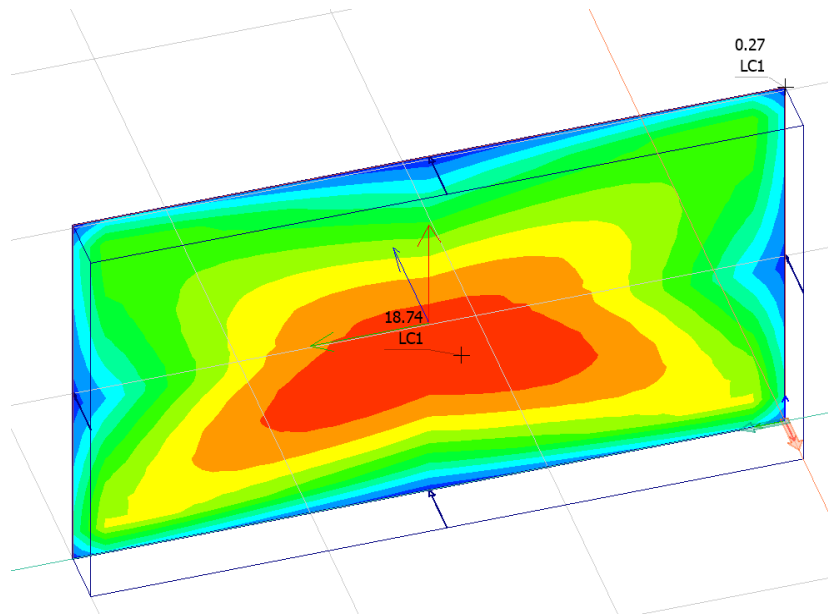
Den samlede reduktion af klimapåvirkningen på 38-47%, skyldes primært reduktionen af betonmængden, idet tykkelsen er reduceret, samt valg af lavere betonstyrke.

Den reducerede betonmængde skyldes valg af "ramme-system".



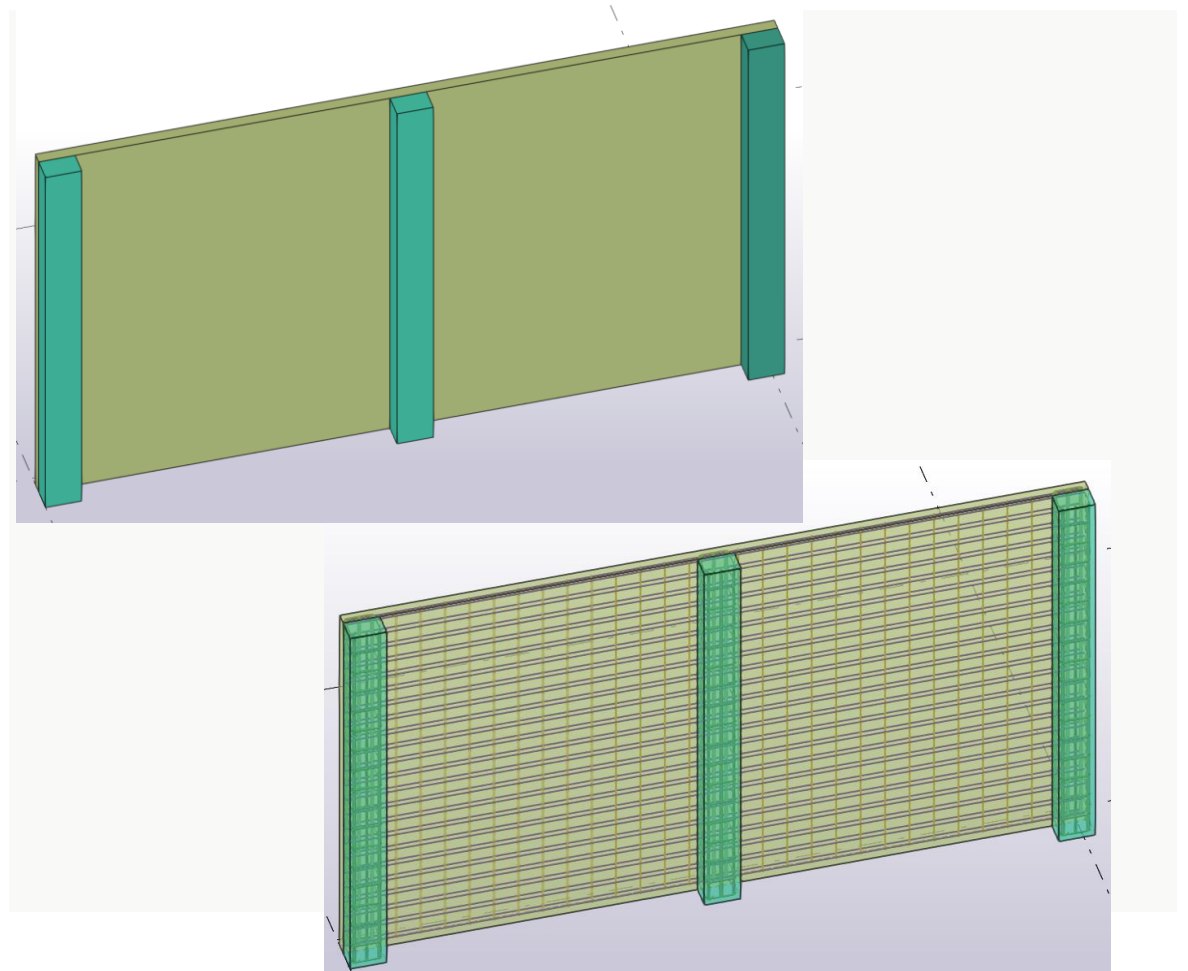
# Kælder ydervægge - 4-sidet spændt vægfelt

