



OSLO METROPOLITAN UNIVERSITY
STORBYUNIVERSITETET

GRUPPE NR.

25

TILGJENGELIGHET

Åpen

Telefon: 67 23 50 00

www.oslomet.no

Institutt for Bygg- og energiteknikk - Bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

BACHELOROPPGAVE

BACHELOROPPGAVENS TITTEL	DATO
Design av utkragede balkonger i bæresystem av hulldekker	24.05.2021
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG
	65/6
FORFATTERE	VEILEDER
Erlend K. W. Iversen, Sverre Fitje og Theodor Hunstad	Eivind Johnsen

UTFØRT I SAMARBEID MED	KONTAKTPERSON
Skanska Norge	Carina Aasnæs Beyer

SAMMENDRAG
<p>Denne oppgaven tar for seg utkragede balkonger i et prefabrikkert bæresystem av hulldekker. Oppgaven undersøker hvilke løsninger som eksisterer og hvorvidt det finnes et attraktivt alternativ til balkonger med skråstag. I oppgaven er hovedsakelig fire balkongløsninger undersøkt gjennom en designprosess og vurdert på tre ulike vurderingskriterier: statikk, bygningsfysikk og praktiske forhold. Oppgaven konkluderer med at en av de undersøkte balkongløsningene er et godt alternativ til balkonger med skråstag. Den utkragede balkongløsningen kan måle seg med skråstagløsningen under hvert av vurderingskriteriene. Før en slik løsning kan implementeres kreves likevel videre forskning for å undersøke faktorer som denne oppgaven ikke har tatt for seg.</p>

3 STIKKORD
Utkragede balkonger
Prefabrikkert betong
Research by Design

Forord

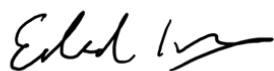
Denne oppgaven er et avsluttende arbeid ved vårt bachelorstudium Byggingeniør, med studieretning konstruksjonsteknikk, ved OsloMet – Storbyuniversitetet. Arbeidet med oppgaven er utført våren 2022, og tilsvarer 20 studiepoeng for hver student. Oppgaven er gjennomført i samarbeid med Skanska Norge AS.

Vi har valgt denne oppgaven med bakgrunn i våre og Skanska Norge sine interesser, og på grunn av muligheten til å ta i bruk vår kunnskap innenfor faget.

Målgruppen for denne oppgaven er entreprenører som ønsker å videreutvikle sine balkongløsninger og fagpersoner som har interesse for bygg med prefabrikkerte elementer.

Vi ønsker å takke alle som har bidratt til oppgaven. En spesiell takk til Skanska Norge for samarbeidet, og da særlig våre kontaktpersoner Geir-Egil Nordang og Carina Aasnæs Beyer. Videre en stor takk til Ståle Solberg hos Contiga som har bidratt med sin fagkunnskap. Vi vil også gjerne rette en takk til vår interne veileder Eivind Johnsen for god støtte, veiledning og gode diskusjoner gjennom arbeidet med oppgaven. Videre takker vi medstudenter og alle som har bidratt med diskusjoner og støtte.

Oslo, 24.05.2022



Erlend K. W. Iversen



Sverre Fitje



Theodor Hunstad

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg utkragede balkonger i et prefabrikkert bæresystem av hulldekker. I oppgaven etableres det hvilke løsninger som eksisterer, og videre undersøkes løsningene nærmere gjennom en design prosess.

Oppgaven inneholder teori om betongdimensjonering, beregning av kuldebroverdi og dimensjonering av knutepunkt. Det er benyttet dataprogrammet Robot for å finne lastvirkninger av balkongløsningene, og dataprogrammet Therm for å finne tilleggsvarmetapet løsningene gir konstruksjonen.

Bakgrunnen for denne oppgaven er at Skanska Norge ønsket å undersøke muligheten for å bygge balkonger uten skråstag i sine prosjekter med prefabrikkert bæresystem av hulldekker. Målet med oppgaven er å undersøke om det finnes en hensiktsmessig måte å bygge utkragede balkonger, samt å vurdere hvordan en slik løsning måler seg mot balkonger med skråstag.

Metoden som er benyttet i oppgaven er *Research By Design*. Dette er en metode som deles opp i tre steg i denne oppgaven. Først undersøkes det hva som eksisterer fra før. Dette gir et grunnlag for videre arbeid. Deretter gjennomføres en designfase der balkongløsninger utvikles basert på funnene i første steg. I det siste steget gjøres det en vurdering og sammenligning av løsningen funnet i denne oppgaven opp mot skråstagsløsningen.

I oppgaven er hovedsakelig fire balkongløsninger undersøkt og vurdert på tre ulike vurderingskriterier: statikk, bygningsfysikk og praktiske forhold. Det er dimensjonert og gjort kontroller for at de kravene som stilles av standardene innenfor brudd- og bruksgrensetilstand tilfredsstilles. Kuldebroverdier er beregnet under like rammer for å kunne sammenligne løsningene og til slutt er løsningene vurdert på hvor praktisk gjennomførbare de er. Dette er faktorer som er viktig for de som eventuelt ønsker å bygge og benytte seg av en slik løsning.

Oppgaven konkluderer med at en av de undersøkte balkongløsningene er et godt alternativ til balkonger med skråstag. Den utkragede balkongløsningen kan måle seg med skråstagsløsningen under hvert av vurderingskriteriene. Før en slik løsning kan implementeres kreves likevel videre forskning for å undersøke faktorer som denne oppgaven ikke har tatt for seg.

Abstract

This report is about cantilevered balconies in a prefabricated structural system of hollow core slabs. The aim of the study is to explore existing alternative solutions for these types of balconies and examine selected solutions through a design process.

The thesis contains theory about concrete dimensioning, calculation of thermal bridge value and dimensioning of joints. The computational software Robot has been used to find the load effects of the balcony solutions, and computational software Therm has been used to find the additional heat loss the solutions give the construction.

The background for this project emerged from a request by Skanska Norway to explore the possibility of substituting their tied balconies with cantilevered balconies. The purpose of this thesis is to investigate whether there is a convenient way to build cantilevered balconies in a structural system of precast hollow slabs, and to consider how such a solution measures against balconies with sloping roofs.

The methodology used in this thesis is *Research by Design*. This method is divided into three steps. The first step is to identify existing solutions. This provides a basis for further work and design. The second step is a design phase where cantilever balcony solutions are developed based on the findings in the first step. In the final step, an assessment of the chosen solution and a comparison against the tied balcony solution is completed.

In the thesis, the balcony solutions are evaluated on three different assessment criteria: statics, building physics and practical conditions. The solutions have been dimensioned to meet the requirements of the Eurocodes and Norwegian standards. Thermal bridge values for the solutions are calculated under equal terms to compare the solutions. Finally, the solutions are assessed on how practically feasible they are. This is important for those who may wish to use such a solution.

The thesis concludes with stating that there exists a good alternative to the tied balcony solution, that can measure up to the solution under each of the assessment criteria. Nevertheless, before such a solution can be implemented, it must be investigated further on factors that this thesis has not addressed.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Formål	1
1.3. Problemstilling	1
1.4. Avgrensninger	1
2. Metode	2
2.1. Drøfting av metode	2
2.2. Valgt metode	3
2.3. Metodekritikk	5
3. Teori	7
3.1. Betong	7
3.2. Bygningsfysikk	11
3.3. Norsk standard/ Eurokodene	13
3.4. Dimensjonering	14
3.5. Dataprogrammer	26
4. Mulighetsstudie	27
4.1. Introduksjon	27
4.2. Forutsetninger	27
4.3. Eksisterende løsninger	27
5. Konseptstudie	32
5.1. Vurderingskriterier	32
5.2. Arbeidsprosess	33
5.3. Resultater	34
5.4. Diskusjon	48
5.5. Konklusjon av konseptstudiet	52
6. Casestudie	52
6.1. Presentasjon av case	52
6.2. Tilpasning av løsning 1b i case	53
6.3. Resultater	54
6.4. Diskusjon	57
7. Konklusjon	60
8. Litteraturliste	61
9. Vedlegg	65
9.1. Vedlegg A - Robotberegninger	1
9.2. Vedlegg B - Tegninger fra Contiga	20
9.3. Vedlegg C – Personlig kommunikasjon	23
9.4. Vedlegg D - Tegninger fra Vario	28
9.5. Vedlegg F – Vibrasjonskontroll av Contiga	32

Lister

Symbolliste

Latinske bokstaver

A_s	Tverrsnittsareal av stål
A_{sw}	Tverrsnittsareal av skjærarmering
A_v	Skjærareal
b	Bredde
b_w	Bredde av steg
C	Senteravstand
c	Rotasjonsstivhet av Isokorb-element
d	Effektiv tverrsnittshøyde
E	Elastisitetsmodul
$E_{c,eff}$	Betongens effektive elastitetsmodul
E_{cm}	Sekantmodul, elastitetsmodul for betong
$F_{t,Rd}$	Dimensjonerende strekkapasitet bolt
f_{bd}	Betongens dimensjonerende heftfasthet
f_{cd}	Betongens dimensjonerende trykkfasthet
f_{ck}	Betongens karakteristiske sylindetrykkfasthet etter 28 døgnet
f_{ctd}	Betongens dimensjonerende strekkfasthet
$f_{ctk,0,05}$	Betongens karakteristiske strekkfasthet
f_u	Strekkfasthet
f_u	Nominell strekkfasthet i den svakeste delen i forbindelsen
f_{ub}	Strekkfasthet bolt
f_y	Flytegrense
f_{yb}	Flytegrense bolt
f_{yd}	Armeringens dimensjonerende flytegrense
f_{yk}	Armeringens karakteristiske flytegrense
f_{ywd}	Skjærarmeringens dimensjonerende flytegrense
I	Andre ordens arealmoment
$L_{Isokorb}$	Total lengde med Isokorb element
$l_{b,rqd}$	Forankringslengde
L	Lengde
L_k	Utkragningslengde
L_{2D}	Varmekoblingskoeffisient for todimensjonal kalkulasjon
M	Bøyemoment
M_{Ed}	Dimensjonerende bøyemoment

$M_{c,Rd}$	Tverrsnittets dimensjonerende momentkapasitet ved bøyning om hovedakse
M_{Rd}	Trykksonens momentkapasitet
M_{Sd}	Strekksjonens momentkapasitet
$N_{pl,Rd}$	Bruttotverrsnittets dimensjonerende plastiske aksialkraftkapasitet
$N_{u,Rd}$	Nettotverrsnittets dimensjonerende strekkraftkapasitet med hull
Q_k	Nyttelast punkt
q_k	Nyttelast flate
R	Varmemotstand
R_{si}	Intern varmeovergangsmotstand
R_{se}	Ekstern varmeovergangsmotstand
S	Senteravstand
t_0	Betongens alder ved belastningstidspunktet
U	Varmetap
V_{Ed}	Dimensjonerende skjærkraft
$V_{pl,Rd}$	Dimensjonerende plastisk skjærkapasitet
$V_{Rd,c}$	Dimensjonerende skjærkapasitet
W_{pl}	Plastisk motstandsmoment
z	Tverrsnittets indre momentarm
\emptyset	Armeringsdiameter
Greske bokstaver	
α	Andel av en tverrsnittsdell med trykkspenninger
α_{cc}	Koeffisient som tar hensyn til virkninger langtidslast og lastplassering
α_{ct}	Koeffisient som tar hensyn til virkninger langtidslast og lastplassering
β_w	Korrelasjonsfaktor
ΔU	Differanse i lineær kuldebroverdi
δ	Nedbøyning
δ_{tot}	Total nedbøyning
δ_r	Nedbøyning grunnet rotasjon
δ_b	Nedbøyning grunnet bøyning
γ	Lastfaktor
γ_c	Partialfaktor for betong
γ_m	Partialfaktor for materialegenskaper
γ_s	Partialfaktor for armeringsstål
η	Effektiv fasthet
η	Materialstivhetsforhold

φ	Krytall
λ	Effektiv trykksonehøyde
θ	Vinkel
ρ	Reduksjonsfaktor for å bestemme dimensjonerende momentkapasitet
ρ_l	Armeringsforhold for lengdearmering
σ_{cp}	Trykkspenning i betongen fra aksialbelastning eller forspenning
σ_{sd}	Dimensjonerende armeringsspenning
σ_{\perp}	Normalspenning normalt på sveis
τ_{\perp}	Skjærspenning normalt på sveis
τ_{\parallel}	Skjærspenning parallelt på sveis
Ψ	Kombinasjonsfaktorer
Ψ_k	Lineær kuldebroverdi

Formelliste

[1] (Standard Norge, 2021b, s. 31) «Dimensjonerende betongspenning».....	16
[2] (Standard Norge, 2021b, s. 38) «Dimensjonerende armeringsspenning».....	16
[3] (Sørensen, 2013, s. 31) «Momenttrykkapasitet».....	18
[4] (Sørensen, 2013) «Momentstrekkapasitet».....	18
[5] (Sørensen, 2013, s. 44) «Momentarm ved delvis utnyttet trykksone».....	18
[6] (Standard Norge, 2021b, s. 83) «Dimensjonerende skjærkapasitet».....	18
[7] (Standard Norge, 2021b, s. 83) «Minsteverdi for dimensjonerende skjærkapasitet».....	19
[8] (Standard Norge, 2021b, s. 86) «Dimensjonerende skjærkraftkapasitet».....	19
[9] (Standard Norge, 2021b, s. 134) «Forankringslengde».....	19
[10] (Standard Norge, 2021b, s. 133) «Betongens heftfasthet».....	20
[11] (Sørensen, 2013, s. 116) « α til trykksonehøyde».....	21
[12] (Sørensen, 2013, s. 128) «Langtids E-modul».....	21
[13] (Standard Norge, 2009, s. 28) «Strekkapasitet i bolt».....	22
[14] (Standard Norge, 2009, s. 43) «Retningsbestemt metode, sveis».....	23
[15] (Standard Norge, 2009, s. 43) «Kontroll av vinkelrett strekkspenning, sveis».....	23
[16] (Schöck, 2014, s. 30) «Nedbøyning fra rotasjon av Isokorb».....	23
[17] (Standard Norge, 2015, s. 49) «Elastisk strekkapasitet stål».....	24
[18] (Standard Norge, 2015, s. 49) «Plastisk strekkapasitet med hull, stål».....	24
[19] (Standard Norge, 2015, s. 50) «Stålets momentkapasitet».....	24
[20] (Standard Norge, 2015, s. 51) «Stålets skjærkapasitet».....	25

[21] (Standard Norge, 2015, s. 54) «Reduksjon av flytegrensen».....	25
[22] (Standard Norge, 2015, s. 54) «Ny flytegrensekapasitet».....	25
[23] (Standard Norge, 2017, s. 27) «Differanse i U-verdi».....	25

Figurliste

Figur 3.1 (Alexander, 2010, s. 104) «Hulldekkeelement i snitt»	8
Figur 3.2 (Alexander, 2010, s. 113) «Plattendekkeelement».....	9
Figur 3.3 (Krohn, 2009) «Balkongelement festet med skråstag».....	10
Figur 3.4 (Schlunk & Elvebakk, 2019) «Fuktsikker tettelsøsning»	13
Figur 3.5: (Standard Norge, 2021b, s. 33) «Rektangulær spenningsfordeling»	17
Figur 3.6: (Standard Norge, 2021b, s. 28) «Metode for å bestemme kryptallet»	21
Figur 3.7 (Standard Norge, 2009, s. 42) «Kilsveis»	22
Figur 3.8: (Schöck, 2014, s. 36) «Isokorb i snitt»	23
Figur 4.1 «Snitt løsning 1».....	27
Figur 4.2 «Detaljert snitt løsning 1»	28
Figur 4.3 (HALFEN, 2021) «Delvis prefabrikkert løsning»	29
Figur 4.4 «Dekkeretning i bæresystem».....	30
Figur 4.5: (Invisible connections AS, 2020a) «Invisible connections»	30
Figur 4.6 (Invisible connections AS, 2020a) «Snitt av Invisible Connections BWC».....	31
Figur 4.7 (Invisible connections AS, 2019a) «Ytre vanntetting».....	32
Figur 4.8 (Invisible connections AS, 2019a) «Indre vanntetting»	32
Figur 5.1 «Snitt L-formet element»	35
Figur 5.2 «Armering bjelke»	36
Figur 5.3 «Snitt brakett løsning 1a»	37
Figur 5.4 «Nedbøyningsform L-formet element».....	37
Figur 5.5 «Snitt av løsning 1b»	40
Figur 5.6 «Flatjern langs dekkekant».....	40
Figur 5.7 «Snitt av løsning 2»	42
Figur 5.8 «Balkongdekke Invisible Connections».....	46
Figur 5.9 (Andersen & Venås, 2010) «2D-varmestrømning BWC»	47
Figur 5.10 (Reiersen et al., 2020) «Midlertidige søyler».....	50
Figur 6.1 (Vedlegg D) «Balkong med skråstag»	53
Figur 6.2 «Snitt av løsning 1b i casestudiet»	54
Figur 6.3 «Løsning 1b gulvoppbygning»	55

Tabelliste

Tabell 3.1 (Hjorth-Hansen, 2018) «Conventional surface resistances»	12
Tabell 3.2: (Standard Norge, 2019, s. 39) «Nyttelaster på gulv, balkonger og trapper i bygninger»	15
Tabell 3.3 (Standard Norge, 2016, s. 103) «Dimensjonerende lastkombinasjoner».....	15
Tabell 3.4: (Standard Norge, 2021b) «Verdier for materialfaktorer»	16
Tabell 5.1 «Lastvirkninger løsning 1a»	35
Tabell 5.2 «Armering løsning 1a»	36
Tabell 5.3 «Senteravstand braketter løsning 1a»	37
Tabell 5.4 «Nedbøyning løsning 1a»	38
Tabell 5.5 «Kuldebroverdi løsning 1a»	38
Tabell 5.6 «Knutepunkt løsning 1b».....	41
Tabell 5.7 «Armering og nedbøyninger løsning 1b»	41
Tabell 5.8 «Kuldebroverdi løsning 1b»»	42
Tabell 5.9 «Lastvirkninger løsning 2»	43
Tabell 5.10 «Armering løsning 2».....	43
Tabell 5.11 «Nedbøyning løsning 2»	44
Tabell 5.12 «Kuldebroverdi løsning 2»	44
Tabell 5.13 (Kristensen, 2018, s. 8) «Utforming av løsning 3».....	46
Tabell 5.14 (Invisible connections AS, 2019b) «Nedbøyning av stålbjelker løsning 3»	47
Tabell 5.15 «Kuldebroverdi løsning 3»	47
Tabell 5.16 «Oppsummering av konseptstudiet»	51
Tabell 6.1 «Kuldebroverdi for løsning 1b i case»	55
Tabell 6.2 «Kuldebroverdi for balkong med skråstag i case»	56
Tabell 6.3 «Oppsummering av casestudiet»	59

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Prefabrikkert betong benyttes i stor grad som dekkekonstruksjoner i boligbygg. Dette gir mulighet for effektiv montasje og mindre arbeid som må utføres på byggeplassen. Balkongelementer som krager ut fra bygningen, blir opphengt ved hjelp av skråstag som festes til søyler ved dekkeanten.

