Til
Dansk Beton

Dokumenttype
Hovedrapport

Dato
Oktober 2024

Designoptimering af Kværnloftet, Risskov Brynet

Hovedrapport

RAMBØLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Designoptimering af Kværnloftet, Risskov Brynet
Hovedrapport

Projektnavn	**Designoptimering af Kværnloftet, Risskov Brynet**
Projektnr.	**1100058374**
Modtager	**Dansk Beton**
Dokumenttype	**Hovedrapport**
Version	**003**
Dato	**25 Oktober 2024**
Udarbejdet af	**TXG, SNDM, MOGA**
Kontrolleret af	**MOGA (TXG afsnit), TXG (SNDM og MOGA afsnit)**
Godkendt af	**TXG**

Rambøll
Olof Palmes Allé 22
DK-8200 Aarhus N

T +45 5161 1000
https://dk.ramboll.com

Rambøll Danmark A/S
CVR NR. 35128417

Medlem af FRI

Indhold

1.	Indledning	2
2.	Opsummering	2
3.	Beskrivelse af opgaveløsning	4
3.1	Optimeringsprocessen	4
3.2	Forudsætninger – fasen	4
3.3	Idegenerering-fasen	4
3.4	Klassificering	5
3.5	Valg/Fravalg	5
3.6	Koncept kombinering	5
3.7	Vurdering	5
3.8	Klimaberegninger	6
3.8.1	Forudsætninger for oprindeligt projekt	6
3.8.2	Forudsætninger for optimeret projekt	9
3.8.3	Usikkerheder ved den teknologiske udvikling i betonbranchen	11
3.8.4	Usikkerheder i sammenligning af in-situ og element konstruktioner	11
4.	Forbehold, afgrænsninger	12
4.1	Overordnet afgrænsning	12
5.	Forudsætninger vedr. oprindeligt projekt	13
5.1	Relevante datoer	13
5.2	Normer	14
5.3	Mængdeopgørelse	14
6.	Forudsætninger vedr. optimeret projekt	15
6.1	Normer	15
6.2	Belastninger	15
6.2.1	Vind	15
6.3	Konstruktionsmæssige forudsætninger	16
6.3.1	Materiale forudsætninger	16
6.3.2	Kælderydervægge	16
6.3.3	Membran på kældervægge	17
6.3.4	Fundamenter	17
7.	Vurdering af resultater af optimering	17
8.	Appendiks oversigt	18
9.	Appendiks 1 – Uddrag af oprindeligt projektmateriale	18
10.	Appendiks 2 - EPD'er for oprindeligt projekt	18
11.	Appendiks 3 – EPD'er for optimeret projekt	18
12.	Appendiks 4 – Spørgeskemabesvarelser	18
13.	Appendiks 5 – Eksponeringsklasser, forudsætninger	18
14.	Appendiks 6 – Lyd forudsætninger	18
15.	Appendiks 7 – Idegenerering	18
16.	Appendiks 8 – Valg af designløsninger	18
17.	Appendiks 9 - LCA resultater	18
18.	Appendiks 10 - Statisk dokumentation	18
19.	Appendiks 11 - LCA resultater ved fastholdelse af elementløsninger	18

1. Indledning

Nærværende rapport omhandler undersøgelser, der er udført i forbindelse med projektet "Designoptimering af Kværntoftet, Riskov Brynet".

Baggrunden for projektet kan kort beskrives ud fra følgende:
"Dansk Beton ønsker på et konkret eksempel at undersøge, hvor stor en mængde beton og armering, der kan spares ved at give de projekterende mulighed for at designe og beregne betonkonstruktionerne med det formål at spare mest muligt på materialerne."

" Dansk Beton ønsker at skabe konkrete data for potentialet i at optimere et byggeprojekt med fokus på materialebesparelse af beton og armering. Målet er ved et konkret eksempel at belyse de konkrete effekter af, at bringe "Dialoggrundlagets" spørgsmål i spil i forbindelse med design af betonkonstruktioner. "

Formålet med projektet "Designoptimering af Kværnloftet, Risskov Brynet" er, med afsæt i de udleverede tegninger og projekt-materiale, at gennemføre en genberegning af betonkonstruktionerne i projektet med henblik på at pege på besparelsespotentialet for beton og armering. Den grundlæggende konstruktionsopbygning ønskes bevaret, og optimeringsopgaven har således udelukkende til formål at foretage en optimering af mængden af beton (reduktion af vægtykkelser, fundamentsbredder, m.m.), beton (reduceret styrke) og armering for den eksisterende konstruktion.

Opsummeret således:

• Målet er at aflevere et kvantitativt resultat for, hvor store mængder beton og armering der ville have været sparet, hvis betonkonstruktionerne havde været optimeret med netop det formål. Resultatet opgøres både i mængder og i et estimeret besparelsespotentiale målt i CO_2e.

• Målet er desuden at pege på eventuelle uhensigtsmæssigheder i valg af betonstyrker og eksponeringsklasser for det pågældende byggeri.

• Målet er endelig kvalitativt at indikere de afledte konsekvenser af det optimerede design for rådgivernes honorar, for entreprenørernes udførelse samt for produktionen af betonelementer på fabrikken.

Som et tillæg til oprindeligt opdrag er der lavet en undersøgelse af optimering hvis elementløsning for indervægge og elevatorkerner fastholdes. Der er redegjort for dette i Appendiks 11 - LCA resultater ved fastholdelse af elementløsninger.

2. Opsummering

De bærende betonkonstruktioner i Punkthuset/høj bygning (8-etagers boligbyggeri) og et udsnit af Slangen/Lav bygning (5-etagers boligbyggeri med kælder) er optimeret med henblik på reduktion af CO_2e, og der er undervejs kvalitativt vurderet og noteret, hvilke konsekvenser de optimerede valg har for beregninger og udførelse.

Udgangspunkt for arbejdet har været en proces, hvor spørgsmål i "Dialoggrundlag for designoptimering af betonkonstruktioner[1]" har været bragt i spil ligesom indledende dialoger med producenter har indgået i denne proces.

Overordnet er der fundet en CO_2e reduktion ved optimering på ca. 48% for Punkthuset og ca. 49% for Slangen.

Reduktioner er opnået ved blandet andet:

- Reduktion af vægtykkelser
- Reduktion af betonstyrker
- Reduktion af dæktykkelser (differentieret dæktykkelser)
- Generelt lavere CO_2e aftryk på beton og armering end ved opførelsestidspunkt

Ved optimering er der dog også opnået besparelser ved mere utraditionelt design og beregningsmetoder så som:

- Ribbede facade-bagvægge
- Ribbede kældervægge
- Trekantformet stribefundamenter

Ovenstående punkter er ikke udtømmende, men illustrerer, at der er i dette projekt alene er optimeret ud fra CO_2e.
En beskrivelse af valgene fremgår i Appendiks 8 – Valg af designløsninger, hvor også konsekvenserne for beregninger og udførelse er vurderet kvalitativt.

Konsekvenser for udførelse er helt generelt, at de valgte løsninger er mere komplicerede, da geometrien er varierende, og der er differentieret i armeringsudformninger og styrker.
Konsekvenserne for udførelse er blandt andet:

- Valg af in-situstøbte indervægge og elevatorkerner med varierende styrker og armeringsudformning gennem bygningerne er et skift i udførelsesmetode. Dette skal ses i forhold til, at det oprindeligt er betonelementer, der er valgt. Derudover bidrager skiftet i betonstyrke og armeringsudformning gennem bygningen til at komplicere udførelsen.
- Valget af ribbede facadebagvægge gør det mere kompliceret at udføre bagvægselementerne. Isoleringsgeometrien i væggene er mere kompliceret og armeringsudformningen er også mere kompliceret.
- Valg af ribbede kældervægge er ligeledes mere kompliceret at udføre. Dette skyldes både geometri og armeringsudformning.
- Valget af trekantsformede stribefundamenter medfører, at der skal udstøbes fundamenter på en måde der ikke er traditionel. Primært medfører denne geometri formarbejde der ikke er traditionelt, og armeringsudformningen er også utraditionelt.

Konsekvenser for beregninger er blandt andet:

- Brug af plastiske beregninger med mere differentieret armeringsudformning samt varierende betonstyrker med flere beregninger til følge.
- Udnyttelse af tværfastholdelse af vægge ved sammenbygninger med mere komplicerede beregninger til følge.
- Beregninger, der afviger fra sædvanlig praksis, for blandt andet ribbede konstruktioner og trekantet stribefundamenter.

[1] Se: https://www.danskindustri.dk/medlemsforeninger/foreningssites/dansk-beton/sog-publikationer/arkiv/baredygtig-beton-initiativ2/dialoggrundlag-for-designoptimering-af-betonkonstruktioner/

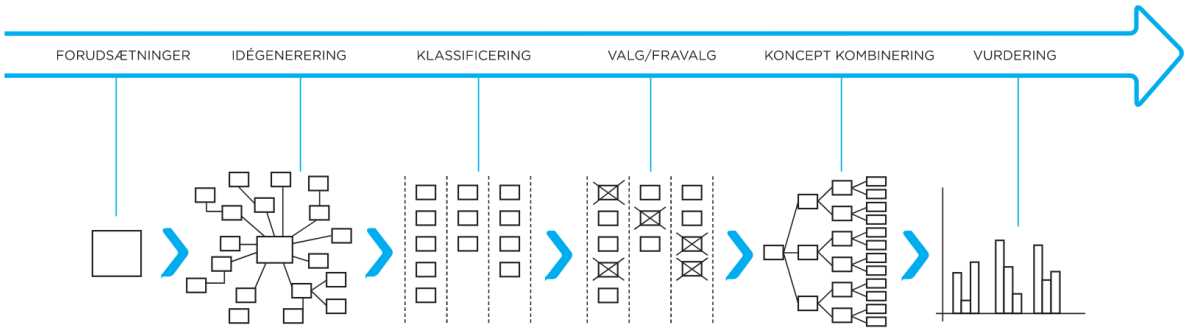
Resultater af klimaberegninger samt en vurdering af årsagerne til reduktioner for de enkelte afsnit fremgår af Appendiks 9 - LCA resultater.

Fastholdes elementløsning for indervægge og elevatorkerner findes der en CO_2e reduktion ved optimering på ca. 45% for Punkthuset og ca. 43% for Slangen.
Der er redegjort for dette i Appendiks 11 - LCA resultater ved fastholdelse af elementløsninger.

3. Beskrivelse af opgaveløsning

3.1 Optimeringsprocessen

Designoptimeringsprocessen er foretaget med udgangspunkt i nedenstående faseopdeling/flow.



Arbejdet i de enkelte faser er nærmere beskrevet i de efterfølgende afsnit sammen med en beskrivelse af afrapporteringen.
Det skal for en god orden skyld nævnes, at der i processen har været flere tilfælde hvor processen har været "cirkulær" med uddybning, udbygning og revurdering af f.eks. tidligere faser. Af hensyn til overblikket er faserne dog fastholdt i denne afrapportering.

3.2 Forudsætninger – fasen

Forudsætningsfasen er en systematisk gennemgang af alle forudsætninger, der vedrører de bærende konstruktioner, og inkluderer, udover laster, også krav til konstruktioner, der er direkte eller indirekte afledt af lydkrav.

Der er foretaget en gennemgang af lydkrav og oplistet, hvad dette medføre af krav til konstruktionernes vægt. Dette fremgår af Appendiks 6 – Lyd forudsætninger.

Derudover er projektet gennemgået med henblik på fastlæggelse af eksponeringsklasser. Udgangspunkt for denne del er 'Dialoggrundlag for designoptimering af betonkonstruktioner', kapitel 7, der netop vedrører dette. Hvor det er relevant, vil der differentieres mellem f.eks. krav til inderside/yderside hvor der kan være forskellige dæklagskrav, revneviddekrav osv. Kravene er oplistet i Appendiks 5 – Eksponeringsklasser, forudsætninger.

3.3 Idegenerering-fasen

I denne fase gennemgås forskellige ideer til, hvordan de bærende konstruktioner kan optimeres mht. CO_2e. Udgangspunktet er her at se på mulige løsninger uden at vurdere disse. Det er i denne fase ok at foreslå "en skævert", vel vidende at det senere vil blive frasorteret.
'Dialoggrundlag for designoptimering af betonkonstruktioner', kapitel 6, kan overordnet set betragtes som en inspirationsliste til denne fase.

Denne fase skal også indeholde dialog med elementprojekterende og leverandører for at afklare, om de har gode ideer eller forslag. Efter aftale med Dansk Beton har der været afholdt dialogmøder med Spæncom, CRH og Unicon. Dialogmøder har taget udgangspunkt i et spørgeskema, der er tilsendt, som så er blevet drøftet på et møde. Efterfølgende er der fulgt op med udfyldning af spørgeskema og tilsendelse af supplerende oplysninger. Dette fremgår af Appendiks 4 – Spørgeskemabesvarelser.

Idegenereringen er afrapporteret i Appendiks 7 – Idegenerering. I denne fremgår ideer, men der gøres for en god orden skyld opmærksom på, at ikke alle ideer er lige selvforklarende og dybdegående beskrevet. Ligeledes bemærkes det, at der i dette appendiks allerede er foretaget en klassificering af, hvilke konstruktionsdele ideer kan anvendes på.

3.4 Klassificering

Klassificeringsfasen er en systematisering af ideerne. Hvilke ideer kan f.eks. anvendes på vægge, og hvilke kan anvendes på dækkonstruktioner.
Klassificeringen er indarbejdet i afrapporteringen af idegenereringen – se Appendiks 7 – Idegenerering.

3.5 Valg/Fravalg

Indledningsvis indeholder denne fase en kritisk gennemgang af ideer med henblik på klarlæggelse af, om ideerne er bygbare, falder inden for gældende normer, og om de umiddelbart kan vurderes som meget dyre mht. CO_2e.
Derefter udvælges de løsninger, der ønskes at arbejde videre med, og som forventes at have et stort potentiale ift. CO_2e-besparelse.
Denne del kan sammenlignes med variantberegninger, som beskrevet i 'Dialoggrundlag for designoptimering af betonkonstruktioner'.

De enkelte overvejelser i form af valg/fravalg beregninger på, hvilke løsninger der er mest optimale, fremgår af Appendiks 8 – Valg af designløsninger.

I dette appendiks fremgår også, hvilke kombinationer der er valgt som mest optimalt.

3.6 Koncept kombinering

Dette er fasen, hvor valgte løsninger kombineres, og der foretages en projektering af konstruktionsdelene. For at opnå minimalt CO_2e-forbrug vil kombineringen af løsninger være afgørende. Valg af f.eks. spændretninger for dæk vil afgøre, om vægge er bærende, og dette vil have indflydelse på, hvilken vægløsning der er optimal.

På denne optimeringsopgave er det vurderet, at det primært er dæks spændretninger, der har indflydelse vægbelastninger/vægdesignsløsninger. Det er vurderet, at fastlæggelse af den mest optimale løsning var lettetst at afrapportere i forbindelse med forrige fase. Afrapporteringen fremgår således samlet med en opsummering af de valgte kombinationer i Appendiks 8 – Valg af designløsninger.

3.7 Vurdering

I denne fase foretages design af bygningerne/bygningsudsnit, og ud fra dette fastlægges materialemængder, og der foretages klimaberegninger.
Klimaberegningerne er nærmer beskrevet i afsnittet Klimaberegninger. Forudsætningerne vedr. optimeret projekt er beskrevet nærmere i afsnittet Forudsætninger vedr. optimeret projekt.

En sammenfatning af optimeret projekt sammenholdt med oprindeligt fremgår af Appendiks 9 - LCA resultater.

Som en del af vurderingen indgår også en kvalitativ vurdering af konsekvenserne for udførelsen og beregninger af de designoptimeringer, der er valgt. Det er dog fundet mest hensigtsmæssigt at afrapporterer dette sammen med opsummeringen på valg af designløsninger, hvorfor dette fremgår af Appendiks 8 – Valg af designløsninger.

3.8 Klimaberegninger

Klimaberegningerne i denne rapport er udført i henhold til kravene stillet i BR18(2023) §297-298, gældende for klimaberegning af bygninger fra 1. januar 2023 til 30. juni 2025. Der udføres udelukkende beregninger for betonkonstruktionerne og eventuelt dertilhørende konstruktive dele, som har til formål at opretholde betonkonstruktionernes funktion.

Klimaberegningerne følger derudover BR18's vejledning vedrørende forenklinger i henhold til BR18 Bilag 2, Tabel 6. Heri er det beskrevet, at samlinger mellem elementer kan anses for samme konstruktioner, hvorfor fugearmering og sammenstøbning mellem vægge/dæk, medregnes som klimapåvirkning af selve betonelementerne. Dette antages som en acceptabel forenkling, da der forventeligt ikke er nogen nævneværdig optimering at hente i hverken fugearmeringen og sammenstøbningerne.

3.8.1 Forudsætninger for oprindeligt projekt

Til klimaberegningerne af det oprindelige projekt er der taget udgangspunkt i branche-EPDer for fabriksbeton og betonelementer, som også er de data, som er tilgængelige i BR18 Bilag 2, Tabel 7 Generisk Datagrundlag. De anvendte branche-EPDer er opgivet i Appendiks 2. Disse branche-EPD'er er det generelle grundlag, der anvendes for klimaberegning af betonbyggeri på tidspunktet for udarbejdningen af denne rapport.

Den baggrundsdata, der indgår i branche-EPDerne, fremgår at være blevet indsamlet i året 2018, hvorfor det sammenfalder med opførelsen af det oprindelige projekt i 2018-2019. Branche-EPDerne anses derfor for at være retvisende for klimapåvirkningen af det oprindelige projekt.

3.8.1.1 Betonelementer

Branche-EPDerne for vægelementer er beskrevet som værende med "11% udsparringer", men da der i denne rapport regnes med nettoareal af vægelementer, for at få det mest præcise resultat, korrigeres der i resultaterne fra EPD'en, så udsparinger ikke fremgår af resultaterne. Dette gøres ved formlen 1/0,89 = 1,12, hvor resultaterne i EPD'en multipliceres med 1,12 for at korrigere for udsparinger.

EPDerne skaleres for tykkelsen af vægelementer ved en lineær skalering op eller ned, fra den nærmeste dimension angivet i EPDen. Så en 180 mm væg udregnes som 180/200 = 0,9. Dermed beregnes en 180 mm væg ud fra branche-EPDernes resultaterne med en skaleringsfaktor på 0,9 * 1,12 = 1,008.

Ved beregning af vægelementer konverteres volumen af false til et ækvivalent volumen af væg.

For huldæk anvendes der lineær skalering mellem egenvægten af elementerne fremfor tykkelsen, da mængden af beton i huldæk ikke skalerer lineært med tykkelsen på grund af hullernes geometri.

Ud fra dette regnes der med følgende CO_2e-værdier for betonelementer i det oprindelige projekt:

Vægelement Branche EPD (se appendiks 2)	A1-A3 + C3 + C4 (korrigeret for udsparringer) KgCO_2e/m2
150 mm (5-15 kg/m2)	**61,53**
200 mm (5-15 kg/m2)	**77,65**
200 mm (16-25 kg/m2)	**84,74**

Huldæk Branche EPD (se appendiks 2)	A1-A3 + C3 + C4 KgCO_2e/m2
220 mm (344,6 kg/m2)	**51,6**
270 mm (361 kg/m2) Jf. Boligbeton	**54,1** (Interpoleret ud fra vægt)

For at kunne sammenligne mulige optimeringsløsninger samt at kunne sammenligne fordele og ulemper ved insitu- og elementbetonkonstruktioner er det nødvendigt, at kunne sige noget mere præcist om forholdet mellem beton og armering i elementkonstruktionerne.

For branche-EPDen for betonelementvægge (MD-20015-DA_rev1) er der en udfordring i, at armeringsmængderne i elementerne er beskrevet som et spænd. For et vægelement på 150 mm er der beskrevet en armeringsgrad på 5-15 kg/m2, som udgangspunkt vides det ikke, om resultatet er beregnet for 5 kg, 15 kg eller et sted midt imellem.

Herudover indgår beton og armering i et samlet resultat for GWP, hvilket gør at adskillelse af de to dele, som udgangspunkt ikke muligt. Det er således principielt ikke muligt at vurdere effekten af at kunne reducere armeringsmængden fra f.eks. 15 kg/m2 til 10 kg/m2. Da begge armeringsmængder er dækket af den samme branche-EPD, hvormed resultaterne på papiret vil være identiske.

Dette projekt har i samarbejde med Dansk Beton set nærmere på forudsætningerne for Branche-EPDen på betonelementvægge for at kunne finde en klimapåvirkning opdelt på armering og beton, der kan give *indikative* besparelser ved at reducere henholdsvis armering eller beton, inden for samme branche-EPD. Her er det fra Dansk Betons side opgivet, at følgende armeringsmængder er anvendt i EPDen:

- 150 mm vægelement 5-15 kg/m2: 9,5 kg/m2 armering
- 200 mm vægelement 5-15 kg/m2: 11,0 kg/m2 armering
- 200 mm vægelement 16-25 kg/m2: 17,3 kg/m2 armering

Ud fra dette er der blevet estimeret værdier for henholdsvis armering og beton jf. nedenstående tabel

Væg	A1-A3 + C3 + C4 (korrigeret for udsparringer) KgCO_2e/m2	Armeringsmængde anvendt ved EPD Kg/m2	Armering kgCO_2e/m2	Beton kgCO_2e/m2
150 mm (5-15 kg/m2)	61,53	9,5	10,69	50,65
200 mm (5-15 kg/m2)	77,65	11	12,38	65,27
200mm (16-25 kg/m2)	84,74	17,3	19,47	65,27

Eksempel på beregninger af estimeret værdier:

200 mm vægelement 5-15 kg/m2: 11,0 kg/m2 armering A1-A3+C3+C4: 77,65 kgCO_2e*/m2*

200 mm vægelement 16-25 kg/m2: 17,3 kg/m2 armering A1-A3+C3+C4: 84,74 kgCO_2e*/m2*

Difference armering: 6,3 kg/m2.

Difference CO_2e*: 7,09kg*CO_2e*/m2*

Armering CO_2e*:* ***1,13kg***CO_2e***/kg***

CO_2e *fra armering i 200 mm vægelement 5-15 kg/m2: 12,38 kg*CO_2e*/m2*

CO_2e *fra beton i 200 mm vægelement fratrukket armering: 65,27 kg*CO_2e*/m2* ***(326 kg***CO_2e***/m3)***

I ovenstående tabel er bidrag fra beton og armering fra 150 mm væg beregnet ud fra samme CO_2e for armering som ved 200 mm væg. Det bemærkes, at hvis der i stedet tages udgangspunkt i CO_2e bidrag for 200mm væg, ville der være en mindre korrektion i værdier for hhv. beton og armeringsbidrag.

I disse resultater for beton og armering ligger der dog et skjult bidrag fra transport af materialer til elementproducenten (A2) samt drift og udførelse hos elementproducenten (A3). Resultaterne for henholdsvis beton og armeringsstål er derfor ikke det rene resultat som det ville være, hvis beton og stål blev beregnet som individuelle materialer, som det er tilfældet i en in-situ betonkonstruktion.

Tallene for beton og armering i elementkonstruktioner vil derfor alene blive brugt til at vise effekten af at reducere armeringsmængden i et betonelement samt til at give en *indikation* på hvad forskelle mellem in-situ og elementer betonkonstruktioner er. Se afsnit 3.8.4 for yderligere forklaring.

Ud fra ovenstående er der regnet med følgende klimapåvirkning fra henholdsvis armering og beton i det oprindelige projekt, hvor klimapåvirkningen for de enkelte materialer er oplyst separat:

- Beton: 326 kg CO_2e/m3
- Armering: 1,13 kg CO_2e/kg

3.8.1.2 Insitu beton

For insitu beton anvendes branche EPDerne, hvor CO_2e-værdierne er oplyst som følgende:

Betontyper (se appendiks 2)	A1-A3 + C3 + C4 kgCO_2e/m3
Fabriksbeton C20/25 SCC	227,1
Fabriksbeton C25/30	252,7
Fabriksbeton C30/37	293,7
Fabriksbeton C35/45 SCC	311,4
Fabriksbeton C35/45 -Cem I SR-5	414,9
Fabriksbeton C35/45 -Cem I	374,3
Fabriksbeton C35/45 -fugebeton/sammenstøbningsbeton	14,5
Fabriksbeton C40/50 -Cem I SR-5	477,1
Fabriksbeton C40/50 -Cem I	440,8
Fabriksbeton C45/55 -Cem I	437,7

Ud fra ovenstående er der anvendt følgende CO_2e-værdier til de relevante insitu betontyper i det oprindelige projekt:

Insitu betontyper i oprindeligt projekt	Branche EPD	A1-A3 + C3 + C4 kgCO_2e/m3
C25-Moderat	C30/37	**293,7**
C25-Passiv	C25/30	**252,7**
C25-Aggressiv	C35/45-Cem I	**374,3**

For armering er der anvendt CO_2e-værdi for armeringsnet jf. BR18, Bilag 2, Tabel 7, baseret på datasæt fra Ökobaudat (se appendiks 2)

Armering: **0,683 kg**CO_2e**/kg**

3.8.2 Forudsætninger for optimeret projekt

For det optimerede projekt har Rambøll indgået i dialog med en række producenter på henholdsvis fabriksbeton og betonelementer med fokus på at få leveret specifikke EPD'er med den lavest mulige klimapåvirkning. Disse EPD'er beskriver således den optimering, som projektet kan opnå alene ved at specificere et produkt med lavere klimapåvirkning fra producenterne. Alle de specifikke EPD'er, som anvendes til beregningerne, kan ses oplistet i Appendiks 3.

Dette er ført til, at der for betonelementer er arbejdet med data fra CRH, og for in-situ beton er der arbejdet med de offentlige tilgængelige produkt-EPDer fra Unicon, på deres UNI-GREEN produktserie. For armering i in-situ beton er der indhentet EPD'er fra de produkter, som Lemvigh Müller forhandler, hvoraf der er udvalgt den leverandør af armeringsstål, som har den laveste klimapåvirkning. Her er der valgt både armeringsnet og armeringsstang fra Celsa.

3.8.2.1 Betonelementer

For vægelementer i det optimerede projekter der regnet med data fra CRH's EPDer (se appendiks 3), hvor disse er omregnet til klimapåvirkning fra henholdsvis armering og beton. Dette er gjort for det optimerede projekt for at få et resultat, der er så præcist som muligt. Adskillelsen er

mulig, da EPDerne fra CRH er opgjort som 1 ton vægelement med enten 32,6 kg armering per ton, eller 103,1 kg armering per ton. Opdelingen imellem armering og beton indebærer dog stadigvæk usikkerheder vedr. transport (A2) og fabriksdrift (A3) som beskrevet i afsnit 3.8.1.1, hvilket også er grunden til, at resultatet for kgCO_2e/kg armering ikke er den samme på tværs af de to betonstyrker.

CRH (se appendiks 3)	Styrke	kg arm / m2	kg arm / ton	kg CO_2e/ton	Densitet	kg CO_2e/m3 beton	kg CO_2e/kg armering
Lineær interp.	C35	0	0	115,18	2245,43	**258,63**	**0,657**
Oplyst CRH	C35	15 (t=200)	32,6	135,02	2299,00	310,41	
Oplyst CRH	C35	50 (t=200)	103,1	181,31	2424,00	439,49	
Lineær interp.	C20	0	0	80,87	2259,43	**182,71**	**0,701**
Oplyst CRH	C20	15 (t=200)	32,6	102,06	2313,00	236,06	
Oplyst CRH	C20	50 (t=200)	103,1	151,51	2438,00	369,38	

For C20 elementer udregnes

CO_2e *difference mellem*
C20 med 103,1t.arm/m3 og C20 med 32,6t.arm/m3:
49,45 kgCO_2e*/t*

Armering difference mellem
C20 med 103,1t.arm/m3 og C20 med 32,6t.arm/m3:
70,5kg/t

CO_2e *Armering i C20: 0,701kg*CO_2e*/kg*
CO_2e *Beton C20: 183 kgO2/m3*

Tilsvarende fås for C35
CO_2e *Armering i C35: 0,657 kg*CO_2e*/kg*
CO_2e *Beton C35: 259 kgO2/m3*

For huldæk er der regnet med CRH Fredagsbeton[2]:

CRH (se appendiks 3)	Huldæk vægt Kg/m2	A1-A3 + C3 + C4 KgCO_2e/ton huldæk	KgCO_2e/m2 huldæk
Huldæk 220 mm	310 (DE/DB)	122,94	38,11

3.8.2.2 Insitu beton

[2] "Fredagsbeton" betyder i praksis elementer der støbes om fredagen og afformes mandag hvorved der opnås længere hærdetid inden afformning.

For insitu beton er der forudsat UNI-Green fra Unicon:

Betontype (se appendiks 3)	A1-A3 + C3 + C4 kg CO_2e/m3
C12 Passiv	131
C16 Passiv	139
C20 Passiv	155
C30 Moderat	213

Ved fastlæggelse af styrker for de relevante EPD'er for fabriksbetoner der taget udgangspunkt i, at Unicon oplyst, at der ved anvendelse af 56 døgns styrken kan opnås en forøgelse af styrkeklassen. Dette fremgår af appendiks 4. Forøgelsen af styrkeklassen for fabriksbetonen bidrager til en lavere klimapåvirkning, da klimapåvirkningen er proportionel med betonstyrken pga. det øgede cementforbrug.

For armering til in-situ beton skelnes der mellem svejste net og løs armering, og der forudsættes hhv. Celsa net og Celsa stang.

Armeringsstål (se appendiks 3)	A1-A3 + C3 + C4 kgCO_2e/kg
Svejste net	0,422
Løs armering	0,305

3.8.3 Usikkerheder ved den teknologiske udvikling i betonbranchen

Selve dataene, som har dannet grundlag for branche-EPD'erne, og som anvendes som grundlag fra baseline beregningen i denne rapport, kommer fra året 2018. Branche-EPD'erne reflekterer derfor klimapåvirkningen i betonbranchen, som den var i år 2018.