- Kældervæg udføres insitustøbt virkende 4-sidet understøttet, i top, bund og sider af tværvægge.
  - Maks moment i væg for jordtryk:
    - $M_{Ed} = 18,74 \text{ kNm/m}$



# Kælder ydervægge - Med lodrette ribber

- Det ses umiddelbart at dette er en optimeret løsning og denne tilvælges.
- Det bemærkes at denne løsning "udnytter" den vandrette svindarmering der typisk er i kældervæggen i forvejen.
- Det bemærkes også at de lodrette ribber forventeligt skal placeres hvor den lodrette last er størst fra facadeelementer og således til dels er styret af ovenstående konstruktioner.



# Kælderydervægge - Vurdering

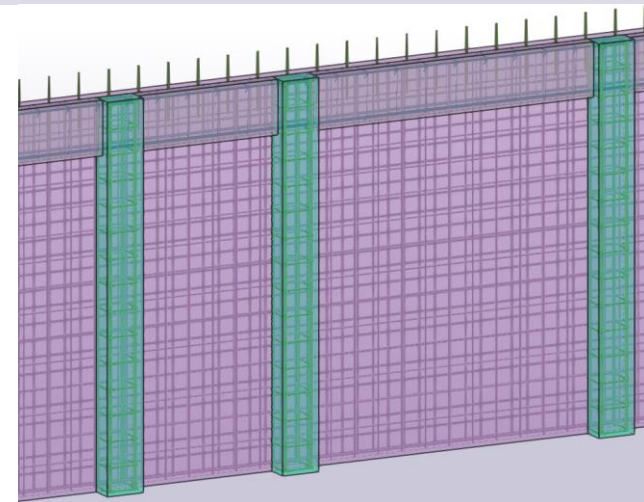
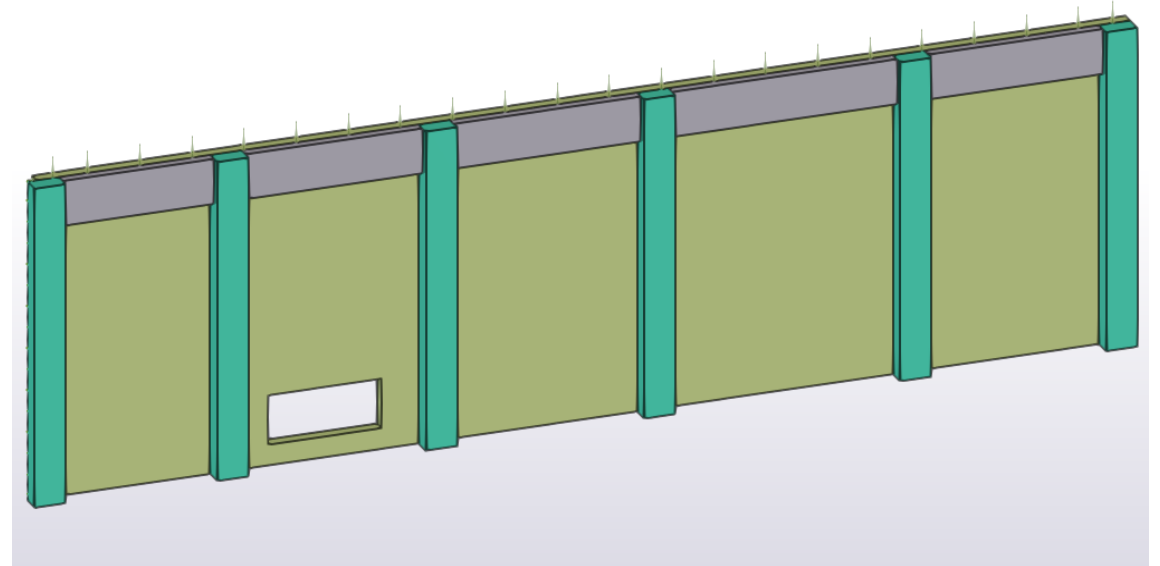
Primære optimeringstiltag:

- Tynd væg ( $t = 120\text{mm}$ )
- Lodrette ripper
- Nedsat betonstyrke (passiv C20)

Vurdering

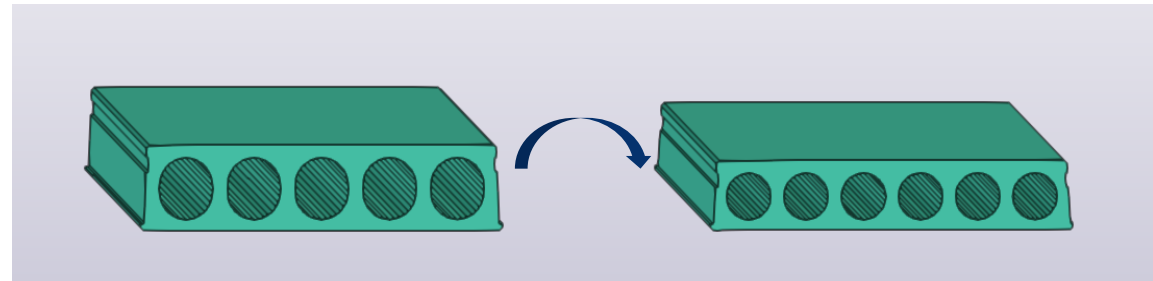
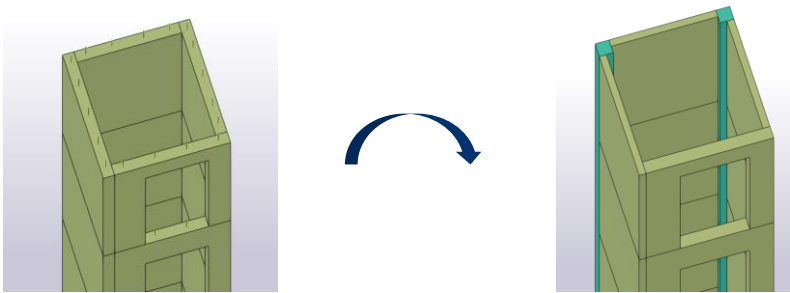
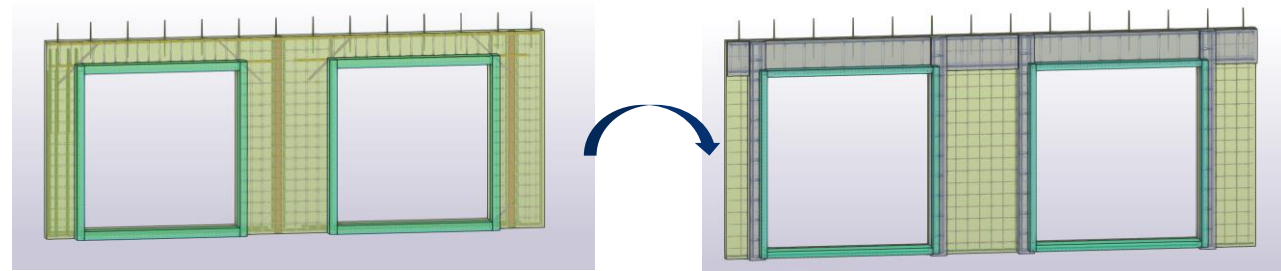
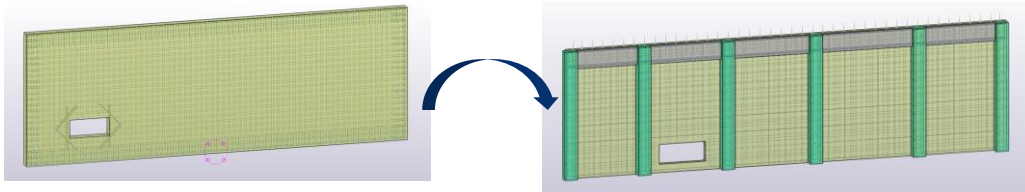
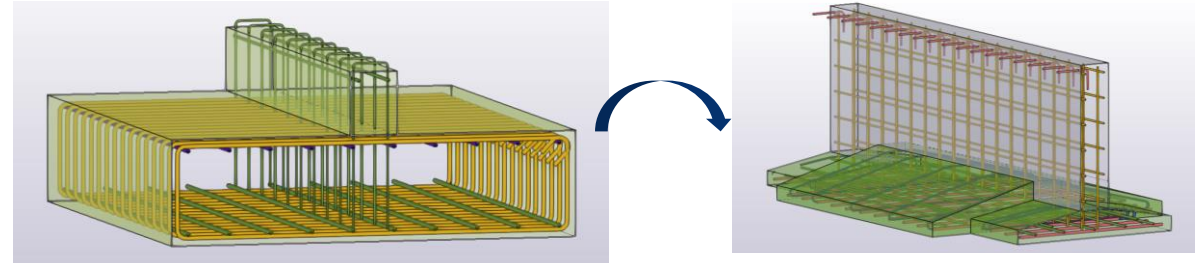
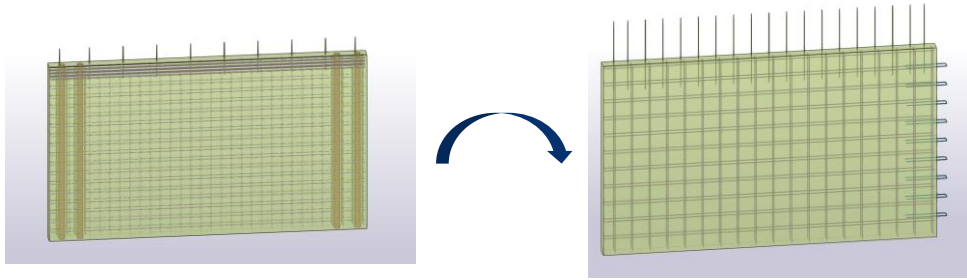
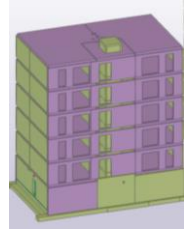
Den samlede reduktion af klimapåvikning på ca. 40%, skyldes primært reduktionen af betonmængden på 27%, samt valg af lavere betonstyrke. Den reducerede betonmængde skyldes valg af "ribbe-system".

Armeringsmængden er steget med 75% hvilket hænger naturligt sammen med behov for et mere "hårdt armeret" tværsnit når tykkelsen reduceres.





# Original->optimeret



Bright ideas.  
Sustainable change.