Skanska Norge har innenfor sin avdeling for boligbygg opplevd at konstruksjoner av prefabrikkert betong blir oppfattet som mindre attraktivt av sine interessenter. En av grunnene til dette er at balkongløsningen som benyttes har synlige skråstag, noe som påvirker det estetiske uttrykket til bygningen.

1.2. Formål

Hensikten med denne oppgaven er å utrede hvilke løsninger som finnes for utkragede balkonger i et prefabrikkert bæresystem av hulldekker, samt om det er mulig å optimalisere og forbedre løsningene. Dette gjelder bygg med hulldekker i både langs- og tverrgående retning av dekkeanten. Videre ønsker vi å utforske hvilke av disse løsningene som best møter behovet til Skanska Norge. Dette gjøres for å øke attraktiviteten til bygg av prefabrikkert betong og for å få en større forståelse for hvilke balkongløsninger som finnes.

1.3. Problemstilling

- 1. Finnes det en hensiktsmessig måte å bygge utkragede balkonger i bæresystem av hulldekker?*
- 2. Er det attraktivt å bygge utkragede balkonger målt opp mot skråstagløsning?*

1.4. Avgrensninger

Økonomiske forhold er viktig for å avgjøre om en løsning vil være gjennomførbar i praksis. Da det ikke foreligger noen erfaringer med utførelse av denne typen balkongløsninger hos Skanska Norge, har vi valgt å ikke gå i dybden på kostnader. Noen av de andre faktorene som

vurderes vil derimot ha direkte påvirkning på økonomiske forhold. Dermed vil noen vurderinger knyttes kvalitativt opp mot økonomi.

Svingninger er en faktor som må kontrolleres til å være tilfredsstillende. Contiga AS har gjort en forenklet kontroll av svingninger for flere av løsningene undersøkt i denne oppgaven (vedlegg F). Det viser seg at forskjellene er minimale og at svingninger trolig ikke vil være et problem for noen av løsningene når det plasseres innervegger og fast inventar i leilighetene. I denne oppgaven er det derfor valgt å ikke gå i dybden på svingningsproblematikk.

Kreftene som oppstår på grunn av balkonger må forankres, og bæresystemet må tåle belastningen den påfører. I denne oppgaven antas det at bæresystemet har tilstrekkelig kapasitet til å tåle belastningen balkongen gir. Dette gjøres for å begrense omfanget av denne oppgaven.

Riss i betongen må kontrolleres for å ta hensyn til bestandigheten til betongkonstruksjonen og for å få et estetisk tilfredsstillende produkt. I denne oppgaven er det kun gjennomført en forenklet risskontroll for en av løsningene (Vedlegg E). Denne viser at det er små eller ingen endringer som må gjøres for å tilfredsstillere kravene til riss for gjeldende balkongløsning. Derfor er det valgt å ikke gå dypere inn på dette i denne oppgaven. Svarene fra den forenklete risskontrollen er ikke tatt med i de videre beregningene for balkongen, da de kun er en forenklet kontroll.

2. Metode

2.1. Drøfting av metode

Valget av metode har stor betydning for resultatet av oppgaven. Riktig metode er avgjørende for at problemstillingen skal kunne besvares på en god måte. I denne oppgaven skal en kompleks problemstilling, som kan påvirkes av mange ulike faktorer, undersøkes. Problemstillingen krever derfor både tekniske og praktiske undersøkelser for å besvares. Derfor er det nødvendig å gjøre både kvalitative og kvantitative vurderinger og kontroller.

Kvantitativ

Problemstillingen krever at det gjennomføres en rekke beregninger for å finne gode løsninger som kan benyttes. Statikk, varmetap og kuldebroer er faktorer som er svært nærliggende ved

vurdering av utkragede balkongløsninger. Kvantitativ metode i denne oppgaven vil derfor innebære beregninger i bruddgrense, bruksgrense og for kuldebroen til balkongene. I en prosess der en konstruksjon skal utformes er det nødvendig med en beregningsprosess som er iterativ og gir gjentagende beregninger basert på nye endringer. Dette må tas hensyn til i valg av metode.

Kvalitativ

Valg av balkongløsning i et byggeprosjekt vil påvirke mange faktorer i en byggeprosess som ikke kan beregnes. Valg av balkongløsninger vil ha konsekvenser for faktorer som blant annet tetting av bygget, montasjearbeid og fremdriften til prosjektet. Dette er faktorer som er vanskelig å tallfeste, noe som gjør at kvalitative vurderinger må gjøres basert på relevante prinsipper og logisk argumentasjon.

2.2. Valgt metode

Research by Design

Research by Design er den valgte metoden for denne oppgaven. Problemstillingen er kompleks og påvirker et bredt utvalg av faktorer. Dette gjør at kontinuerlig tilpasning og gjentagende beregningsprosesser vil være nødvendig. Det vil også være nødvendig med kvalitative vurderinger ettersom det ikke er mulig å tallfeste påvirkningen på alle av disse faktorene. Det er likevel faktorer som har stor betydning og derfor må vurderes (Roggema, 2016, s. 1).

Research by design gir mulighet til å gjøre tilpasninger underveis, og samtidig gjøre en bred vurdering av de løsningene som finnes og hvilket potensial som ligger i disse. Metoden egner seg godt for problemstillinger som er innviklede og påvirkes av mange ulike forhold (Roggema, 2016, s. 3-4). Derfor er denne metoden valgt for å besvare oppgavens problemstilling. Metoden i denne oppgaven er delt i tre steg. Først en pre-designfase, gjennom en mulighetsstudie, som undersøker eksisterende løsninger. Deretter en designfase, gjennom en konseptstudie, som jobber videre med grunnlaget og retningslinjene som mulighetsstudien gir. Til slutt testes en av løsningene i en case, i en post-design-fase, som gir mulighet til å vurdere løsningen og sammenligne mot nåværende løsning.

Pre-design - Mulighetsstudie

Formålet i denne fasen er å få innsikt i mulige svar og løsninger, samt retningslinjer for videre design (Roggema, 2016, s. 8-9). Dette gjøres ved å samle informasjon om løsninger som eksisterer, samt analysere det som allerede finnes av informasjon. Dette vil gi et godt bilde på hva som kan jobbes med i designfasen, og gi oppgaven gode retningslinjer for design av balkongløsninger.

Design - Konseptstudie

I denne fasen er målet å utarbeide løsninger basert på de retningslinjene og det grunnlaget som er funnet i mulighetsstudien (Roggema, 2016, s. 9). Dette gjøres gjennom en iterativ prosess, der det gjøres kontinuerlige endringer og deretter nye beregninger. En slik prosess gjør det mulig å ta hensyn til mange faktorer, samtidig som det gir mye rom for å finne mulige utforminger.

Post-design – Case

Etter designfasen velges en løsning som implementeres i et reelt prosjekt gjennom en casestudie. Dette gir mulighet til å vurdere løsningen godt, samt sammenligne med nåværende løsning.

Primær - og sekundærdata

I denne oppgaven benyttes det ulike data, fra både primær – og sekundærkilder. Oppgaven baseres seg på et bredt utvalg av kilder, som tidligere undersøkelser, teori, beregninger og møterefater. Dataene fra disse kildene kategoriseres som primærdata eller sekundærdata. Primærdata i denne oppgaven er beregninger i bruddgrense, bruksgrense og kuldebroverdier. Gjennom arbeidet med denne oppgaven er disse dataene funnet, og kan benyttes til å besvare overnevnte problemstilling. Sekundærdata som ikke er utarbeidet for denne oppgaven kommer fra leverandører av relevante produkter og løsninger, og gjennom møter med relevante bedrifter og fagpersoner. Det er viktig å være bevisst på forskjellen i de ulike typene data, og hvor relevant informasjon de gir. En fordel med primærdata er at det er utarbeidet spesifikt for denne oppgaven. Det gjør den relevant og presis med tanke på behovet for informasjon. Sekundærdata er laget med tanke på et annet formål og er ikke nødvendigvis like relevant. Det er likevel slik at all data har vært primærdata en gang. Der sekundærdata kan

relateres godt til oppgaven kan den brukes tilnærmet som primærdata. (Gripsrud et al., 2016, s. 68-69)

2.3. Metodekritikk

Begrensninger

Research by design har flere fordeler som gjør at metoden egner seg godt til denne oppgaven, men det er likevel måter den vil begrense besvarelsen på. Metoden legger opp til en dynamisk og iterativ prosess, der tilpasninger og vurderinger gjøres kontinuerlig. Disse tilpasningene kontrolleres etter kjent teori, men valg tilknyttet tilpasninger vil i mange tilfeller baseres på intuisjon og individuelle kunnskaper. Dette gjør at utfallet kan være noe annerledes dersom problemstillingen undersøkes av noen andre. I tillegg til dette er det en rekke faktorer som er relevant i overnevnte problemstilling. En begrensning for oppgaven er at den kun tar for seg noen faktorer, som velges basert på kvalitative vurderinger av forfatterne til oppgaven. Valgt metode gir likevel en prosess der potensialet, muligheter og problemer med ulike baskongløsninger utforskes. Noe som gir et godt grunnlag til å besvare denne problemstillingen på en god måte.

Validitet

Metoden gir rom for en prosess som gjør det mulig å besvare problemstillingen, men det finnes fortsatt utallige muligheter for utforming og design. Dette gjør at besvarelsen vil være valid, men oppgaven kan ikke fastslå om en konkret løsning vil være best. Derimot vil funnene gi en god vurdering og besvarelse på overnevnte problemstillingen. I tillegg sammenlignes de kvantitative dataene i oppgaven med lignende undersøkelser og resultater fra sekundær data. Ved å sammenligne og se at det er likhet i resultater gir det en validitet til resultatene i denne oppgaven.

Reliabilitet

Beregningene i oppgaven er svært tydelige og følger relevante standarder, noe som gjør det mulig både å kontrollere og replisere. Der standarder gir åpne krav, eller der det gjøres forenklinger, er det likevel mulig at ulike gjennomføringer kan gi ulike svar. Dette er en svakhet ved noen av beregningene som gjennomføres, ettersom det er nødvendig med noen forenklinger.

De kvalitative vurderingene gjøres basert på relevant teori, prinsipper og ved logisk argumentasjon. Ulempen ved de kvalitative vurderingene i oppgaven er at det er svært vanskelig å gjenta en slik prosess og forvente det samme resultatet. Ved å forankre vurderinger og analyser i relevant teori og prinsipper gir det likevel resultater med reliabilitet.

Objektivitet

Det er utfordrende å beholde objektivitet i en oppgave som gjennomføres med metoden Research by Design. Dette er en metode som legger opp til stadig tilpasning, og denne spesifikke oppgaven krever også en del kvalitative vurderinger. Det er vanskelig å unngå at tilpasninger eller vurderinger som gjøres er basert på intuisjon eller en viss grad av subjektive meninger. For å oppnå best mulig objektivitet i oppgaven er det viktig med bevissthet rundt dette. En mulig metodologisk felle kan være å fremme egne eller andres meninger som fakta. For å motarbeide dette, og øke objektiviteten, kan triangulering benyttes (Abdalla et al., 2018, s. 87). Det finnes flere typer trianguleringer. Denne oppgaven fokuserer på tre typer; triangulering av data, forskertriangulering og triangulering av metode. Triangulering av data er å sammenligne data som er samlet fra ulike kilder. I oppgaven er egne funn, resultater fra sekundærkilder, data samlet i møter med aktører i bransjen og relevant teori sammenlignet. Forskertriangulering vil si at oppgaven diskuteres av flere forskere. Denne oppgaven skrives av flere forfattere som vurderer hverandre og diskuterer underveis. Da forfatterne av denne oppgaven har felles bakgrunn som studenter er det en mulighet for at felles subjektive meninger påvirker oppgaven. Triangulering av metode blir gjennomført ved å kontrollere løsningen i ulike perspektiver, noe som øker objektiviteten i oppgaven (Røykenes, 2008).

Generaliserbarhet

Denne oppgaven gjennomføres i kontekst av det behovet Skanska Norge har. På grunn av omfang må oppgaven begrenses med hensyn til denne konteksten. Dette gjør at besvarelsen blir relativt spesifikk for dette tilfellet. Oppgaven ønsker likevel å komme frem til en generell løsning som fungerer i flere tilfeller, men som samtidig gjør det mulig å tilpasse seg til Skanska Norge sine systemer og rammer. Ettersom designprosessen forankres i teori og generelle prinsipper vil resultatene ha en god overføringsverdi til andre tilfeller.

3. Teori

I teorikapitlet gjennomgås relevant bakgrunnsinformasjon om materialer, standarder og beregningsmetoder. Denne teorien er nødvendig for en god forståelse av problemer og løsninger som presenteres i denne oppgaven. Teorien som beskrives gir et grunnlag for beregninger og vurderinger som gjøres i oppgaven.

3.1. Betong

Betong er et av de mest brukte byggematerialene i Norge. Ved riktig sammensetning er betong et bestandig byggemateriale med høy fasthet. Materialet består av sement, vann og tilslag, og kan tilsettes andre stoffer for å oppnå spesifikke egenskaper (Maage, 2015, s. 12-13).

Betong blir kategorisert i fasthetsklasser basert på sin karakteristiske trykkfasthet. Normalt produseres betong med fasthetsklasser fra B10 til B95, der tallene gir karakteristisk trykkfasthet gitt i N/mm^2 (Maage, 2015, s. 195-196). Strekkfastheten til betong er omtrent 10 prosent av trykkfastheten. Den lave strekkfastheten gjør at betong må armeres for å tåle strekkpåkjenning (Maage, 2015, s. 37). Ved deformasjonsberegninger er E-modulen til betong nødvendig å kjenne til. Det er vanlig å bruke verdier for dette gitt i Eurokode 2 (Maage, 2015, s. 200).

Det er mange faktorer som påvirker betongens bestandighetsegenskaper, som blant annet tetthet i betongen. Når det gjelder bestandighet er det likevel armering som er den største utfordringen. Det er viktig at armeringen beskyttes mot korrosjon (Maage, 2015, s. 41). Dette gjøres med armeringsoverdekning av betong, som bestemmes etter NS-EN 1992 1-1. Kravet til armeringsoverdekning avhenger av eksponeringsklassen og den dimensjonerende levetiden til betongen. Overdekningen skal forhindre korrosjon i hele betongens levetid. Eksponeringsklassene velges basert på hvor utsatt konstruksjonen er for karbonatisering og klorider, og klassen gir et krav til minimum overdekning. Armeringen må plasseres slik at man oppnår minimum overdekning ved maksimalt tillatt avvik. Derav må overdekningen settes til minimumsoverdekningen og i tillegg en margin (Standard Norge, 2021b, s. 45-50).

Prefabrikkert betong

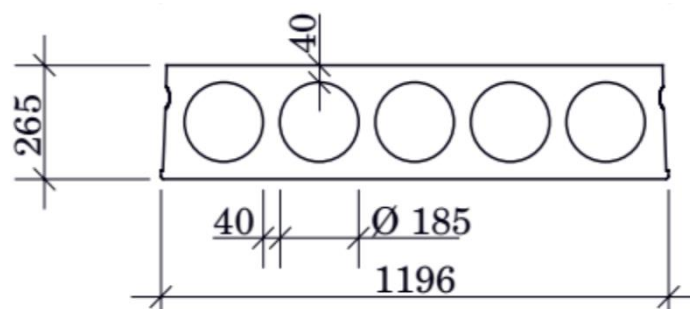
Prefabrikkert betong er elementer som armeres og støpes på fabrikk, og deretter fraktes til byggeplass. (Maage, 2015, s. 369). Det er flere fordeler med prefabrikkerte elementer. De gir for eksempel god kvalitet ettersom produksjonen overses nøye, og det er både tidsbesparende og økonomisk (Alexander, 2010, s. 101-102).

Bæresystem

Et vanlig bæresystem for større bygg med flere etasjer av betongelementer består av stålsøyler og -bjelker. Det er enten stålsøyler gjennom flere etasjer med fritt opplagte bjelker, eller søyler i etasjehøyde med kontinuerlige bjelker. I et slik system anvendes trapp- og heissjakter som avstivende konstruksjoner i bygget, og de prefabrikkerte betongdekkene legges på stålbjelkene. Dette er normalt den mest praktiske løsningen for store fleretasjes bygg (Vinje, 2016, s. 43-45).

Hulldekke

Hulldekker er betongdekker med forspent armering og innstøpte kanaler som går på langs i hele dekkets lengde. Kanalene gjør at dekket har en lavere vekt og sparer betongmengde. Dette gir hulldekker mulighet til å tåle lange spenn opp til 20 meter (Spenncon, u.å.). Standard størrelse på hulldekker er 1200mm bredde og en tykkelse fra 200mm til 520mm, som vises i figur 3.1 (Contiga AS, u.å.). Dersom trykk eller strekk skal forankres i hulldekket, må kanalene som påvirkes støpes igjen (Vedlegg C).

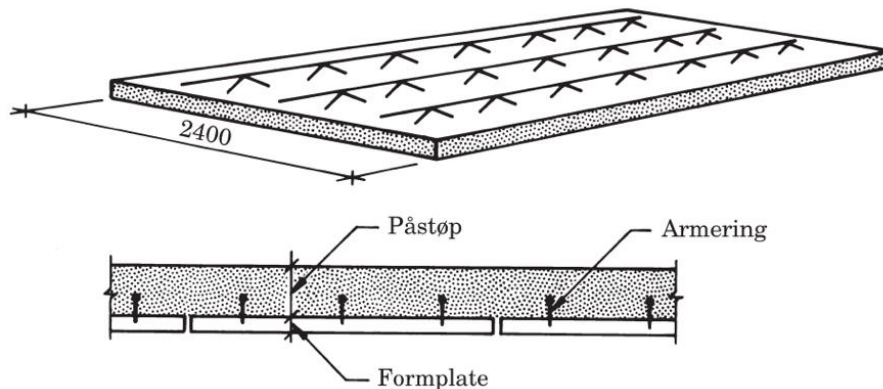


Figur 3.1 (Alexander, 2010, s. 104) «Hulldekkeelement i snitt»

Plattendekke

Plattendekke er et halv-prefabrikkert dekke i betong. Det består av en tynn armert betongplate med innstøpte gitterbjelker som står ut i overkant av dekket, som vises i figur 3.2. Elementene tilleggsarmeres og støpes ferdig på byggeplass. Plattendekker kan produseres

med både spennarmering og slakkarmering (Con-form, u.å.). Dekkene må tilleggsarmeres i overkant, og mellom elementene i underkant. Vanlige størrelser for plattendekke er en prefabrikkert betongplate på 50mm, og bredde på 2400mm. Plattendekke kan tåle opp til 12m spenn (Systemblokk, u.å.).