Siden 2018 har der været en række teknologiske udviklinger hos de enkelte producenter i forsøget på at optimere deres produktion til en lavere klimapåvirkning. Herudover har alle byggevareproducenter fået givet en generel reduktion af klimapåvirkningen igennem den grønne omstilling af energiforsyningen i Danmark. Dermed vil den præcist samme produktion i 2024 have en lavere klimapåvirkning end i 2018 alene på baggrund af et grønnere energi-mix.

Dette betyder, at en del af besparelserne, som beregnes i denne rapport, skal tilskrives den generelle teknologiske udvikling. Det er dog ikke kvantificeret, hvor stor en andel af besparelserne der kan tilskrives henholdsvis optimering af selve betonprojektet og indarbejdning af best-in-class EPD'er fra betonproducenterne og så selve den teknologiske udvikling i samfundet.

Budskabet fra dette bør dog sammenfattende være, at betonbranchen generelt har en lavere klimapåvirkning i 2024, end den havde i 2018. Derfor kan de branche-EPD'er, der anvendes til at regne klimapåvirkningen af betonkonstruktioner for byggeprojekter, der følger klimakravene i BR18(2023), ikke længere antages at være retvisende for den reelle klimapåvirkning, som betonkonstruktioner har i 2024.

3.8.4 Usikkerheder i sammenligning af in-situ og element konstruktioner

Da A4 (Transport til byggepladsen) og A5 (Forbrug på byggepladsen) ikke er en del af beregningsforudsætninger i BR18(2023) og derfor heller ikke er en del klimaberegningerne i denne rapport, er der i resultaterne ikke taget højde for de usikkerheder, som denne undladelse medfører. Det må dog antages, at resultaterne i denne rapport potentielt vil være anderledes, hvis bidraget fra A4 og A5 medregnes.

Dette skyldes, at klimapåvirkningen af henholdsvis in-situ- og elementbetonkonstruktioner, ikke kan sammenlignes 1:1 uden, at alle faserne fra A1-A5 medtages i klimaberegningerne. Dette skyldes, at forudsætningerne for, hvad der medregnes i A1-A3, er forskellige for in-situ og elementbetonkonstruktioner. A1-A3 omfatter kun produktionen af færdige byggevarer ved fabrikken, for in-situ dækker dette over armeringsstål og fabriksbeton, hvorimod det for betonelementer dækker over det færdige element, inklusiv transport af armeringsstål og råvarer til beton til elementfabrikken, og driften af selve elementfabrikken nødvendigt for at producere betonelementet. Dermed er der også en stor forskel i den påvirkning, som A4 og A5 bidrager med i de to forskellige konstruktionstyper, fordi selve byggeprocessen er forskellig.

Det har ikke været muligt inden for rammerne af denne rapport at vurdere, hvorvidt driften af kran og pumper til fugebeton for elementkonstruktioner vil have en større eller lavere klimapåvirkning end opførelse af forskalling (inkl. kørsel af forskalling til byggepladsen) og pumper til fabriksbeton til udførelse af in-situ-konstruktioner. Dette må derfor anses som en usikkerhed i resultaterne, når der sammenlignes in-situ- og betonelementkonstruktioner.

4. Forbehold, afgrænsninger

4.1 Overordnet afgrænsning

Jf. opgaveformuleringen gælder:
Til brug i dette designoptimeringsprojekt har Dansk Beton valgt en afgrænset del af bebyggelsen ud. I opgaven indgår:

- Punkthuset på 7 etager er i materialet navngivet som bygning D.
- Et udsnit af etagebyggeriet, som er navngivet som bygning B5. Dvs. den del af bygning B, som ligger ved siden af punkthuset, og den del af etagebyggeriet, som er opført med rette vinkler uden buede facader.

Udsnittet, som indgår i opgaveløsningen, er illustreret på figuren nedenfor:

I designoptimeringsopgaven indgår optimeringer på betonkonstruktionerne, herunder:
- Vægge – både kælder, indvendige og facader
- Dæk
- Fundamenter og terrændæk

Trapper, altaner og karnapper indgår ikke i designoptimeringsopgaven.

5. Forudsætninger vedr. oprindeligt projekt

5.1 Relevante datoer

JF. NRE (mail af 2024 05 24) gælder:" Byggetilladelse er udstedt februar 2017 og er iht. BR10."

Statikererklæring i forbindelse med ibrugtagningstilladelse er dateret 1/6-2019 og henviser til tidligere erklæring 20/12-2017.
"som udført" projekt fra ingeniør er generelt dateret 1/6-2019.

Jf VM acoustics målerapport dateret 28/3-2019 gælder:
"Byggesagen er sagsbehandlet efter bygningsreglementet BR15.
Baggrunden for målingerne er byggetilladelsen.
Målingerne skal dokumentere lydforholdene, og resultaterne relateres til kravene i bygningsreglementet BR15 svarende til klasse C i DS 490. "

5.2 Normer

Jf RB7_02_Slange - A1. Projektgrundlag s 10 gælder det, at der forudsættes følgende normgrundlag for oprindeligt projekt

Eurocode 0	Projekteringsgrundlag	Norm	Tillæg 1	Tillæg 2	Rettelsesblad 1	Nationalt Anneks
DS/EN 1990 FU	Forkortet udgave af Eurocode 0 - Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner	2013				
DS/EN 1990	Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner	2007	2006		2010	2013
DS/INF 146	Robusthed - Baggrund og principper - Information - 2003	2003				
DS/INF 1990	Konsekvensklasser for bygningskonstruktioner	2013				
Eurocode 1	**Last på bygværker**	**Norm**	**Tillæg 1**	**Tillæg 2**	**Rettelsesblad 1**	**Nationalt Anneks**
DS/EN 1991 FU	Forkortet udgave af Eurocode 1 - Last på bærende konstruktioner	2015				
DS/EN 1991-1-1	Del 1-1: Generelle laster - Densiteter, egenlast og nyttelast for bygninger	2007			2009	2013
DS/EN 1991-1-2	Del 1-2: Generelle laster - Brandlast	2007			2013	2014
DS/EN 1991-1-3	Del 1-3: Generelle laster - Snelast	2007	2015		2009	2015 Version 2
DS/EN 1991-1-4	Del 1-4: Generelle laster - Vindlast	2007	2010		2010	2015
DS/EN 1991-1-5	Del 1-5: Generelle laster - Termiske laster	2007			2009	2012
DS/EN 1991-1-6	Del 1-6: Generelle laster - Last på konstruktioner under udførelse	2007			2013	2007
DS/EN 1991-1-7	Del 1-7: Generelle laster - Ulykkeslast	2007	2014		2010	2013
DS/EN 1991-2	Del 2: Trafiklast på broer	2003			2010	2015
DS/EN 1991-3	Del 3: Last fra kraner og maskiner	2006			2013	
DS/EN 1991-4	Del 4: Siloer og tanke	2006			2012	
DS/EN 1991	Tillæg DK:2015 Islast					2015
DS/INF 1991-1-2	Anv. af parametrisk brandpåvirkning ved dim. af bærende konstruktioner	2013				
Eurocode 2	**Betonkonstruktioner**	**Norm**	**Tillæg 1**	**Tillæg 2**	**Rettelsesblad 1**	**Nationalt Anneks**
DS/EN 1992 FU	Forkortet udgave af Eurocode 2 - Betonkonstruktioner	2013				
DS/EN 1992-1-1	Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner	2008	2015		2010	2013
DS/EN 1992-1-2	Del 1-2: Generelle regler - Brandteknisk dimensionering	2013				2011
DS/EN 1992-2	Del 2: Betonbroer - Dimensionerings- og detaljeringsregler	2005			2008	
DS/EN 1992-3	Del 3: Betonkonstruktioner til opbevaring af væsker og pulvere	2009				2010
DS/INF 165	Armeringsstål til betonkonstruktioner - Identifikation og klassificering	2011				

5.3 Mængdeopgørelse

Der er i det oprindelige projekt ikke nogen mængdeopgørelse over anvendte m3 beton og kg armering. Alle betonkonstruktioner med armering blev modelleret, så en mængdeopgørelse kunne laves. Modelleringen i 3D er foretaget således:
Geometri er importeret fra oprindelig KON 3D model.
Armering er modelleret i elementer fra frimærketegninger fra elementleverandør, og i in-situ konstruktioner er det fra konstruktionsdetaljer.

Derudover er detaljer som fx false og fortykninger tilføjet i modellen. Dimensionerne herfra kommer fra frimærketegninger/elementtegninger.

6. Forudsætninger vedr. optimeret projekt

6.1 Normer

RAMBØLL

Oversigt over gældende Eurocodes

Revision: 2024-04-15 ANKR

Copyright Rambøll Danmark A/S

Go to free text search in Eurocodes | Go to eurocodes.dk

		Norm	Rettelsesblad til norm	Tillæg 1 til norm	Tillæg 2 til norm	Nationalt anneks	Tillæg 1 til nat. anneks	Tillæg 2 til nat. anneks	Nationalt anneks, broer
		DS/EN	AC	A1	A2	DK NA	DK NA Tillæg 1	DK NA Tillæg 2	DK NA
Eurocode 0	**Projekteringsgrundlag**								
DS/EN 1990 FU	Forkortet udgave af Projekteringsgrundlag for bærende kon. (1990)	2021	-	-	-	-	-	-	-
DS/EN 1990	Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner	2007	2010 [1]	2006	-	2024	-	-	2017
DS/INF 1990	Konsekvensklasser for bygningskonstruktioner	2024 [10]	-	-	-	-	-	-	-
DS/INF 146	Robusthed - Baggrund og principper - Information	2003 [6]	-	-	-	-	-	-	-
DS 1140	Udførelse af bærende konstruktioner – Almen kontrol	2019	-	-	-	-	-	-	-
DS/INF 1140	Vejledning til DS 1140 - Udførelse af bærende konstruktioner - Almen kontrol	2022 [6]	-	-	-	-	-	-	-
DS 11990	Bæreevnevurdering af eksisterende konstruktioner	2024	-	-	-	-	-	-	-
DS/ISO 22111	Projekteringsgrundlag for konstruktioner - Generelle krav	2019	-	-	-	-	-	-	-
DS/ISO 13824	Projektering af konstruktioner - Generelle principper for risikovudering af ...	2020	-	-	-	-	-	-	-
Eurocode 1	**Last**								
DS/EN 1991 FU	Forkortet udgave af Last på bærende konstruktioner (1991-1)	2015	-	-	-	-	-	-	-
DS/EN 1991-1-1	Del 1-1: Generelle laster - Densiteter, egenlast og nyttelast for bygninger	2007	2009	-	-	2024	-	-	2015
DS/EN 1991-1-2	Del 1-2: Generelle laster - Brandlast	2007	2013	-	-	2024	-	-	-
DS/EN 1991-1-3	Del 1-3: Generelle laster - Snelast	2007	2009	2015	-	2024	-	-	-
DS/EN 1991-1-4	Del 1-4: Generelle laster - Vindlast	2007	2023 [11]	2010	-	2024	-	-	2015
DS/EN 1991-1-5	Del 1-5: Generelle laster - Termiske laster	2007	2009	-	-	2012	-	-	2015
DS/EN 1991-1-6	Del 1-6: Generelle laster - Last på konstruktioner under udførelse	2007	2013	-	-	2007	-	-	2009
DS/EN 1991-1-7	Del 1-7: Generelle laster - Ulykkeslast	2007	2010	2014	-	2024	-	-	2013
DS/EN 1991-2	Del 2: Trafiklast på broer	2003	2010	-	-	-	-	-	2017
DS/EN 1991-3	Del 3: Last fra kraner og maskiner	2006	2013	-	-	-	-	-	-
DS/EN 1991-4	Del 4: Siloer og tanke	2006	2012	-	-	-	-	-	-
DS/EN 1991	Tillæg DK:2009 Islast	-	-	-	-	-	-	-	2015
DS/INF 1991-1-2	Anvendelse af parametrisk brandpåvirkning ved dimensionering af bær ...	2013 [6]	-	-	-	-	-	-	-
Eurocode 2	**Betonkonstruktioner**								
DS/EN 1992 FU	Forkortet udgave af Betonkonstruktioner (1992-1-1)	2021	-	-	-	-	-	-	-
DS/EN 1992-1-1	Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner	2008	2010 [2]	2015	-	2024	-	-	-
DS/EN 1992-1-2	Del 1-2: Generelle regler - Brandteknisk dimensionering	2013 [2]	-	2019	-	2011	-	-	-
DS/EN 1992-2	Del 2: Betonbroer - Dimensionerings- og detaljeringsregler	2005	2008	-	-	-	-	-	2015
DS/EN 1992-3	Del 3: Betonkonstruktioner til opbevaring af væsker og pulvere	2009	-	-	-	2010	-	-	-
DS/EN 1992-4	Del 4: Dimensionering af befæstelsesdele til anvendelse i beton	2018	-	-	-	-	-	-	-

6.2 Belastninger

Der anvendes samme laster som opgivet i det oprindelige projekt. Der foretages ingen optimering af laster.

I det oprindelige projekt er der ikke opgivet nogen jordtrykslast. Der forudsættes derfor et jordtryk baseret på en vurdering.

Der er i det oprindelige projekt ikke opgivet reaktioner fra altaner. Reaktioner fra dette forudsættes derfor baseret på erfaringer fra lignende projekter (regningsmæssig vandret last på 14kN).

Der er i det originale projekt ikke regnet seismiske lasttilfælde. Det er vurderet, at vindlasterne vil give de dimensionsgivende lasttilfælde.

6.2.1 Vind

Der er i oprindelige beregninger ikke oplyst facadelaster, men der er oplyst terrænkategori og ruhedsfaktor, og det er disse, der generelt er lagt til grund for nye beregninger.

For den lave bygning undersøges kun en del af bygningen. Dette medfører, at alle stabiliserende vægge ikke medtages i beregningsmodeller. Derfor gælder det, at de vandrette laster, regnes med samme belastninger som i oprindeligt projekt. Dette er der taget højde for ved at lave eftervisning ud fra de belastninger, der var på de pågældende vægge i det oprindelige projekt. Vandrette laster er påsat beregningsmodellen som regningsmæssige laster (imperfektionsbidrag

indeholdt) og har dermed faktor 1,0 i lastkombinationer. Ved lastkombinationer med reduceret vind regnes der dermed med for meget last. Dette vurderes uden betydning, da det er på den sikre side.

For tårnet gælder det, at der er regnet med vind som facadelast svarende til det oprindelige projekt. Vind på facader er fordelt til stabiliserende vægge.

Der er ikke regnet med asymmetrisk vindtilfælde (som i oprindeligt).

6.3 Konstruktionsmæssige forudsætninger

6.3.1 Materiale forudsætninger

Armering
fyk 550

Insitu beton
For in-situ beton er der generelt regnet med, at der kan opnås en styrketilvækst på 15-20% på 56døgnsstyrken, og denne tages i regning. Idet UNICON har gjort opmærksom på, at det i praksis vil være vigtigt, at der kan opnås et "hop" i styrkeklasse, er der regnet med, at en C12 også efter 56 døgn er C12, da dette "hop" ikke kan opnås.
Der er således forudsat følgende styrker efter

28 døgn	56 døgn(anvendes i beregninger)
C12	C12
C16	C16
C20	C20
C30	C35

Elementbeton
Der er for elementbeton regnet med 28 døgns styrker, idet der fra elementproducenter ikke er oplyst mulige styrketilvækster.

6.3.2 Kælderydervægge

Jf: RB7_02_Slange - A1. Projektgrundlag s7 gælder:

1.2.2.4 Kælderydervægge

Under en del af bygværket, samt mellem slangerne udføres der kælder.
Udvendige kældervægge udføres som pladsstøbte vægge med drænisolering og fugtsikring.

Da det forudsættes, at drænisolering og fugtsikring i oprindeligt projekt er tilstrækkeligt, antages det ligeledes, at denne del kan bibeholdes i optimeret projekt.
Idet der fremgår fugtsikring, antages det, at denne løsning sikrer tørt miljø. Det forudsættes, at kælderen er uopvarmet, idet der jf. arkitekttegning "1-100 kælderplan-3.salsplan" alene er anvendelse af området til depotrum, og hvad der antages at være teknikum. Cykelparkering findes ikke i den undersøgte del af byggeri.

6.3.3 Membran på kældervægge

Det er forudsat, at der på ydersiden af kældervæggen opbygges en membran, der sikrer mod fugt i hele bygningens levetid, således kældervæggen kan henregnes til passivt miljøpåvirkning. Erfaringsmæssigt vil dette kræve særligt fokus på projektering af membran og udførelse.

Det bemærkes, at tilsvarende gør sig gældende for membran under kældergulve.

Udgangspunktet i det oprindelige projekt er indirekte beskyttelse af membran, på grund af isolering uden på membran, samt dræning og det lave GVS. . Dette er er dog godt udgangspunkt.

Der gøres for en god orden skyld opmærksom på, at oprindeligt projekt også indeholder membran på ydersiden, og denne er "fugtsikring". Idet der ikke indføres ny membran, er det valgt ikke at medtage membran i denne klimaberegning.

6.3.4 Fundamenter

For fundamenter gælder det, at der generelt alene er regnet i ler, da dette er, hvad der er foretaget i de oprindelige beregninger. Bæreevnen af ler er ligeledes fastsat ud fra de karakteristika, der er oplyst i de oprindelige beregninger.

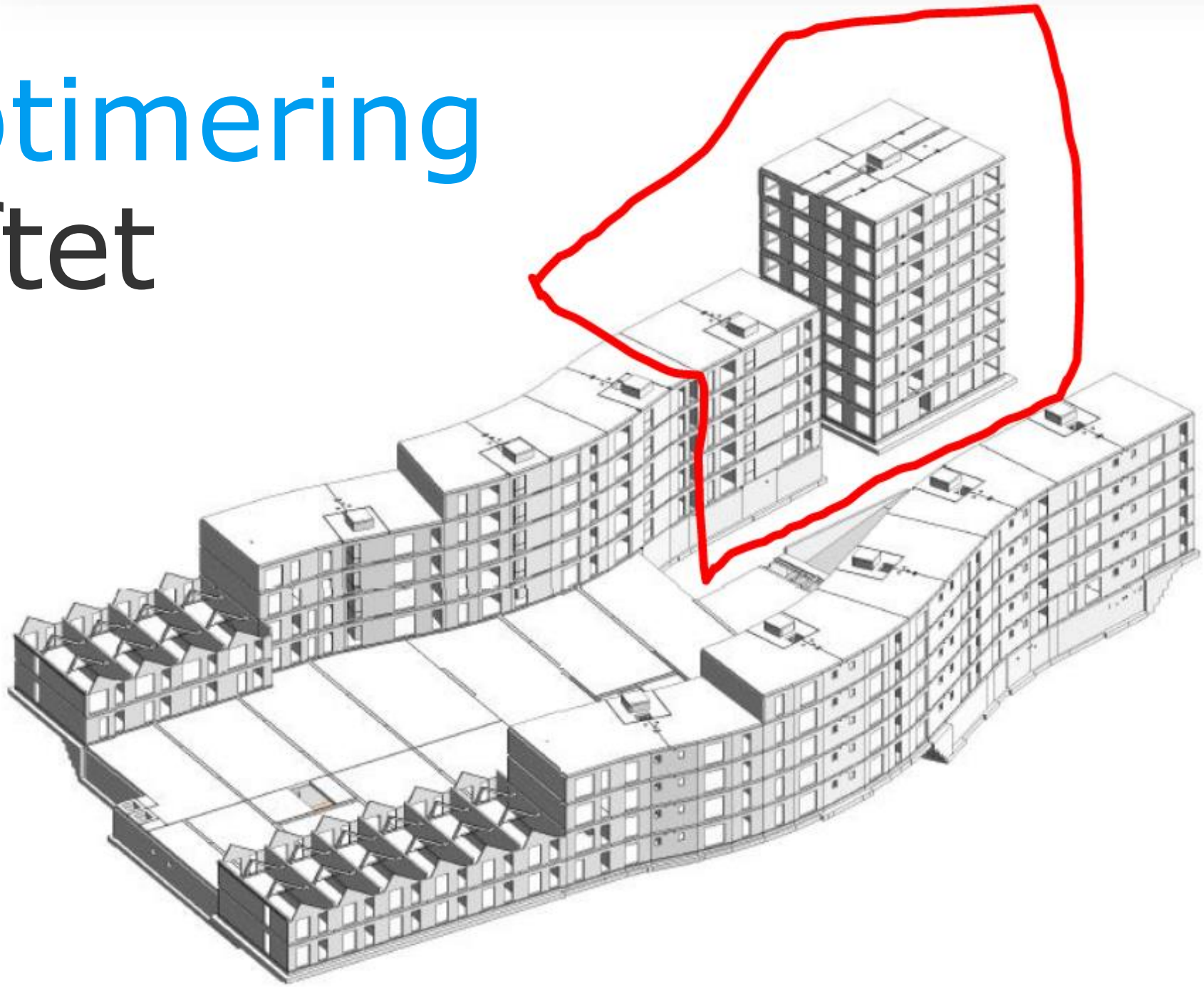
7. Vurdering af resultater af optimering

Vurderingen af optimeringen er foretaget både overordnet og for de enkelte konstruktionsdele. Dette fremgår af Appendiks 9 - LCA resultater .

8. Appendiks oversigt

9. Appendiks 1 – Uddrag af oprindeligt projektmateriale
10. Appendiks 2 - EPD'er for oprindeligt projekt
11. Appendiks 3 – EPD'er for optimeret projekt
12. Appendiks 4 – Spørgeskemabesvarelser
13. Appendiks 5 – Eksponeringsklasser, forudsætninger
14. Appendiks 6 – Lyd forudsætninger
15. Appendiks 7 – Idegenerering
16. Appendiks 8 – Valg af designløsninger
17. Appendiks 9 - LCA resultater
18. Appendiks 10 - Statisk dokumentation
19. Appendiks 11 - LCA resultater ved fastholdelse af elementløsninger

Designoptimering
Kværntoftet



Appendiks 7 – IDEGENERERING

Dato 30 08 2024 ver 001

RAMBØLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Indledning

Dette dokument indeholder ideer til designoptimering i forbindelse med projektet ”Designoptimering Kværntoftet”

Ideer er i dette dokument ikke vurderet men er alene klassificeret efter:

- Beregningetekniske
- Komponent/bygningdelsspecifikke -vægge, dæk osv.

- Dokument er et arbejdsdokument der har været brugt til opsamling af ideer og er i sin ”rå” form og således uden overflødige bemærkninger og kan virke indforstået og ”upoleret”.

Beregningsteknisk

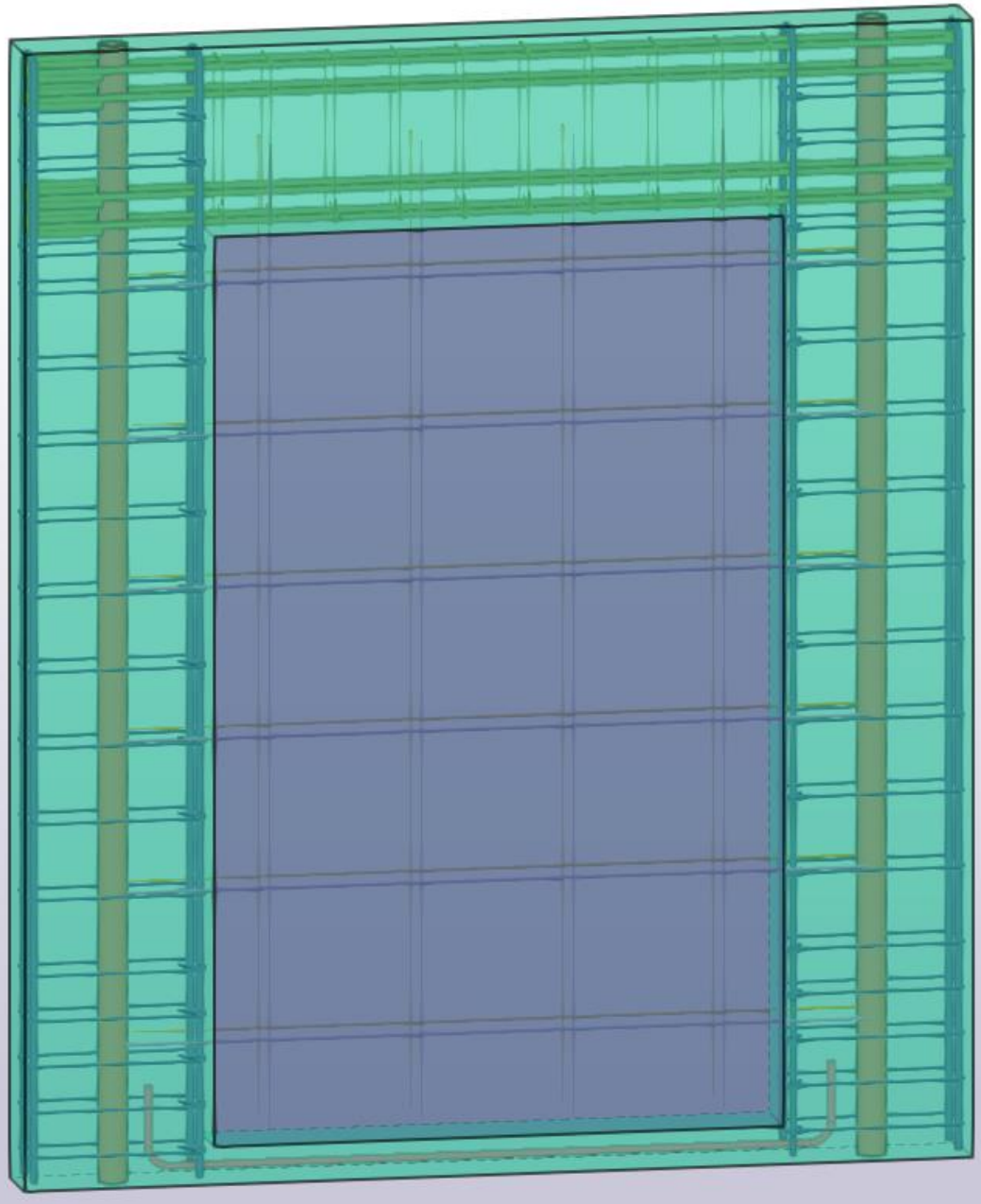
- Plastiske beregninger
- Udnyttelse af tværfastholdelse ved hjørne i forbindelse med stabilitet af vægge
- Differentiering af dækelement tykkelser alt efter spænd

Indervægge

- Tyndere vægge (NB LYDKRAV)
  - Evt tyndere væg + isolering for lyd
  - Evt blivende forskalling
- Svagere beton
- Insitustøbte vægge
- Senere belastning og dermed mere fordelagtigt krybetal
- Styrkefastsættelse senere end 28 døgn
- Større elementer
- Skærpet tolerance
- Tynd hårdt udnyttet væg -> Tykkere+svagere beton+mindre armering