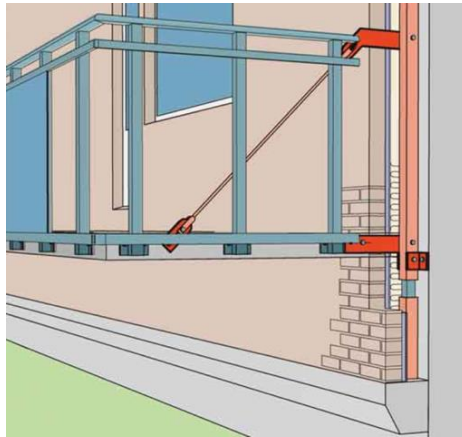
Figur 3.2 (Alexander, 2010, s. 113) «Plattendekkeelement»

Balkongelementer

Balkonger kan prefabrikeres, og produseres da som regel som ferdige elementer. Disse elementene er laget med ulike innfestingselement, varierende fra hvordan bæresystemet er bygget. Balkongelementer er elementer som i hovedsak har funksjon som en platekonstruksjon (Larsen, 2014, s. 88-90). For å føre inn lastene finnes det tre utbredte måter å forankre balkongelementet. Disse er søyler i forkant, skråstag og utkraget (Davison & Owens, 2011, s. 299-301).

Skråstag

Balkongelementet monteres på konsoller ved dekkekanten og støttes opp av skråstag ytterst på elementet. Både konsollene og skråstagene er forankret i bæresystemet, som illustrert i figur 3.3. Konsollene og skråstagene har ingen behov for momentstivhet. Dersom innfestningsdetaljene er tilgjengelige på utsiden av utvendig vegg, er det mulig å montere balkongelementene etter fasaden er fullført (Krohn, 2009).



Figur 3.3 (Krohn, 2009) «Balkongelement festet med skråstag»

Utkraget

En utkraget balkongløsning må festes momentstivt til dekkekanten. Dette medfører et stort moment som må forankres videre inn i bæresystemet. Ettersom en utkraget balkong ikke er opplagret ytterst på elementet vil en slik løsning være mer utsatt for nedbøyninger og vibrasjoner som kan bli ført inn i bygningen (Algaard & Høsøien, 2008, s. 69).

Transport og montasje

Ved transport med lastebil er det en størrelses- og vektbegrensning. For transport uten søknad om dispensasjon er maksimal totalvekt for kjøretøyet 50 tonn. Maksimal bredde er 2,55m og maksimal lengde er 19,5m. Ved transport med modulvogntog kan man maksimalt ha en lengde på 25,25m og en totalvekt på 60 tonn (Statens vegvesen, 2021a, s. 10). Veinettet i Norge er delt inn i tre kategorier; A, B og «ikke». Det er ulike grenser for størrelse og vekt på de ulike veikategoriene. Dersom lasten kun transporteres på veier av kategori A og B, vil det være mulig å frakte last med bredde på 3,25m uten å søke dispensasjon. Dette gjelder kun for udelelige laster (Statens vegvesen, 2021b, s. 18).

Montasje av betongelementer er en kranoperasjon. Området under løftet skal være sperret av under løfteoperasjonen. Forskjellige typer elementer krever forskjellige anhukermetoder. Elementer som transporteres riktig vei og er riktig stablet fra fabrikken kan monteres direkte fra lastep Janet. Dersom elementet må fraktes i en retning eller rekkefølge som ikke harmonerer med montering vil det kreves en ekstra løfteoperasjon for å snu elementene (Hjelseng, 2014, s. 28-29).

Balkongelementer løftes etter innstøpte løfteanordninger. Kranoperasjonen er vanligvis den delen av montasjen som medfører de største kostnadene. Montasjearbeidet bør derfor planlegges slik at elementet kan løftes direkte fra lasteplanet til sin endelige posisjon på kortest mulig tid (Lysberg, 2020, s. 116). Balkongelementene blir lagt på minimum to rader med understøtter. Det er størrelsen på elementet som bestemmer antallet støtter, men det må være minst to rader for at elementet ikke skal tippe (Alexander, 2010, s. 99). Støttene gir mulighet til å legge inn eventuell overhøyde for å kompensere for nedbøyninger (Reiersen et al., 2020, s. 98).

3.2. Bygningsfysikk

Varme

Varmetransport

Der det er en temperaturforskjell vil det foregå varmetransport mot den laveste temperaturen. I en konstruksjon med temperaturforskjell mellom to sider av et materiale vil varmen transporteres mot den siden med lavest temperatur. Dette kan skje hovedsakelig på tre ulike måter; varmeledning, stråling og konveksjon (Edvardsen & Ramstad, 2014, s. 388).

Varmeledningsevne

Varmeledningsevne er en materialeegenskap som angir den totale varmetransporten gjennom et materiale. Verdien inkluderer varmeledning, stråling og konveksjon gjennom det gitte materialet. (Edvardsen & Ramstad, 2014, s. 390). Varmeledningsevnen til materialer er gitt i ISO 10456 og det kan brukes produktinformasjon fra produsenter så lenge måten materialeegenskapen er vurdert på er godkjent etter standarden (Standard Norge, 2017, s. 21).

Varmemotstand

Varmemotstand betegnes som R og angir varmestrømmen eller varmetapet gjennom en konstruksjon. Varmemotstanden er avhengig av tykkelsen og varmekonduktiviteten til konstruksjonen. Varmemotstanden benyttes til å finne samlet varmegjennomgang, denne betegnes som en varmegjennomgangskoeffisient og kalles for U-verdi. Det er den inverse av konstruksjonens varmemotstand og angis i W/m^2K (Edvardsen & Ramstad, 2014, s. 392).

Varmeovergangsmotstand er den motstanden en overflate gir mot varmeoverføring. Verdier for denne motstanden kombinerer alle former for varmetransport, og tar hensyn til retningen til varmestrømmen (Hjorth-Hansen, 2018). Tabell 1 viser verdier for varmeovergangsmotstand.

Surface resistance $m^2 \cdot K/W$	Direction of heat flow		
	Upwards	Horizontal	Downwards
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

NOTE 1 The surface resistances apply to surfaces in contact with air. No surface resistance applies to surfaces in contact with another material.

NOTE 2 The values for internal surface resistance are calculated for $\varepsilon = 0,9$ and with h_{r0} evaluated at 20 °C. The value for external surface resistance is calculated for $\varepsilon = 0,9$, h_{r0} evaluated at 10 °C, and for $v = 4$ m/s.

Tabell 3.1 (Hjorth-Hansen, 2018) «Conventional surface resistances»

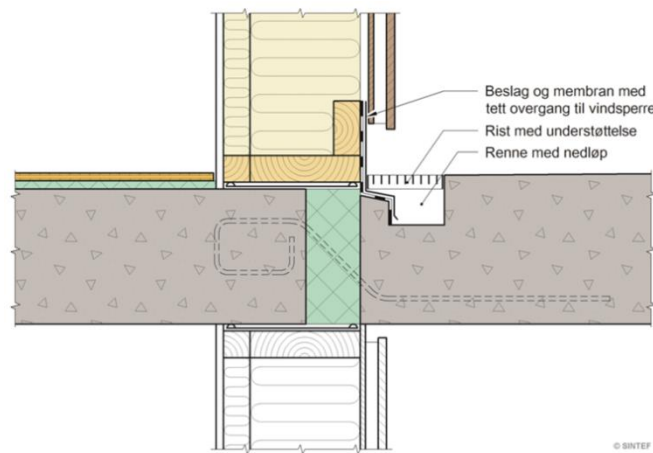
Kuldebro

En kuldebro er et sted i konstruksjonen der varmemotstanden endres betydelig på grunn av endret tykkelse, gjennomtrenging av materialer eller en forskjell i innvendig og utvendig areal. Dette kan for eksempel oppstå ved overgangen fra vegg til gulv (Gustavsen et al., 2008, s. 9). En kuldebroverdi angir hvilket økt varmetap en kuldebro gir. Den kalles også lineær varmegjennomgangskoeffisient og har enheten W/mK. (Gustavsen et al., 2008, s. 10). Normalisert kuldebroverdi er summen av alle tilleggsvarmetap på grunn av kuldebroer dividert med bygningens oppvarmede gulvareal. Teknisk forskrift stiller kun krav til en normalisert kuldebroverdi dersom energieffektiviteten skal dokumenteres ved hjelp av energiltak. Byggeteknisk forskrift (TEK17) krever at denne ikke overskrider 0,07 W/(m²K) for boligbygg. Som regel vil det være nødvendig å kompensere med mindre varmetap andre steder på grunn av kuldebroer. (Edvardsen & Ramstad, 2014).

Tetting – mot vind og regn

Den beste beskyttelsen mot slagregn og vanninntrengning for bygninger er totrinns tetting, som vil si adskilt regn- og vindtetting. Dette gjøres ved å ha en luftet spalte mellom kledning og vindsperre. Fasaden beskytter mot slagregn, og vindsperran beskytter mot vind, samt eventuell fuktighet som trenger gjennom fasaden. Det er viktig at vindsperran klemmes

skikkelig, og at skjøter tettes (Geving, 2008). En enkel konstruksjon gir bedre tetthet, i motsetning til kompliserte utforminger med kompleks geometri og mange detaljer som gir større risiko for lekkasjer. Derfor bør antall skjøter og kompliserte detaljer begrenses, og det er spesielt viktig med god planlegging av tettetdelene i slike tilfeller (Hole & Aurlien, 2013). Ved balkongdekker av betong må overgangen mellom dekke og yttervegg ha en membranoppbrett og et beskyttende beslag som beskytter mot fuktinntrengning, samtidig som de gir mulighet til å lede fukt bak vindspærren ut (Schlunk & Elvebakk, 2019). Figur 3.4 viser et eksempel på en slik løsning.



Figur 3.4 (Schlunk & Elvebakk, 2019) «Fuktsikker tetteløsning»

3.3. Norsk standard/ Eurokodene

Eurokoder er en felles europeisk standard for prosjektering og dokumentasjon av byggverk og produkter. Byggverk innebærer alt som bygges eller er et resultat av byggearbeid, derav konstruksjoner som boliger og balkonger. Eurokodene har nasjonale vedlegg som sier noe om krav og standarder som er spesifikke på nasjonalt nivå. De omhandler blant annet sikkerhet, bestandighet og klimatiske forhold. De ulike Eurokodene er standarder for ulike formål, som blant annet egne standarder for prosjektering, laster, betongkonstruksjoner og for stålkonstruksjoner (Standard Norge, u.å.).

Universell utforming

Standarden for universell utforming av byggverk stiller krav til at det ikke skal være høydeforskjell på innvendig og utvendig gulv. Maksimal terskelhøyde er 25mm, og terskelen skal være avfaset (Standard Norge, 2018, s. 20).

3.4. Dimensjonering

Grensetilstander

I Norsk Standard stilles det krav til at konstruksjonen skal kontrolleres for lastpåvirkninger i forskjellige grensetilstander. De normalt opptredende grensetilstandene for et boligbygg vil være brudd- og bruksgrensetilstanden (Sørensen, 2013, s. 5).

[Bruddgrensetilstanden](#)

I bruddgrensetilstanden kontrolleres forhold ved konstruksjonen som har konsekvens for både menneskers og konstruksjonens sikkerhet. Brudd i konstruksjonen skal beregnes med grunnlag i de mest alvorlige lastilfeller og materialets dimensjonerende egenskaper. Det er i bruddgrensetilstanden konstruksjonen kontrolleres for moment, skjærkraft og aksialkraft, samt forankringskrefter i armeringen (Sørensen, 2013, s. 5).

[Bruksgrensetilstanden](#)

Tilstander som kontrolleres innenfor bruksgrense har betydning for menneskers komfort, konstruksjonens utseende og funksjonsdyktighet ved normal bruk. Det stilles krav til at deformasjoner og vibrasjoner skal være innenfor komfortabelt nivå. Oppsprekking i konstruksjonen skal unngås i den grad det kan ha vesentlig påvirkning på utseende, funksjonsdyktigheten eller bestandigheten (Standard Norge, 2016, s. 24-25).

Laster

[Egenlast](#)

En normalarmert betongkonstruksjon har en tyngdetetthet lik 25 kN/m^3 . Dette inkluderer normal mengde armeringsstål (Standard Norge, 2019, s. 24).

[Nyttelast](#)

For å bestemme hvilke nyttelaster som kan oppstå under byggverkets bruk, må konstruksjonsdelen tildeles en brukskategori. For arealer i et boligbygg som benyttes til hjemmeaktiviteter, skal det dimensjoneres etter brukskategori A. Nyttelaster skal påføres som tilfeller av jevnt fordelte- og punktlaster, men disse skal ikke opptre samtidig (Standard Norge, 2019, s. 13-14). Verdier for jevnt fordelt last og punktlast for balkong i klasse A er vist tabell 2.

Kategorier for belastede områder	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategori A		
- Gulv	2,0	2,0
- Trapper	3,0	2,0
- Balkonger og verandaer ¹⁾	4,0	2,0
- Loft med liten takhøyde eller begrenset adgang	1,0	1,5

Tabell 3.2: (Standard Norge, 2019, s. 39) «Nyttelaster på gulv, balkonger og trapper i bygninger»

Lastkombinasjoner

Dimensjonering av en konstruksjon må gjøres med grunnlag i lastkombinasjoner som sannsynligvis vil opptre i dens tiltenkte brukstid. Lastkombinasjonene velges slik at laster som vil kunne opptre samtidig kombineres på den mest ugunstige måten. For å sikre at ingen grensetilstander overskrides, benyttes lastfaktorer som skalerer størrelsen på lastverdiene (Larsen, 2014, s. 35-38).

Vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner	Permanente laster		Dominerende variabel last (*)	Øvrige variable laster (*)
	Ugunstig	Gunstig		
(Ligning 6.10a)	$\gamma_{G,sup} G_{k,sup}$	$\gamma_{G,inf} G_{k,inf}$	$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Ligning 6.10b)	$\xi \gamma_{G,sup} G_{k,sup}$	$\gamma_{G,inf} G_{k,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(*) Variable laster er de som er oppført i tabell NA.A1.1

MERKNAD 1 Det brukes følgende sett med γ - og ξ -verdier ved bruk av uttrykk 6.10a og 6.10b:
 $\gamma_{G,sup} = 1,35$;
 $\gamma_{G,inf} = 1,00$;
 $\gamma_{Q,1} = 1,50$ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);
 $\gamma_{Q,i} = 1,50$ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);
 $\xi = 0,89$;
(I Norge brukes 6.10a og 6.10b, slik at $\xi \gamma_G = 0,89 \times 1,35 = 1,20$).
Se også NS-EN 1991 til NS-EN 1999 for γ -verdier som skal brukes for påførte deformasjoner.

MERKNAD 3 De karakteristiske verdiene for alle permanente laster fra ett opphav multipliseres med $\gamma_{G,sup}$ hvis resultatet i form av den totale lastvirkningen er ugunstig, og med $\gamma_{G,inf}$ hvis resultatet i form av den totale lastvirkningen er gunstig. F. eks. kan alle laster med opprinnelse i konstruksjonens egenvekt anses å komme fra én kilde; dette gjelder også om forskjellige materialer er brukt.

MERKNAD 4 For spesielle påvisninger kan verdiene for γ_G og γ_Q igjen deles inn i verdiene γ_G og γ_Q og modellens usikkerhetsfaktor γ_{sd} . En verdi for γ_{sd} som ligger mellom 1,05 til 1,15, kan brukes i de fleste vanlige tilfeller.

Tabell 3.3 (Standard Norge, 2016, s. 103) «Dimensjonerende lastkombinasjoner»

Ved kombinasjon av lastene benyttes både lastfaktorer (γ) og kombinasjonsfaktorer (ψ). Kombinasjonen gjøres etter likningene i tabell 3.3, der den likningen med det mest ugunstige tilfellet blir dimensjonerende (Standard Norge, 2016, s. 103).

For tak er det ikke pålagt å kombinere nyttelast med snø- eller vindlast. Dette gjelder også for tak i kategori I, som er tak med atkomst for brukerne. For dimensjonering av takterrasser

henvises det til kategori I, der dimensjonerende nyttelast må velges i henhold til tiltenkt bruk av konstruksjonen (Standard Norge, 2019).

Materialeegenskaper

Når de dimensjonerende materialeegenskapene skal fastsettes i bruddgrenseberegninger, må de karakteristiske verdiene reduseres med en materialfaktor γ_m , for å utlikne eventuelle avvik i materialet som kan virke ugunstig på konstruksjonen (Larsen, 2014, s. 26). Verdiene for γ_m er spesifikke for betong og stål, og står oppført i tabell 4. For betong reduseres kapasiteten ytterligere med en faktor $\alpha_{cc/ct}$, som tar hensyn til langtidsvirkninger og ugunstig plassering av lasten (Standard Norge, 2021b, s. 31). Dette gir formlene for dimensjonerende fasthet for henholdsvis betong og armering:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_C} \quad f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk,0,05}}{\gamma_C} \quad [1]$$

og

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} \quad [2]$$

Verdier for reduksjonsfaktorene til materialeegenskaper relevant til denne oppgaven er listet opp i tabell 3.4.

α_{cc}	0,85
α_{ct}	0,85
γ_C	1,5
γ_S	1,15

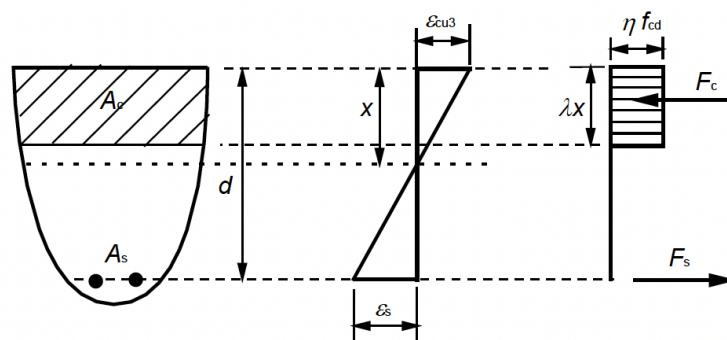
Tabell 3.4: (Standard Norge, 2021b) «Verdier for materialfaktorer»

Momentdimensjonering

Ved dimensjonering av betongkonstruksjonens kapasitet mot bøyemoment må det gjøres følgende forutsetninger:

1. Full heft mellom armering og betong
2. Strekkfastheten til betongen neglisjeres
3. Plane tverrsnitt forblir plane

Bruddkriteriet for konstruksjonen settes etter de maksimale tøyningene i betongen og armeringsstålet (Standard Norge, 2021b, s. 81). Dersom spennings-tøyningssammenheng for betongen antas parabel-rektangulær, beregnes den maksimale tøyningen i betongen etter verdien for ε_{cu2} , som for betongkvaliteter mellom B12 og B50 har verdien 3,5 promille (Standard Norge, 2021b, s. 32). Den maksimale tøyningen i armeringsstålet velges slik at stålet er i flyt når betongen bryter sammen. Vanlig praksis i Norge er å underarmere konstruksjonen, slik at det oppstår sprekker i strekksonen av betongen før sammenbruddet. Dette gir en duktil konstruksjon som synliggjør overbelastning før konstruksjonen går til brudd. En konstruksjon betegnet som normalarmert dimensjoneres med bruddtøyning $\varepsilon_s = 2\varepsilon_{yk} = 5$ promille (Sørensen, 2013, s. 37).