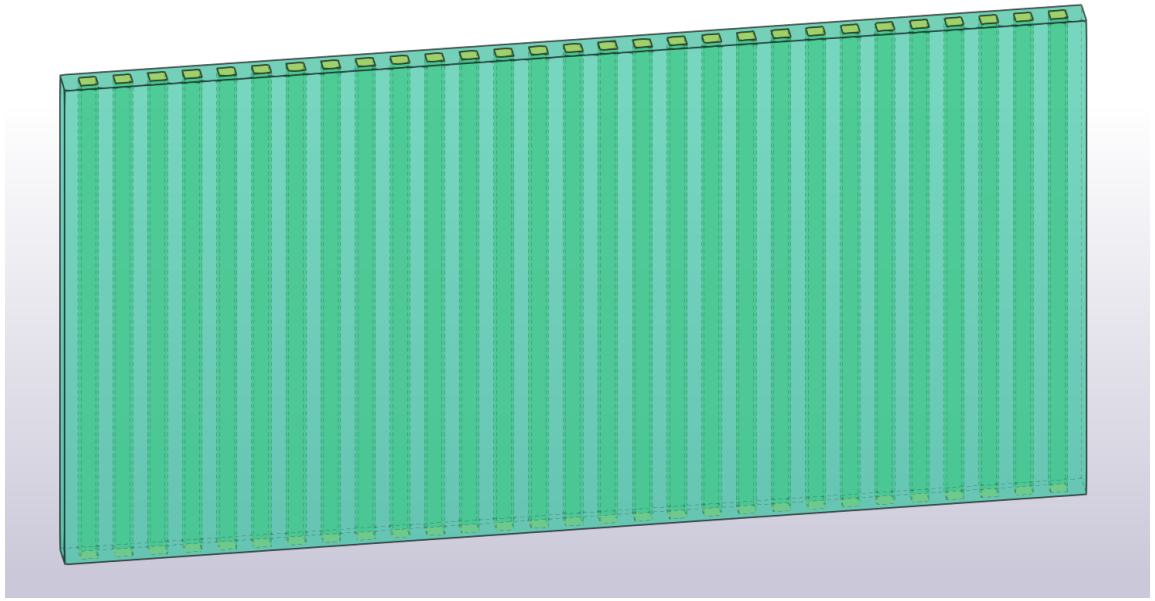
Indervægge

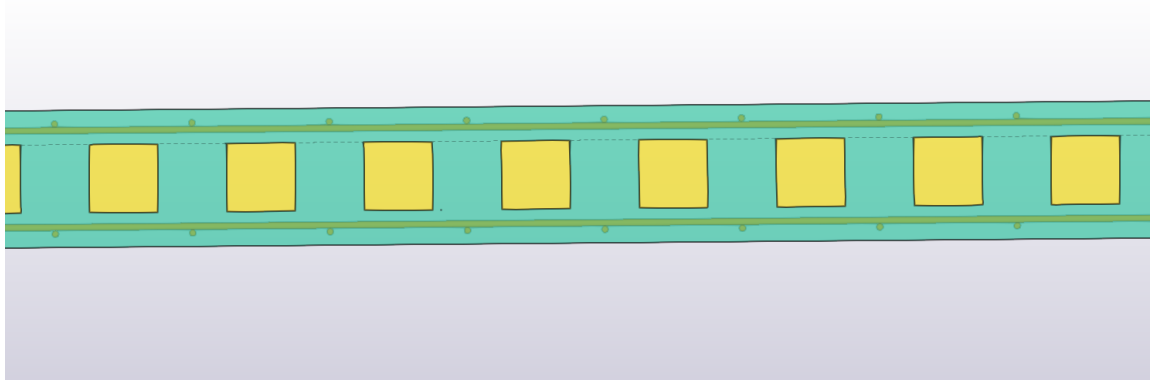
- Stærke rammer med svag udfyldning



Indervægge

- "Hul" væg (som hul søjle) evt. med indstøbt flamingo klodser





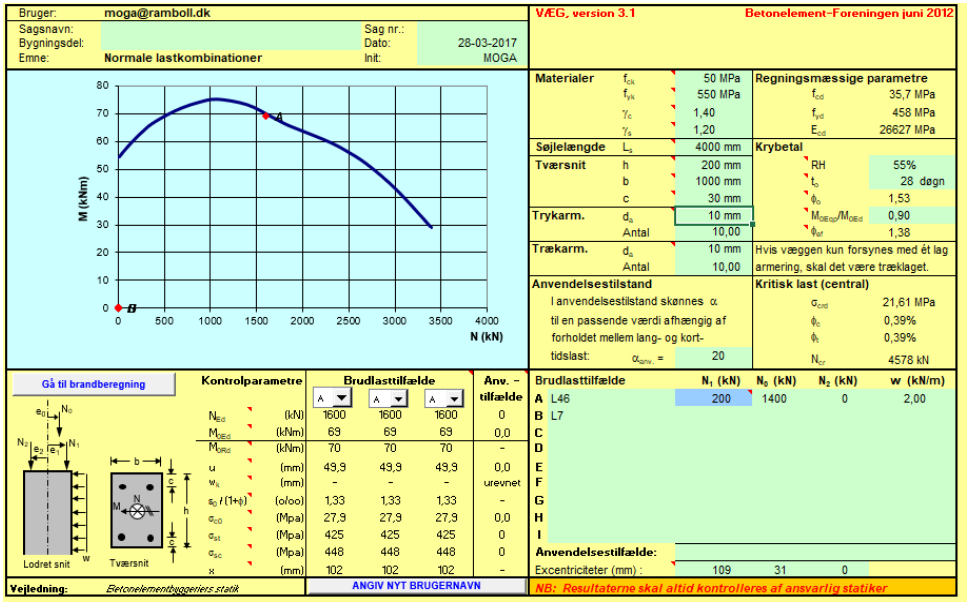
Indervægge

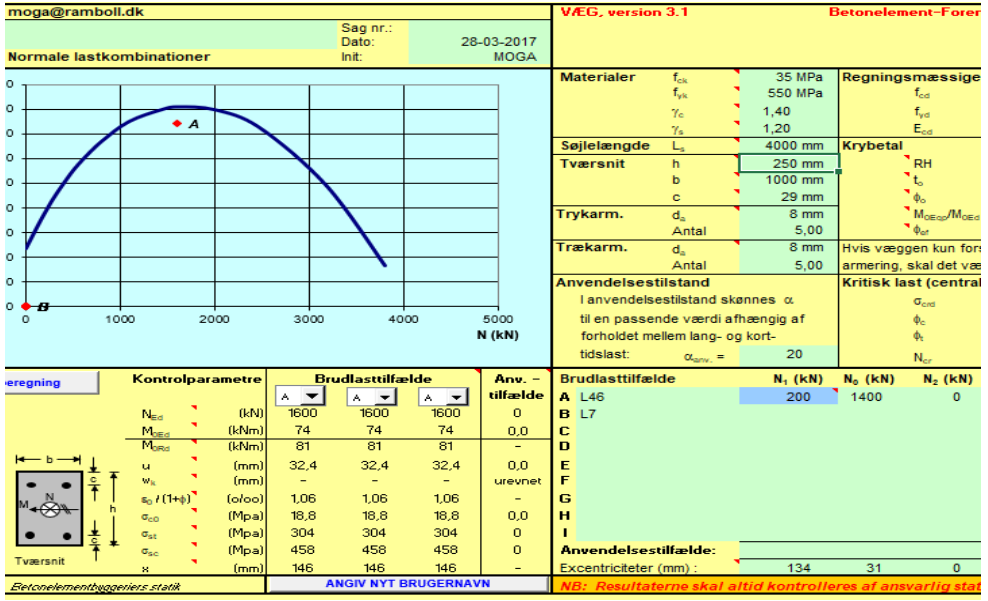
- Tynd hårdt udnyttet væg -
  > Tykkere+svagere beton+mindre armering

- 200mm, 50MPa + Y10/100 = 250mm, 35MPa + Y8/200

- T=200mm => 399kg/m væg
- T=250mm => 281kg/m væg

- (EPD'er her fra andet projekt)





Kældervægge

- Tyndere vægge
- Svagere beton
- Præfabrikeret vægge
- Senere belastning og dermed mere fordelagtigt krybetal
- Styrkefastsættelse senere end 28 døgn

Kældervægge

- Anvendelse af membran til nedgradering af eksponeringsklasser hvis det ikke allerede er gjort

Kældervægge

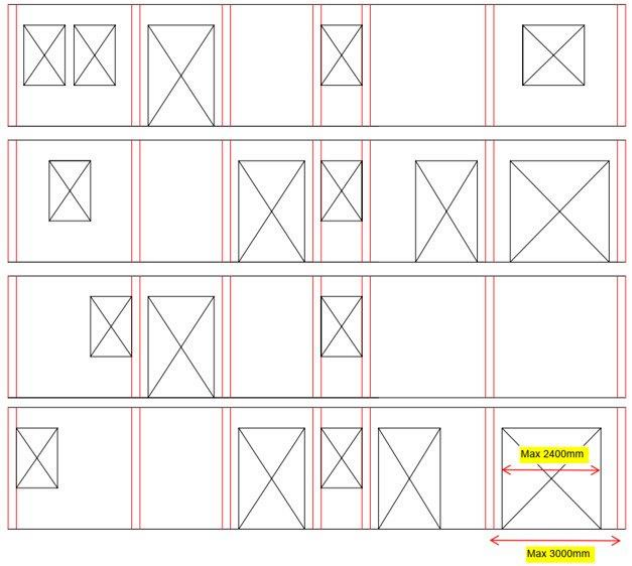
- Ribbede vægge – Vandret spænd til lodrette søjler

Facadevægge

- Tyndere vægge
- Svagere beton
- Insitu vægge
- Senere belastning og dermed mere fordelagtigt krybetal
- Styrkefastsættelse senere end 28 døgn

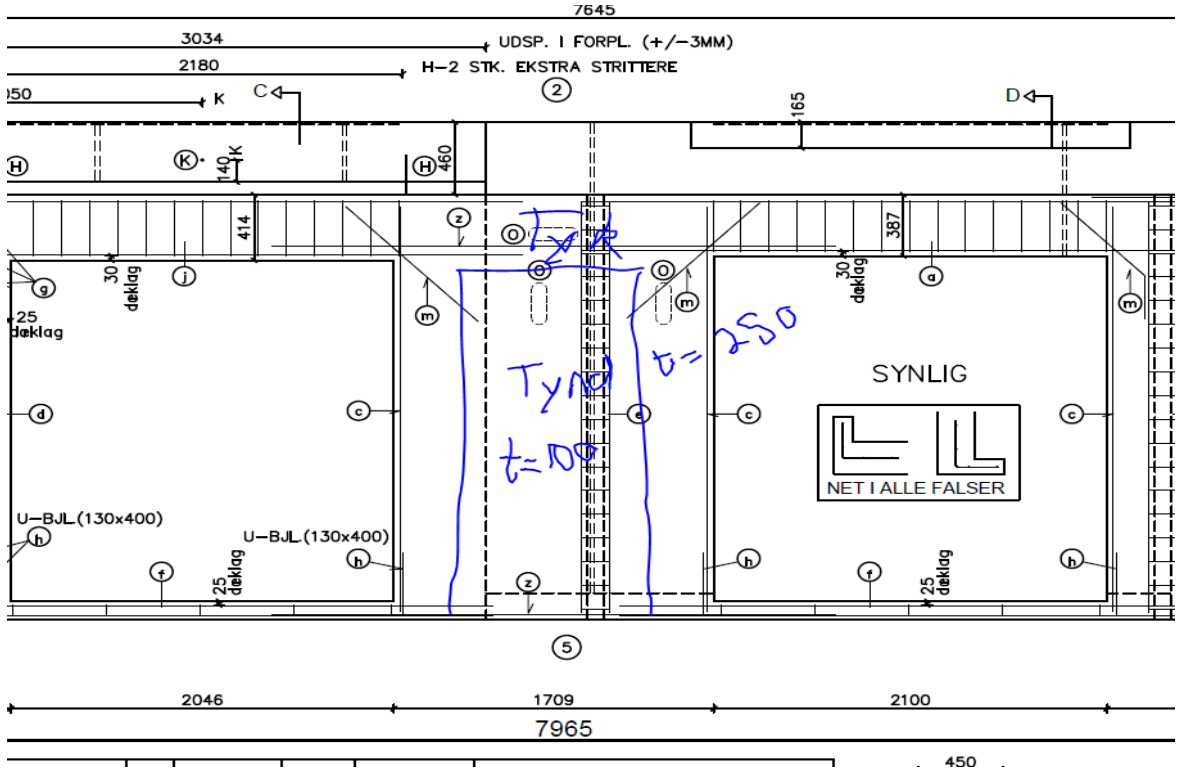
Facadevægge

- Udnyttelse af false som bærende/ ribbede element



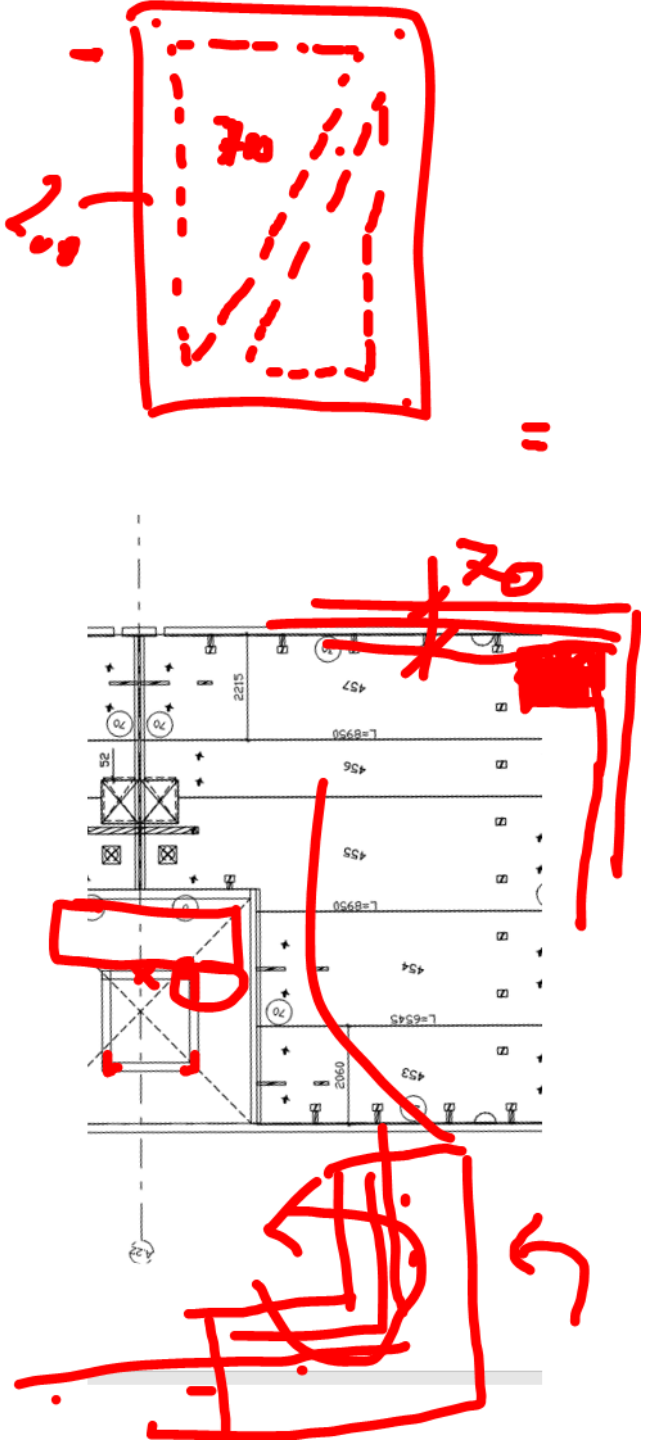
Facadevægge

- Rammevæg
  - Tynd midte + søjle/bjælke omkreds



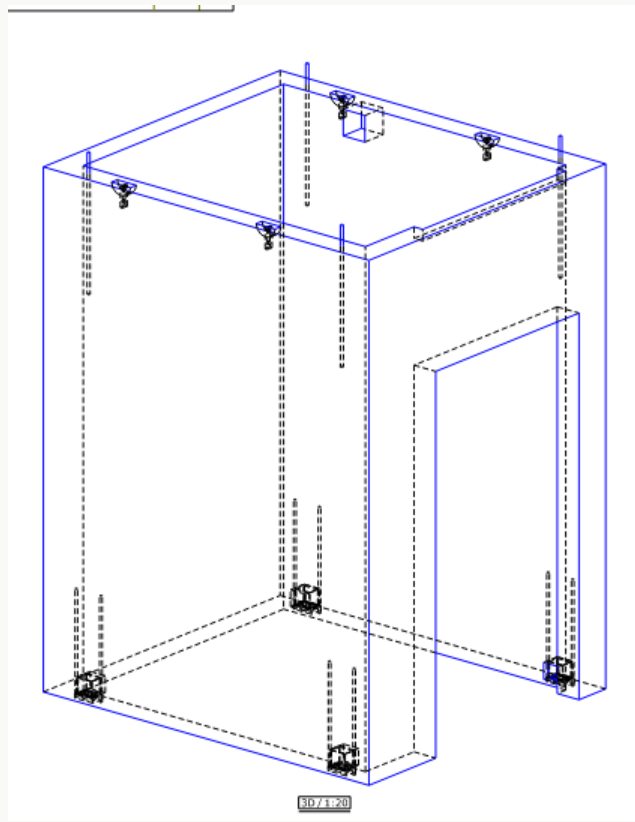
Elevatorvægge

- Rammevæg
  - Tynd midte + søjle/bjælke omkreds
  - Evt diagonalforstærkning hvis nødvendigt



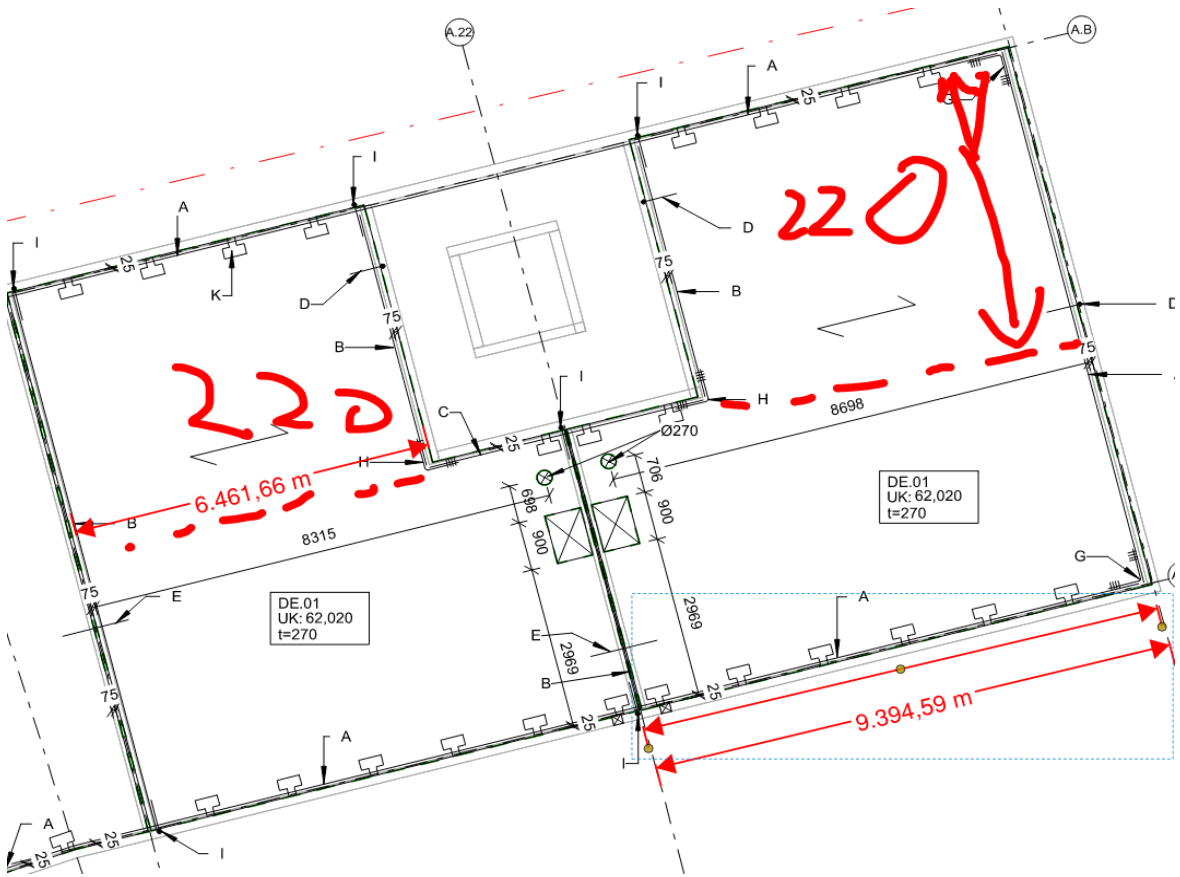
Elevatorvægge

- Sammenstøbte/helstøbte elevatorkernerner



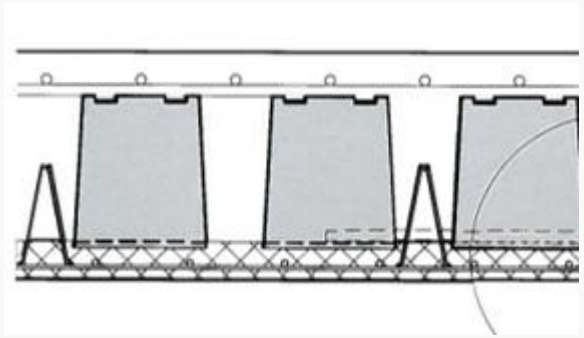
Etagedæk

- Differentiering af tykkelser



Etagedæk

- Insitu dæk
- Bubbledæk
- Air deck
- Differentiering så der anvendes andet dæk over elevator – evt tyndt dæk med bjælke
- Filigrandæk



Terrændæk

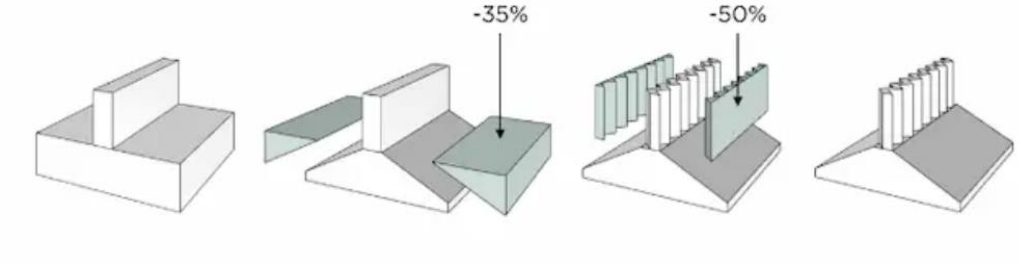
- Tyndere dæk
- Svagere beton
- Styrkefastsættelse senere end 28 døgn

Terrændæk

- Ribbede dæk….hvis der er store laster

Stribe fundamenter

- Trekantsformet fundamenter

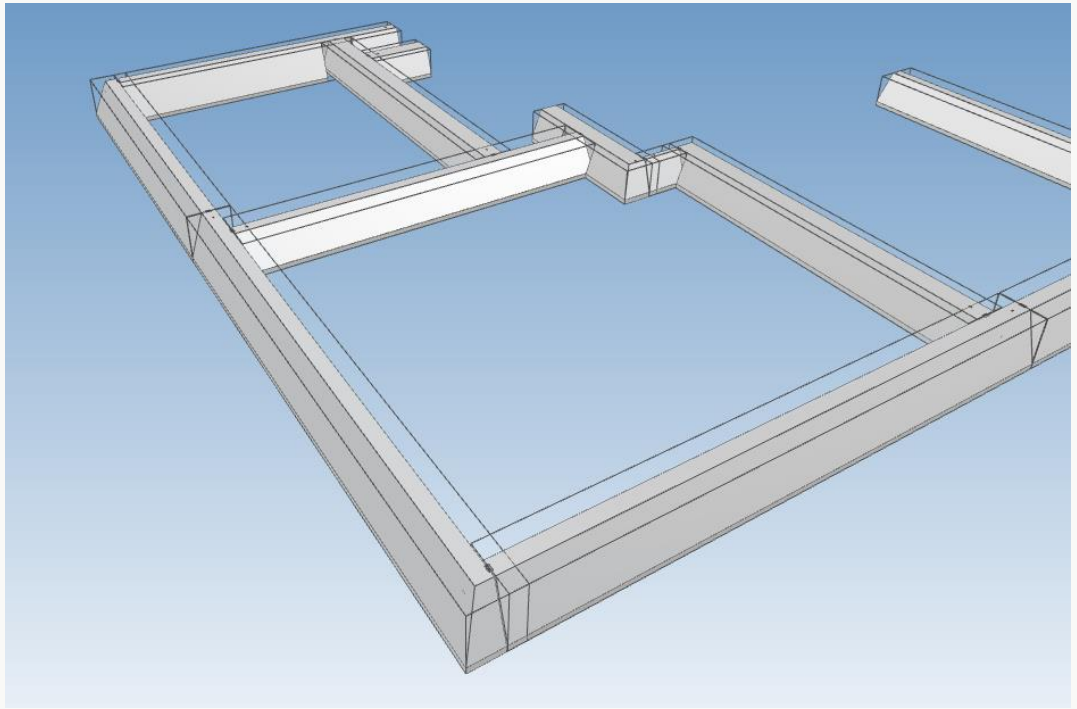


Stribe fundamenter

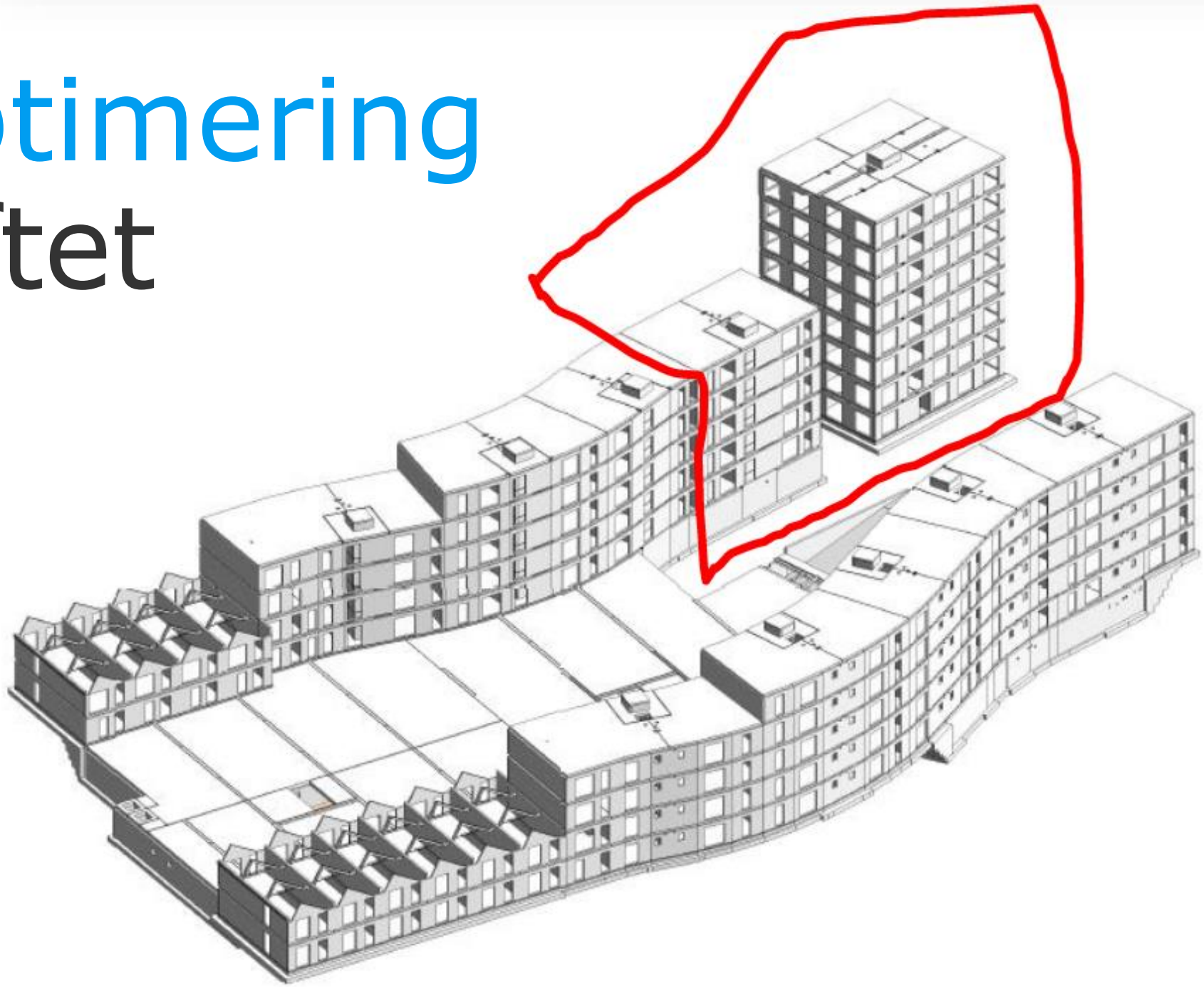
- Svagere beton
- Styrkefastsættelse senere end 28 døgn
- Støbt med revneanviser for at kontrollerer revner og dermed undgå svindarmering
- Fiberarmeret for svindrevner

Stribe fundamenter

- Uarmeret trekantsformet fundamenter



Designoptimering
Kværntoftet



Appendiks 8 – Valg af designløsninger

2024 08 30 ver 001

RAMBØLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Indledning

Nærværende dokument indeholder en gennemgang af overvevejelser og valg der er foretaget ved optimeringen.

Dokumentet er inddelt i :

- Forudsætninger
- Beregningeteknisk optimering
- Optimering – udførelse
- Konstruktionsafnit (flere)

Hvert afsnit efterfulgt at en kvalitativ vurdering af konsekvenserne for udførelse og beregninger

Forudsætninger for beton og armeirng ved valg af design

- Ved valg af design løsninger er der generelt taget udgangspunkt i værdier oplyst th. Dog er der ved visse tilfælde ved valg af design alene set på A1-A3 idet det er vurderet som uden betydning for valg af design løsning.

NOTE: Det bemærkes at EPD værdier ikke tager højde for transport til pladsen og f.eks. vil armering fra producent i Polen ikke indeholde bidrag til transporten. Dette er i overensstemmelse med gældende måde at lave LCA beregninger.

Vægelementer
Armering i C20: 0,701kgCO2/kg
Beton C20: 183kgCO2/m3
Armering i C35: 0,657kgCO2/kg
Beton C35: 259kgCO2/m3

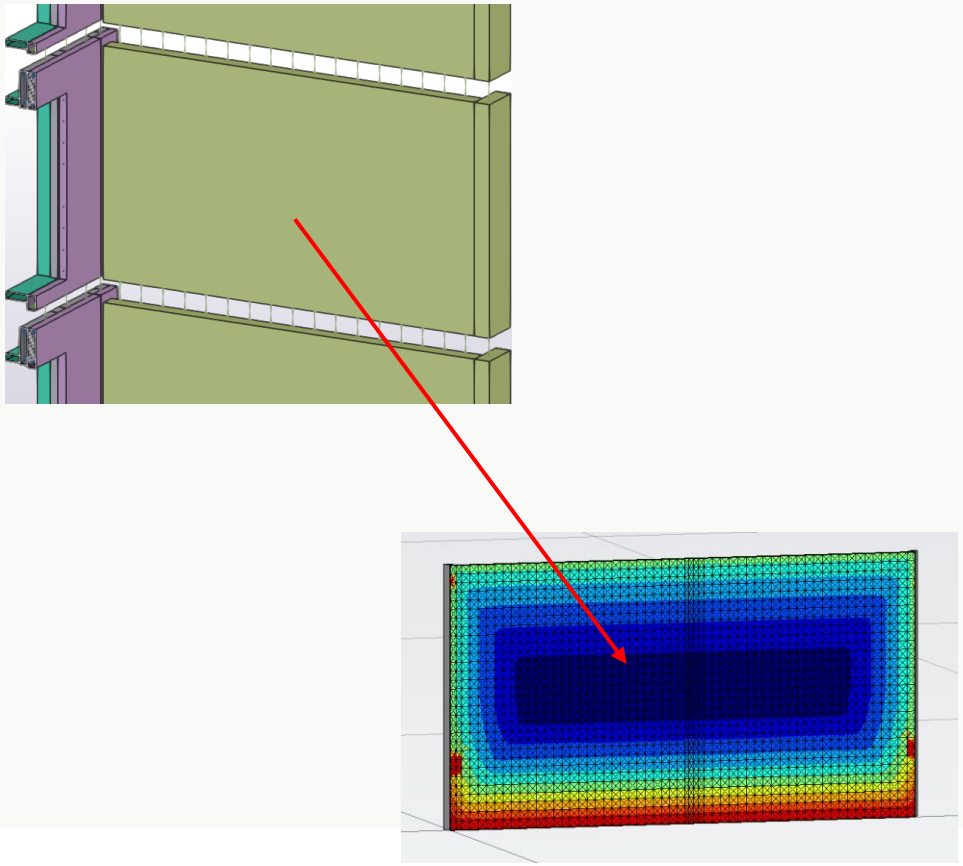
For 220 mm Huldæk 38,11kgCO2/m2

Insitubeton
C12 Passiv: 131kgCO2/m3
C16 Passiv: 139kgCO2/m3
C20 Passiv: 155kgCO2/m3
C30 Moderat: 213kgCO2/m3

Armering
Armering svejst net 0,422kgCO2/kg
Armering Stang 0,305kgCO2/kg

Beregningsteknisk optimering

- 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



Beregningsteknisk optimering -konsekvenser

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for beregninger:

- I forhold til oprindelige beregninger er beregninger i forbindelse med optimering mere nuanceret og tager flere forhold i betragtning.

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for udførelse:

- Ingen

Optimering - udførelse

- Senere belastning og dermed mere fordelagtigt krybetal. Det er indledningsvist set på betydningen af dette og for styrker under ca. 20MPa er denne optimering næsten uden betydning og er derfor fravalgt. Det bemærkes at der dog i tårn er bagvægge nederst hvor projektering har givet anledning til højere styrke og dermed er der optimeringspotentiale. Stikprøve viste dog et det ikke var muligt at springe en armeringsdimension hvorfor det blev fravalgt.
- Styrkefastsættelse senere end 28 døgn. Dette er anvendt (se beskrivelse i hoved raopport)
- Skærpet tolerance. Indledningsvist er der beregnet betydningen af dette for excentriciteter og fundet at det er få millimeters forøgelse ved at regne med Normal tolerance frem for skærpet tolerance, hvorved et er uden betydning for optimeringen og er derfor ikke indført.

- Større elementer (for elementvægge). Dette er indført som generelt princip men bygningens geometri giver ikke anledning til usædvanlig store vægge.

Optimering – udførelse -konsekvenser

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for beregninger:

- Håndtering af dokumentation for styrkeforøgelse af beton.

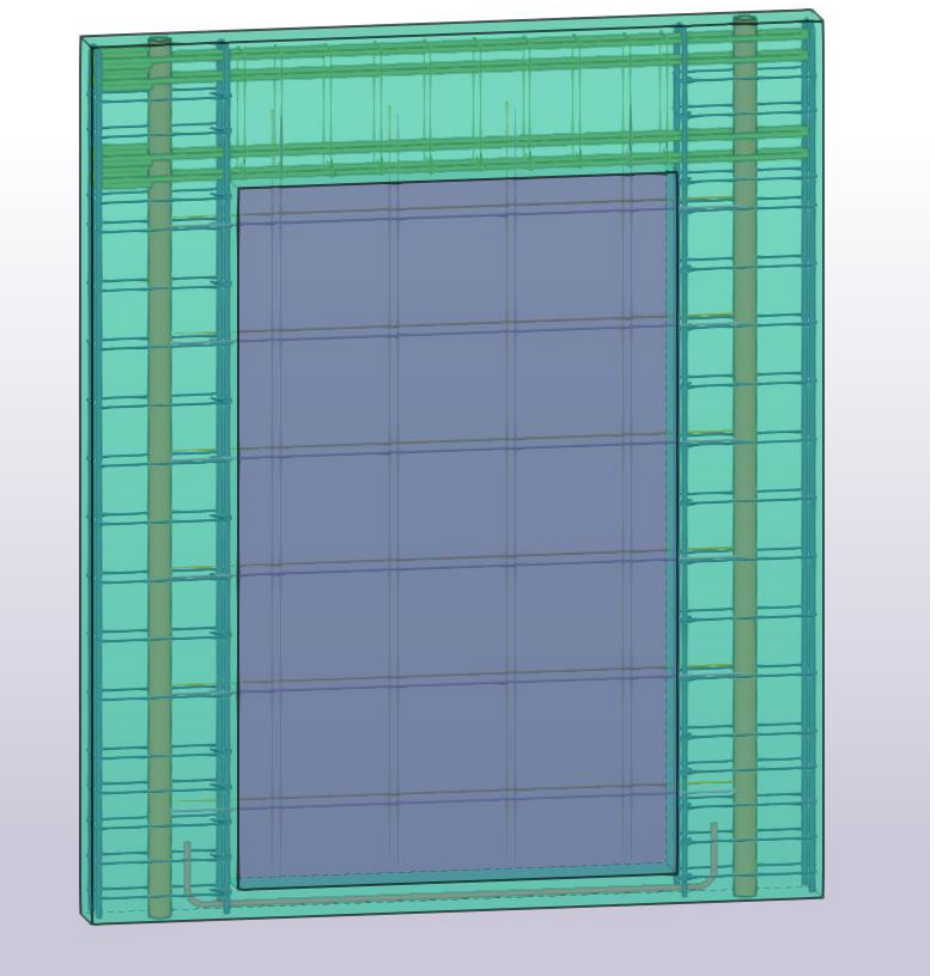
De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for udførelse:

- Håndtering af større elementer på pladsen (dog kan det argumenteres at denne bygnings geometri ikke giver anledning til større dokumenter)
- Dokumentation/test af styrkeforøgelse af beton

Indervægge – fleksible zoner

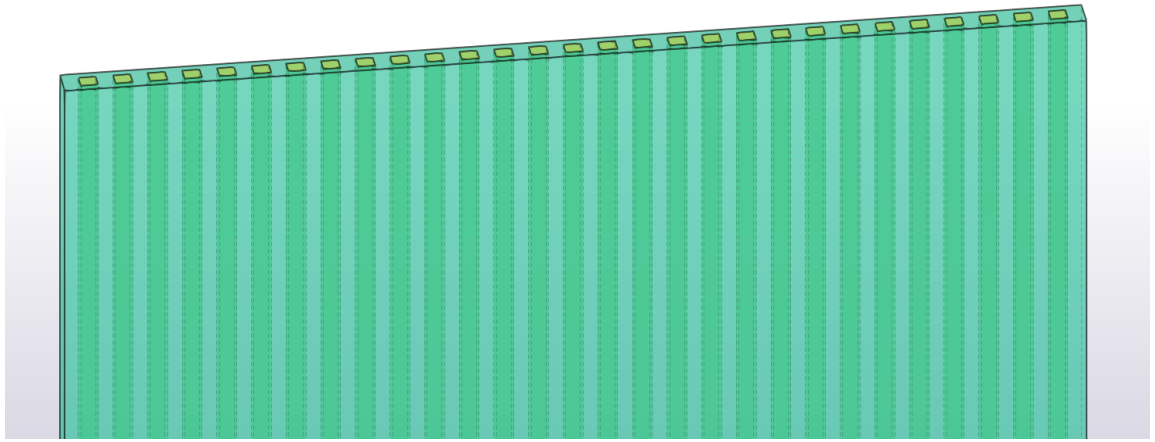
- Stærke rammer med svag udfyldning

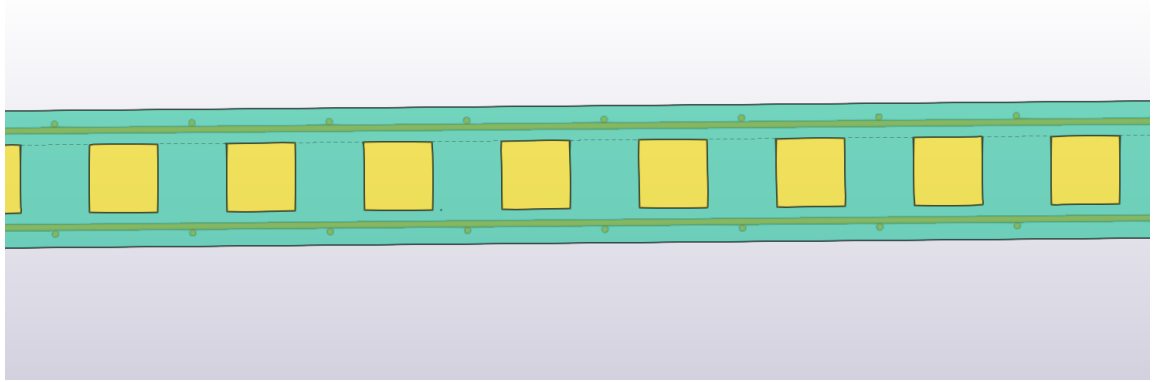
- Fravælges med følgende begrundelse:
  - Disse elementer er der pt ikke produceret elementer af til indbygning på konkrete projekter og løsning kan derfor ikke med sikkerhed klassificeres som bygbar.



Indervægge – hule vægge

- "Hul" væg (som hul søjle) med indstøbt flamingo klodser
- Fravælges med følgende begrundelse:
  - Disse elementer er der pt ikke produceret elementer af til indbygning på konkrete projekter og løsning kan derfor ikke med sikkerhed klassificeres som bygbar.





Indervægge – element eller insitu

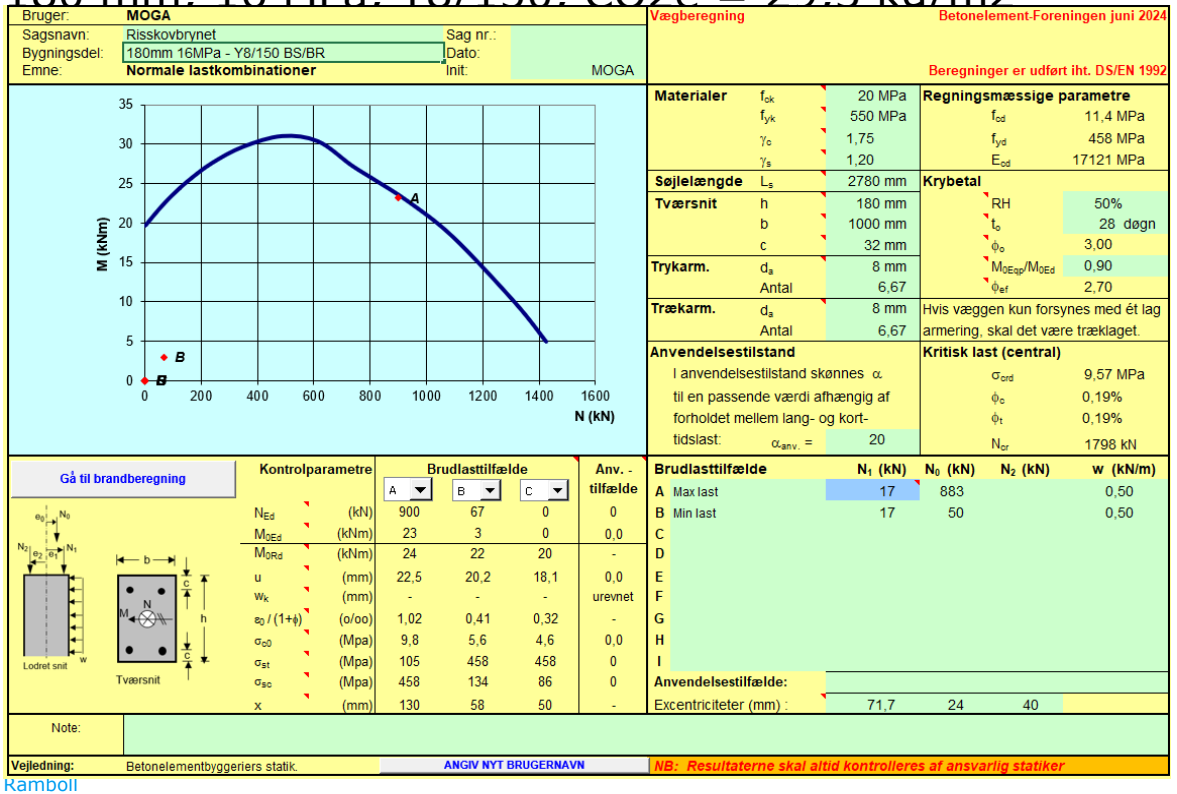
Insitu eller elementbeton.

- For C20 passiv ses det at element beton har værdier på 183 kgCO2/m3 mens insitu beton har 155kgCO2/m3 (ca 15% mindre). Derudover er det muligt at få insitu beton med lavere styrke hvor beregninger vider behov for mindre styrker. Derudover bemærkes det at CO2 fra armering også lavere for insitu. -Der vælgens insitu løsning

Indervægge – tyndere vægge

- Indledende overslag for vurdering af betydning af tyndere vægge (kun A1-A3(insitu)) -> der vælges generelt tyndere vægge

180 mm, 16 MPa, Y8/150, CO2e = 29,3 kg/m2



Bruger: MOGA
Sagsnavn: Risskovbrynet
Bygningsdel: 180mm 16MPa - Y8/150 BS/BR
Emne: Normale lastkombinationer
Sag nr.:
Dato:
Init: MOGA

Vægberegning — Betonelement-Foreningen juni 2024
Beregninger er udført iht. DS/EN 1992

			Regningsmæssige parametre	
Materialer	f_{ck}	20 MPa	f_{cd}	11,4 MPa
	f_{yk}	550 MPa	f_{yd}	458 MPa
	γ_c	1,75	E_{cd}	17121 MPa
	γ_s	1,20		
Søjlelængde	L_s	2780 mm	Krybetal	
Tværsnit	h	180 mm	RH	50%
	b	1000 mm	t_o	28 døgn
	c	32 mm	ϕ_o	3,00
Trykarm.	d_a	8 mm	M_{0Eqp}/M_{0Ed}	0,90
	Antal	6,67	ϕ_{ef}	2,70
Trækarm.	d_a	8 mm	Hvis væggen kun forsynes med ét lag armering, skal det være trækla	
	Antal	6,67		
Anvendelsestilstand			Kritisk last (central)	
I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast:	$\alpha_{anv.}$ =	20	σ_{crd}	9,57 MPa
			ϕ_c	0,19%
			ϕ_t	0,19%
			N_{cr}	1798 kN

Gå til brandberegning

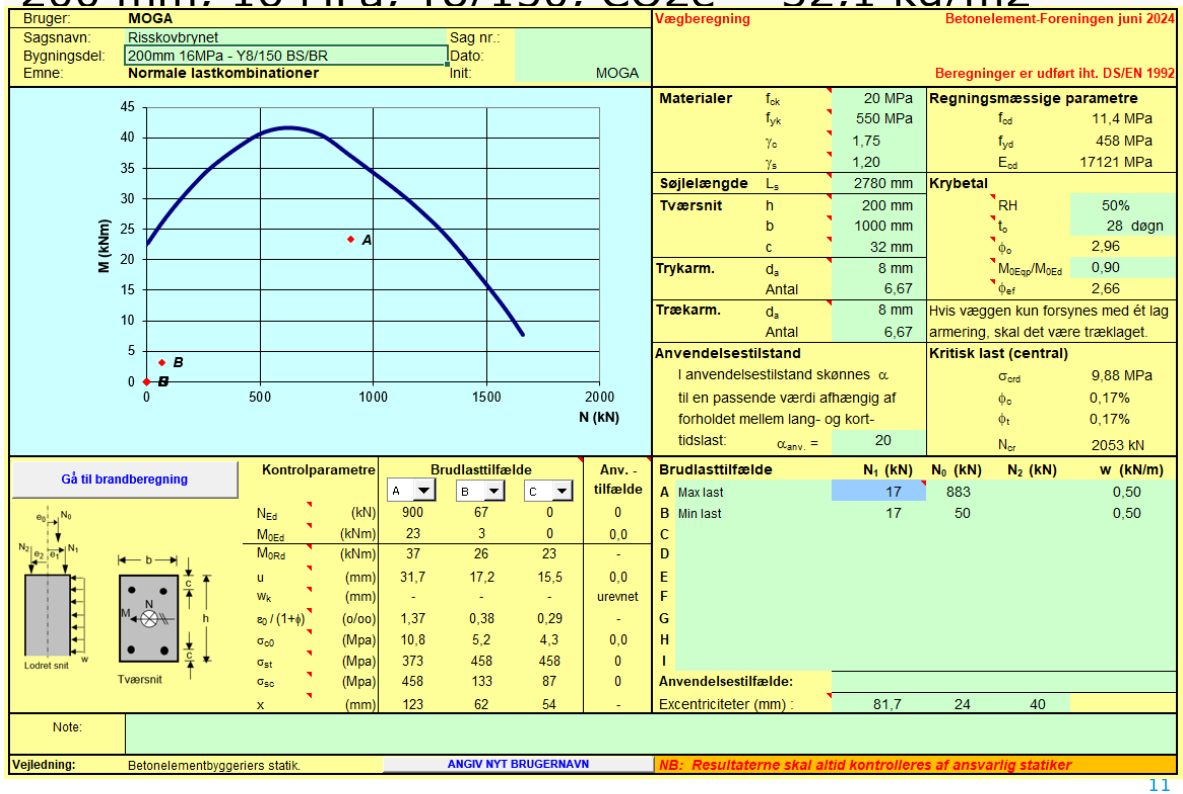
Kontrolparametre		Brudlasttilfælde A	B	C	Anv. - tilfælde
N_{Ed}	(kN)	900	67	0	0
M_{0Ed}	(kNm)	23	3	0	0,0
M_{0Rd}	(kNm)	24	22	20	-
u	(mm)	22,5	20,2	18,1	0,0
w_k	(mm)	-	-	-	urevnet
$e_0 / (1+\phi)$	(o/oo)	1,02	0,41	0,32	-
σ_{c0}	(Mpa)	9,8	5,6	4,6	0,0
σ_{st}	(Mpa)	105	458	458	0
σ_{sc}	(Mpa)	458	134	86	0
x	(mm)	130	58	50	-

Brudlasttilfælde	N_1 (kN)	N_0 (kN)	N_2 (kN)	w (kN/m)
A Max last	17	883		0,50
B Min last	17	50		0,50
C				
D				
E				
F				
G				
H				
I				
Anvendelsestilfælde:				
Excentriciteter (mm) :	71,7	24	40	

Note:

Vejledning: Betonelementbyggeriers statik. ANGIV NYT BRUGERNAVN NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker

200 mm, 16 MPa, Y8/150, CO2e = 32,1 kg/m2



Bruger: MOGA
Sagsnavn: Risskovbrynet
Bygningsdel: 200mm 16MPa - Y8/150 BS/BR
Emne: Normale lastkombinationer
Sag nr.:
Dato:
Init: MOGA

Vægberegning — Betonelement-Foreningen juni 2024
Beregninger er udført iht. DS/EN 1992

			Regningsmæssige parametre	
Materialer	f_{ck}	20 MPa	f_{cd}	11,4 MPa
	f_{yk}	550 MPa	f_{yd}	458 MPa
	γ_c	1,75	E_{cd}	17121 MPa
	γ_s	1,20		
Søjlelængde	L_s	2780 mm	Krybetal	
Tværsnit	h	200 mm	RH	50%
	b	1000 mm	t_o	28 døgn
	c	32 mm	ϕ_o	2,96
Trykarm.	d_a	8 mm	M_{0Eqp}/M_{0Ed}	0,90
	Antal	6,67	ϕ_{ef}	2,66
Trækarm.	d_a	8 mm	Hvis væggen kun forsynes med ét lag armering, skal det være trækla	
	Antal	6,67		
Anvendelsestilstand			Kritisk last (central)	
I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast:	$\alpha_{anv.}$ =	20	σ_{crd}	9,88 MPa
			ϕ_c	0,17%
			ϕ_t	0,17%
			N_{cr}	2053 kN

Gå til brandberegning

Kontrolparametre		Brudlasttilfælde A	B	C	Anv. - tilfælde
N_{Ed}	(kN)	900	67	0	0
M_{0Ed}	(kNm)	23	3	0	0,0
M_{0Rd}	(kNm)	37	26	23	-
u	(mm)	31,7	17,2	15,5	0,0
w_k	(mm)	-	-	-	urevnet
$e_0 / (1+\phi)$	(o/oo)	1,37	0,38	0,29	-
σ_{c0}	(Mpa)	10,8	5,2	4,3	0,0
σ_{st}	(Mpa)	373	458	458	0
σ_{sc}	(Mpa)	458	133	87	0
x	(mm)	123	62	54	-

Brudlasttilfælde	N_1 (kN)	N_0 (kN)	N_2 (kN)	w (kN/m)
A Max last	17	883		0,50
B Min last	17	50		0,50
C				
D				
E				
F				
G				
H				
I				
Anvendelsestilfælde:				
Excentriciteter (mm) :	81,7	24	40	

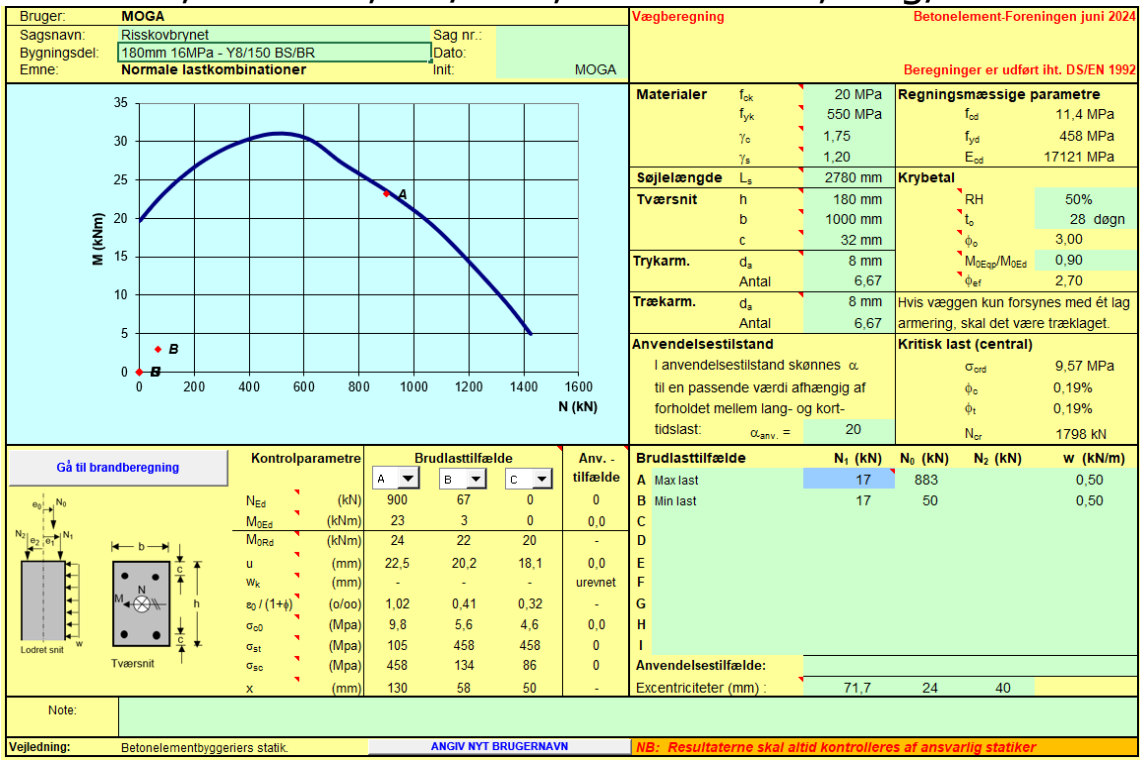
Note:

Vejledning: Betonelementbyggeriers statik. ANGIV NYT BRUGERNAVN NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker

Indervægge Svagere beton

- Indledende overslag for vurdering af betydning af svagere beton vægge (kun A1-A3(insitu)) -> der vælges generelt svagere beton vægge

180 mm, 16 MPa, Y8/150, CO2e = 29,3 kg/m2



Bruger:	MOGA			Vægberegning	Betonelement-Foreningen juni 2024
Sagsnavn:	Risskovbrynet	Sag nr.:			
Bygningsdel:	180mm 16MPa - Y8/150 BS/BR	Dato:			Beregninger er udført iht. DS/EN 1992
Emne:	Normale lastkombinationer	Init:	MOGA		

Materialer			Regningsmæssige parametre	
	f_{ck}	20 MPa	f_{cd}	11,4 MPa
	f_{yk}	550 MPa	f_{yd}	458 MPa
	γ_c	1,75	E_{cd}	17121 MPa
	γ_s	1,20		
Søjlelængde	L_s	2780 mm	**Krybetal**	
Tværsnit	h	180 mm	RH	50%
	b	1000 mm	t_o	28 døgn
	c	32 mm	ϕ_o	3,00
Trykarm.	d_s	8 mm	M_{0Eqp}/M_{0Ed}	0,90
	Antal	6,67	ϕ_{ef}	2,70
Trækarm.	d_s	8 mm	Hvis væggen kun forsynes med ét lag armering, skal det være trækarmeret.	
	Antal	6,67		
Anvendelsestilstand			**Kritisk last (central)**	
I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast:	$\alpha_{anv.}$ =	20	σ_{crd}	9,57 MPa
			ϕ_c	0,19%
			ϕ_t	0,19%
			N_{cr}	1798 kN

Gå til brandberegning

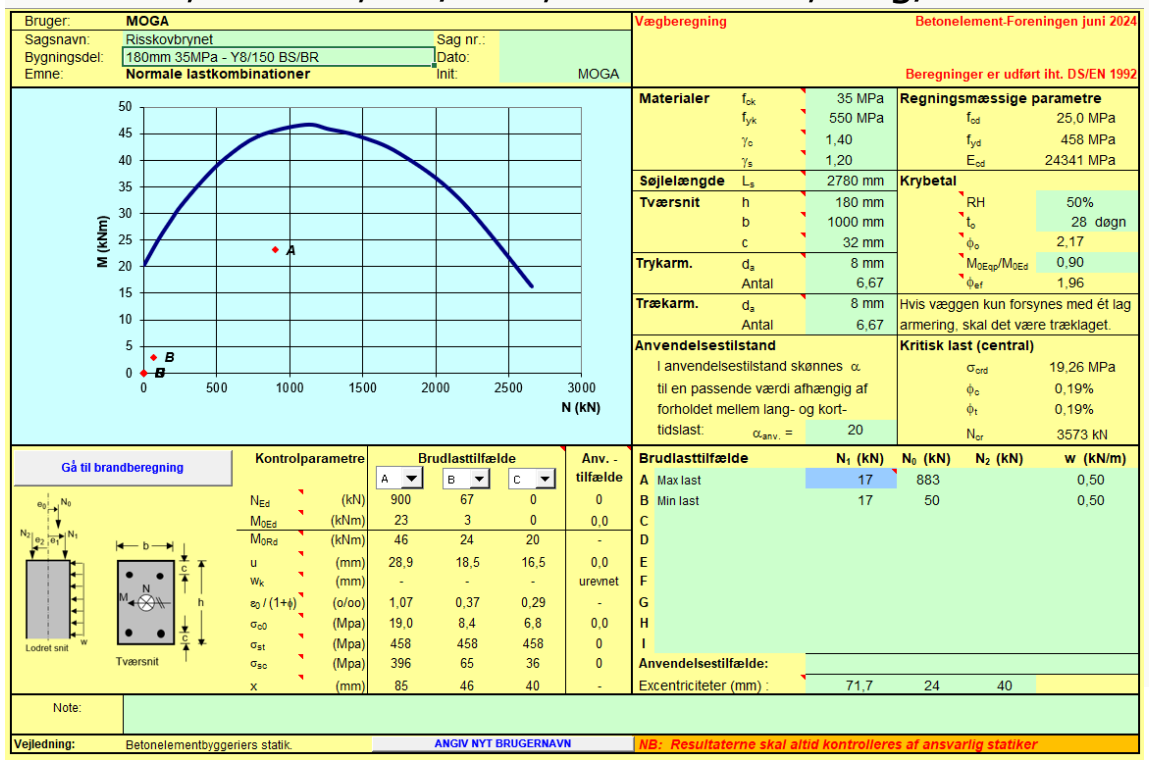
Kontrolparametre		A	B	C	Anv. - tilfælde
N_{Ed}	(kN)	900	67	0	0
M_{0Ed}	(kNm)	23	3	0	0,0
M_{0Rd}	(kNm)	24	22	20	-
u	(mm)	22,5	20,2	18,1	0,0
w_k	(mm)	-	-	-	urevnet
$e_0 / (1+\phi)$	(o/oo)	1,02	0,41	0,32	-
σ_{c0}	(Mpa)	9,8	5,6	4,6	0,0
σ_{st}	(Mpa)	105	458	458	0
σ_{sc}	(Mpa)	458	134	86	0
x	(mm)	130	58	50	-

Brudlasttilfælde		N_1 (kN)	N_0 (kN)	N_2 (kN)	w (kN/m)
A	Max last	17	883		0,50
B	Min last	17	50		0,50
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
Anvendelsestilfælde:					
Excentriciteter (mm) :		71,7	24	40	

Note:

Vejledning: Betonelementbyggeriers statik. ANGIV NYT BRUGERNAVN NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker

180mm, 35MPa, Y8/150, CO2e = 39,2 kg/m2



Bruger:	MOGA			Vægberegning	Betonelement-Foreningen juni 2024
Sagsnavn:	Risskovbrynet	Sag nr.:			
Bygningsdel:	180mm 35MPa - Y8/150 BS/BR	Dato:			Beregninger er udført iht. DS/EN 1992
Emne:	Normale lastkombinationer	Init:	MOGA		

Materialer			Regningsmæssige parametre	
	f_{ck}	35 MPa	f_{cd}	25,0 MPa
	f_{yk}	550 MPa	f_{yd}	458 MPa
	γ_c	1,40	E_{cd}	24341 MPa
	γ_s	1,20		
Søjlelængde	L_s	2780 mm	**Krybetal**	
Tværsnit	h	180 mm	RH	50%
	b	1000 mm	t_o	28 døgn
	c	32 mm	ϕ_o	2,17
Trykarm.	d_s	8 mm	M_{0Eqp}/M_{0Ed}	0,90
	Antal	6,67	ϕ_{ef}	1,96
Trækarm.	d_s	8 mm	Hvis væggen kun forsynes med ét lag armering, skal det være trækarmeret.	
	Antal	6,67		
Anvendelsestilstand			**Kritisk last (central)**	
I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast:	$\alpha_{anv.}$ =	20	σ_{crd}	19,26 MPa
			ϕ_c	0,19%
			ϕ_t	0,19%
			N_{cr}	3573 kN

Gå til brandberegning

Kontrolparametre		A	B	C	Anv. - tilfælde
N_{Ed}	(kN)	900	67	0	0
M_{0Ed}	(kNm)	23	3	0	0,0
M_{0Rd}	(kNm)	46	24	20	-
u	(mm)	28,9	18,5	16,5	0,0
w_k	(mm)	-	-	-	urevnet
$e_0 / (1+\phi)$	(o/oo)	1,07	0,37	0,29	-
σ_{c0}	(Mpa)	19,0	8,4	6,8	0,0
σ_{st}	(Mpa)	458	458	458	0
σ_{sc}	(Mpa)	396	65	36	0
x	(mm)	85	46	40	-