Figur 3.5: (Standard Norge, 2021b, s. 33) «Rektangulær spenningsfordeling»

Ut fra bruddkriteriene ved tøyning kan en beregningsmodell for momentkapasiteten utledes. Modellen tar utgangspunkt i likevekt om tverrsnittets nøytralakse. Grunnet forutsetningen om at betongens strekkfasthet neglisjeres, er det kun armeringens strekkresultant som virker i tverrsnittets strekksone (Sørensen, 2013, s. 28-30). Betongens spenningsfordeling i trykksone kan antas rektangulær og størrelsen bestemmes av faktorene λ , som bestemmer høyden og η , som skalerer størrelsen på den effektive fastheten til betongen. Verdiene for disse faktorene er gitt ut fra betongkvaliteten. For betong med kvalitet B50 og lavere kan verdiene $\lambda=0,8$ og $\eta=1$ benyttes (Standard Norge, 2021b, s. 33). Ut fra tøyningssammenheng mellom betong og armering kan avstanden fra enden av trykksone til nøytralaksen bestemmes ved en faktor α multiplisert med d (effektiv tverrsnittshøyde). Figur 3.5 gir en visualisering av disse sammenhengene. Dersom tverrsnittet dimensjoneres som normalarmert gir dette $\alpha=0,412$. Formlene for momentkapasiteten til tverrsnittet utledes fra likevektsbetraktning av trykk- og strekkresultantene (Sørensen, 2013, s. 37-39). Dette gir følgende likninger for trykk- og strekksone momentkapasitet:

$$M_{Rd} = \lambda\eta(1 - 0,5\lambda\alpha)\alpha * f_{cd}bd^2 = 0,275 * f_{cd}bd^2 \quad [3]$$

og

$$M_{sd} = f_{yd}A_s * z \quad [4]$$

For dekkekonstruksjoner er trykksonens kapasitet svært stor i forhold til tverrsnittshøyden. Dette medfører problemer i bruksgrensetilstanden, da dette blir myke konstruksjoner med store nedbøyninger. Det er derfor hensiktsmessig å dimensjonere tverrsnittet med delvis utnyttet trykksone. Dette gjøres ved å dimensjonere trykksonen etter et moment som er noe større enn det opptredende momentet. Da vil det ikke oppstå bruddtøyning i betongen når armeringsstålet når sin maksimale tøyning. Konsekvensen av dette er at den indre momentarmen, z , endrer seg. For å bestemme størrelsen på z , kan tilnærmingen i formelen under benyttes (Sørensen, 2013, s. 43-44).

$$z = \left(1 - c * \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) d, (c = 0,17 \text{ for } B20 - B45) \quad [5]$$

Skjærdimensjonering

Skjærkraftdimensjonering gjøres i bruddgrensetilstand. Der må det kontrolleres for to typer brudd, skjærtrykkkapasitet og skjærstrekkkapasitet. Skjærtrykk oppstår i skrå diagonaler og er vanligvis størst ved opplegg. Skjærstrekk er strekkrefter som oppstår i konstruksjonen på grunn av skjærkrefter (Standard Norge, 2021b, s. 81-83)

Ved skjærdimensjonering må konstruksjonen kategoriseres som en konstruksjonsdel med eller uten beregningsmessig behov for skjærarmering. Dersom dimensjonerende skjærkraft er mindre enn den dimensjonerende skjærkraftkapasiteten i en konstruksjon uten skjærarmering skal konstruksjonen kontrolleres etter punkt 6.2.2 i Eurokode 2 (Standard Norge, 2021b, s. 83-84).

Dimensjonerende skjærkapasitet er gitt ved følgende formler:

$$V_{Rd,c} = \left(C_{Rd,c}k(100\rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1\sigma_{cp}\right) b_w d \quad [6]$$

med minste verdi:

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad [7]$$

Dersom kontrollen av skjærkapasitet viser at det er behov for skjærarmering skal dette beregnes etter 6.2.3 i Eurokode 2. Skjærarmering velges slik at dimensjonerende skjærkapasiteten er større eller lik den dimensjonerende skjærkraften (Standard Norge, 2021b). Dette baserer seg på en fagverksmodell, der det antas at kreftene oppstår i skrå diagonaler. Vinkelen (θ) mellom kreftene som skal benyttes i beregningene, kan bestemmes innenfor grensene $21,8^\circ$ til 45° (Sørensen, 2013, s. 71-72). Skjærkraftkapasitet for et tverrsnitt med skjærarmering er gitt ved:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{S} Z f_{ywd} \cot \theta \quad [8]$$

Gjennomlokking i betong

Lokale punktlaster på betongdekker kan føre til stor skjærkraft langs en parameter rundt lasten. Dette kan føre til gjennomlokkingsbrudd i betongen. For å kontrollere om det trengs skjærarmering rundt punktlasten, kontrolleres en parameter som ligger en omkrets på to ganger d fra punktlasten. Den dimensjonerende skjærkraften blir fordelt på arealet av parameteren og kontrollert mot skjærkapasiteten til betongen. Dersom det er behov for skjærarmering, kan 75% av kapasiteten til betongen utnyttes i samspill med armeringen. Skjærarmering avsluttes ved en kontrollert parameter der arealet er stort nok til at betongen selv klarer å stå imot skjærkraften (Sørensen, 2013, s. 403-413).

Forankring

Strekkarmeringen i en betongkonstruksjon må forankres ved opplegg for å sikre en god overføring av krefter til betongen og for å unngå rissdannelse. Beregningen av den nødvendige forankringslengden tar utgangspunkt i at likevekt avhenger av tre faktorer: betongens heftfasthet, opptredende spenning i armeringen og armeringens diameter (Standard Norge, 2021b, s. 132-134).

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\emptyset}{4}\right) * \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}\right) \quad [9]$$

Betongens heftfasthet bestemmes ut fra formelen nedenfor, som avhenger av betongens strekkapasitet. Denne gjelder ved normale forhold og armeringsdiameter mindre eller lik 32mm (Standard Norge, 2021b, s. 133).

$$f_{bd} = 2,25 f_{ctd} \quad [10]$$

Størrelsen på strekkraften som skal forankres for konstruksjoner uten bygningsmessig behov for skjærarmering kan bestemmes etter forskyvningsregelen. Dette begrenser den maksimale verdien for forankringskraften til $F_{Ed} = M_{Ed}/z$ (Standard Norge, 2021b, s. 153).

Nedbøyningberegning

Nedbøyningsberegninger blir utført i bruksgrensetilstand. Dette er en beregning som har til hensikt å kontrollere at konstruksjonen er funksjonell og at estetikken ikke blir negativt påvirket. Det blir en individuell vurdering fra bygningsdel til bygningsdel hvor stor grenseverdien for nedbøyning skal være. En øvre verdi som er anbefalt for fritt opplagte konstruksjoner er $L/250$. Verdien L er her lengden på konstruksjonen (Standard Norge, 2021b, s. 126). For en utkraget konstruksjon vil denne verdien være konservativ, da en utkraget har en nedbøyningsform som en halv fritt opplagt bjelke. Det vil si at en utkraget med halve lengden og samme nedbøyning som en fritt opplagt bjelke har samme vinkelendring over alle deler av konstruksjonen, og vil derfor oppleves likt. Derfor vil en utkraget konstruksjon ha samme brukeropplevelse ved et nedbøyningskrav på $L/125$, som en fritt opplagt bjelke med nedbøyningskrav på $L/250$ (Invisible connections AS, 2020b, s. 6).

Beregningsmodellen for nedbøyninger forutsetter noen antagelser. Det antas at betongtverrsnittet er i stadium 2, som medfører at betongen er oppsprukket og ikke lenger har strekkfasthet. Både betong og armeringsstål antas å være lineært elastiske og følge Hooke's lov. Det forutsettes også at Navier/Bernoulli's hypotese gjelder (Sørensen, 2013, s. 115). Dette er en konservativ beregning, som ikke tar hensyn til den gradvise overgangen fra stadium 1 til stadium 2 (Sørensen, 2013, s. 126). For å kunne bruke de generelle formlene for nedbøyning, må det finnes verdier for treghetsmomentet (I) og elastisitetmodulen (E) til konstruksjonsdelen. For et ikke homogent tverrsnitt, må bidragene til de forskjellige materialene kombineres. Dette gjøres ved å øke arealet til det andre materialet i forhold til den relative forskjellen i elastisitetmodul. For å finne arealet til betongen må størrelsen til

trykksonen i bruksgrensetilstanden beregnes (Sørensen, 2013, s. 116-119). Den nye trykksehøyden regnes ut ved bruk av α , som gitt av følgende formel:

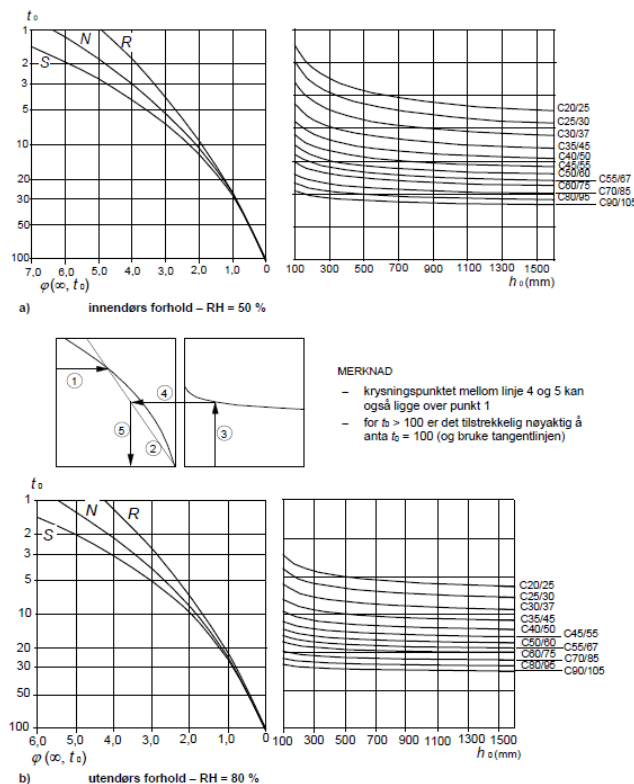
$$\alpha = \sqrt{(\eta\rho)^2 + 2\eta\rho} - \eta\rho \quad [11]$$

Langtidsvirkninger

Elastisitetsmodulen til betong endrer seg over tid. Dette er grunnet kryp, og i Eurokode 2 er det gitt et forhold for endringen av elastisitetmodulen. Denne formelen er gitt ved:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} \quad [12]$$

Verdien av $\varphi(\infty, t_0)$ er gitt ut fra diagrammer, slik det er vist i figur 3.6. Her må det tas hensyn til om konstruksjonen er plassert innendørs eller utendørs, alderen på betongkonstruksjonen når den belastes, høyden på konstruksjonen og kvaliteten på betongen (Standard Norge, 2021b, s. 27).



Figur 3.6: (Standard Norge, 2021b, s. 28) «Metode for å bestemme kryptallet»

Endringen i elastisitetmodulen grunnet kryp skal kun tas hensyn til for laster som virker på konstruksjon over lang tid. Det skilles derfor mellom langtidslaster og korttidslaster. Langtidslaster er egenvekten til konstruksjonen og eventuelt permanente deler av

nyttelasten. Her må man i utgangspunktet finne en kryp-verdi for hver enkelt lastsituasjon, men man kan finne en midlere elastisitetsmodul (Sørensen, 2013, s. 128).

Knutepunkt

Knutepunkt i stål kan løses på to måter. Det kan enten utføres ved bruk av bolteforbindelser eller ved sveisede overganger. For å kontrollere knutepunktet må kapasiteten til bolter og sveiseflater som inngår i knutepunktet og eventuelle overgangen til andre materialer beregnes (Standard Norge, 2009, s. 10-12).

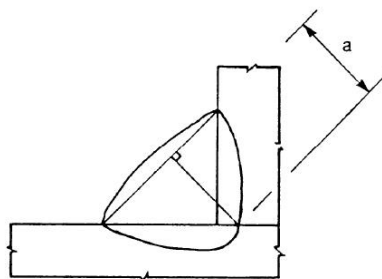
Bolteforbindelser

Bolter har kapasitet mot både skjær- og aksialkrefter. Dersom bolten er en strekkbolt, må bolten kontrolleres for strekkraften den blir utsatt for.

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} \quad [13]$$

Stålprofilet som bolten festes til må kontrolleres for trykkbrudd dersom det ligger inntil hverandre. Dersom det er mellomrom mellom stålplatene som festes sammen må de kontrolleres for gjennomlokking, skjær og moment (Standard Norge, 2009, s. 21-28).

Sveiseforbindelser



Figur 3.7 (Standard Norge, 2009, s. 42) «Kilsveis»

Sveisede forbindelser kan utføres på to måter, enten som en buttsveis eller som kilsveis. Ved forbindelse med buttsveis vil sveisen ha samme styrke som det svakeste av profilene som er sveiset sammen, og dermed ingen behov for kontroll av sveisen. Figur 3.7 viser en kilsveis mellom to stålprofiler. Kapasiteten til en slik sveiseforbindelse kan beregnes ved bruk av en retningsbestemt metode, der kreftene dekomponeres i sveisens tredimensjonale plan.

Kapasiteten beregnes ut fra en kombinasjon av komponentene ved bruk av formlene under (Standard Norge, 2009, s. 39-44).

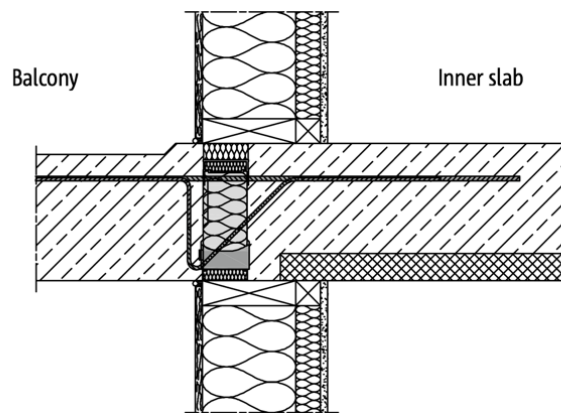
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} \quad [14]$$

og

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 * \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad [15]$$

Isokorb

Isokorb er et produkt for kuldebryting av betongkonstruksjoner, som produseres av selskapet Schöck. Enheten består av et kuldebrytende isolasjonssjikt med armeringsjern som føres kontinuerlig gjennom isolasjonen, slik det er vist i figur 3.8. Dette medfører at Isokorb-elementet kan motstå både moment og skjærkraft, med en lavere varmegjennomgang enn en overgang av massiv betong (Schöck, 2014, s. 20-21).



Figur 3.8: (Schöck, 2014, s. 36) «Isokorb i snitt»

Isokorb-elementene produseres i flere forskjellige dimensjoner med varierende størrelse og kapasitet mot moment og skjærkraft (Schöck, 2014). For utkragede elementer med innstøpt Isokorb, er det normalt å montere elementet med opptil 10mm overhøyde (Reiersen et al., 2020, s. 99).

Når Isokorb elementet blir belastet med et moment, vil det oppstå en rotasjon. Denne rotasjonen vil medføre en nedbøyning av det utkragede elementet. Nedbøyningen som oppstår på grunn av rotasjonen avhenger av momentet, utkragningslengden, total lengde med Isokorb og stivhetskoeffesient for valgt Isokorb dimensjon (Schöck, 2014, s. 30).

$$\delta_{\text{Isokorb}} = \frac{M * L_k}{C * L_{\text{Isokorb}}} \quad [16]$$

Stål

Kontroll av stålkonstruksjoner starter med en klassifisering av tverrsnittet. Dette gjøres fordi ståltversnitt er utsatt for lokal knekking. Hvilke formler som skal brukes ved senere utregninger avhenger av tverrsnittsklassen. Det finnes fire klasser, der den fjerde klassen er den som er mest utsatt for lokal knekking. Dersom tverrsnittet er i klasse 1 og 2 kan formlene som utnytter den plastiske spenningskapasiteten til stålet benyttes. Tverrsnitt i klasse 3 kan kun utnytte den elastiske spenningskapasiteten til stålet (Standard Norge, 2015, s. 40-44).

Strekkapasiteten til stål kontrolleres etter to formler, der den ene tar hensyn til eventuelle hull fra bolter i stålprofilet, og den andre kontrollerer tverrsnittets elastiske kapasitet. (Standard Norge, 2015, s. 49).

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_y * A}{\gamma_{M0}} \quad [17]$$

og

$$N_{u,Rd} = 0,9 * \frac{f_u * A_{net}}{\gamma_{M2}} \quad [18]$$

Momentkapasiteten til stål kontrolleres avhengig av klassen til tverrsnittet. Alle formlene bruker den elastiske kapasiteten til materialet og forskjellen ligger i motstandsmomentet til tverrsnittet. For klasse 1 og 2 utnytter man det plastiske motstandsmomentet etter følgende formel:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} \quad [19]$$

For klasse 3 er det kun tillatt å bruke det elastiske motstandsmomentet til tverrsnittet (Standard Norge, 2015, s. 50).

Skjærkraften i tverrsnittet kontrolleres også på grunnlag av klassen til tverrsnittet. For klasse 1 og 2 regnes kapasiteten til tverrsnittet ut, og kontrolleres mot skjærkraften. For klasse 3 og 4 beregnes skjærspenningen, og kontrolleres med materialets kapasitet mot en kontrollverdi. For klasse 1 og 2 skal det beregnes et areal som svarer til den delen av tverrsnittet som vil ha en effekt mot skjærkraften (Standard Norge, 2015, s. 50-52). Formelen for skjærkapasitet i klasse 1 og 2 er vist under.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} \quad [20]$$

Dersom det oppstår både moment og skjærkraft i samme snitt i konstruksjonen, må snittet kontrolleres for kombinasjonen. Dette gjelder om skjærkraften er større enn halve skjærkapasiteten i punktet med maks moment i konstruksjonen. Dersom dette inntreffer, vil formelen gi en reduksjon av flytegrensen ved kontroll av momentkapasiteten. Formelen for klasse 1 og 2 er gitt som formel under.

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 \quad [21]$$

Ny flytgrensekapasitet er gitt under.

$$(1 - \rho) * f_y \quad [22]$$

For klasse 3 og 4 gjøres det en kontroll av kreftene i alle retninger hver for seg, delt på flytegrensen, der summen ikke skal bli større enn en kontrollverdi (Standard Norge, 2015, s. 54).