Brudlasttilfælde		N_1 (kN)	N_0 (kN)	N_2 (kN)	w (kN/m)
A	Max last	17	883		0,50
B	Min last	17	50		0,50
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
Anvendelsestilfælde:					
Excentriciteter (mm) :		71,7	24	40	

Note:

Vejledning: Betonelementbyggeriers statik. ANGIV NYT BRUGERNAVN NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker

Indervægge hård belastet

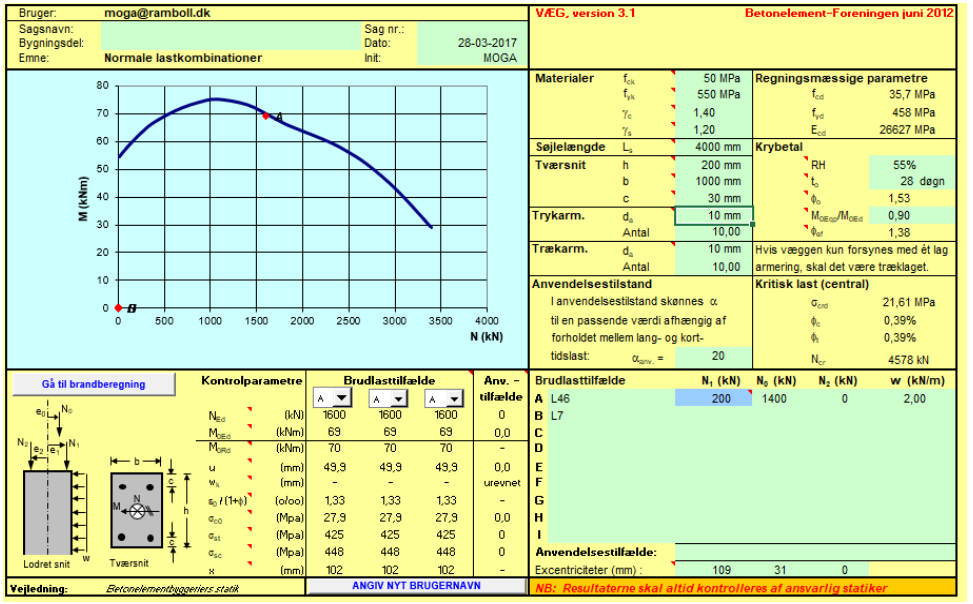
- Indledende undersøgelse af hårdt belastet vægge viser at tynde hårdt udnyttet vægge med fordel kan optimeres ved at øge tykkelsen og anvende svagere beton. Det vurderes dog ikke at være relevant for dette byggeri grundet forventet laster

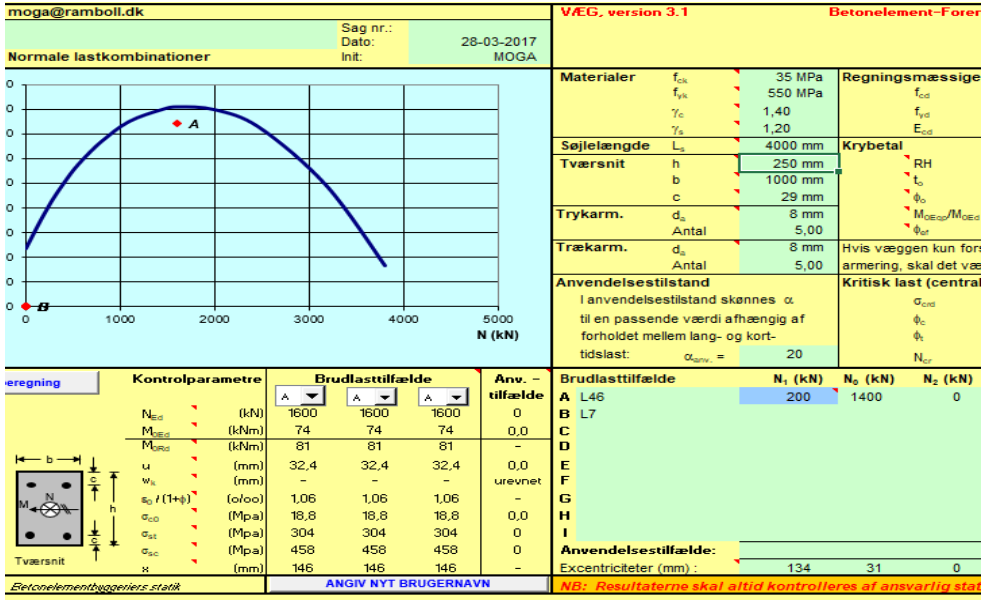
Tynd hårdt udnyttet væg

-> Tykkere+svagere beton+mindre armering

- 200mm, 50MPa + Y10/100 = 250mm, 35MPa + Y8/200

- T=200mm => 399kg/m væg
- T=250mm => 281kg/m væg
- NB Kun A1-A3 (insitu)



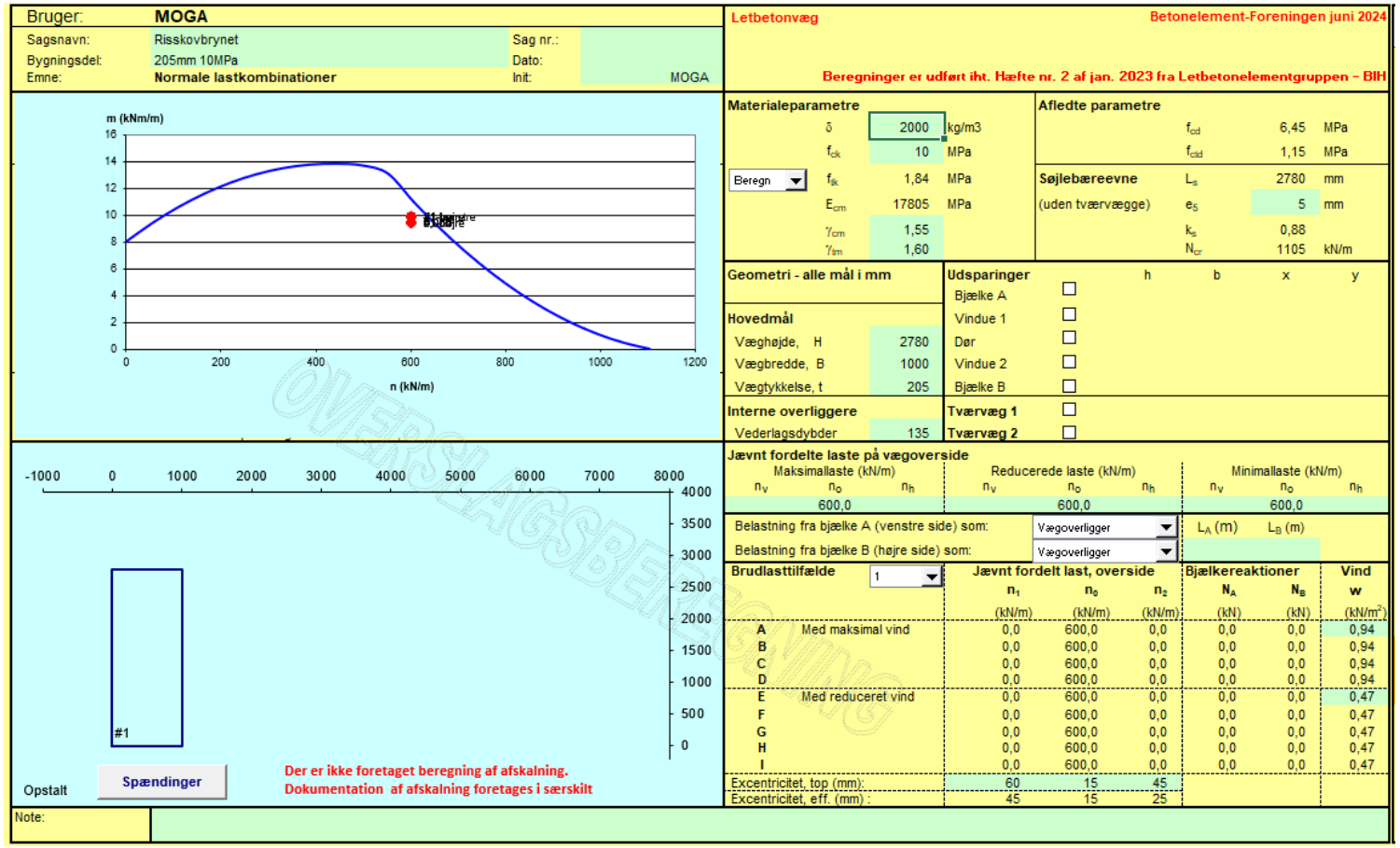


Indervægge – Letbeton

- Overslag
- 205 mm, 10 MPa, transport armering (2,64kg/m2)
- Ikke tilstrækkelig bæreevne. Kan ikke anvendes på alle etager i tårn
- CO2e = 42 kg/m2

- Det vurderes at denne løsning ikke er CO2 optimal og fravælges

- NB kun A1-A3 element



Indervægge-konsekvenser

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for beregninger:

- Differentiering medfører flere beregninger

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for udførelse:

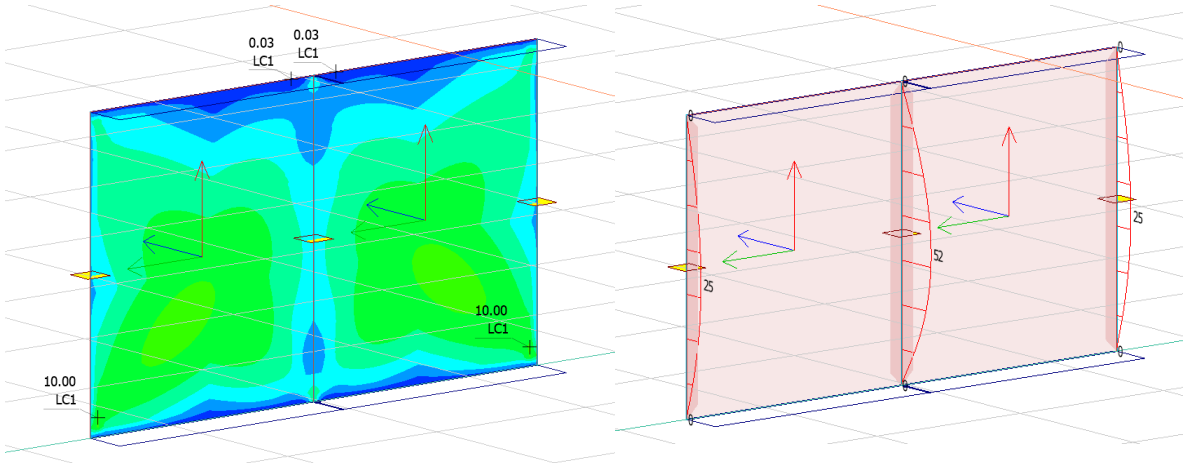
- Insitu indervægge generelt
- Optimeringen medfører flere variationer i styrker og armeringsudformning

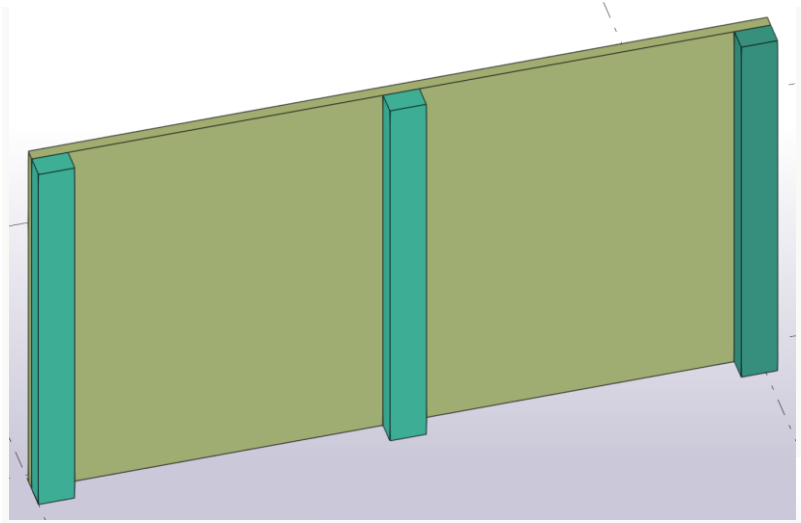
Kælder ydervægge - insitu eller elemeneter

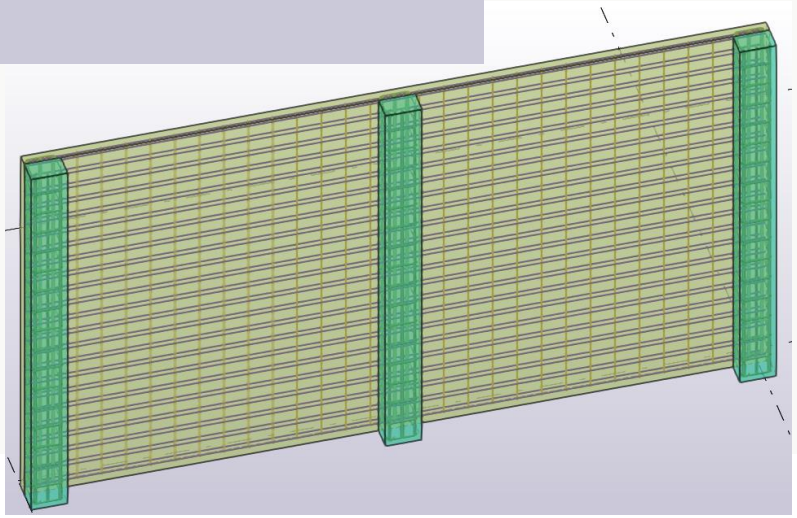
- Insitu eller elementer
  - Der vælges insitu løsning med samme begrundelse som for indervægge

Kælder ydervægge - Med lodrette ribber

- Overslag over lodrette ribber til bæring af lodretlast fra ovenstående facader. Væg del spændende mellem ribber fordeles jordtryk til ribber.
- Maks moment fra jordtryk:
  - MEd plade = 9,95kNm/m
  - MEd søjle = 52kNm

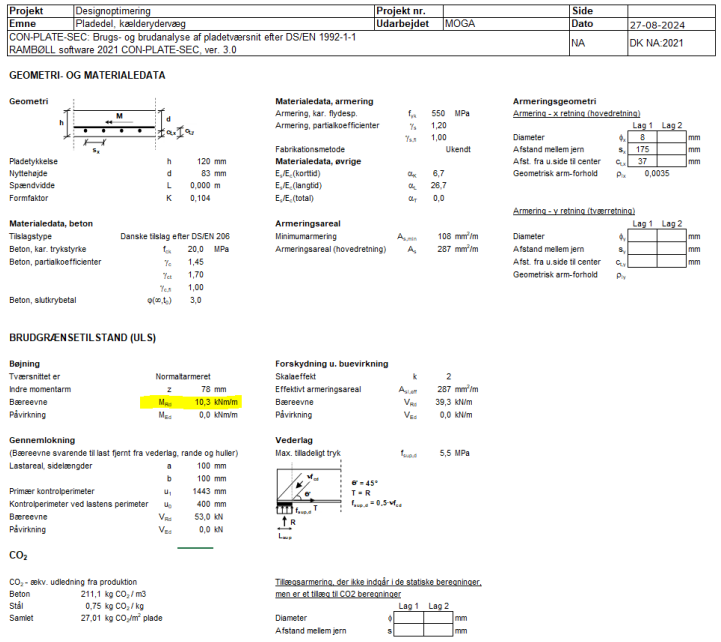






Kælder ydervægge - Med lodrette ribber

- Plade:
  - T = 120mm
  - Y8/175BS/BR
  - 20MPa



Projekt	Designoptimering	Projekt nr.		Side	
Emne	Pladedel, kælderydervæg	Udarbejdet	MOGA	Dato	27-08-2024
CON-PLATE-SEC: Brugs- og brudanalyse af pladetværsnit efter DS/EN 1992-1-1 RAMBØLL software 2021 CON-PLATE-SEC, ver. 3.0				NA	DK NA:2021

GEOMETRI- OG MATERIALEDATA

Geometri

Pladetykkelse	h	120	mm
Nyttehøjde	d	83	mm
Spændvidde	L	0,000	m
Formfaktor	K	0,104	

Materialedata, beton

Tilslagstype		Danske tilslag efter DS/EN 206	
Beton, kar. trykstyrke	f_{ck}	20,0	MPa
Beton, partialkoefficienter	γ_c	1,45	
	γ_{ct}	1,70	
	$\gamma_{c,fl}$	1,00	
Beton, slutkrybetal	$\varphi(\infty,t_0)$	3,0	

Materialedata, armering

Armering, kar. flydesp.	f_{yk}	550	MPa
Armering, partialkoefficienter	γ_s	1,20	
	$\gamma_{s,fl}$	1,00	
Fabrikationsmetode		Ukendt	

Materialedata, øvrige

E_s/E_c (korttid)	α_K	6,7	
E_s/E_c (langtid)	α_L	26,7	
E_s/E_c (total)	α_T	0,0	

Armeringsareal

Minimumarmering	$A_{s,min}$	108	mm²/m
Armeringsareal (hovedretning)	A_s	287	mm²/m

Armeringsgeometri

Armering - x retning (hovedretning)

		Lag 1	Lag 2	
Diameter	ϕ_x	8		mm
Afstand mellem jern	s_x	175		mm
Afst. fra u.side til center	$c_{x,u}$	37		mm
Geometrisk arm-forhold	ρ_x	0,0035		

Armering - y retning (tværretning)

		Lag 1	Lag 2	
Diameter	ϕ_y			mm
Afstand mellem jern	s_y			mm
Afst. fra u.side til center	$c_{y,u}$			mm
Geometrisk arm-forhold	ρ_y			

BRUDGRÆNSETILSTAND (ULS)

Bøjning

Tværsnittet er		Normalarmeret	
Indre momentarm	z	78	mm
Bæreevne	M_{Rd}	10,3	kNm/m
Påvirkning	M_{Ed}	0,0	kNm/m

Gennemlokning

(Bæreevne svarende til last fjernt fra vederlag, rande og huller)

Lastareal, sidelængder	a	100	mm
	b	100	mm
Primær kontrolperimeter	u_1	1443	mm
Kontrolperimeter ved lastens perimeter	u_0	400	mm
Bæreevne	V_{Rd}	53,0	kN
Påvirkning	V_{Ed}	0,0	kN

Forskydning u. buevirkning

Skaleffekt	k	2	
Effektivt armeringsareal	$A_{sl,eff}$	287	mm²/m
Bæreevne	V_{Rd}	39,3	kN/m
Påvirkning	V_{Ed}	0,0	kN/m

Vederlag

Max. tilladeligt tryk	$f_{max,d}$	5,5	MPa

$\sigma' = 45°$
$T = R$
$f_{max,d} = 0,5 \cdot f_{cd}$

CO_2

CO_2 - ækv. udledning fra produktion

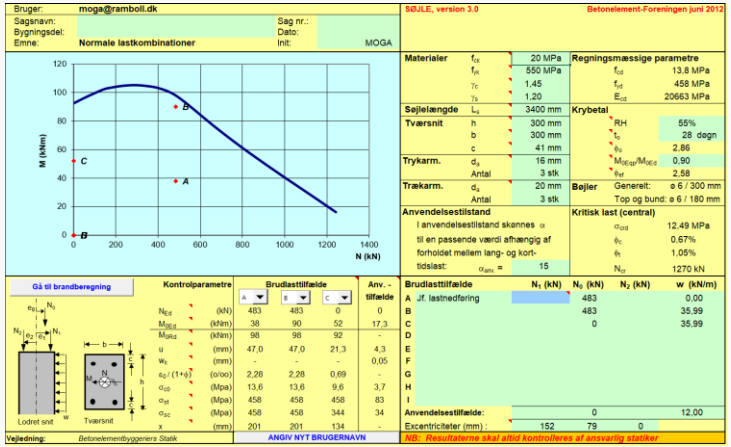
Beton	211,1 kg CO_2 / m3
Stål	0,75 kg CO_2 / kg
Samlet	27,01 kg CO_2/m² plade

Tillægsarmering, der ikke indgår i de statiske beregninger, men er et tillæg til CO2 beregninger

		Lag 1	Lag 2	
Diameter	ϕ			mm
Afstand mellem jern	s			mm

CO2e samlet = 596,7 kg

- Søjler (per 3m)
  - 300x300mm
  - 3Y20+3Y16 og bøjler Y6/250
  - 20MPa



Bruger: moga@ramboll.dk
Sagsnavn:
Bygningsdel:
Emne: Normale lastkombinationer
Sag nr.:
Dato:
Init: MOGA

SØJLE, version 3.0 — Betonelement-Foreningen juni 2012

Materialer			Regningsmæssige parametre	
	f_{ck}	20 MPa	f_{cd}	13,8 MPa
	f_{yk}	550 MPa	f_{yd}	458 MPa
	γ_c	1,45	E_{cd}	20663 MPa
	γ_s	1,20		
Søjlelængde	L_{cs}	3400 mm	Krybetal	
Tværsnit	h	300 mm	RH	55%
	b	300 mm	t_0	28 døgn
	c	41 mm	θ_0	2,86
Trykarm.	d_s	16 mm	M_{0Edqp}/M_{0Ed}	0,90
	Antal	3 stk	θ_{ef}	2,58
Trækarm.	d_s	20 mm	Bøjler	Generelt: ø 6 / 300 mm
	Antal	3 stk		Top og bund: ø 6 / 180 mm
Anvendelsestilstand			Kritisk last (central)	
I anvendelsestilstand skønnes α			σ_{crd}	12,49 MPa
til en passende værdi afhængig af			ϕ_c	0,67%
forholdet mellem lang- og kort-			ϕ_t	1,05%
tidslast:	α_{ens} =	15	N_{cr}	1270 kN

Gå til brandberegning

Kontrolparametre				
N_{Ed}	(kN)	483	483	0
M_{0Ed}	(kNm)	38	90	52
M_{0Rd}	(kNm)	98	98	92
u	(mm)	47,0	47,0	21,3
w_k	(mm)	-	-	-
$\varepsilon_0 / (1+\phi)$	(o/oo)	2,28	2,28	0,69
σ_{c0}	(Mpa)	13,6	13,6	9,6
σ_{st}	(Mpa)	458	458	458
σ_{sc}	(Mpa)	458	458	344
x	(mm)	201	201	134

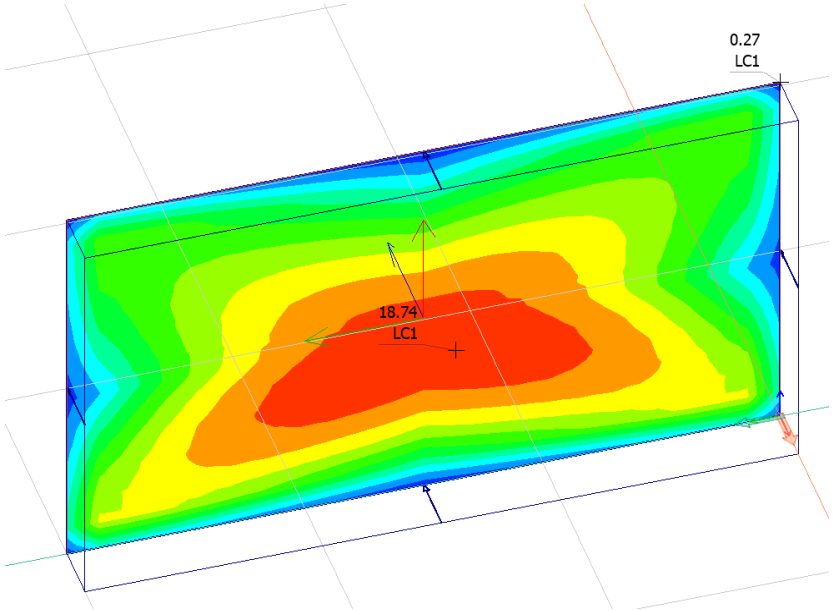
Brudlastilfælde	A	B	C	Anv. - tilfælde
	483	483	0	0
	38	90	52	17,3
	98	98	92	-
	47,0	47,0	21,3	4,3
	-	-	-	0,05
	2,28	2,28	0,69	-
	13,6	13,6	9,6	3,7
	458	458	458	83
	458	458	344	34
	201	201	134	-

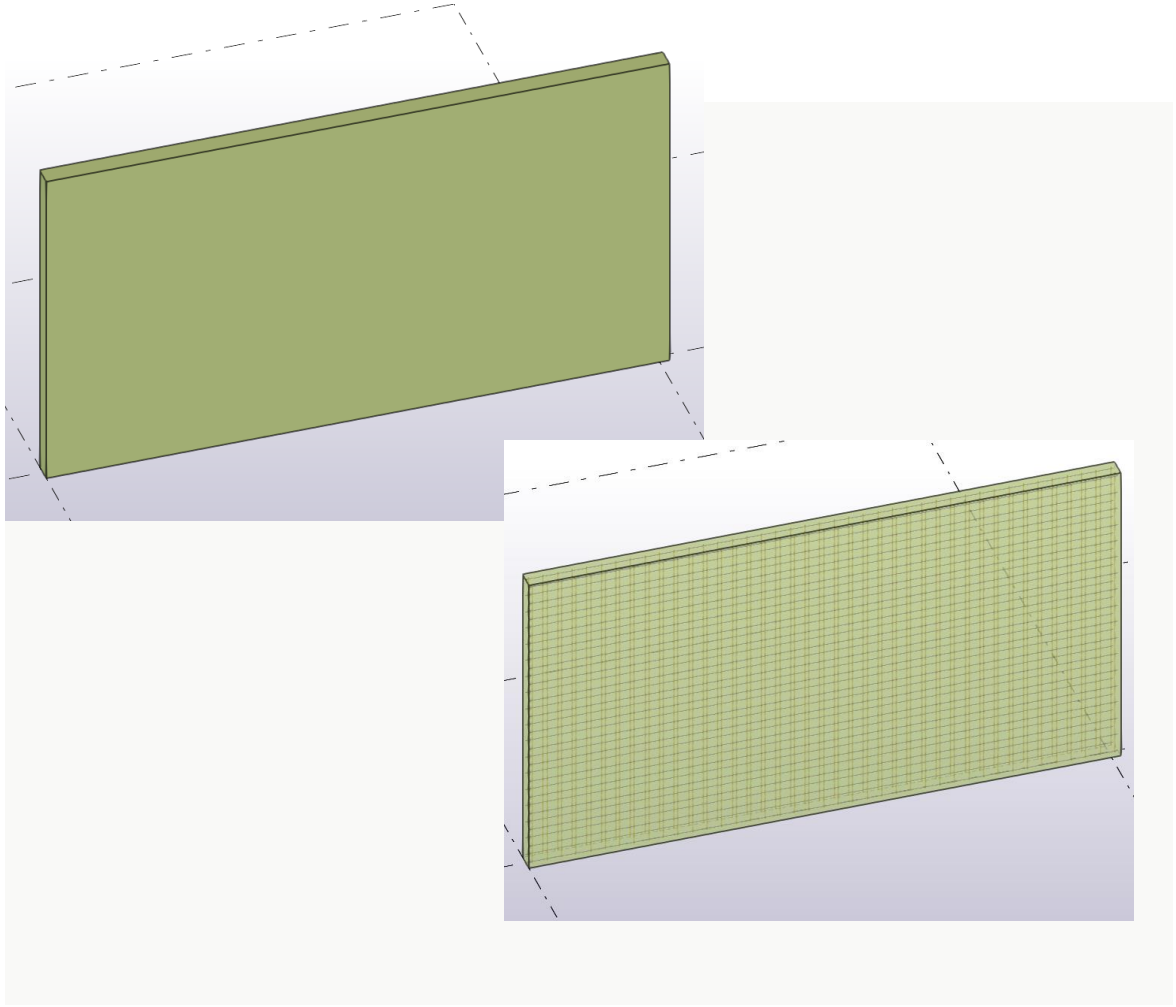
Brudlastilfælde		N_1 (kN)	N_0 (kN)	N_2 (kN)	w (kN/m)
A	Jf. lastnedføring		483		0,00
B			483		35,99
C			0		35,99
D					
E					
F					
G					
H					
I					
Anvendelsestilfælde:			0		12,00
Excentriciteter (mm) :		152	79	0	

Vejledning: Betonelementbyggeriets Statik — ANGIV NYT BRUGERNAVN — NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker

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:
    - MEd = 18,74kNm/m

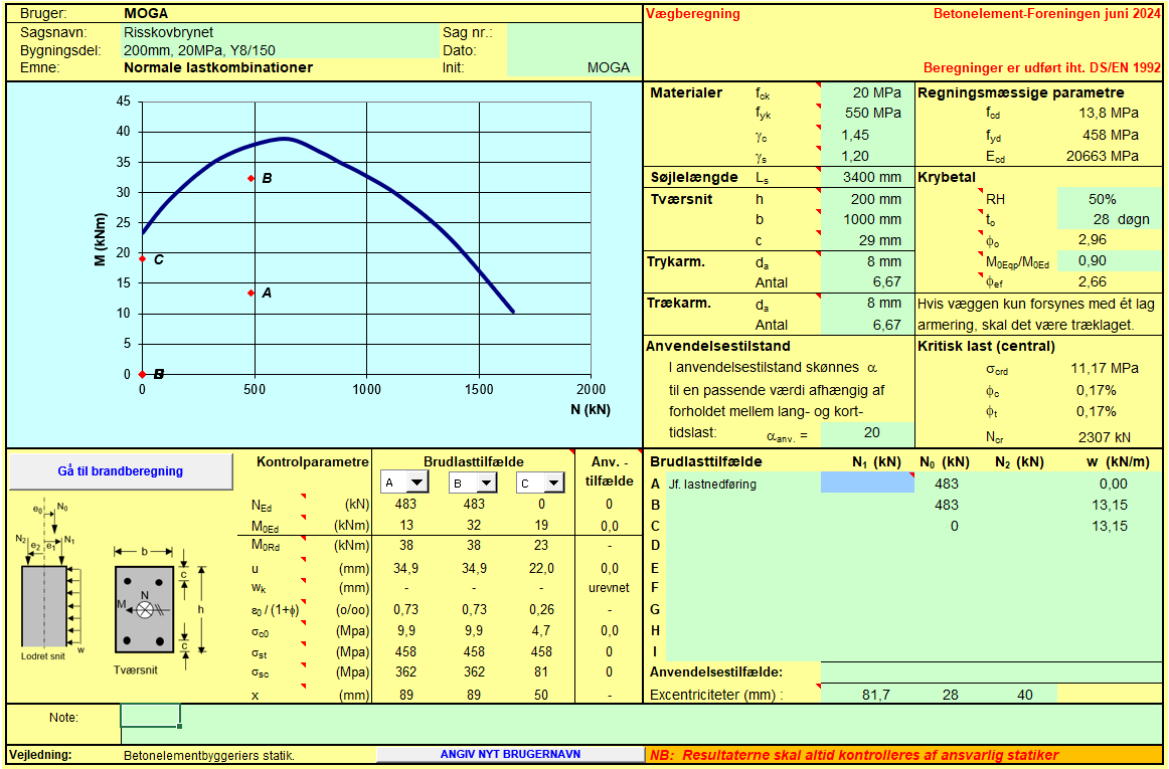




Kælder ydervægge - 4-sidet spændt vægfelt

- Væg, t=200mm
  - Y8/150 BS/BR
  - 20MPa

CO2e = 717,5 kg



Bruger: MOGA
Sagsnavn: Risskovbrynet — Sag nr.:
Bygningsdel: 200mm, 20MPa, Y8/150 — Dato:
Emne: **Normale lastkombinationer** — Init: MOGA

Vægberegning — Betonelement-Foreningen juni 2024
Beregninger er udført iht. DS/EN 1992

Materialer	f_{ck}	20 MPa	**Regningsmæssige parametre**	
	f_{yk}	550 MPa	f_{cd}	13,8 MPa
	γ_c	1,45	f_{yd}	458 MPa
	γ_s	1,20	E_{cd}	20663 MPa
Søjlelængde	L_s	3400 mm	**Krybetal**	
Tværsnit	h	200 mm	RH	50%
	b	1000 mm	t_o	28 døgn
	c	29 mm	ϕ_o	2,96
Trykarm.	d_s	8 mm	M_{0Eqp}/M_{0Ed}	0,90
	Antal	6,67	ϕ_{ef}	2,66
Trækarm.	d_s	8 mm	Hvis væggen kun forsynes med ét lag armering, skal det være trækla	
	Antal	6,67		
Anvendelsestilstand			**Kritisk last (central)**	
I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast:	$\alpha_{anv.}$ =	20	σ_{crd}	11,17 MPa
			ϕ_c	0,17%
			ϕ_t	0,17%
			N_{cr}	2307 kN

Gå til brandberegning

Kontrolparametre		Brudlasttilfælde A	B	C	Anv. - tilfælde
N_{Ed}	(kN)	483	483	0	0
M_{0Ed}	(kNm)	13	32	19	0,0
M_{0Rd}	(kNm)	38	38	23	-
u	(mm)	34,9	34,9	22,0	0,0
w_k	(mm)	-	-	-	urevnet
$e_0/(1+\phi)$	(o/oo)	0,73	0,73	0,26	-
σ_{c0}	(Mpa)	9,9	9,9	4,7	0,0
σ_{st}	(Mpa)	458	458	458	0
σ_{sc}	(Mpa)	362	362	81	0
x	(mm)	89	89	50	-

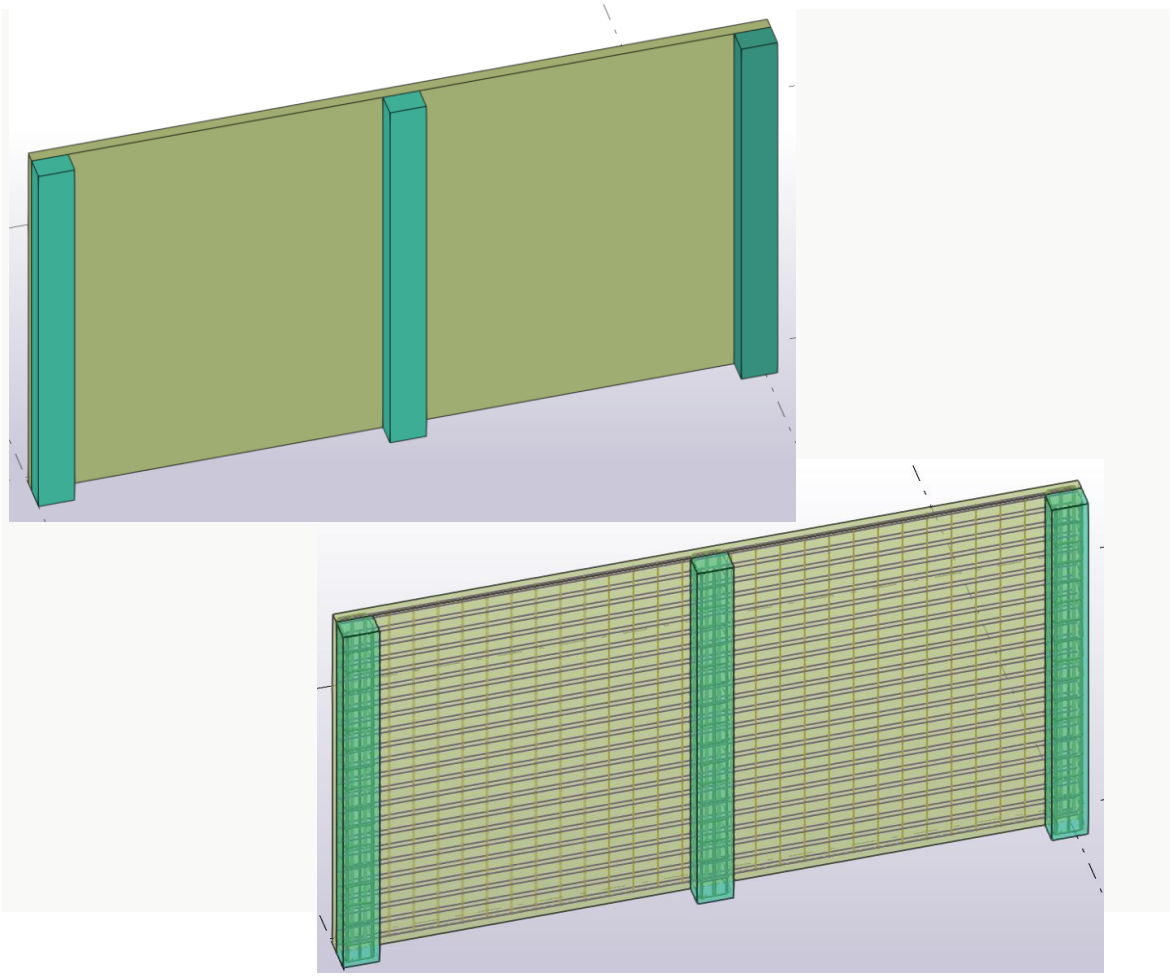
Brudlasttilfælde	N_1 (kN)	N_0 (kN)	N_2 (kN)	w (kN/m)
A Jf. lastnedføring		483		0,00
B		483		13,15
C		0		13,15
D				
E				
F				
G				
H				
I				
Anvendelsestilfælde:				
Excentriciteter (mm) :	81,7	28	40	

Note:

Vejledning: Betonelementbyggeriers statik. — ANGIV NYT BRUGERNAVN — *NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker*

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.



Kældervægge-konsekvenser

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for beregninger:

- Differentiering medfører flere beregninger

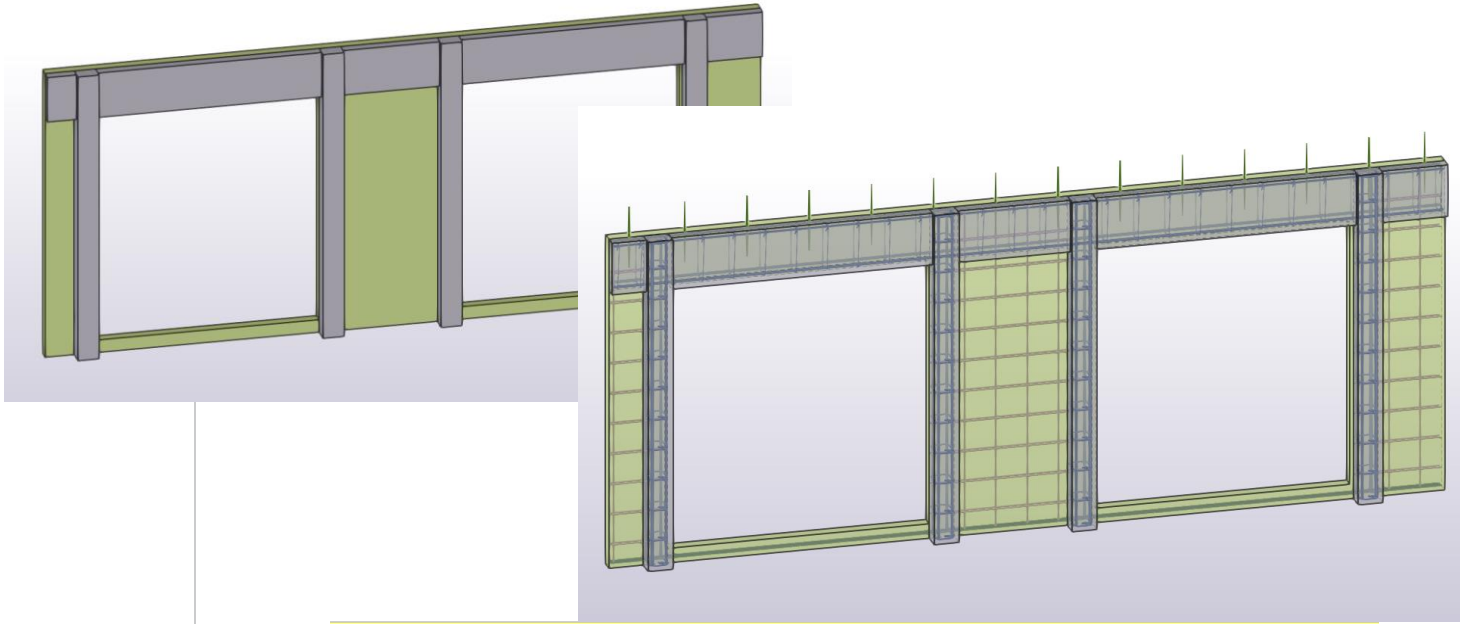
De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for udførelse:

- Insitu støbte ribbede vægge medføre støbninger med ”forede forme” eller tilsvarende der sikre geometri

Façade - insitu eller elemeneter

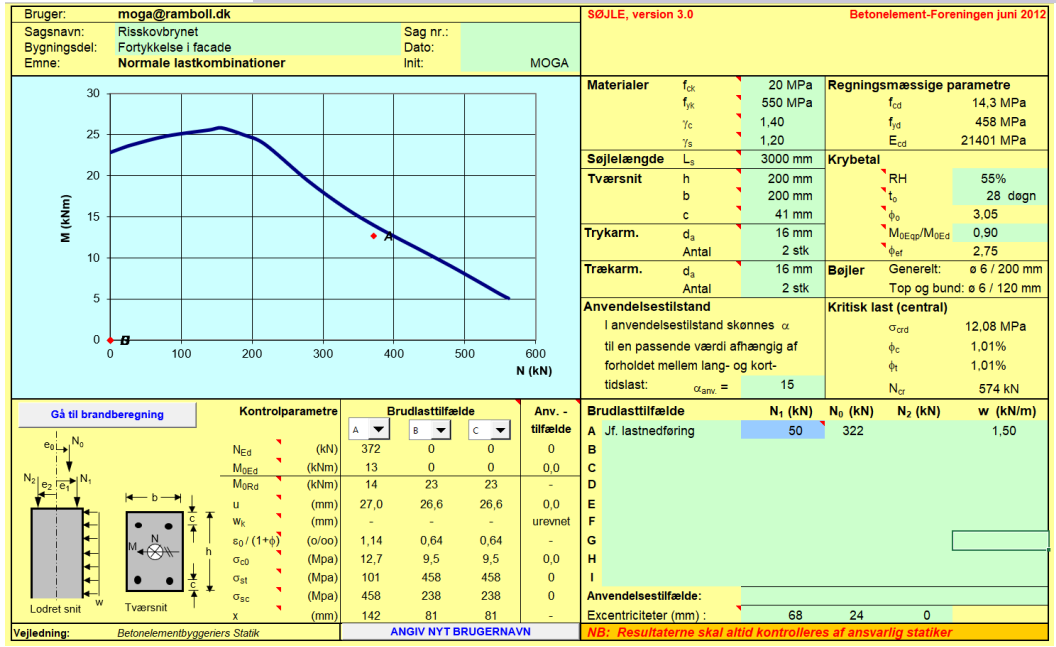
- Projektet er udført som sandwich elementer og det vurderes ikke umiddelbart muligt at udføre bagvæg i insitu. Der vælges derfor elementbeton.

Façade elementvægge



- Overslagsberegninger af Rammevæg
  - Tynd midte + søjle/bjælke omkreds
  - Min tykkelser iht. lyd krav
  - Betonfalse inkorporeres i fortykkelser med søjlearmering, evt med mindre fals udenpå
  - 20MPa
  - Fortykkelser: t=200x200mm, 2x2Y16 + bøjler Y8/150
  - Midte: t=100mm, Y8/150
  - Kun fortykkelse regnes bærende
  - Fortykkelse ved bjælke for dækvederlag

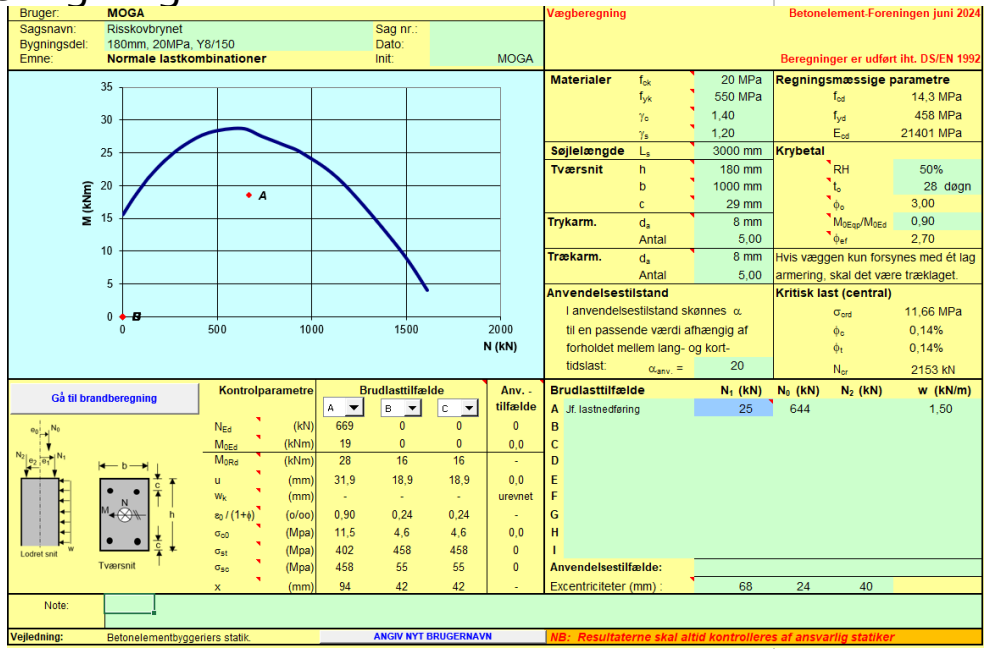
CO2e = 336 kg



Façade elementvægge

- Overslag til sammenligning
- Tykkelse 180mm
- 20MPa
- Y8/200

CO2e = 450 kg



Bruger: MOGA
Sagsnavn: Risskovbrynet — Sag nr.:
Bygningsdel: 180mm, 20MPa, Y8/150 — Dato:
Emne: Normale lastkombinationer — Init: MOGA

Vægberegning — Betonelement-Foreningen juni 2024
Beregninger er udført iht. DS/EN 1992

			Regningsmæssige parametre	
Materialer	f_{ck}	20 MPa	f_{cd}	14,3 MPa
	f_{yk}	550 MPa	f_{yd}	458 MPa
	γ_c	1,40	E_{cd}	21401 MPa
	γ_s	1,20		
Søjlelængde	L_s	3000 mm	Krybetal	
Tværsnit	h	180 mm	RH	50%
	b	1000 mm	t_0	28 døgn
	c	29 mm	ϕ_o	3,00
Trykarm.	d_a	8 mm	M_{0Eqp}/M_{0Ed}	0,90
	Antal	5,00	ϕ_{ef}	2,70
Trækarm.	d_a	8 mm	Hvis væggen kun forsynes med ét lag armering, skal det være trækarmering.	
	Antal	5,00		
Anvendelsestilstand			Kritisk last (central)	
I anvendelsestilstand skønnes α til en passende værdi afhængig af forholdet mellem lang- og kort-tidslast:	$\alpha_{anv.}$ =	20	σ_{crd}	11,66 MPa
			ϕ_c	0,14%
			ϕ_t	0,14%
			N_{cr}	2153 kN

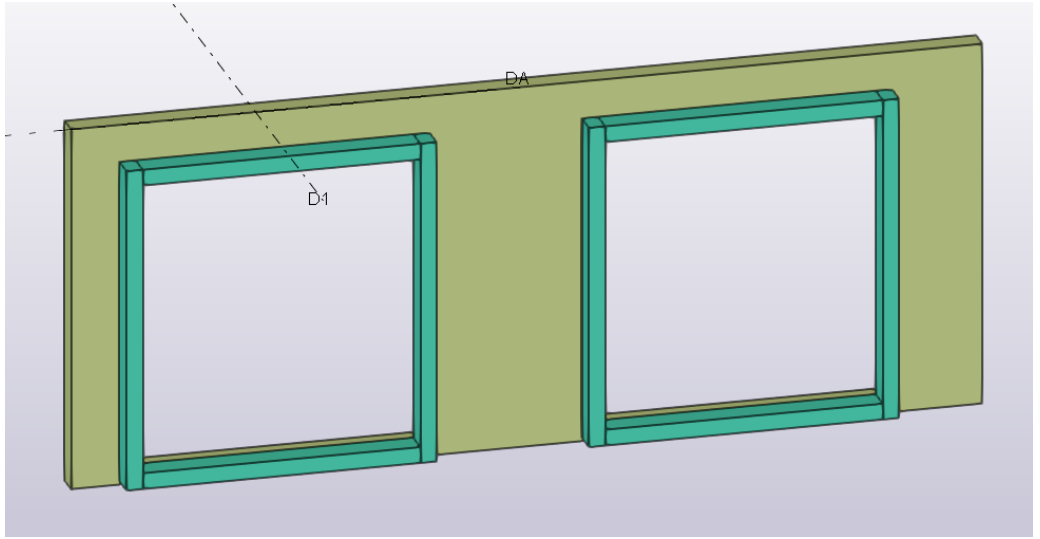
Gå til brandberegning

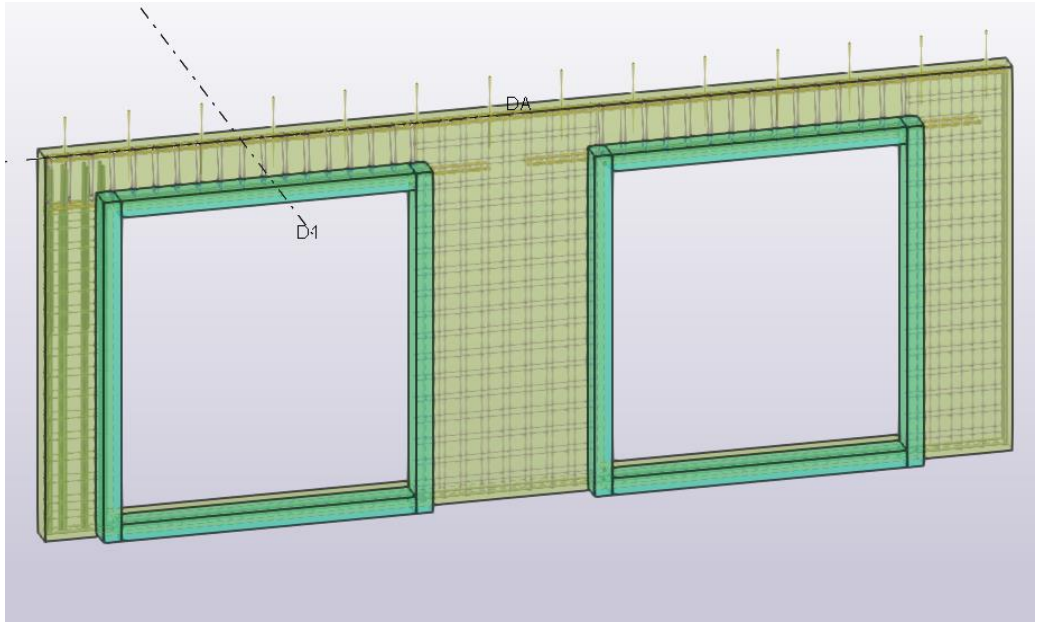
Kontrolparametre		Brudlasttilfælde A	B	C	Anv. - tilfælde
N_{Ed}	(kN)	669	0	0	0
M_{0Ed}	(kNm)	19	0	0	0,0
M_{0Rd}	(kNm)	28	16	16	-
u	(mm)	31,9	18,9	18,9	0,0
w_k	(mm)	-	-	-	urevnet
$e_0 / (1+\phi)$	(o/oo)	0,90	0,24	0,24	-
σ_{c0}	(Mpa)	11,5	4,6	4,6	0,0
σ_{st}	(Mpa)	402	458	458	0
σ_{sc}	(Mpa)	458	55	55	0
x	(mm)	94	42	42	-

Brudlasttilfælde	N_1 (kN)	N_0 (kN)	N_2 (kN)	w (kN/m)
A Jf. lastnedføring	25	644		1,50
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				
I				
Anvendelsestilfælde:				
Excentriciteter (mm) :	68	24	40	

Note:

Vejledning: Betonelementbyggeriers statik. — ANGIV NYT BRUGERNAVN — NB: Resultaterne skal altid kontrolleres af ansvarlig statiker

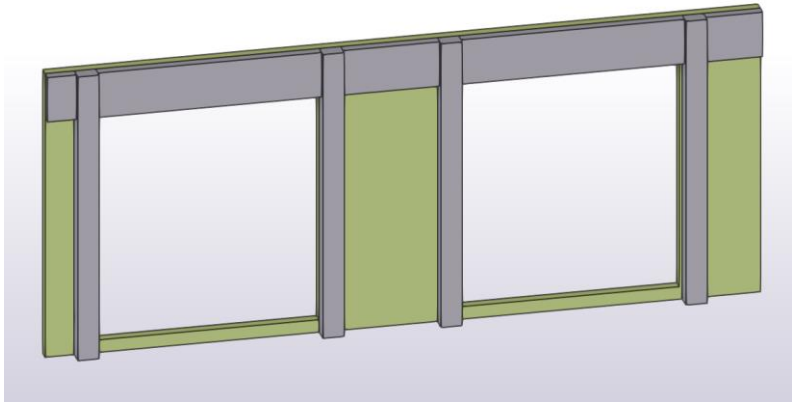


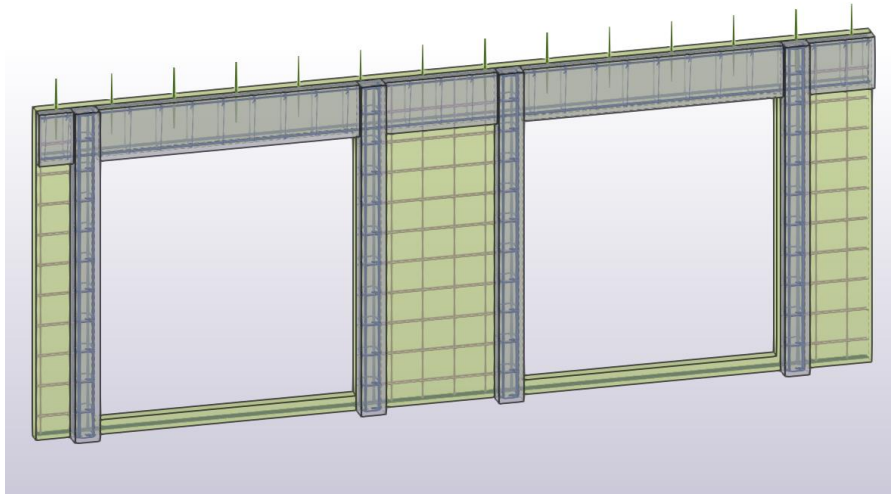


Façade elementvægge

- Det ses umiddelbart at "Ramme løsning" er en optimering og denne anvendes.

- Det bemærkes at løsning med ens tykkelse af bagvæg muligvis kunne optimeres yderligere men selv ved reduction med faktor 150/180 svarende lineær reduction med en tykkelsesreduktion fra 180mm til 150mm er rammeløsning mere optimalt.





Kældervægge-konsekvenser

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for beregninger:

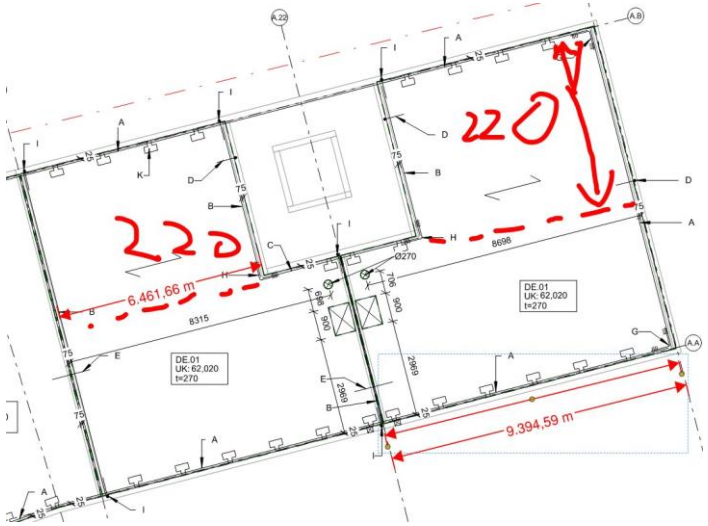
- Differentiering medfører flere beregninger

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for udførelse:

- Element rammeløsning medføre støbninger i flere tykkelser og dermed mere kompliceret isoleringstilskæring i sandwich element.
- Vægarmering er mere kompliceret
- Bindere til forplade vil muligvis skulle differentieres.