Kuldebroberegninger

Varmestrømmen gjennom konstruksjoner er ikke endimensjonal, altså den går ikke «rett gjennom» konstruksjonen. En nøyaktig beregning krever derfor bruk av dataprogrammer som benytter flere dimensjoner. Kuldebroverdier beregnes i henhold til NS-EN ISO 10211 ved hjelp av dataprogrammer for flerdimensjonale strømmer (Gustavsen et al., 2008, s. 397). Slike beregninger kan gjøres i dataprogram som THERM, HEAT2 eller HEAT3 (Gustavsen et al., 2008, s. 28)

Lineær kuldebroverdi beregnes ved å finne varmetapet i hele konstruksjonsløsningen som gir en kuldebro, og deretter trekke fra varmetapet som tilstøtende deler vil føre til uten at kuldebroen er med i konstruksjonen. Dette er gitt ved formelen under (Standard Norge, 2017, s. 27). For balkonger kan dette gjøres ved å beregne differansen på varmetapet til hele konstruksjonen, med og uten balkong (Andersen & Venås, 2010, s. 2).

$$\Psi_k = L_{2D} - \sum_i U_i * l_i \quad [23]$$

I en 2D beregning skal den geometriske modellen vise alle detaljer og vise minst 1 meter av hver tilstøtende del, altså vegger, gulv og balkong (Standard Norge, 2017, s. 11-12). Ved en slik beregning av kuldebro vil det ha stor betydning om man benytter interne eller eksterne verdier for areal og U – verdier (Standard Norge, 2017, s. 27). I henhold til norsk standard skal innvendige mål og verdier brukes til beregning (Standard Norge, 2021a, s. 16). Sintef beskriver dette som den mest hensiktsmessige måten å beregne kuldebro på ved en 2D beregning. En numerisk beregning som dette vil likevel ha en feilmargin på omtrent 5 prosent (Gustavsen et al., 2008, s. 23-26).

3.5. Dataprogrammer

Robot Structural Analysis

Robot er et 3D – dataprogram for beregning og analyse av laster i konstruksjoner. Programmet gir brede muligheter for programmering av konstruksjoner, danne lastilfeller og gjennomføre lastanalyse og beregning (Autodesk, u.å.-c).

I Robot modelleres konstruksjoner med ønskelige dimensjoner og egenskaper (Autodesk, u.å.-b). For å gjøre en lastanalyse opprettes lastilfeller, som er kombinasjonen av nyttelaster og egenlast som det skal analyseres for. Robot kan med dette beregne lastene som oppstår på konstruksjonen, samtidig som det gir et oversiktlig bilde på hvor de største kreftene oppstår (Autodesk, u.å.-a).

Therm

Therm er et dataprogram for todimensjonal analyse av varmestrømninger, utviklet av Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). Programmet gir mulighet til å modellere en rekke konstruksjonsdeler som vegger, gulv, vinduer og dører, og definere egne materialer med egenvalgte materialegenskaper. Beregningene i programmet gjennomfører numerisk beregning basert på finite-element method (Lawrence Berkeley National Laboratory, u.å.).

4. Mulighetsstudie

4.1. Introduksjon

Formålet med denne delen av oppgaven er å samle inn informasjon om forskjellige løsninger og erfaringer som omfatter utkragede balkonger av prefabrikkert betong. Gjennom kontakt med leverandører og fagfolk innenfor området, samt litteratursøk etter relevant informasjon er det funnet tre utprøvde løsninger.

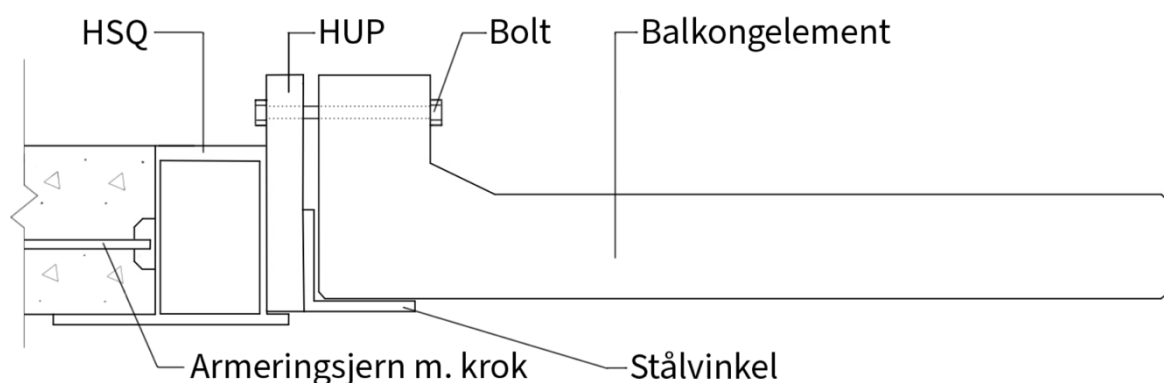
4.2. Forutsetninger

Balkongens størrelse er avgjørende for bruksverdien og det er derfor ønskelig med en utkragningslengde mellom 2 og 2,7 meter. Dette gir mulighet til spiseplasser for 5-7 personer, dersom balkongen er bredere enn 2,4 meter (Schlunk, 2020).

I bruksgrensetilstanden er det normal praksis å velge grenseverdi for nedbøyninger til $L/150$ for en utkraget balkong (Einstabland, 2010). Denne verdien er noe strengere enn den anbefalte verdien i Eurokode 2, som er utledet i teoridelen for en utkraget konstruksjonsdel.

4.3. Eksisterende løsninger

Løsning 1 – L-formet balkong

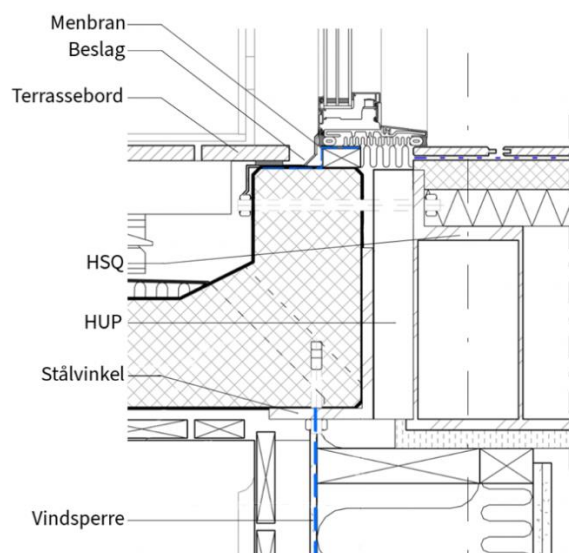


Figur 4.1 «Snitt løsning 1»

Denne løsningen er utformet av Contiga AS og er kun blitt utprøvd i ett prosjekt. Figur 4.1 viser en konseptskisse av løsningen. I prosjektet hadde balkongene en utkragningslengde på 1,2 meter. Prinsippet består av et prefabrikkert balkongelement som løftes på plass og festes til

braketter ved bruk av bolter. Elementet har en L-form for å øke høyden ved innspenning, noe som gjør kraften i bolten mindre. Brakettene er satt sammen av en stålvinkel og et HUP-stålprofil som er sveiset til hverandre. Denne løsningen forutsetter en HSQ-bjelke langs dekkkantene, slik at brakettene kan sveises fast i bjelken for å holde fast betongelementet. Ettersom denne løsningen forutsetter en HSQ-bjelke langs dekkanten, kan hulldekkeelementene i bæresystemet være orientert både parallelt og vinkelrett på dekkanten (Vedlegg B).

Momentet fra balkongen må forankres videre inn i dekket for å holde igjen rotasjonen av HSQ-bjelken. Dette kan gjøres ved hjelp av et innstøpt armeringsjern med en krok som festes til bjelken gjennom påsveiset brakett. Forankringen kan også gjennomføres ved å bruke flattjern som sveises fast i toppen av bjelken og skrues fast i overkant av de innvendige hulldekkene.



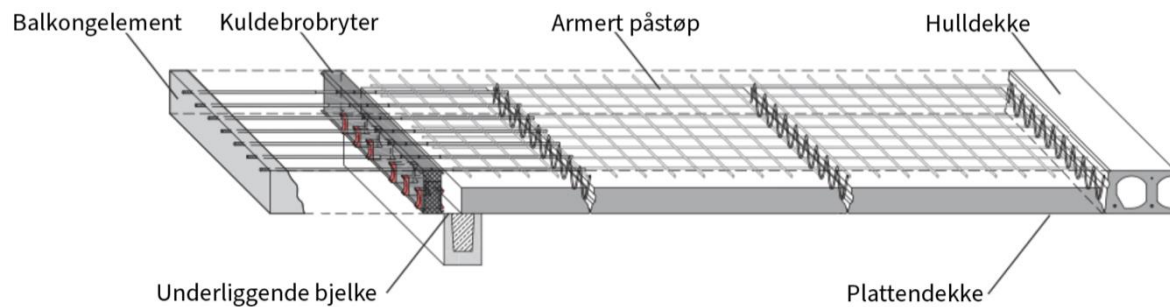
Figur 4.2 «Detaljert snitt løsning 1»

Kuldebroen ved overgangen fra balkong til HSQ-bjelken og innvendig dekke blir delvis brutt ved et isolasjonssjikt slik at det kun er varmegjennomgang i stålbrakettene. Overgangen mellom stålbrakettene og balkongelementet blir isolert med distanseplater av gummi, slik at det ikke er direkte varmeoverføring fra innsiden av bygningen ut til elementet.

Tetthet mot utvendige påkjenninger løses ved å føre vindsperren opp til underkant av balkongelementet og overgangen tettes ved bruk av vindsperretape, slik der er vist i figur 4.2. Her må det lages utsparinger i tettesjiktet der stålvinklne stikker ut av veggen. På oversiden

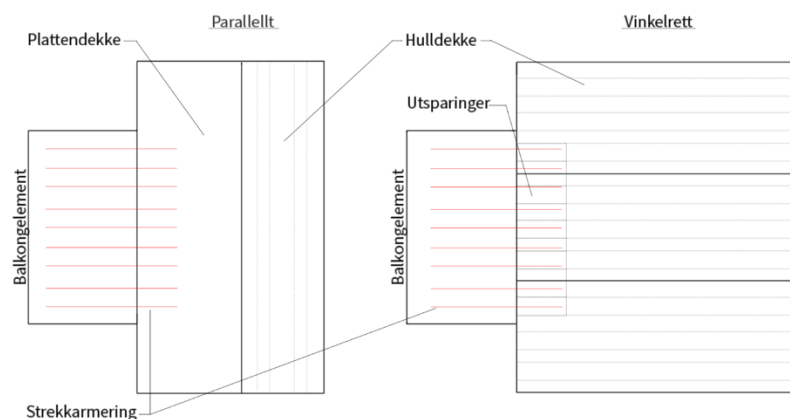
av elementet blir ytterveggen plassert delvis ut på balkongen og vindsperresjiktet tettes ved bruk av membran som blir sveiset fast mellom vegg og betong. To-trinns tetting løses ved å dekke til overgangen med et beslag (Vedlegg B).

Løsning 2 – Delvis innstøpt element med Isokorb



Figur 4.3 (HALFEN, 2021) «Delvis prefabrikkert løsning»

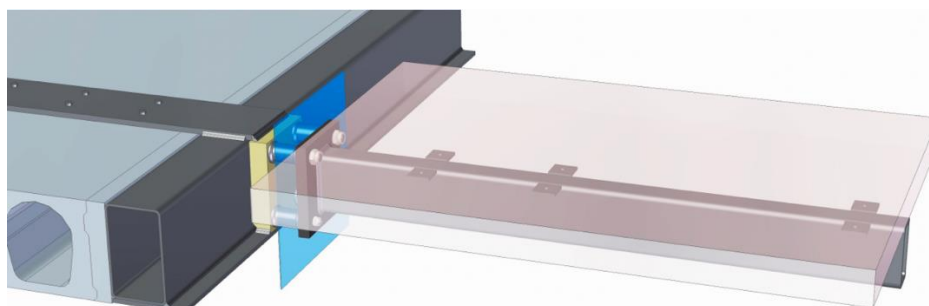
Løsningen tar utgangspunkt i et konstruksjonsprinsipp fra HALFEN som forutsetter at de ytterste hulldekkeelementene erstattes med et plattendekkeelement, slik som vist i figur 4.3. Med denne løsningen produseres et prefabrikkert balkongelement med innstøpt kuldebrobryter og utstikkende armeringsjern. Elementet blir forankret videre inn i konstruksjonen ved at de utstikkende armeringsjernene støpes fast i dekkekonstruksjonen når oversiden av plattendekket fylles med en armert påstøp. Den andre forutsetningen for denne løsningen er at hulldekkeelementene ligger orientert parallelt med dekkeanten. Dette for å kunne bytte de ut de ytterste hulldekkeelementene med plattendekker uten en bjelkeutveksling i overgangen (HALFEN, 2021, s. 56). Retningen på bæresystemet er illustrert i figur 4.4. Etter møter med Contiga har gruppen funnet en løsning ved tilfeller der hulldekkene er orientert vinkelrett på dekkeanten. I dette tilfellet er det ikke et ytterste element å fjerne, og hulldekkene føres derfor helt ut på en underliggende bjelke. I overkant av hulldekkeelementene må det lages utsparinger som armeringsjernene fra balkongelementet kan føres inn i, slik at de kan støpes fast i hulldekket. I dette tilfellet må hulldekkeelementene armeres i overkant for å forankre momentet fra balkongen videre inn i dekket. I begge tilfeller må balkongen understøttes til skjøtejernene er støpt fast og balkongen er tilstrekkelig forankret i bæresystemet. Både ved montasje i hulldekke og i plattendekke vil bæresystemet trenge understøtting frem til påstøpen er tilstrekkelig herdet. Hulldekkene svekkes av utsparingen i overkant og plattendekker mangler kapasitet frem til de er ferdig støpt (Vedlegg C).



Figur 4.4 «Dekkeretning i bæresystem»

Denne løsningen har i utgangspunktet en enkel geometrisk utforming og kan tettes med preaksepterte løsninger der man benytter membran med oppbrett og beskyttende beslag. Samtidig føres vindsperreren helt inn til dekket slik at den overlapper med membranoppbretten. En slik løsning er illustrert i figur 3.4 i teori under tetteprinsipper.

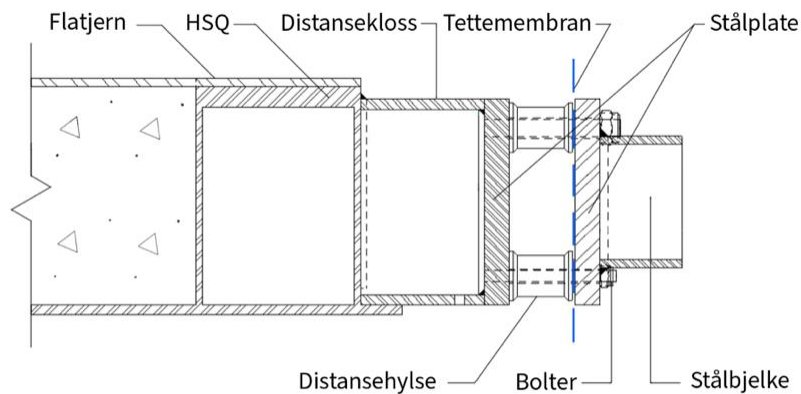
Løsning 3 - Invisible Connections



Figur 4.5: (Invisible connections AS, 2020a) «Invisible connections»

Invisible Connections er et system der balkongene primært bæres av utkragede stålbjelker, som vist i figur 4.5. Dette gjør at dekket på balkongen kun spenner fritt mellom senteravstanden på bjelkene. Stålbjelkene er av typen HUP- eller IPE-stålprofiler med varierende dimensjoner i forhold til størrelse på utkragning (Invisible connections AS, 2019b). Knutepunktet som skal ta opp lastvirkningene fra bjelken heter Balcony Wall Connection (BWC) og, som vist i figur 4.6, består den av flere komponenter. Ved bjelkeenden blir en stålplate sveiset fast slik at kreftene kan føres videre til dekkekanten gjennom fire bolter. Boltene er sveiset fast i en stålplate, med en eventuell distansekløss, hvor kreftene som skal motstå momentet må forankres videre inn i bæresystemet. Dette kan løses på flere

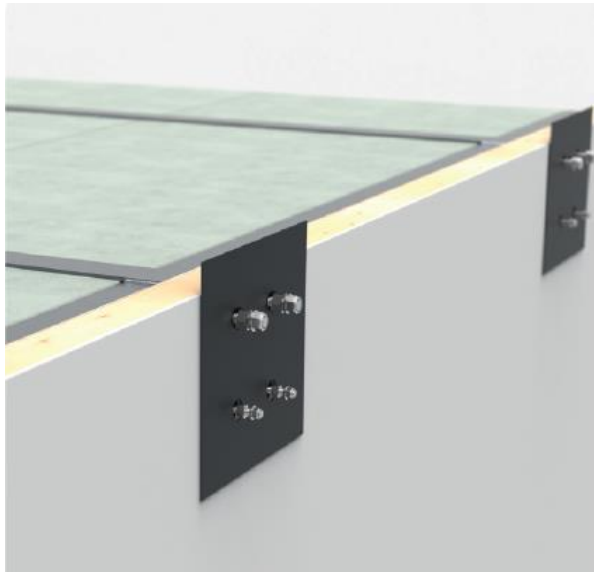
forskjellige måter. Dersom dekkekonstruksjonen er av hulldekkeelementer, legges det en HSQ-bjelke langs dekkekanten. I overkant av denne bjelken sveises et flatjern som festes til hulldekkene med bolter. Det er også mulig å forankre momentet med en stålplate med kamstål som støpes inn i betongdekket. Med denne løsningen unngår man et flatjern som ligger på oversiden av dekkekonstruksjonen (Invisible connections AS, 2020a, s. 389).



Figur 4.6 (Invisible connections AS, 2020a) «Snitt av Invisible Connections BWC»

Kapasiteten ved innfestningen er 60kNm i moment og 70kN i skjærkraft. Utkragningslengden på balkongen bestemmes av antall slike braketter og dimensjonen på stålbjelken som sveises fast i disse (Invisible connections AS, 2020a).

I overgangen fra boltene til stålplaten med den påsveisete stålbjelken, monteres det en tette mansjett. Som man kan se i figur 4.7, er denne overgangen er lagt i sjiktet med vindtettingen til ytterveggen. Når klimaveggen er ferdig tettet fra utsiden og mansjettene er montert, kan stålbjelkene monteres, og deretter fasaden. Produsenten av løsningen forutsetter at det tettes med fugemasse eller et annet tettingsprodukt i overgangen fra fasade til stålbjelkene. Dette er illustrert i figur 4.8 og er viktig for å sikre to-trinns tetting. Det prefabrikkerte balkongelementet kan monteres helt til slutt, slik at dette ligger på utsiden av fasaden og dermed ikke punkterer klimaskallet (Invisible connections AS, 2019a, s. 6-7).



Figur 4.8 (Invisible connections AS, 2019a)
«Indre vanntetting»



Figur 4.7 (Invisible connections AS, 2019a)
«Ytre vanntetting»

5. Konseptstudie

Hensikten med dette konseptstudiet er å utvikle mer konkrete og spesifiserte løsninger for utkragede balkonger. Dette gjøres basert på funnene og forutsetningene fra mulighetsstudiet, samt med grunnlag i relevant teori. I konseptstudiet er målet å gå i dybden på utformingen av de mulige løsningene, utvikle nøyaktige konsepter for utkragede balkongløsninger og vurdere løsningene slik at det kan avgjøres hvilken løsning som egner seg best til implementering i reelle prosjekter.

5.1. Vurderingskriterier

For å vurdere de ulike løsningene som er undersøkt, er det blitt definert tre vurderingskriterier. Kriteriene er valgt basert på de konstruksjonstekniske detaljene ved utformingen av løsningene, og med hensyn til faktorer som er viktige for utførelse på byggeplass.

Statikk

Vurderingskriteriene under statikk innebærer en kvantitativ kontroll av brudd- og bruddgrensekriterier, samt en kvalitativ vurdering av kompleksiteten. Kontroll av brudd- og bruksgrensekriteriene er en forutsetning for at løsningene skal være mulige å benytte i et reelt

prosjekt. Vurderingen av kompleksiteten vil være knyttet til detaljene rundt knutepunktet. Tilleggsarmering og andre detaljer som må føres mellom og rundt andre deler, vil føre til ekstra arbeid og høyere produksjonskostnader (Lysberg, 2020, s. 115).

Bygningsfysikk

Det andre vurderingskriteriet er bygningsfysikk. I denne oppgaven innebærer dette kuldebro og tettingsdetaljer. Det er viktig å begrense varmetap i nye konstruksjoner for å sikre byggets energieffektivitet og et godt inn klima. Samtidig er det viktig for byggets kvalitet at det er tett og verken har luftlekkasjer eller vanninntrenging. Vurderingen av kuldebrodetaljene blir gjort på grunnlag av resultater fra beregninger av kuldebroverdier for hver av løsningene. Tett detaljene blir vurdert kvalitativt med grunnlag i teori rundt tetteprinsipper.

Praktiske forhold

Det siste vurderingskriteriet er praktiske forhold, som vil si forhold ved utførelse av balkongløsningene. Dette innebærer transport, montasje, tilpasninger som må gjøres i bæresystemet og konsekvenser for fremdrift. Løsningen skal gjennomføres av en entreprenør, som også er opptatt av hvordan selve byggeprosessen vil påvirkes ved å implementere en slik balkongløsning i et prosjekt. De praktiske forholdene vurderes på grunn av konsekvensene de kan få for andre viktige forhold som byggetid, økonomi og fremdrift. Kompleksiteten ved transport og montasje vil ha stor betydning for blant annet byggetid og økonomi. Tilpasninger av bæresystemet omhandler de tiltakene som må gjøres for at balkongløsningene skal kunne implementeres i prosjektet. De praktiske forholdene vurderes kvalitativt, da dette er faktorer som i denne oppgaven ikke kan tallfestes.

5.2. Arbeidsprosess

Beregningsprosessen som er gjennomført for å kontrollere løsningen i brudd- og bruksgrensetilstand har vært en iterativ prosess. Resultatene herfra har gitt dimensjonene og utformingen til løsningene. I bruddgrense er det kontrollert for moment og skjær i relevante snitt, og i bruksgrense er det kontrollert for nedbøyning. I bruddgrense er dimensjonerende moment benyttet til å finne nødvendig tverrsnittshøyde ved hjelp av formelen for betongens trykkapasitet. Det er også valgt å tilpasse betongen med en delvis utnyttet trykksone, for å unngå et dekke med for store nedbøyninger. Gjennom kontrollene er nødvendig

armeringsmengde og dimensjoner bestemt. Lastvirkningene er beregnet ved hjelp av dataprogrammet Robot og utklipp med verdier er vedlagt i vedlegg A. For knutepunkter er det ved hjelp av relevant beregningsteori kontrollert for at innfestninger tåler den belastningen de blir påført.

Kuldebroberegninger er gjennomført i dataprogrammet THERM. Først er hver løsning modellert i THERM med alle detaljer, der hver tilstøtende del er avgrenset én meter fra knutepunktet. Detaljene som er brukt kommer fra preaksepterte løsninger for vegg- og gulvoppbygging fra Byggforskserien. Dimensjonene som er benyttet for balkongløsningene er tatt fra den statiske dimensjoneringen av balkongen for 2,5 meter utkraging. For hver løsning er det gjennomført beregninger for de ulike snittene langs innfestningen. Resultatet i hvert snitt er lagt sammen til en verdi, der snittene er vektet med hensyn til total bredde av hvert snitt. Disse snittene tar derimot ikke hensyn til varmetapet som skjer i dybden på grunn av varmeledning mellom de ulike snittene. Dette gjør at kuldebroverdien kan bli noe lavere enn ved en tredimensjonal beregning, men det gir likevel et godt sammenligningsgrunnlag ettersom det gjennomføres likt i alle beregninger og forankres i relevant teori.

Alle resultater knyttet til praktiske forhold er det som har kommet frem gjennom tekniske beregninger, informasjon fra leverandører og arbeidstegninger, og den logiske rekkefølgen som vises gjennom disse tegningene. Det er gjort kvalitative vurderinger basert på dette grunnlaget.

5.3. Resultater

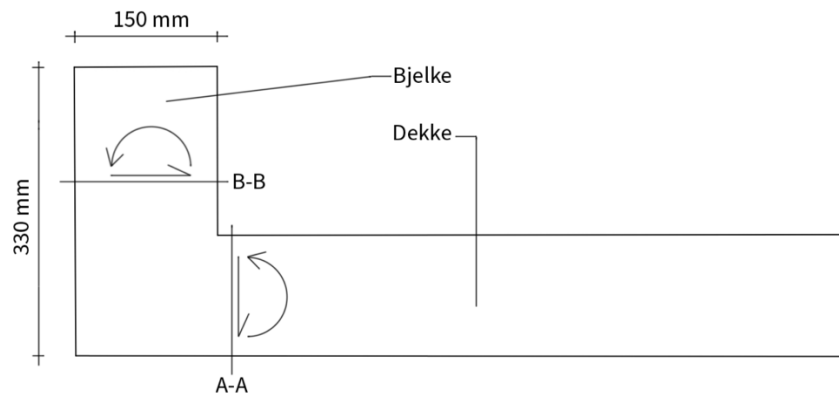
I denne delen av oppgaven vil resultatene fra konseptstudiet presenteres. Resultatene er basert på kvantitative beregninger og kvalitative analyser basert på prinsipper fra teori. Beregningene som er gjennomført kan finnes i vedlegg E.

Løsning 1a

Denne løsningen er basert på løsning 1 i mulighetsstudiet og er utviklet innenfor forutsetningene som ble etablert der.

Statikk

Bruddgrense



Figur 5.1 «Snitt L-formet element»

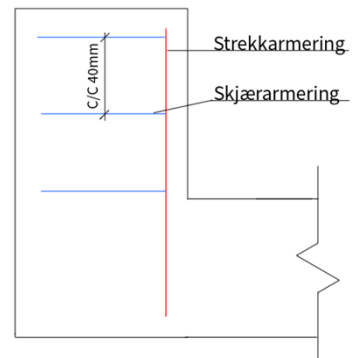
Det er kontrollert flere snitt i konstruksjonen, og oppgitte tabellverdier i tabell 5.1 er maksimalt moment og skjærkraft ved opplegg. Verdien er oppgitt som moment og skjærkraft per meter. Balkongene er dimensjonert med en bredde på 5 meter. Løsningen sees på som en sammensetning av en bjelke og et dekke. Dekket er dimensjonert etter momentet i overgangen fra bjelke til dekke, 0,15 meter fra teoretisk opplegg. Dette vises ved snitt A-A i figur 5.1. Bjelken har dimensjonene 330mm x 150mm i alle utkragingstilfeller. Dekketykkelsen er varierende for utkragingstilfellene. Bjelken har en kapasitet i trykksonen på omtrent 2 ganger momentet, og dekket har en kapasitet på omtrent 5 ganger momentet.

Utkraging	M_{Ed}	V_{Ed}	Dekketykkelse
2,0m	26,5 kNm/m	33 kN/m	170mm
2,5m	43,0 kNm/m	38,5 kN/m	200mm
2,7m	52,2 kNm/m	41,6 kN/m	220mm

Tabell 5.1 «Lastvirkninger løsning 1a»

Lengdearmeringen er den eneste armeringen i dekket som er dimensjonert. Øvrig armering vil bli lagt inn som minimumsarmering for å unngå riss. Dekket har strekk i overkant, så

hovedarmering blir liggende øverst i toppen. Armeringen som er dimensjonert i bjelken er illustrert i figur 5.2. Strekkarmeringen i bjelken har som funksjon å gi tverrsnittet både momentkapasitet og gjennomlokkingskapasitet ved festepunktene. Skjærarmeringen i bjelken er nødvendig, da skjærkraften overstiger konstruksjonens skjærkapasitet uten skjærarmering. Dette er kontrollert ved å dele maksimalt moment ved innspenning på avstanden mellom festepunktet i topp og bunn. Dette gir skjærkraften i bjelken, som vil være konstant hele veien. Denne verdien ble kontrollert ved det smaleste punktet på bjelken, som snitt B-B markerer i figur 5.1. Skjærarmeringen per snitt er gitt i tabell 5.2 som antall armeringsjern med diameter. Senteravstanden er avstanden mellom hvert snitt med skjærarmering.



Figur 5.2 «Armering bjelke»

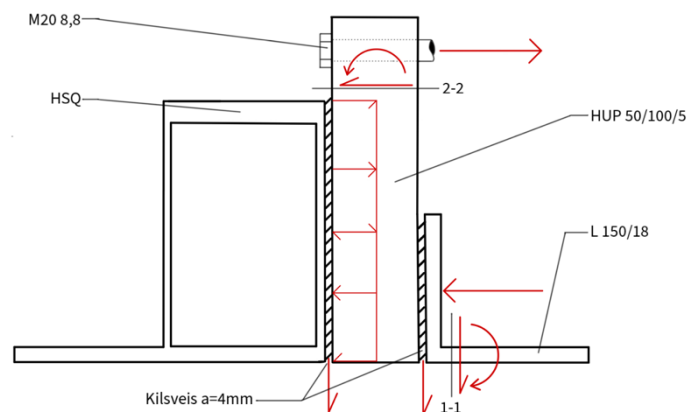
Utkragning	Lengdearmering	Stekkarmering bjelke	Skjærarmering bjelke
2,0m	Ø10C140	Ø10C50	13 Ø6 C40
2,5m	Ø10C100	Ø10C50	20 Ø6 C40
2,7m	Ø10C90	Ø10C50	25 Ø6 C40

Tabell 5.2 «Armering løsning 1a»

Knutepunktet er kontrollert for å tåle det maksimale momentet og skjærkraften. De ulike snittene som er kontrollert er vist på figur 5.3. Vinkelen er kontrollert for skjærkraft og moment i hjørnet, tydeliggjort i snitt 1-1 i figur 5.3. Sveisen mellom vinkelen og HUP-profilet er kontrollert for skjærkraften. HUP-en er kontrollert for moment og skjærkraft ved toppen av HSQ-en, der sveisen slutter. Dette er vist i snitt 2-2 i figur 5.3. Dette på grunn av strekkraften i bolten. Sveisen mellom HSQ- og HUP-profil er kontrollert for kraftparet grunnet moment, kombinert med skjærkraft. Her er det sjekket ved strekksiden av kraftparet, i toppen av sveisen. I bunnen av sveisen vil det være trykk grunnet momentet, så her vil skjærkraften virke alene. Alle sveiser har dybde 4mm. Bolten er kontrollert for strekkraften grunnet moment. Gjennomlokkingskapasiteten til balkongbjelken blir dimensjonerende for senteravstanden til knutepunktene. Senteravstanden varierer med utkragingslengden og står oppført i tabell 5.3. Styrken til betongen med strekkarmering er ikke nok, så det er nødvendig med

gjennomlokkingsarmering i tillegg. Mengden gjennomlokkingsarmering som er nødvendig for å oppnå høy nok kapasitet er svært høy, og reduksjonen grunnet overlappende kontrollsnitt er usikker. Det er derfor valgt å ikke inkludere denne mengden. Størrelser på komponentene i knutepunktet er like for alle utkragingslengder og er oppgitt i figur 5.3.

Utkraging	Senteravstand
2,0m	900mm
2,5m	600mm
2,7m	500mm

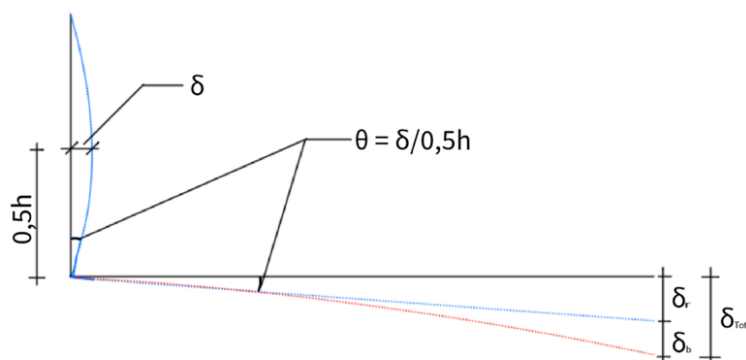


Tabell 5.3 «Senteravstand braketter løsning 1a»

Figur 5.3 «Snitt brakett løsning 1a»

Bruksgrense

Nedbøyningene er beregnet som en kombinasjon av nedbøyninger i balkongdekket (δ_b) og rotasjon i balkongbjelken (δ_r), slik det er skissert i figur 5.4. Nedbøyningene i dekket er beregnet med egenlast og rekkverk som langtidslast og full nyttelast som korttidslast. Rotasjonen av bjelken er beregnet med fullt bruksgrensemoment, medregnet langtidseffekter. Her er utbøyningen midt på bjelken grunnet bruksgrensemoment beregnet. Denne verdien er brukt for å finne rotasjonen av bjelken, som igjen er brukt til å finne nedbøyningen ytterst på balkongdekket. Total nedbøyning, del-nedbøyning og grenser for de ulike utkragingslengdene er gitt i tabell 5.4.



Figur 5.4 «Nedbøyningsform L-formet element»

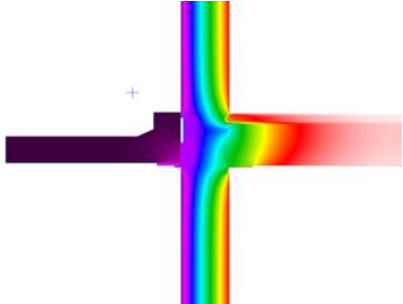
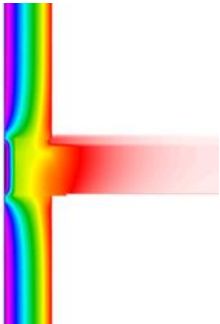
Utkraging	δ_r	δ_b	Nedbøyning δ_{Tot}	Nedbøyningskrav
2,0m	0,5mm	11,9mm	12,4mm	13,3mm
2,5m	0,8mm	15,8mm	16,6mm	16,7mm
2,7m	1,2mm	16,2mm	17,4mm	18,0mm

Tabell 5.4 «Nedbøyning løsning 1a»

Bygningsfysikk

Kuldebro

Løsningen er snittet gjennom hulprofilet, midt i bolten og helt utenom braketten for å finne varmetapet med balkong. Differansen mellom varmetapet (U) uten balkong og med balkong gir oss følgende kuldebroverdi, oppført i tabell 5.5.

Kuldebroverdi Ψ		$\Delta U = 0,3681 \text{ W/mK}$
<u>Varmetap med balkong</u>		<u>Varmetap uten balkong</u>
		

Tabell 5.5 «Kuldebroverdi løsning 1a»

Tetting

Denne konstruksjonen har en noe komplisert geometrisk utforming og består av mange ulike elementer. Brakettene perforerer vindsperreren på undersiden av elementet og tetting rundt disse vil kreve nøye planlegging av for å unngå lekkasjer.

Praktiske forhold

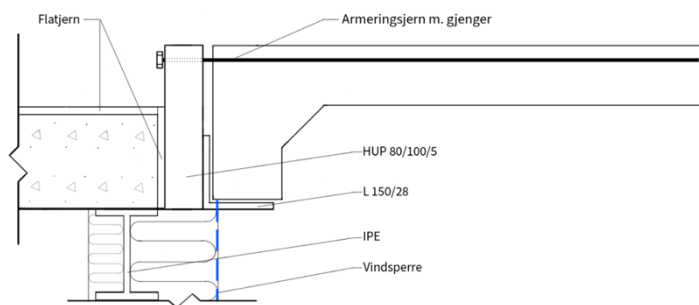
Størrelsen på elementene til denne løsningen vil ikke overskride maksimal lastbredde på 3,25 meter. Dette gjør at elementene kan fraktes liggende og gjør løfteoperasjonen på byggeplass enklere, da de kan løftes direkte av kjøretøyet.

Denne løsningen har en relativt enkel og lite tidskrevende montasjeprosess. Balkongelementet løftes på plass og festes i braketter på HSQ-bjelken i en arbeidsoperasjon. Forarbeidet som må gjøres er å sveise braketter til HSQ-bjelken, samt å montere forankringsløsning, enten i form av flattjern eller innstøpte jern.

Denne balkongløsningen vil kunne monteres rett etter bæresystemet er montert. Klimavegger bygges i ettertid rundt balkongløsningen, slik tegninger beskriver (Vedlegg B). Løsningen vil dermed ikke ha stor påvirkning på fremdriften utover at klimavegger og tetting må tilpasses balkongløsningen. Som det kommer frem under resultatene fra de bygningsfysiske beregningene vil tetting av denne løsningen være noe mer kompleks. Dette kan påvirke fremdrift under bygging, og kan være mer tidkrevende under planlegging. Løsningen krever lite tilpasning i bæresystemet. De eneste tiltakene løsningen forutsetter er en HSQ-bjelke på alle ender av bygningen, hvor balkongløsningen skal monteres, og gjenstøpte kanaler der flattjernet skal festes i hulldekket.

Løsning 1b

Løsning 1b er en videreutvikling av løsning 1a. Endringer er gjort der det er funnet forbedringspotensialer ved løsning 1a. Den første endringen er å snu balkongdekket opp ned, slik at bjelken går ut fra dekket nedover. Dette er gjort for å kunne forankre strekk-boltene i betongen som innstøpte armeringsjern. Dermed blir gjennomlokking ikke lenger et problem ettersom den utstikkende delen av bjelken i underkant nå tar trykk. Det gjøres enda en endring, denne gangen for å forbedre kuldebroverdien. Det er valgt å bytte ut HSQ-bjelken med en underliggende IPE-bjelke. Samtidig legges det inn et flattjern med en vinkel ned langs innvendig dekkekant for å ta momentstrekket og opplagerkraften i vertikal retning. Dette er gjort for å kunne sette inn et større HUP-profil i knutepunktet. Ved å gjøre dette, blir det plass til mer isolasjon mellom dekkekant og vindsperre, samtidig som det blir mindre stål i konstruksjonen, noe som vil forbedre kuldebroverdien og redusere varmetapet. En konseptskisse av den forbedrede løsningen er vist i figur 5.5. Resultater som er like som for løsning 1a blir ikke presentert på nytt.