Etagedæk

- Huldæk
  - Differentiering mellem tykkelser og spænd
  - Optimeret tykkelse
  - Felt i lav bygning undersøges om tykkelser kan reduceres

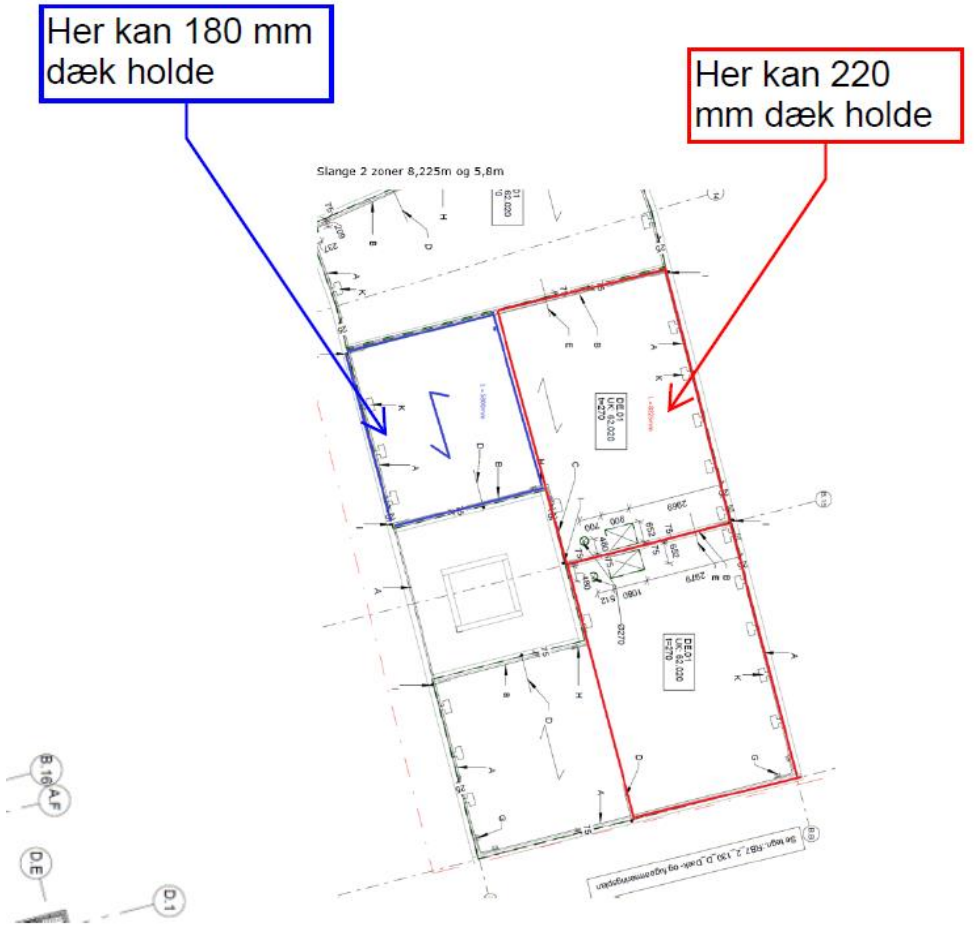


- Insitu støbt dæk
  - Optimeret tykkelse / armering
  - Felt i lav bygning undersøges, plade regnes understøttet på alle vægge

Etagedæk - Huldæk

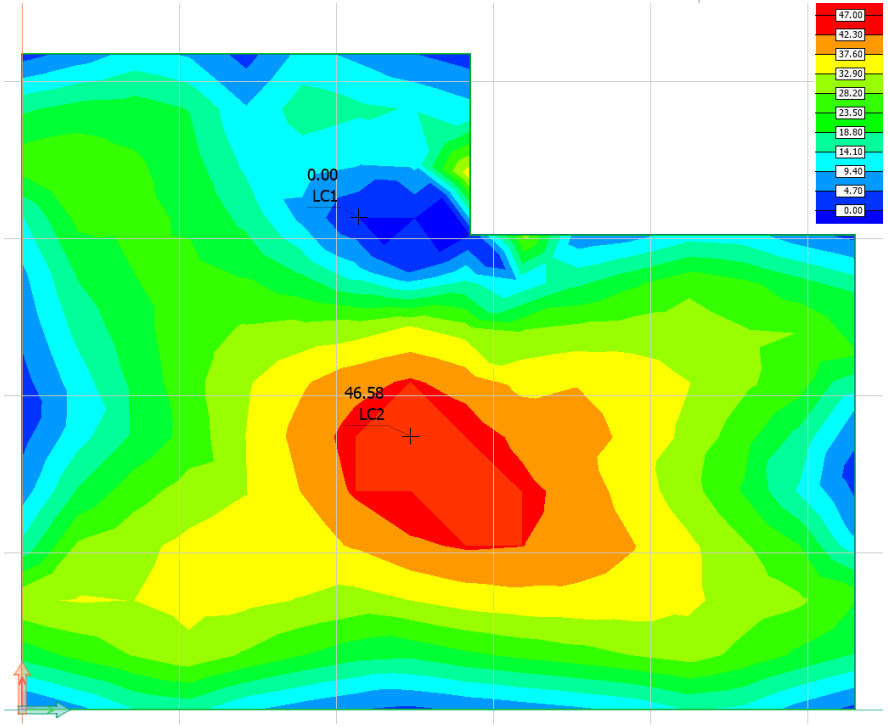
- Efter korspondance med CRH
  - OBS: Lydkrav min 310kg/m2 -> 220mm dæk

220mm huldæk CO2e = 35,17 kg/m2

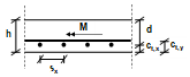


Etagedæk - Insitu dæk

- Overslag over Insitu løsning
- FE-model af dæk:
  - t = 180mm
  - 20MPa, Y16/100
- Maks moment: 46,6kNm/m
- CO2e / m2 = 40,1 kg/m2



Geometri



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

Materialedata, beton

Tilslagstype	Danske tilslag efter DS/EN 206		
Beton, kar. trykstyrke	f_{ck}	20,0	MPa
Beton, partialkoefficienter	γ_c	1,45	
	γ_{cf}	1,70	
	$\gamma_{c,fi}$	1,00	
Beton, slutkrybetal	$\varphi(\infty,t_0)$	3,0	

Materialedata, armering

Armering, kar. flydesp.	f_{yk}	550	MPa
Armering, partialkoefficienter	γ_s	1,20	
	$\gamma_{s,fi}$	1,00	
Fabrikationsmetode		Ukendt	

Materialedata, øvrige

E_s/E_c (korttid)	α_K	6,7	
E_s/E_c (langtid)	α_L	26,7	
E_s/E_c (total)	α_T	26,7	

Armeringsareal

Minimumarmering	$A_{s,min}$	182	mm²/m
Armeringsareal (hovedretning)	A_s	2011	mm²/m

Armeringsgeometri

Armering - x retning (hovedretning)

		Lag 1	Lag 2	
Diameter	ϕ_x	16		mm
Afstand mellem jern	s_x	100		mm
Afst. fra u.side til center	$c_{1,x}$	40		mm
Geometrisk arm-forhold	ρ_{1x}	0,0144		

Armering - y retning (tværretning)

		Lag 1	Lag 2	
Diameter	ϕ_y	16		mm
Afstand mellem jern	s_y	100		mm
Afst. fra u.side til center	$c_{1,y}$	40		mm
Geometrisk arm-forhold	ρ_{1y}	0,0144		

BRUDGRÆNSETILSTAND (ULS)

Bøjning

Tværsnittet er	Normalarmeret		
Indre momentarm	z	107	mm
Bæreevne	M_{Rd}	98,2	kNm/m
Påvirkning	M_{Ed}	46,0	kNm/m

Gennemlokning

(Bæreevne svarende til last fjernt fra vederlag, rande og huller)

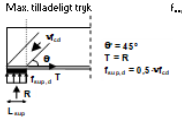
Lastareal, sidelængder	a	100	mm
	b	100	mm
Primær kontrolperimeter	u_1	2159	mm
Kontrolperimeter ved lastens perimeter	u_0	400	mm
Bæreevne	V_{Rd}	229,9	kN
Påvirkning	V_{Ed}	0,0	kN

Forskydning u. buevirkning

Skalaeffekt	k	2	
Effektivt armeringsareal	$A_{sl,eff}$	2010	mm²/m
Bæreevne	V_{Rd}	106,4	kN/m
Påvirkning	V_{Ed}	0,0	kN/m

Vederlag

Max. tilladeligt tryk	f_{cd}	5,5	MPa



ANVENDELSESGRÆNSETILSTAND (SLS)

Min. arm. for kontrol af revnedannelse	$A_{s,min}$	139	mm²/m
Koeff. for armeringens vedhæftning	k_1	0,8	
Fuldt revnet tv.snit i nedbøjn. beregn.		Nej	

	Påvirkninger og beregnede værdier						Maksimal tilladelige værdier		
	Bøjnings-påvirkning M_E [kNm/m]	Nullinie-dybde x [mm]	Betonk.ant-spænding σ_c [MPa]	Maks. Trækarm.-spænding σ_{sl} [MPa]	Revne-vidde w_k [mm]	Maks. nedbøjning u [mm]	Betonk.ant-spænding σ_c [MPa]	Trækarm.-spænding σ_{sl} [MPa]	Revne-vidde 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

CO_2

CO_2- ækv. udledning fra produktion

Beton	137	kg CO_2/ m3
Stål	0,425	kg CO_2/ kg
Samlet	40,10	kg CO_2/m² plade

Tillægsarmering, der ikke indgår i de statiske beregninger, men er et tillæg til CO2 beregninger

		Lag 1	Lag 2	
Diameter	ϕ	8	8	mm
Afstand mellem jern	s	150	150	mm

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/m2
- A280 har 0,159 m3/m2 insitubeton og 60mm elementbeton –simplificeret regnet samlet som 0,219m3/m2, svarende til 47,3 kgCO2/m2 (35MPa 216 kgCO2/m3)
- CO2 for armeirng anslås simplificeret at være lig CO2 aftryk for insitu løsning 280mm: Y8/110 I.B. R I.B.S. svarende til 6,4kgCO2/m2
- Samlet CO2 er således ca 53,7kgCO2/m2.

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 m3/m2	5,3 kN/m2	5,6 kN/m2	8,5 x 8,5 m	7,5 x 7,5 m
A340	340 mm	240 mm	0,195 m3/m2	6,4 kN/m2	6,7 kN/m2	10,0 x 10,0 m	9,0 x 9,0 m
A390	390 mm	290 mm	0,226 m3/m2	7,3 kN/m2	7,6 kN/m2	11,0 x 11,0 m	10,5 x 10,5 m
A450	450 mm	350 mm	0,264 m3/m2	8,3 kN/m2	8,6 kN/m2	12,0 x 12,0 m	11,5 x 11,5 m

- Det vurderes at der er en smule mere optimeringspotentiale 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 0,140m3/m2 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/m2	Conc on-site m3/m2
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

Dæk-konsekvenser

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for beregninger:

- Ingen

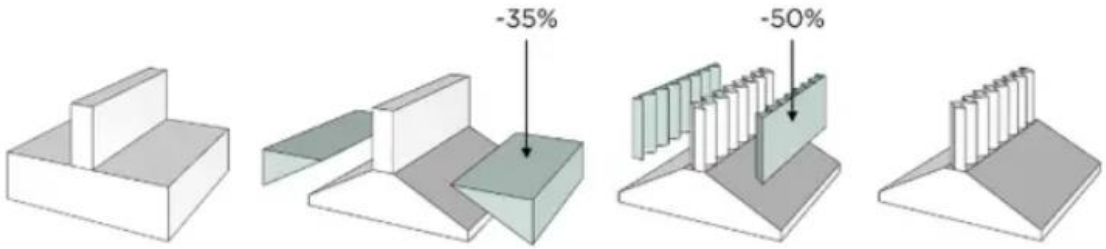
De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for udførelse:

- 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.

Stribe fundamenter - Trekantsformet

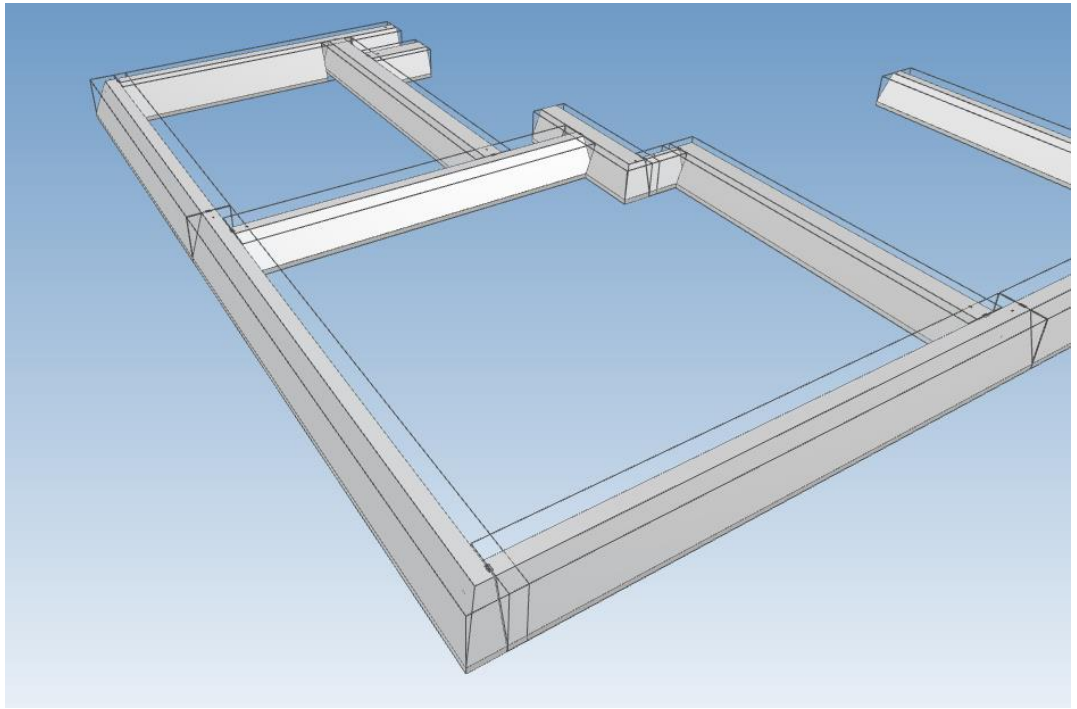
- Der henvises til tidligere undersøgelser med trekantsformet stribefundamenter:
  - https://www.ramboll.com/da-dk/optimeret-stribefundament
- Her er det fundet at der på pladen i stribefundamentet kan reduceres med ca. 35% beton.
- Denne løsning vælges for pladen.
- Skafter bibeholdes som ens tykkelse grundet den meget lille udstrækning hvorved optimering vil være minimal.



Stribe fundamenter - Uarmeret

Uarmeret trekantsformet fundamenter

- Det vurderes grundet jordens bæreevner og bygningens belastninger at dette ikke er relevant for dette projekt. (Lasten skal sprede sig for meget ud fundamenterne bliver for høje)
- Denne løsning fravælges



Pladefundament

Under tårnkerne udføres udføres der en plade. Denne plade udføres grundlæggende som en plade med ens tykkelse.

Pladen optimeres ved at beregne skitkræfter ud fra de faktiske laster fra overliggende konstruktioner.

Fundamenter-konsekvenser

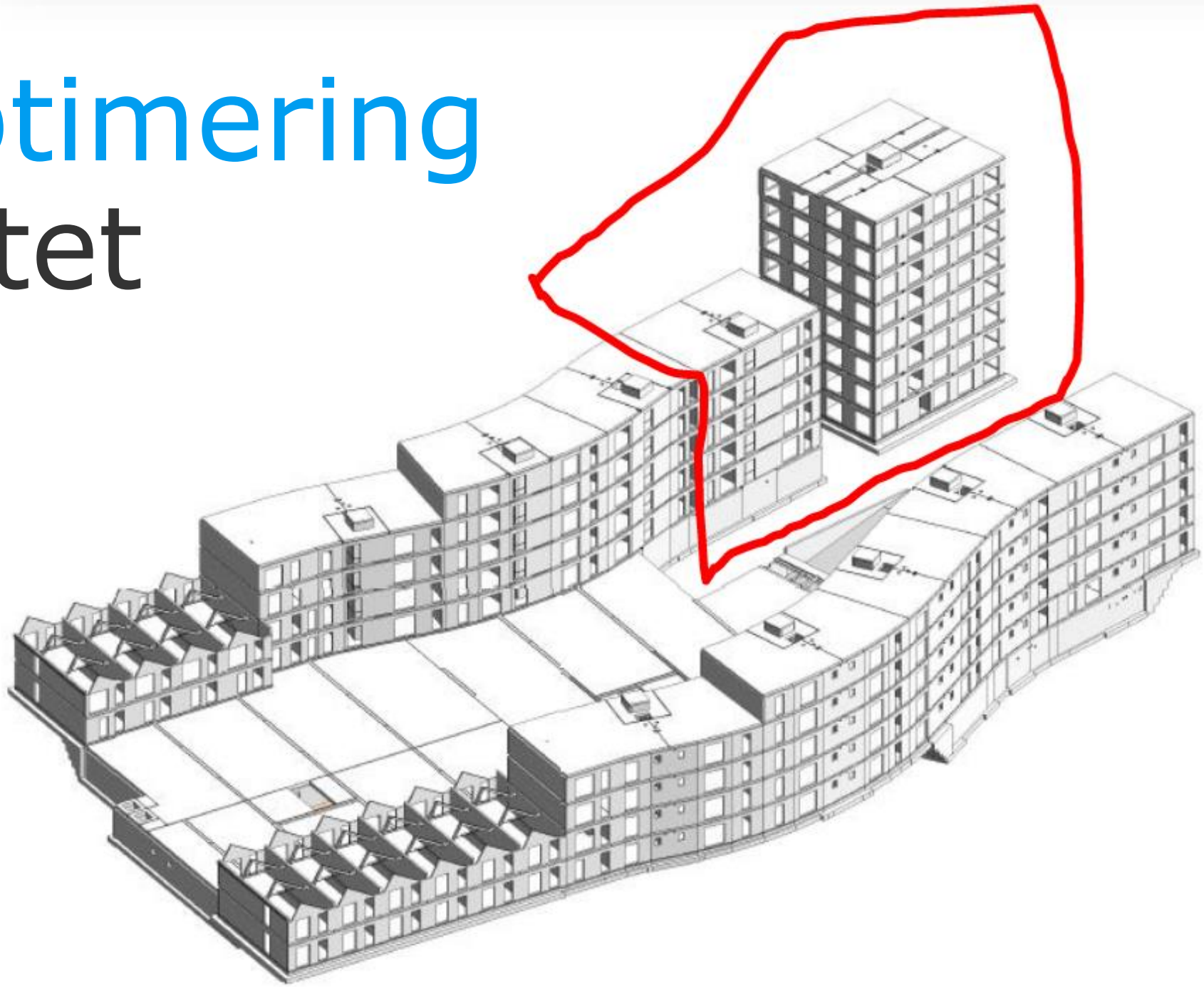
De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for beregninger:

- Anderledes beregninger for stribefundamenter.
- Flere beregninger for pladefundamenter

De valgte løsninger vurderes at have følgende konsekvenser for udførelse:

- Mere forarbejde for at sikre form for stribefundamenter

Designoptimering
Kværnloftet



Appendiks 9 - LCA resultater

Dato 2024 09 18 ver 002

RAMBØLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Indledning

Nærværende dokument indeholder en gennemgang af overvejelser resultater fra klimaberegninger der er fundet ved optimeringen.

Derudover indeholder det løbende vurderinger af de fundne resultater og årsagen bag.

Dokumentet er inddelt i:

- Forudsætninger
- Materialer - vurdering
- Opsummering
- Samlet vurdering
- Klimaberegning konstruktionsafsnit (flere)
- Konstruktionsafsnit – vurdering (flere)

Forudsætninger for oprindeligt projekt

Vægelementer

- 150 mm vægelement 5-15kg/m2: 61,53 kg CO2e/m2
- 200 mm vægelement 5-15kg/m2: 77,65 kg CO2e/m2
- 200 mm vægelement 16-25kg/m2: 84,74 kg CO2e/m2

Vægelementer opdelt i beton og armering*:

- Element beton: 326 kg CO2e/m3
- Armering: 1,13 kg CO2e/kg

Huldæk

- For 270mm huldæk forudsættes: 54,1 kg CO2e/m2

- Insitu beton
- C25-Moderat (som C30/37): 293,7 kg CO2e/m3
- C25-Passiv (som C25/30): 252,7 kg CO2e/m3
- C25-Aggressiv (som C35/45-Cem1): 374,3 kg CO2e/m3

- Armering
- Armering:0,6834 kg CO2e/kg

**Indikativ -Se i rapport for nærmere redegørelse*

Forudsætninger for optimeret projekt

Vægelementer

- Armering i C20: 0,701 kg CO2e/kg
- Element beton C20: 183 kg CO2e/m3

- Armering i C35: 0,657 kg CO2e/kg
- Element beton C35: 259 kg CO2e/m3

Huldæk

- For 220 mm Huldæk 38,11 kg CO2e/m2

- Insitu beton
  - C12 Passiv: 131 kg CO2e/m3
  - C16 Passiv: 139 kg CO2e/m3
  - C20 Passiv: 155 kg CO2e/m3
  - C30 Moderat: 213 kg CO2e/m3

- Armering
  - Armering net: 0,422 kg CO2/kg
  - Armering stang: 0,305 kg CO2/kg

Materialer - Vurdering

Vurdering

Der er i tabel foretaget en sammenligning af klimapåvirkninger for materialer anvendt i oprindeligt projekt og klimapåvirkninger for tilnærmelsesvis tilsvarende materialer der findes i dag.

Det bemærkes at for elementbeton dækker ”oprindelig” over branche data og spænder over flere styrker.

Sammenligningen er indikativ men viser at alene ved valg af materialer med lavere klimapåvirkning er det i dag muligt at opnå besparelse i størrelsesorden 18-28% for beton og 38-42% på armering.

Dette kan tolkes som den udvikling/optimering der er sket inden for materialer.

Dette betyder ved optimering er det forventeligt at kunne opnå besparelser i denne størrelsesorden alene ved valg af mere optimeret materialer.

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.

I de efterfølgende vurderinger er der set på hvad der primært har betydning for en reduktion ud over denne forventelige reduktion ”på 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%

Forudsætninger

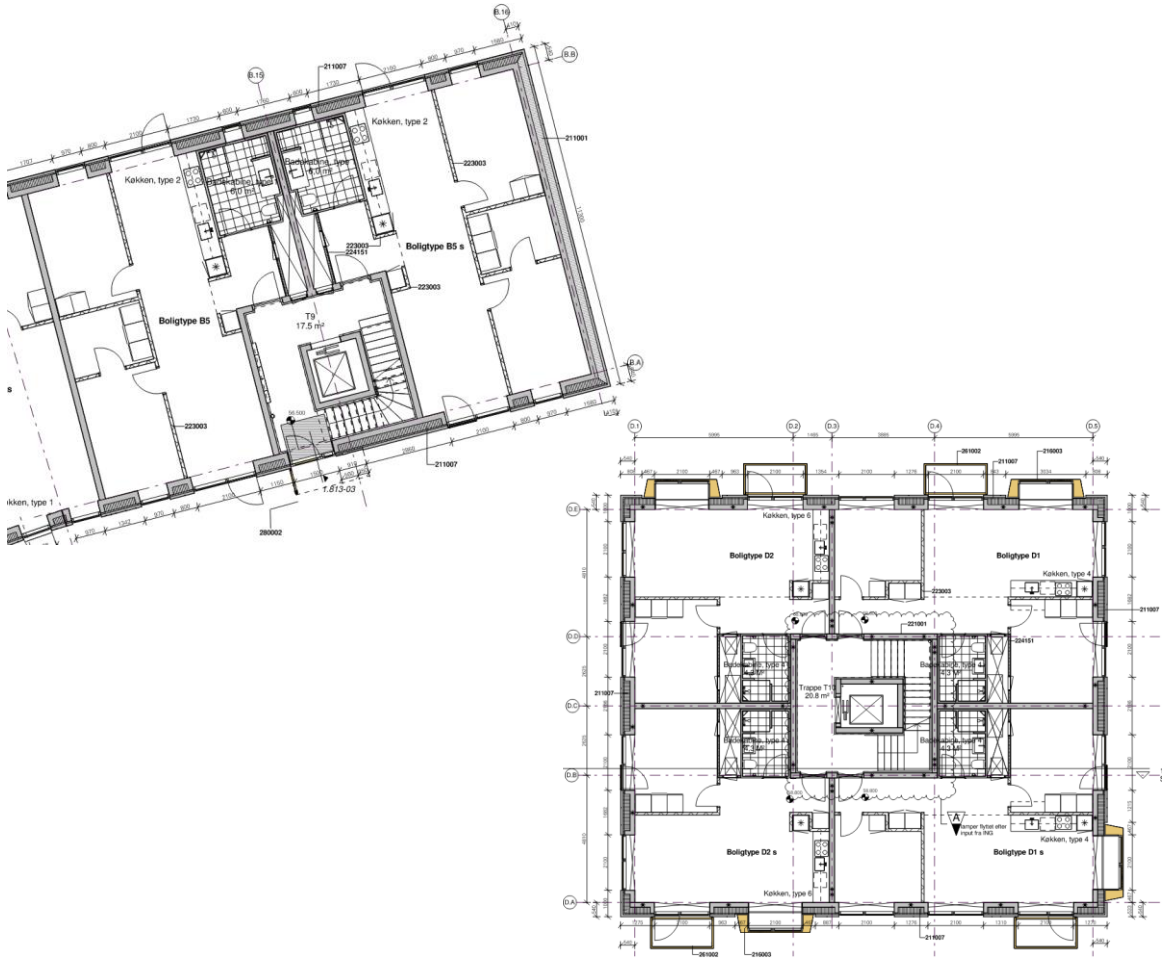
Ved opgørelse af besparelser pr m2 er der regnet med følgende:

- Lav bygning: 6 etager a 192m2 =1152m2

(simplificeret idet det er et udsnit og kælder er regnet som øvrige etager)

- Høj bygning: 8 etager a 293,8m2= 2350m2

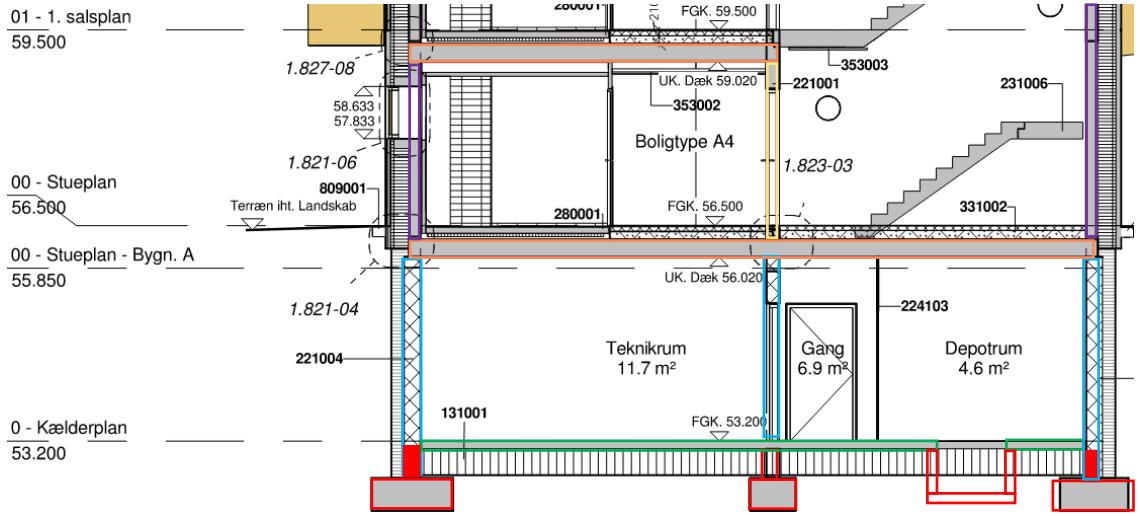
- Ved opgørelse af besparelse pr m2 pr år regnes med 50 år.



Forudsætninger

Projekt opdeles i følgende inddelinger ved opgørelse af klimapåvirkning

- Etagedæk
- Indervægge
- Sandwich vægge (bagvæg)
- Kældervægge (inkl skaft til fundament)
- Kældergulv (slangen) og Terrændæk (Tårn)
- Fundamenter (Elevatorgruber medregnet under fundamenter)



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	kgCO2e/m2/år		
	Oprindelig	Optimeret	Besparelse
Fundamenter	0,26	0,11	0,15
Terrændæk	0,09	0,03	0,06
Indervægge	0,60	0,24	0,36
Facadevægge	0,53	0,29	0,25
Dæk	0,94	0,62	0,33
Elevatorkerne	0,16	0,05	0,11
Kælderydervægge	0,17	0,10	0,07
Total	2,76	1,43	1,33

Værdier i CO2e i kg/m2/år

Høj bygning

Høj	kgCO2e/m2/år		
	Oprindelig	Optimeret	Besparelse
Fundamenter	0,35	0,12	0,23
Terrændæk	0,08	0,02	0,05
Indervægge	0,60	0,21	0,39
Facadevægge	0,50	0,31	0,19
Dæk	0,95	0,62	0,33
Elevatorkerne	0,12	0,03	0,09
Total	2,61	1,33	1,28

Opsummering – CO2e reduktioner

Lav bygning

Lav	CO2e kg	
	% enkelt	% tot
Fundamenter	59%	11%
Terrændæk	63%	4%
Indervægge	60%	27%
Facadevægge	47%	19%
Dæk	35%	25%
Elevatorkerne	71%	9%
Kælderydervægge	40%	5%

- 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 – Materialemængder

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%

% vis besparelse er den reduceret materialemængde i forhold til oprindelig materialemængde

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%

Samlet - Vurderinger

Vurdering – Lav bygning

Samlet reduktion af klimabelastningerne er på 49%.

Største absolutte reduktioner er på indervægge 21tCO2e, dæk på 19tCO2e og facader på 14tCO2e, der samlet bidrager den største andel.

Største relative reduktioner findes for terrændæk på 63%, indervægge på 60% og fundamenter på 59%.

Årsagen til besparelser ved optimering varierer, og hvor der for terrændæk og fundamenter er store reduktioner i materialemængderne, er det for indervægge meget begrænset reduktioner i mængderne.

Vurdering – Høj bygning

Samlet reduktion af klimabelastningerne er på 49%.

Største absolutte reduktion er på indervæggepå 44tCO2e, dæk på 39tCO2e og fundamenter på 27tCO2e, der samlet bidrager den største andel.

Største relative reduktioner findes for terrændæk på 67%, fundamenter på 66% og indervægge på 60%.

Årsagen til besparelser er som ved lav bygning.

Fundamenter

Lav bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C25): 50,0 m3
  - Armering: 3.233 kg
  - CO2e: 14.838 kg
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (moderat C30): 24,7 m3
  - Armering: 2.462 kg
  - CO2e: 6.083 kg

- Besparelser:
  - Beton: 25,2 m3 (-50%)
  - Armering: 771 kg (-24%)
  - CO2e: 8.755 kg (-59%)

Høj bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (moderat C25): 110,7 m3
  - Armering: 13.397 kg
  - CO2e: 41.668 kg
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (moderat C30): 56,0 m3
  - Armering: 6.446 kg
  - CO2e: 14.347 kg

- Besparelser:
  - Beton: 54,7 m3 (-49,4%)
  - Armering: 6.951 kg (-51,8%)
  - CO2e: 27.321 kg (-65,6%)

Fundamenter - vurderinger

Primære optimeringstiltag fundamenter:

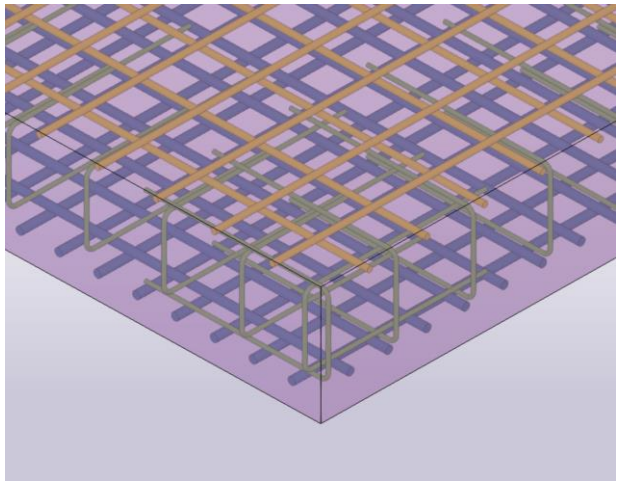
- Trekantsformet fod
- Differentieret dimensioner ift. Belastning

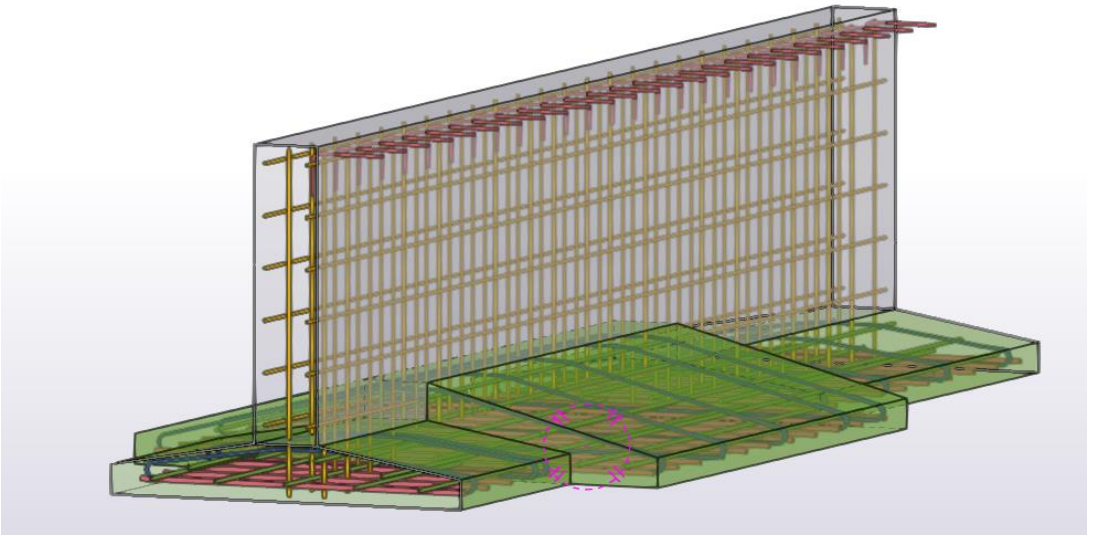
Det bemærkes at nuværende norm sætter krav om Laveste betonstyrke, moderat C30

Vurdering

Den samlede reduktion af klimapåvirkning på 60-65% skyldes primært reduktionen af betonmængden. Differentiering af armering har mindre betydning, men reduktion af beton medføre også en reduktion af svindarmering.

Det bemærkes også at krav om moderat mod oprindeligt passiv beton i den lave del medføre at besparelsen på materiale bliver mindre (C25P opr. 252,7kgCO2/m3-> C30M 213 kgCO2/m3 16%)





Terrændæk

Lav bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C25): 19,8 m3
  - Armering: 891 kg
  - CO2e: 5.109 kg
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (passiv C12): 11,6 m3
  - Armering: 895 kg
  - CO2e: 1.904 kg

- Besparelser:
  - Beton: 8,2 m3 (-41,3%)
  - Armering: 4 kg (0%)
  - CO2e: 3.206 kg (-62,7%)

Høj bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C25): 26,8 m3
  - Armering: 1.446 kg
  - CO2e: 8.851 kg
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (passiv C12): 17,9 m3
  - Armering: 1.381 kg
  - CO2e: 2.933 kg

- Besparelser:
  - Beton: 8,9 m3 (-41,3%)
  - Armering: 65 kg (-4,5%)
  - CO2e: 5.918 kg (-66,9%)

Terrændæk - Vurdering

Primære optimeringstiltag:

- Reduceret tykkelse, t = 70mm
- Lavest mulige betonstyrke, passiv C12

Vurdering

Den samlet reduktion af klimapåvirkning på ca. 41% skyldes primært reduktionen af betonmængden, idet tykkelsen er reduceret, samt valg af svagere beton.

Indervægge

Lav bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C25 og C40): 95,8 m3
  - Armering: 5.603 kg
  - CO2e: 34.777 kg / *34.968 kg**
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (passiv C12, C20): 92,8 m3
  - Armering: 4.959 kg
  - CO2e: 14.005 kg

- Besparelser:
  - Beton: 3,0 m3 (-3,1%)
  - Armering: 644 kg (-11,5%)
  - CO2e: 20.772 kg (-59,7%) / *20.962 kg (-60%)**

Høj bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C40): 167,7 m3
  - Armering: 14.293 kg
  - CO2e: 70.930 kg / *70.834 kg**
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (passiv C12, C16, C20): 163,7 m3
  - Armering: 7758 kg
  - CO2e: 25.059 kg

- Besparelser:
  - Beton: 4,0 m3 (-2,4%)
  - Armering: 6.535 kg (-45,7%)
  - CO2e: 45.871 kg (-65%) / *45.775 kg (-64,6%)**

*Indikativ -Se i rapport for nærmere redegørelse

Indervægge – Vurdering

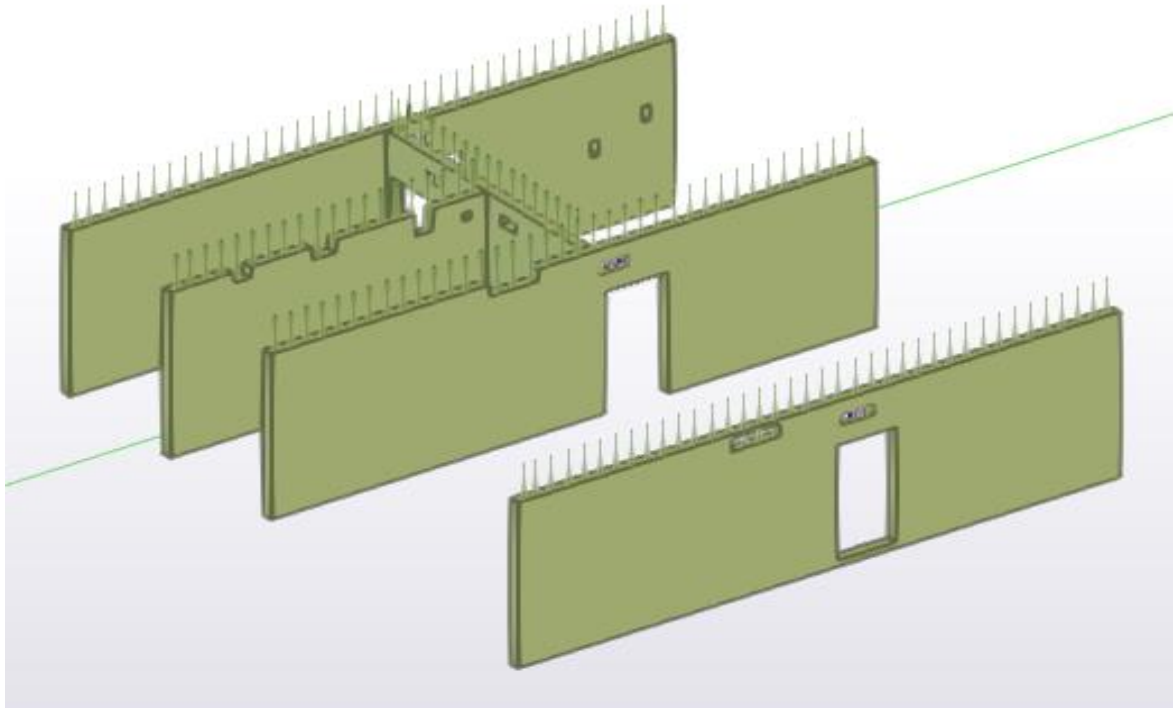
Primære optimeringstiltag:

- 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.



Kælderydervægge

Lav bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C25): 37,1 m3
  - Armering: 2.024 kg
  - CO2e: 9.817 kg
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (passiv C20 og moderat C30): 27,0 m3
  - Armering: 3.547 kg
  - CO2e: 5.896 kg

- Besparelser:
  - Beton: 10,1 m3 (-27%)
  - Armering: +1.523 kg (+75%)
  - CO2e: 3.921 kg (-40%)

Høj bygning

- Ingen kælder under høj bygning

Kælderydervægge - Vurdering

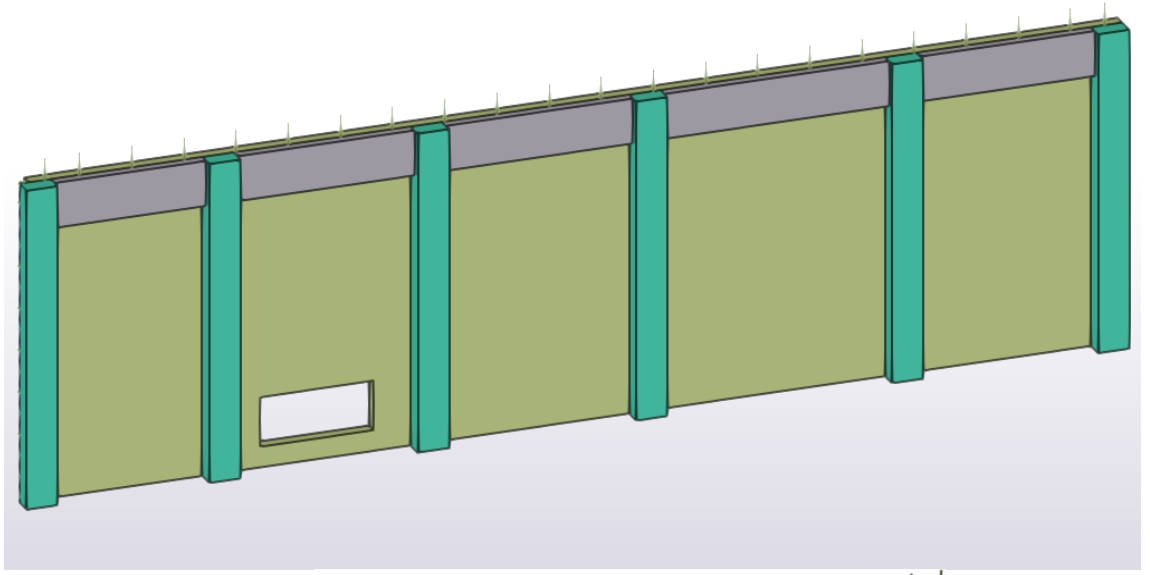
Primære optimeringstiltag:

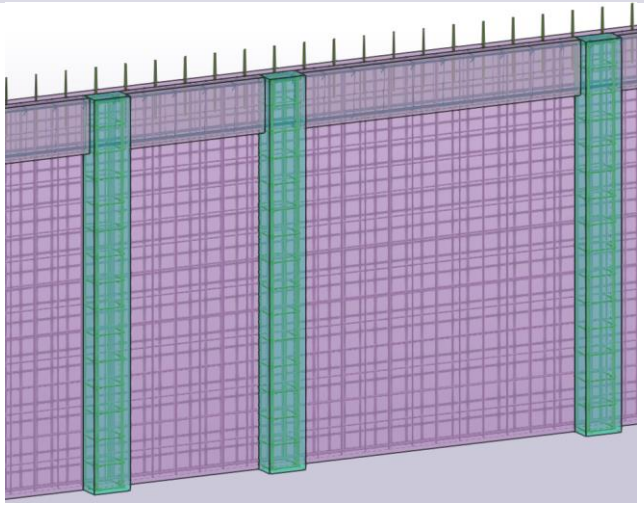
- Tynd væg (t = 120mm)
- Lodrette ripper
- Nedsat betonstyrke (passiv C20)

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.





Facadeelementer

Lav bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C40): 89,7 m3
  - Armering: 5.673 kg
  - CO2e: 30.820 kg / *35.636 kg**
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (passiv C20): 66,5 m3
  - Armering: 6.069 kg
  - CO2e: 16.428 kg

- Besparelser:
  - Beton: 23,1 m3 (-25,8%)
  - Armering: +396 kg (+6,5%)
  - CO2e: 14.392 kg (-46,7%) / *19.209 kg (-53,9%)**

Høj bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C40): 168,6 m3
  - Armering: 17.773 kg
  - CO2e: 58.651 kg / *75.037 kg**
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (passiv C20, C35): 136,3 m3
  - Armering: 14.707 kg
  - CO2e: 36.576 kg

- Besparelser:
  - Beton: 32,3 m3 (-19,2%)
  - Armering: 3.066 kg (-17,3%)
  - CO2e: 22.075 kg (-37,6%) / *38.461 kg (-51,3%)**

*Indikativ -Se i rapport for nærmere redegørelse

Facadeelementer - Vurdering

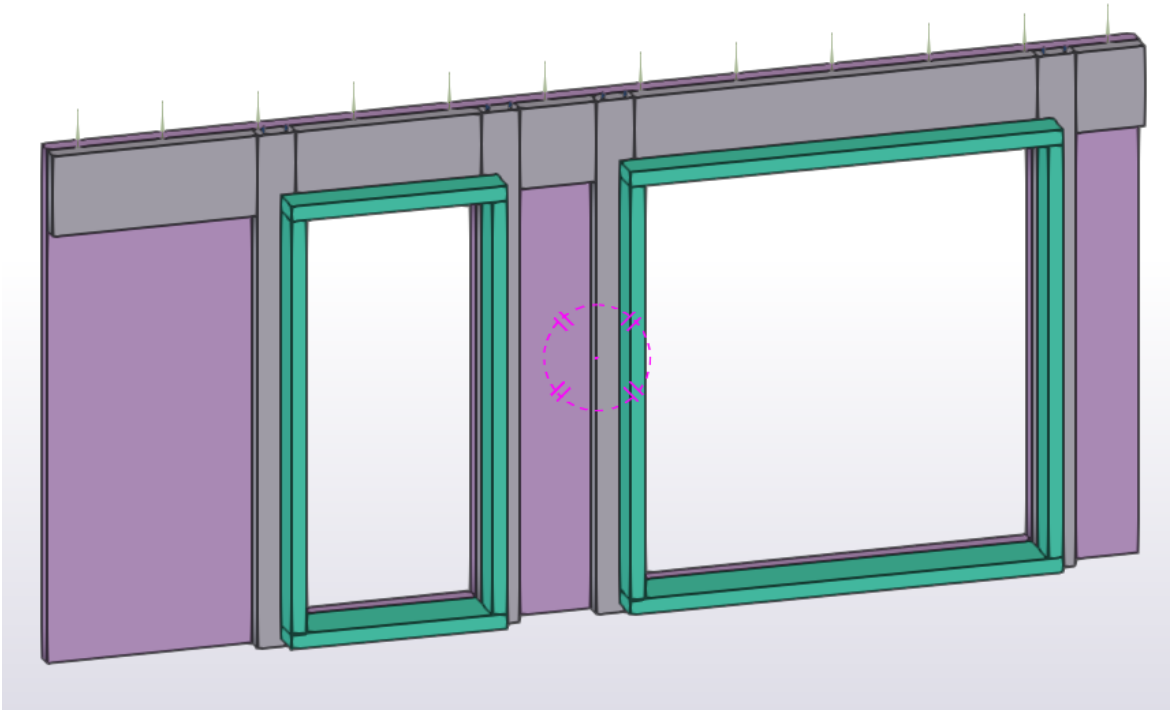
Primære optimeringstiltag:

- Tynd væg med fortykkelser omkring åbninger
- Fortykkelse i top ved bjælkeoverligger og for vederlag
  - Bagvæg t = 100mm (lilla)
  - Søjlefortykkelse t = 200/250mm (grå)
  - Bjælkefortykkelse t = 200mm (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 beton-styrke.

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



Etagedæk

Lav bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton: 134 m3
  - CO2e: 54.401 kg

- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton: 116 m3
  - CO2e: 35.557 kg

- Besparelser:
  - Beton: 19 m3 (-14%)
  - CO2e: 18.845kg (-34,6%)

Høj bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton: 276 m3
  - CO2e: 111.835 kg

- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton: 238 m3
  - CO2e: 73.095 kg

- Besparelser:
  - Beton: 38 m3 (-14%)
  - CO2e: 38.740 kg (-34,6%)

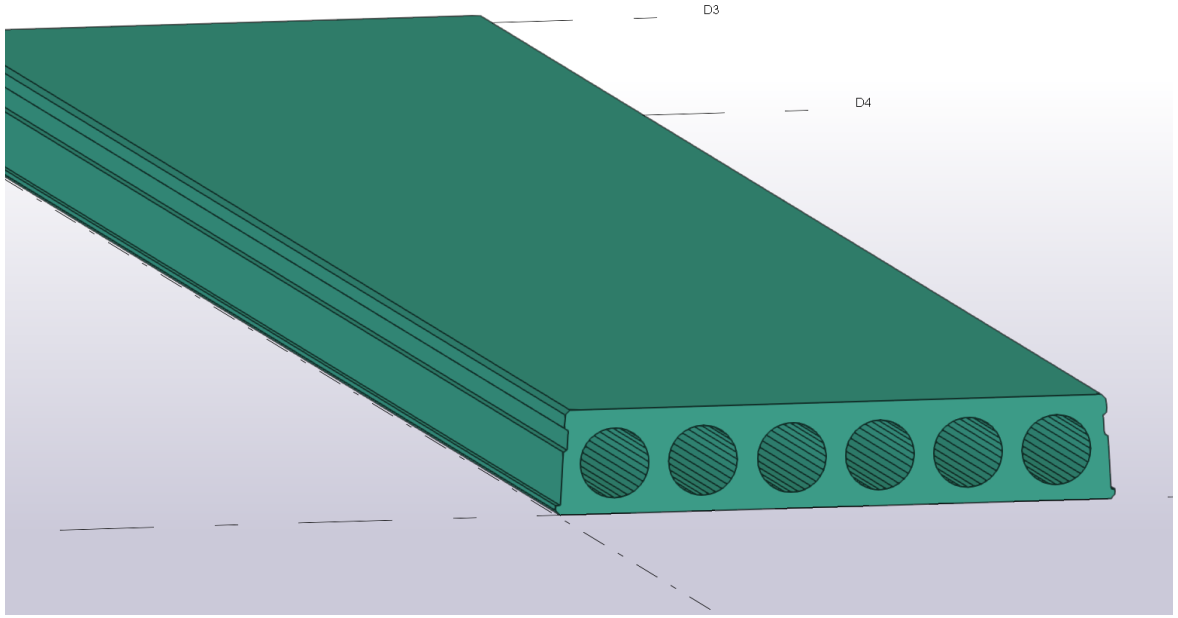
Etagedæk - Vurdering

Primære optimeringstiltag:

- Reduceret tykkelse af dæk (t = 220mm)
- 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.



Elevatorkerner

Lav bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C40): 18,4 m3
  - Armering: 1.312 kg
  - CO2e: 8.231 kg
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (passiv C12): 14,4 m3
  - Armering: 749 kg
  - CO2e: 2.666 kg

- Besparelser:
  - Beton: 4,0 m3 (-21,7%)
  - Armering: 563 kg (-42,9%)
  - CO2e: 5.565 kg (-67,6%)

Høj bygning

- Opsummering original bygning:
  - Beton (passiv C40): 37,5 m3
  - Armering: 2481 kg
  - CO2e: 14.521 kg
- Opsummering optimeret bygning:
  - Beton (passiv C12): 24,0 m3
  - Armering: 1.828 kg
  - CO2e: 3.810 kg

- Besparelser:
  - Beton: 13,4 m3 (-35,9%)
  - Armering: 653 kg (-26,3%)
  - CO2e: 10.711 kg (-73,8%)

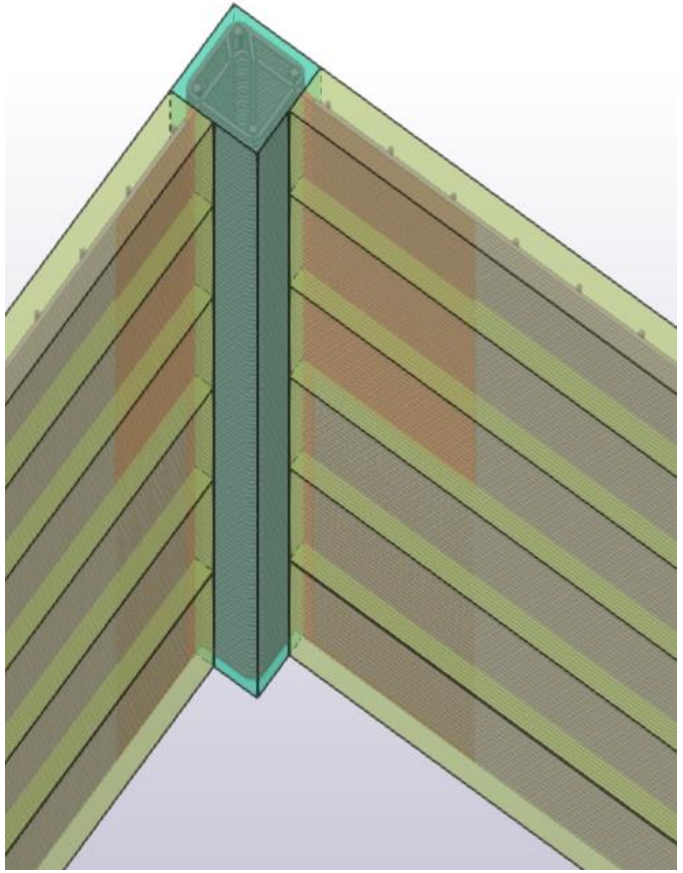
Elevatorkerner - Vurdering

Primære optimeringstiltag:

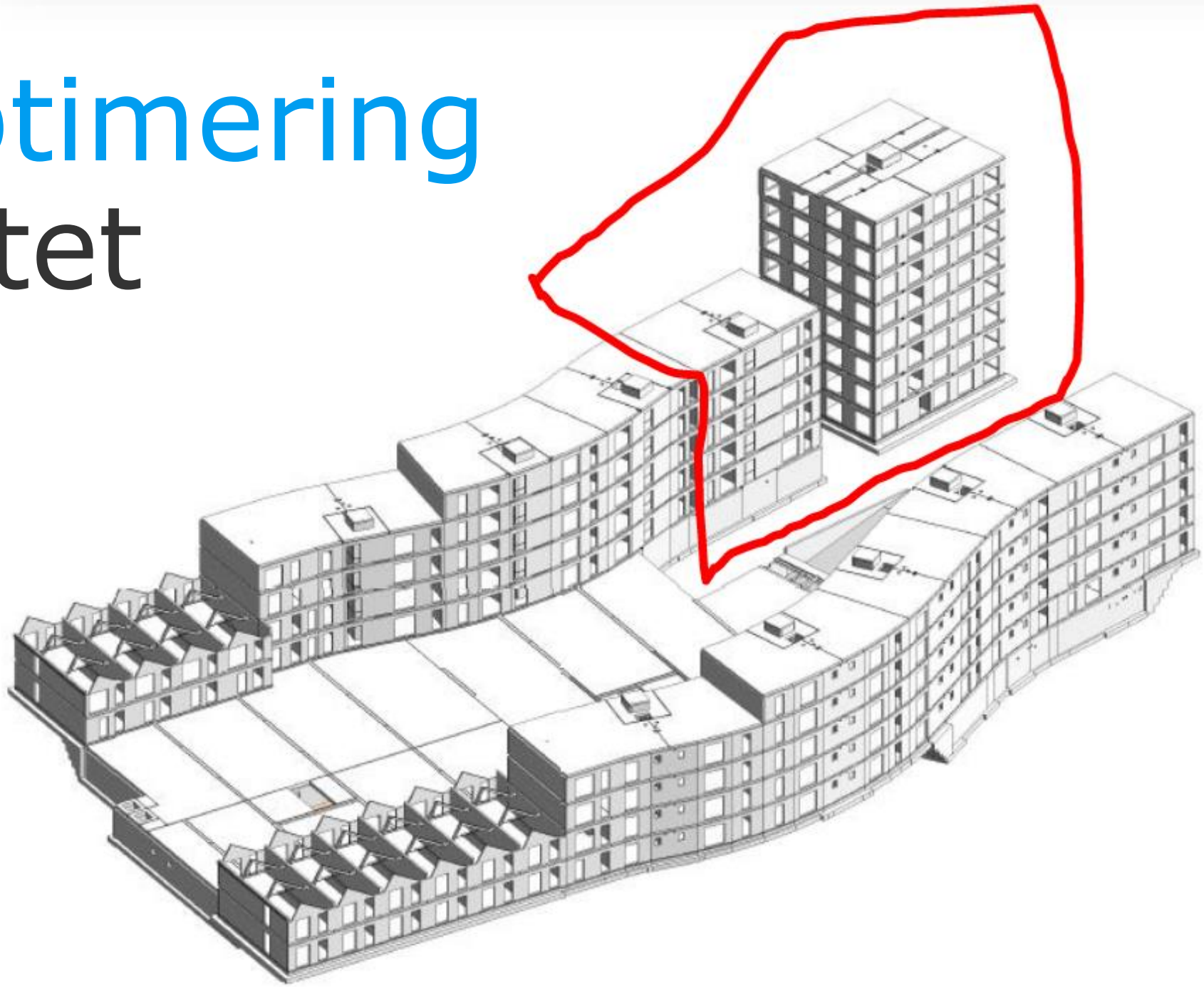
- Insitu-støbt kerne med tynde vægge (t=100mm) og fortykkelser i hjørner (200x200mm)
- Søjler i hjørner regnes fastholdt af vægge som også virker som forskydningsfelter
- Reduceret betonstyrke (passiv, C12)

Vurdering

Den samlet reduktion af klimapåvirkning på ca. 70% skyldes primært reduktionen af betonmængden, idet tykkelser er reduceret samt valg af lavere beton-styrke.



Designoptimering
Kværnloftet



Appendiks 11 - LCA resultater ved fastholdelse af elementløsninger

Dato 2024 10 08 ver 001

RAMBØLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Indledning

Nærværende dokument indeholder resultaterne af en optimering under den forudsætning at:

- Indervægge forbliver elementvægge
- Indervægge ved elevatorkerner udføres som element kerner

Formålet med disse beregninger er at vurderer hvor stor en CO2e besparelse der er muligt at opnå uden at skifte fra elementløsning til insitu løsning på de dele der i oprindeligt projekt er elementløsning.

Ved vurderingen foretages der ikke en fuld genberegning, men det er alene CO2e omkostningerne for beton og armering der beregnes med ud fra værdier for elementbeton.

Dette betyder eksempelvis at C12 insitubeton erstattes af C20 elementbeton uden at reviderer armeringsmængden

Dette bilag skal læses som en forlængelse af tidligere bilag (særligt Bilag 9) idet der i nærværende bilag alene oplistes supplerende forudsætninger.

Forudsætninger

I beregninger er der lavet følgende erstatninger:
Indervægge:
Insitu C12, C16, C20 erstattes af Element C20
Armering insitu erstattes af Armeirng element

- Insitu beton
- C12 Passiv: 131 kg CO2e/m3
- C16 Passiv: 139 kg CO2e/m3
- C20 Passiv: 155 kg CO2e/m3

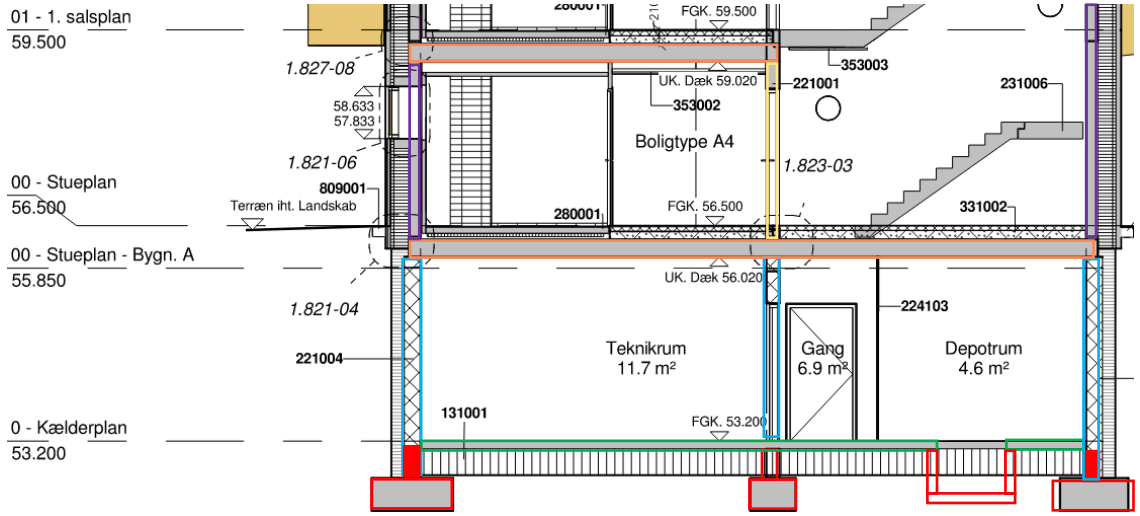
- Armering insitu
- Armering net: 0,422 kg CO2/kg
- Armering stang: 0,305 kg CO2/kg

Vægelementer
- Armering i C20: 0,701 kg CO2e/kg
- Element beton C20: 183 kg CO2e/m3

Forudsætninger

Projekt opdeles i følgende inddelinger ved opgørelse af klimapåvirkning

- Etagedæk
- Indervægge
- Sandwich vægge (bagvæg)
- Kældervægge (inkl skaft til fundament)
- Kældergulv (slangen) og Terrændæk (Tårn)
- Fundamenter (Elevatorgruber medregnet under fundamenter)



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	20.317	14.461
Facadevægge	30.820	16.428	14.392
Dæk	54.401	35.557	18.845
Elevatorkerne	9.237	4.274	4.963
Kælderydervægge	9.817	5.896	3.921
Total	159.000	90.458	68.542

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	35.397	35.533
Facadevægge	58.651	36.576	22.075
Dæk	111.835	73.095	38.740
Elevatorkerne	14.521	5.679	8.842
Total	306.456	168.115	138.341

Værdier af CO2e i kg

Opsummering – CO2e reduktioner

Lav bygning

Lav	kgCO2e/m2/år		
	Oprindelig	Optimeret	Besparelse
Fundamenter	0,26	0,11	0,15
Terrændæk	0,09	0,03	0,06
Indervægge	0,60	0,35	0,25
Facadevægge	0,53	0,29	0,25
Dæk	0,94	0,62	0,33
Elevatorkerne	0,16	0,07	0,09
Kælderydervægge	0,17	0,10	0,07
Total	2,76	1,57	1,19

Værdier i CO2e i kg/m2/år

Høj bygning

Høj	kgCO2e/m2/år		
	Oprindelig	Optimeret	Besparelse
Fundamenter	0,35	0,12	0,23
Terrændæk	0,08	0,02	0,05
Indervægge	0,60	0,30	0,30
Facadevægge	0,50	0,31	0,19
Dæk	0,95	0,62	0,33
Elevatorkerne	0,12	0,05	0,08
Total	2,61	1,43	1,18

Opsummering – CO2e reduktioner

Lav bygning

Lav	%Besparelse	
	% enkelt	% tot
Fundamenter	59%	13%
Terrændæk	63%	5%
Indervægge	42%	21%
Facadevægge	47%	21%
Dæk	35%	27%
Elevatorkerne	54%	7%
Kælderydervægge	40%	6%

- Total 43%

% 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%	20%
Terrændæk	67%	4%
Indervægge	50%	26%
Facadevægge	37%	16%
Dæk	35%	28%
Elevatorkerne	61%	6%

- Total 45%

Opsummering – Materialemængder

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%

% vis besparelse er den reduceret materialemængde i forhold til oprindelig materialemængde

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%