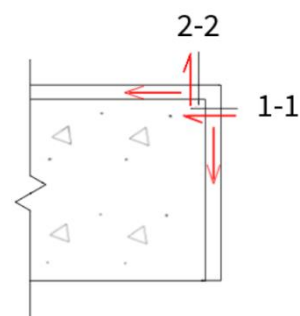


Figur 5.5 «Snitt av løsning 1b»

Statikk

Ved å snu balkongen og forankre strekkbolten med et innstøpt jern, istedenfor en bolt gjennom bjelken, har det blitt mulig å øke senteravstanden mellom innfestingene. Senteravstanden for de ulike utkragingslengdene er oppført i tabell 5.6, sammen med boltstørrelse og størrelse på flattjernet. Momentet og skjærkraften vil være de samme som før da det ikke er gjort noen endringer på lastsituasjonen. Alle laster er plassert like langt fra bygget som tidligere, de er kun flyttet vertikalt, og snittene som er kontrollert er de samme som i løsning 1a. Ved å øke senteravstanden har noen av komponentene i selve innfestingen økt i dimensjon. Dette er for å stå imot den økte belastningen på hver komponent. Sveisen mellom HUP-profilet og flattjernet er økt til 6mm. Komponenter i knutepunktet som har lik størrelse for alle utkragingslengder er oppført i figur 5.5.

Flattjernet med vinkel ned langs betongkanten er kontrollert for skjærkraft i vinkelen, både horisontalt og vertikalt, som illustrert som snitt 1-1 og 2-2 i figur 5.6. Det er og kontrollert for strekkraft i vinkel og selve flattjernet. Det er antatt at hjørnet er rotasjonsfritt, da det ikke er festet før et stykke inn på dekket. Vinkelen må ha en litt større tykkelse for å tåle den horisontale skjærkraften, 1-1. Det er derfor angitt to forskjellige høyder i tabell 5.6, for delen som står vertikalt, og flattjernet på oversiden.



Figur 5.6 «Flatjern langs dekkekant»

<i>Utkraging</i>	<i>Senteravstand</i>	<i>Bolt</i>	<i>Flattjern</i>
<i>2m</i>	1500mm	M24, 8.8	10/16
<i>2,5m</i>	1200mm	M27, 8.8	12/18
<i>2,7m</i>	1000mm	M27, 8.8	12/18

Tabell 5.6 «Knutepunkt løsning 1b»

Mengden med strekkarmering i bjelken er redusert, da det ikke er behov for armering mot gjennomlokking. Nedbøyningen til balkongen øker noe, ettersom rotasjonen i bjelken blir større. Dette er grunnet mindre armering i bjelken og fordi strekkjernet havner noe høyere opp når det skal ligge med overkantarmring. Lengdearmeringen i 2,5 meter utkraget balkong er økt ved å senke senteravstanden til 95mm. Dette for å fremdeles ligge innenfor nedbøyningskravet. Tabell 5.7 viser nedbøyning for de ulike utkragingslengdene, samt mengden strekk- og skjærarmring i bjelken.

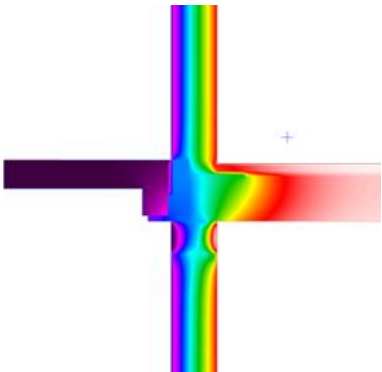
<i>Utkraging</i>	<i>Nedbøyning</i>	<i>Nedbøyningskrav</i>	<i>Strekkarmering</i>	<i>Skjærarmring</i>
<i>2m</i>	13,0	13,3	Ø10 C130	13 Ø6 C40
<i>2,5m</i>	16,4	16,7	Ø10 C75	20 Ø6 C40
<i>2,7m</i>	17,8	18,0	Ø10 C60	25 Ø6 C40

Tabell 5.7 «Armering og nedbøyninger løsning 1b»

[Bygningsfysikk](#)

Kuldebro

Ved å snu elementet, fjerne HSQ-bjelken og dermed redusere antall innfestningspunkter har kuldebroverdien blitt betraktelig forbedret, og ny verdi er oppført i tabell 5.8. Endringene har gitt plass til mer isolasjon og samtidig redusert mengden av stål i konstruksjonen. Kuldebroverdien er differansen mellom varmetap med og uten balkong. Vegg- og gulvoppbygningen rundt balkongløsningen er ikke endret fra løsning 1a.

Kuldebroverdi Ψ		$\Delta U = 0,2243 \text{ W/mK}$
<u>Varmetap med balkong</u>		<u>Varmetap uten balkong</u>

Tabell 5.8 «Kuldebroverdi løsning 1b»»

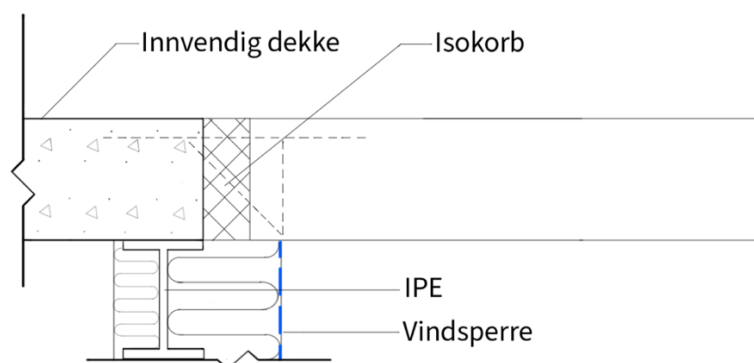
Tetting

Eneste forskjell fra løsning 1a er at denne løsningen vil ha færre forankringspunkter. Dette gir færre punkter hvor løsningen bryter vindsperren. Den geometriske utformingen til løsningen er fortsatt noe kompleks, som gir en økt risiko for lekkasjer.

Praktiske forhold

Ved å fjerne HSQ-bjelken kreves det at det støpes igjen hulldekkekanaler i dekkekant der trykkraften blir ført inn i dekket, samtidig må kanaler i områder hvor flattjernet skal festes i hulldekket støpes igjen. Dette er de eneste endringene i bæresystemet som løsningen medfører.

Løsning 2



Figur 5.7 «Snitt av løsning 2»

Denne løsningen er basert på løsning 2 i mulighetsstudiet. Den baserer seg på et element med innstøpt Isokorb som støpes fast i innvendig dekke, som vist i figur 5.7. Det er to ulike løsninger

for montering av denne løsningen. Der hulldekkene ligger parallelt med dekkekant byttes ytterste dekke med et plattendekke som Isokorb-elementet støpes fast i på byggeplass. Dersom hulldekkene ligger vinkelrett på dekkekant kan armeringsjernene støpes inn i kanaler på hulldekket. I begge tilfeller er løsningen avhengig av en underliggende IPE-bjelke langs dekkekanten.

Statikk

Bruddgrense

De dimensjonerende lastvirkningene ble kontrollert i det mest kritiske snittet ved innspenningen, og verdier for dimensjonerende moment og nødvendig dekketykkelse er gitt i tabell 5.9.

<i>Utkragning</i>	M_{Ed}	V_{Ed}	<i>Dekketykkelse</i>
2,0m	27,1 kNm/m	34,7 kN/m	180mm
2,5m	42,9 kNm/m	37,9 kN/m	200mm
2,7m	52,1 kNm/m	43,6 kN/m	220mm

Tabell 5.9 «Lastvirkninger løsning 2»

Lengdearmeringen ble dimensjonert i henhold til eurokode 2. Ingen av tilfellene hadde behov for skjærarmering i betongtverrsnittet. Ut fra dimensjonerende moment, skjærkraft og tverrsnittshøyde, ble det valgt en spesifikk Isokorb. Det er imidlertid mulig å gjøre mange forskjellige valg, som vil påvirke kuldebroverdien og rotasjon ved innspenning. Valget som ble gjort tok utgangspunkt i kontinuerlig lengde med Isokorb langs hele kanten av balkongen, og vises i tabell 5.10. Den nødvendige forankringslengden ble for alle tilfellene beregnet til rundt 320mm. Alle Isokorb-elementene har en større lengde enn den nødvendige forankringslengden.

<i>Utkragning</i>	<i>Armering</i>	<i>Isokorb type</i>
2,0m	Ø10 C 170	K40-CV35-V6-H180
2,5m	Ø10 C 120	K60-CV35-V8-H200
2,7m	Ø10 C 110	K60-CV35-V8-H220

Tabell 5.10 «Armering løsning 2»

Bruksgrense

Første iterasjon av beregningene ga nedbøyningsverdier som ikke var langt unna det valgte nedbøyningskravet. Da denne løsningen støpes fast på byggeplass med understøttelse av midlertidige støttesøyler, velges det å montere elementene med overhøyde for å motvirke ugunstig nedbøyning. Slik det er nevnt i teoridelen av denne oppgaven, er det normalt med overhøyde på inntil 10mm for elementer med Isokorb. Nedbøyning og minimum overhøyde for å oppnå nedbøyningskravet for de ulike utkragingslengdene er innført i tabell 5.11.

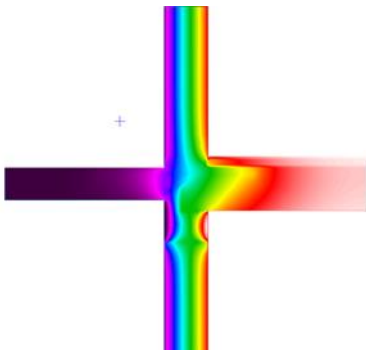
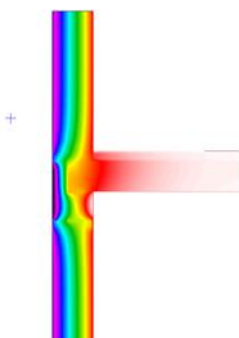
Utkragning	Nedbøyning	Nedbøyningskrav	Min. Overhøyde
2,0m	19,0mm	13,3mm	5,7mm
2,5m	25,9mm	16,7mm	9,2mm
2,7m	26,3mm	18,0mm	8,3mm

Tabell 5.11 «Nedbøyning løsning 2»

Bygningsfysikk

Kuldebro

Bygningsfysiske beregninger er gjort basert på dimensjonene for 2,5 meter utkraging som er funnet ved dimensjonering. Beregning av varmetapet med balkong er gjort ved å legge sammen varmetapet i ulike snitt av løsningen. Denne løsningen er snittet gjennom armering i Isokorben og utenom armeringen i Isokorben. Differansen mellom varmetap uten balkong og med balkong gir oss kuldebroverdien som er vist i tabell 5.12.

Kuldebroverdi Ψ	$\Delta U = 0,1761 \text{ W/mK}$
<u>Varmetap med balkong</u>	<u>Varmetap uten balkong</u>
	

Tabell 5.12 «Kuldebroverdi løsning 2»

Tetting

Denne konstruksjonen har en enkel geometrisk utforming, som gjør planlegging og utførelse av tettedetaljer enklere. Det er kun ett gjennomgående element som det må tettes rundt. Overgangen mellom elementet og ytterveggen kan enkelt beskyttes med en membran med oppbrett og beslag. Dette minsker risikoen for lekkasje og vanninntrengning.

Praktisk forhold

Utformingen av denne løsningen, med armeringsjern som stikker ut, gjør at elementer som skal krage ut over 2,5 meter vil overskride maksimal lastbredde ved transport. Dette gjør at elementene må fraktes stående. Som en konsekvens av dette må elementene løftes i to steg, først av transportkjøretøyet og deretter løftes flatt til montasjeplassering. Som en konsekvens øker denne ekstra operasjonen den nødvendige krantiden. I tillegg er det en risiko for å skade elementene i det de legges ned og dermed svekke bestandigheten på grunn av avskalling eller annet som reduserer overdekningen til armeringen.

Under montering må balkongelementet understøttes av midlertidige søyler frem til Isokorbelementet er støpt fast og betongen er tilstrekkelig herdet. Støttene benyttes også til å stille inn høyden og eventuelt overhøyden til elementet.

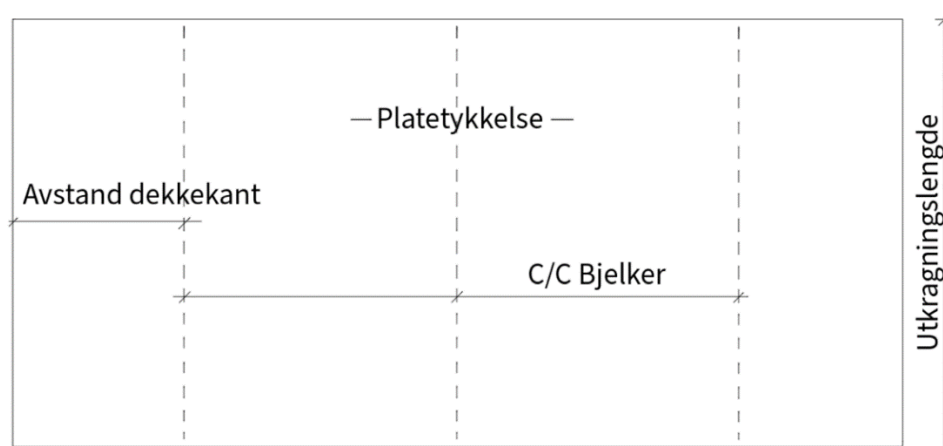
Denne løsningen har som beskrevet en Isokorb med utstikkende armering som må støpes fast og forankres i innvendig hulldekke eller plattendekke. Ved innstøping i hulldekke kreves det at det forberedes spor i dekkene som armeringen kan legges i. I tillegg må bjelken som hulldekkene legges opp på være underliggende, slik at armeringsjernene fra balkongen kan føres inn i hulldekkene. Dersom løsningen monteres der hulldekkene ligger parallelt med dekkekant må det ytterste dekket byttes med et plattendekke. Dette er en stor tilpasning som må gjøres i bæresystemet.

Denne løsningen vil kunne ha konsekvenser for fremdriften dersom de midlertidige søylene står i veien for at annet arbeid kan igangsettes.

Løsning 3 - Invisible Connections

Statikk

Utformingen til balkongen og dimensjoner på dekket er hentet en rapport om tynne balkongdekker som er utarbeidet av Olav Olsen på vegne av IC. Verdiene er oppsummert i tabell 5.13. Figur 5.8 viser en forklaring av de forskjellige målene som er gitt i tabell 5.13.



Figur 5.8 «Balkongdekke Invisible Connections»

Utkragningslengde	Antall BWC	C/C Bjelker	Avstand til dekkekant	Platetykkelse
2,0m	3 stk	1,83m	670mm	89mm
2,5m	3 stk	1,83m	670mm	89mm
2,7m	4 stk	1,49m	530mm	89mm

Tabell 5.13 (Kristensen, 2018, s. 8) «Utforming av løsning 3»

Dimensjoneringen av de utkragede stålbjelkene ble gjort med grunnlag i analyse utført av IC. For den minste utkragningslengden var det tilstrekkelig med bjelker av typen HUP 200x100x10. De to lengste balkongene måtte dimensjoneres med bjelker av typen IPE 240, for å treffe innenfor det valgte nedbøyningskravet. Nedbøyningen i tabell 5.14 er kun nedbøyningen i stålbjelken, ikke betongplaten (Invisible connections AS, 2019b).

Utkragningslende	Stålprofil	Nedbøyning	Nedbøyningskrav
2,0m	HUP 200x100x10	12,70mm	13,3mm
2,5m	IPE 240	16,49mm	16,7mm
2,7m	IPE 240	17,86mm	18,0mm

Tabell 5.14 (Invisible connections AS, 2019b) «Nedbøyning av stålbjelker løsning 3»

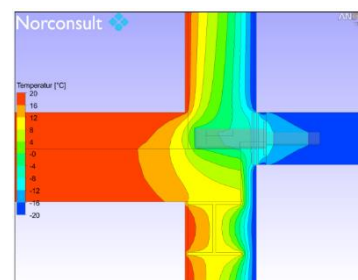
Bygningsfysikk

Kuldebro

Invisible Connections viser til en rapport som er gjennomført av Norconsult for kuldebroverdi ved deres løsninger. Norconsult har gjennomført beregninger for en løsning som ligner på den som benyttes i denne oppgaven. Figur 5.9 viser et utklipp fra varmestrømberegningen og tabell 5.15 gir kuldebroverdien. Løsningen som beregningene tar utgangspunkt i består av en gjennomgående stålbjelke som er innstøpt i innvendig dekke og balkongelementet. Forskjellen er at selve innfestningen til løsningen som benyttes i denne oppgaven vil være festet i en HSQ-bjelke med flattjern i overkant. Denne løsningen gir likevel en referanse på kuldebroverdi fra en BWC løsning med innfestning i hulldekke, og kuldebrobryter fra IC (Andersen & Venås, 2010, s. 1-2).

Type	Kuldebroverdi Ψ
BWC 40 - 265	$\Delta U = 0,25 \text{ W/K}$

Tabell 5.15 «Kuldebroverdi løsning 3»



Figur 5.9 (Andersen & Venås, 2010) «2D-varmestrømning BWC»

Tetting

Som beskrevet i mulighetsstudiet benytter løsningen fra Invisible Connection fugemasse og tettemansjetter for to-trinnstetting. Løsningen har flere geometriske endringer og bryter tettesjikt både i fasade og vindspærre, på grunn av bolter i innfestningen og bjelken som går gjennom fasaden (Invisible connections AS, 2019a, s. 6-7). Dette gjør at løsningen har en komplisert geometrisk utforming, og som beskrevet under teori gir dette en økt risiko for lekkasjer.

Praktiske forhold

Betongelementene vil maksimalt ha størrelsen 2,7 meter x 5 meter. Dette er innenfor maksimal lastbredde, og vil ikke medføre noen problemer for transport. Balkongdekkene kan løftes i en operasjon, men montasjen til løsningen vil likevel måtte gjøres i flere steg. Først må sveiseplaten med kuldebryter sveises til HSQ-bjelken når bæresystemet er montert. Deretter må klimaveggen bygges slik at vindsperresjiktet går i ett med det ytre sjiktet i kuldebryteren, hvor det legges en tettemansjett rundt de gjennomgående boltene. Deretter må bjelkene festes i innfestningen. Til slutt må balkongdekkene løftes på plass, etter at stillas er fjernet. Denne prosessen er relativt enkel, men krever at ulike aktører tar på seg disse ulike oppgaven eller at montasjearbeidere gjennomfører disse operasjonene stegvis. Løsningen krever ingen tilpasning i bæresystemet utover en HSQ-bjelke langs dekkeanten. Denne løsningen vil dermed ha liten påvirkning på fremdrift utover koordinering og logistikk rundt gjennomføring av montasjen i flere steg.

5.4. Diskusjon

Sammenlikning av løsningene blir gjort på grunnlag av resultatene i konseptstudiet og funnene fra mulighetsstudiet. Målet er å velge en løsning som det er ønskelig å utforske videre og sammenligne med skråstagsløsning i case. I caset vil den valgte løsningen bli tilpasset rammene av et reelt prosjekt.

Statikk

Statikkberegningene viser at alle løsningene fungerer og er mulige løsninger. Løsning 1a er den mest kompliserte av løsningene når det gjelder statikk og selve betongutformingen. L-formen til balkongen gjør at armeringen i overgangen fra balkongdekke til balkongbjelke blir svært komplisert for et prefabrikkert element. I tillegg er gjennomlokkingskapasiteten til balkongbjelken lav, noe som fører til at det er nødvendig med store mengder skjærarmering i bjelken. Dette krever en tilpasning for å være praktisk gjennomførbar uten store økonomiske konsekvenser. Dette problemet løses i løsning 1b ved å snu elementet, slik at strekkbolten i knutepunktet kan forankres i betongen i hele balkongdekkets utkraging. Utover dette har løsning 1b den samme kompliserte utformingen som løsning 1a. Løsning 2 har derimot en enklere utforming. Balkongdekket har konstant tykkelse og armeringsjern fra Isokorben ligger i samme plan som armeringsjernene fra balkongen. Dette fører til en trinnløs overføring av

strekraften i knutepunktet. Isokorben er et ferdig produkt som støpes inn i balkongdekket. Forankringslengden som er nødvendig på innsiden er kort, og det er god plass til dette i bredden til et standard 2,4 meter plattendekke. Dette gjør prefabrikeringen for denne løsningen relativt enkel. Løsningen 3 gir en lett konstruksjon, som består av flere komponenter. Knutepunktet er produsert i sin helhet av IC og leveres som ferdig produkt. Produksjon av knutepunktet og stålkomponentene i denne løsningen er derfor uproblematisk. Det er kompleksiteten ved løsningene som skiller dem. Løsning 2 og løsningen 3 er relativt enkelt utformet, og er derfor enkle å produsere. Løsning 1a er noe komplisert og krever tilpasninger. Løsning 1b løser dette ved å snu elementet, men løsningen har fortsatt en komplisert utforming.

Bygningsfysikk

Løsningene vurderes på kuldebroverdier og tettingsdetaljer. Løsning 1a har den høyeste kuldebroverdien, som er nesten det dobbelte av løsning 2 og 3. Løsning 2 og 3 er relativt like, men med usikkerhet i 2D-utregningen og ettersom løsning 3 ikke har en verdi for nøyaktig den modellen som er benyttet, er det vanskelig å fastslå hvilken løsning som faktisk er best på dette området. Løsning 1a har en høy kuldebroverdi på grunn av antall knutepunkt og mengden stål i knutepunktet. Dette stålet tar opp stor plass i etasjeskilleren og gir lite plass til isolasjon. Løsning 1b forbedrer dette ved å fjerne HSQ-en og sette inn en IPE-bjelke under dekket. Da kan knutepunktet flyttes lenger inn i etasjeskilleren og størrelsen på HUP-en økes. Dette gir mer plass til isolasjon mellom dekkekant og balkongelementet. Disse tilpasningene gir løsning 1b en kuldebroverdi som ligger mellom løsning 2 og løsning 3.

Som beskrevet i relevant teori om tetting, er det en fordel at gjennomføringer har en enkel geometri og at antall kompliserte detaljer begrenses til et minimum. Tetteløsningen til løsning 3 er relativt kompleks ettersom den består av mange detaljer for å oppnå tilstrekkelig tetthet og har en variert geometrisk utforming langs veggen. Vann som renner langs utsiden av vindsperran vil derfor kunne trenge seg inn i yttervegger gjennom utettheter i mansjetten. Løsning 1a, 1b og 2 er relativt like i tettetdelene fra oversiden. Her bryter balkongen vindsperresjiktet på en rett linje over hele balkongbredden. Dette er en enkel utforming som gjør det enklere å få en god tetthet i overgangen. Et eksempel på en slik løsning er vist i figur 3.4 i teoridelen av oppgaven. Denne figuren viser en fuktsikker overgang mellom klimavegg

og balkong med membran og beslag. Fra undersiden er løsning 1a og 1b noe mer komplisert, da alle vinklene fra brakettene stikker ut av vindspærresjiktet. Dette medfører en økt risiko for lekkasje og krever derfor ekstra god kontrollsikring av detaljene.

Praktiske forhold

For løsning 1a, 1b og 3 vil balkongelementet kunne transporteres liggende for alle undersøkte utkragninger. Dette gir kortere krantid på byggeplassen, ettersom det kun vil kreve én løfteoperasjon fra lasteplanet. For løsning 2 må de største elementene transporteres stående på lastebil. Dette vil kreve et større areal for avlastning på byggeplassen før elementene kan løftes videre opp i liggende stilling. Løsning 3 vil også kreve flere løfteoperasjoner da denne består av flere stålbjelker og et balkongdekke som monteres stegvis. Som resultat av dette vil montasjekostnadene øke ettersom krantid er en stor faktor for disse kostnadene.

Løsning 2 vil ha behov for midlertidige støttesøyler frem til betongen er tilstrekkelig herdet, slik som vist i figur 5.10. Dette vil være en ulempe for andre faggrupper som skal utføre arbeid rundt balkongene, siden disse vil ta opp mye plass. Løsning 1a og 1b har en fordel ved at de kan monteres ferdig samtidig med bæresystemet. Det vil dermed være lite påvirkning på andre faggrupper ved disse løsningene, annet enn tettearbeidet ved



Figur 5.10 (Reiersen et al., 2020) «Midlertidige søyler»

Ulempen ved utførelsen av løsning 1a og 1b er at forarbeidet består av mange detaljer som vil kunne være tidkrevende. Det samme gjelder for løsning 3. Her er det i tillegg mange stegvise arbeidsoppgaver som skal utføres i ulike faser av byggeprosjektet. Dette medfører et større behov for god planlegging i samspill med andre faggrupper.

Tilpasningene som må gjøres i bæresystemet er relativt like for løsning 1a og 3. Her vil det kun være behov for en HSQ-bjelke langs dekkekannten som brakettene kan sveises fast i. Løsning 2 krever derimot større endringer i bæresystemet, spesielt på den siden av bygningen der hulldekkene ligger parallelt med dekkekannten og det må legges inn et plattendekke. Løsning

1b krever kun et flattjern med vinkel på oversiden av hulldekkeelementene for å kunne monteres, og er dermed den løsningen som krever minst tilpasning i bæresystemet.

Tabell 5.16 gir en oppsummering av fordelene og ulempene ved de ulike løsningene.

<u>Oppsummering av løsningene</u>		
Løsning 1a		
Kriterier	<u>Fordeler</u>	<u>Ulemper</u>
Statikk		Kompleks utforming på betongelementet Mye tilleggsarmering for gjennomlorking
Bygningsfysikk		Høy kuldebroverdi. Komplisert tettedetaljering, grunnet kompleks utforming
Praktiske forhold	Enkel montasje og frakt, ingen ekstra påvirkning på fremdrift. Lite tilpasning av bæresystem	
Løsning 1b		
Kriterier	<u>Fordeler</u>	<u>Ulemper</u>
Statikk	Få innfestningspunkter	Kompleks utforming på betongelement
Bygningsfysikk	God kuldebroverdi	Komplisert tettedetaljering på grunn av utforming
Praktiske forhold	Enkel montasje og frakt, ingen ekstra påvirkning på fremdrift Svært liten tilpasning i bæresystemet	
Løsning 2		
Kriterier	<u>Fordeler</u>	<u>Ulemper</u>
Statikk	Enkel utforming	
Bygningsfysikk	Lav kuldebroverdi og enkel tetting	
Praktiske forhold		Komplisert montasje, påvirker fremdrift og krever tilpasning i bæresystem
Løsning 3		
Kriterier	<u>Fordeler</u>	<u>Ulemper</u>
Statikk	Liten kompleksitet	Mye stål
Bygningsfysikk	Lav kuldebroverdi	Kompleks tetting
Praktiske forhold	Liten tilpasning i bæresystem og gunstig å transportere Balkongene hindrer ikke produksjon av klimavegg og fasade	Montasje stegvis i flere operasjoner Tilpasning i bæresystemet med HSQ-bjelke

Tabell 5.16 «Oppsummering av konseptstudiet»

5.5. Konklusjon av konseptstudiet

Løsning 1a er en lite utprøvd løsning som viser seg å ha flere forbedringspotensialer. Ved å analysere problemene ved løsning 1a ble løsning 1b utviklet. Her ble problematikken rundt gjennomlokking ved boltene løst, noe som førte til at løsningen hadde behov for færre braketter. Dette forbedret også kuldebroverdien betraktelig. På samme måte som løsning 1a, har løsning 1b relativt små konsekvenser for fremdriften på byggeplass. Dette er derimot en ulempe med løsning 2, som må understøttes i hele herdeperioden. Denne understøttingen vil føre til ulemper i fremdriftsplanleggingen. Løsning 2 krever også ulike dekker i bæresystemet i bygget, noe som vil gjøre både planlegging og utførelse komplisert. Løsning 3 består av mange komponenter og vil kreve en stegvis montasje. Dette vil kreve nøye planlegging for å dra fullt nytte av fordelene ved løsningen. Forarbeidet ved løsning 1b og løsning 3 er relativt likt når det gjelder montasje av braketter. Siden løsning 1b består av færre komponenter, noe som kan muliggjøre en mer effektiv montasje, anses denne som den mest hensiktsmessige løsningen.

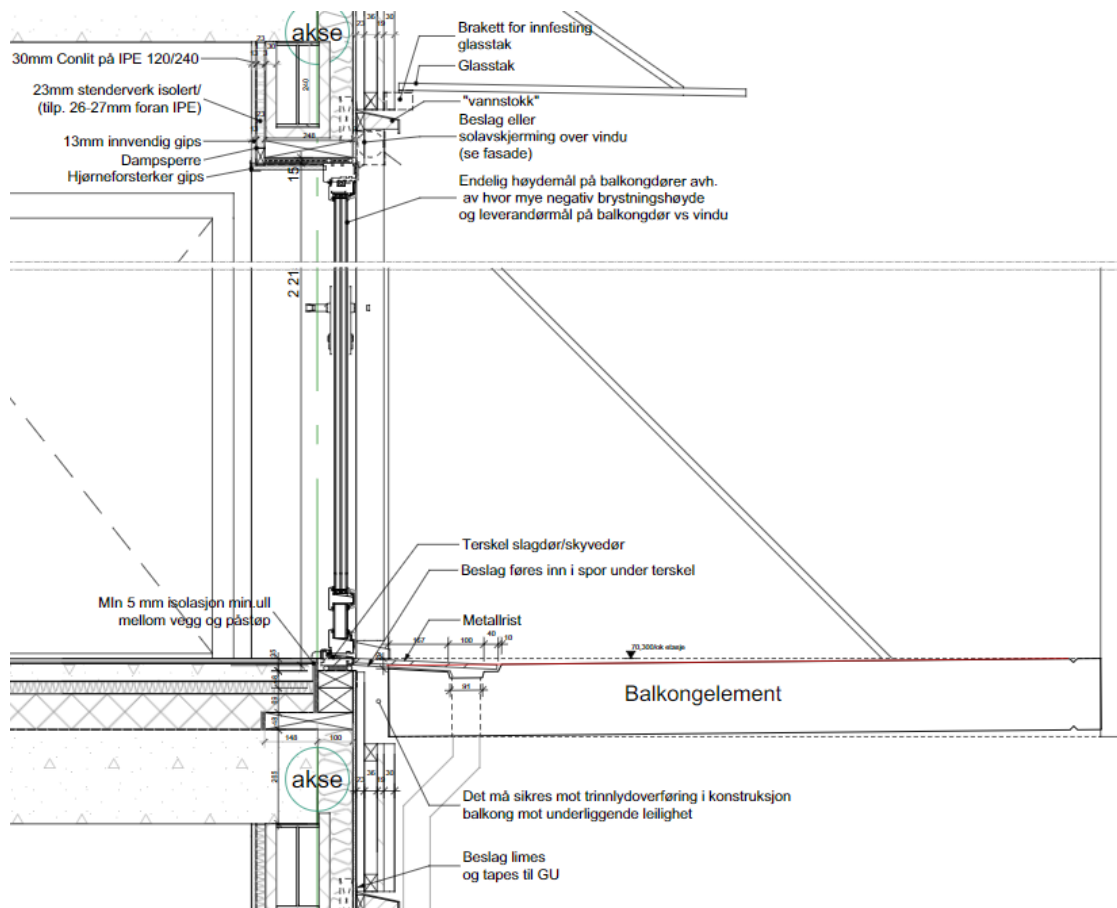
6. Casestudie

Hensikten med dette casestudiet er å implementere den løsningen som ble valgt i konseptstudiet inn i et reelt prosjekt, for deretter å sammenligne løsningen med nåværende løsning i prosjektet. Formålet er å se om det dukker opp noen problemer som ikke er belyst tidligere i oppgaven, for deretter å vurdere om den valgte løsningen er en attraktiv erstatning av løsningen i prosjektet.

6.1. Presentasjon av case

Løsning 1b skal implementeres i boligprosjektet Vario. Dette er et boligprosjekt på Ensjø Torg i Oslo, der Skanska Norge er både byggherre og entreprenør. Prosjektet er i prosjekteringsfasen og foreløpig prosjekteringsgrunnlag er stilt til disposisjon for denne oppgaven. Vario er en boligblokk på 9 etasjer, med 73 balkonger (Skanska Norge, 2021). Det er flere ulike balkongløsninger på prosjektet. Utgangspunktet for alle løsningene er balkonger med skråstag, som ligger på utsiden av fasaden. Noen av balkongene er trukket inn i bygningskroppen og noen er plassert i et hjørne i fasaden. I disse tilfellene er det mulig å bære balkongen med skjulte søyler. I denne oppgaven fokuseres det derimot på balkongene med

skråstag som ligger utenpå fasaden. Den største balkongen på prosjektet er 2 meter dyp, og 4,5 meter bred. Det er denne balkongen som vil bli benyttet som sammenligningsgrunnlag i caset og utklipp av balkongen fra 3D-modellen er vist i vedlegg D. Detaljer rundt balkongløsningen vises i figur 6.1.



Figur 6.1 (Vedlegg D) «Balkong med skråstag»

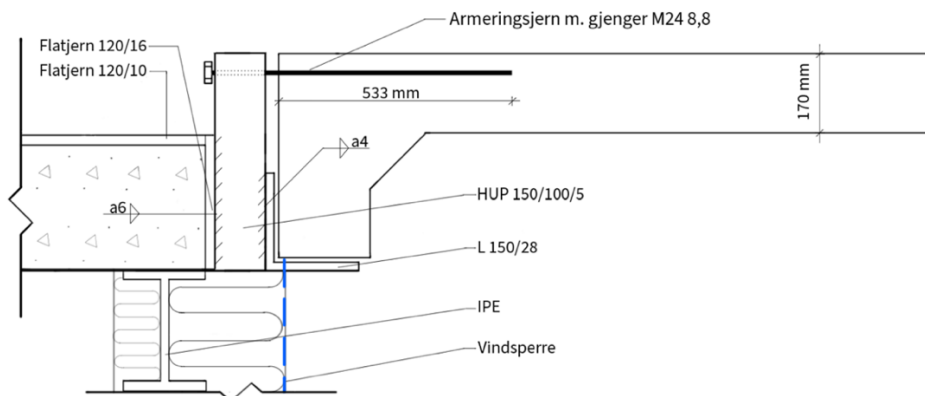
6.2. Tilpasning av løsning 1b i case

Tilpasningene som må gjøres ved implementering av løsningen i casestudiet er hovedsakelig størrelsen på balkongen. Dette innebærer kun små endringer fra konseptstudiet hvor det er beregnet for en balkong med henholdsvis 2 meter utkraging og 5 meter bredde. Denne bredden endres i caset til 4,5 meter. Moment og skjærkraft i beregningene er gitt som last per meter bredde og derfor trenger de ikke å sjekkes på nytt, ettersom lastsituasjonen vil være lik. For at løsningen skal gi en trinnløs overgang fra innvendig gulv til utvendig gulv, er det mulig at det må legges et tremmegulv på balkongen.

6.3. Resultater

Løsning 1b

Resultatene viser dimensjoner og verdier som er beregnet etter at løsning 1b er tilpasset størrelsene og forutsetningene som er gitt av caset.



Figur 6.2 «Snitt av Løsning 1b i casestudiet»

Statikk

Ved å endre balkongbredden til 4,5 meter er det kun nødvendig med tre braketter med en senteravstand på 1500mm, der den ytterste braketten har en avstand på 750mm fra balkongens sidekant. Dette gir verdier for størrelser på komponenter i braketter og dekketykkelse som gitt i figur 6.2.

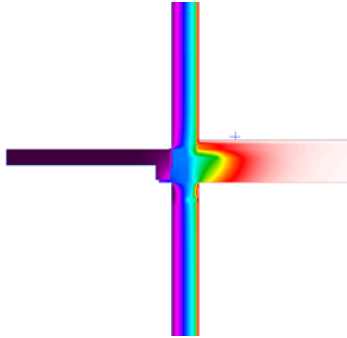
Bygningsfysikk

Etter at løsningen tilpasses detaljene som vises i figur 6.1, endrer dimensjonene for løsningen seg noe. Det er mer plass til isolasjon mellom dekkekant og element, og kuldebroen brytes bedre. Vegg mellom innfestningene er fortsatt tilnærmet uendret. Det er kun tre innfestninger som fører til et økt varmetap i konstruksjonen. Dette gir en lav kuldebroverdi etter implementeringen i casestudiet, som vist i tabell 6.1. Tettingsdetaljene vil være like som i konseptstudiet.

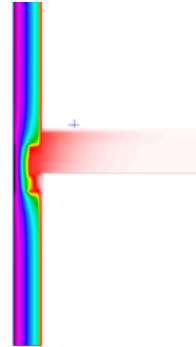
Kuldebroverdi Ψ

$\Delta U = 0,0282 \text{ W/mK}$

Varmetap med balkong



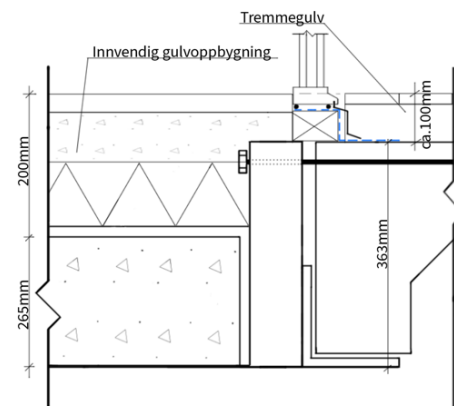
Varmetap uten balkong



Tabell 6.1 «Kuldebroverdi for løsning 1b i case»

Praktiske forhold

Figur 6.3 viser balkongens høyde i forhold til innvendig gulvoppbygning slik den er i prosjektet. Ferdig balkonghøyde blir liggende ca. 100mm under ferdig innvendig gulv, etter implementering i caset. For å oppnå trinnløs ferdsel mellom innvendig og utvendig gulv, kan det bygges et tremmegulv på balkongdekket.



Figur 6.3 «Løsning 1b gulvoppbygning»

Balkongløsning med skråstag

Statikk

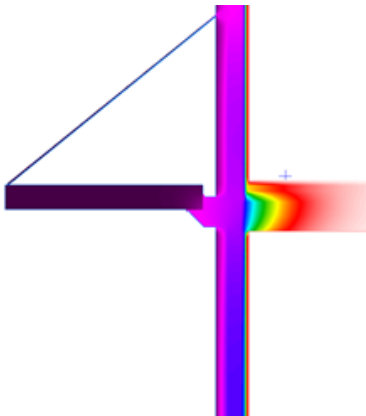
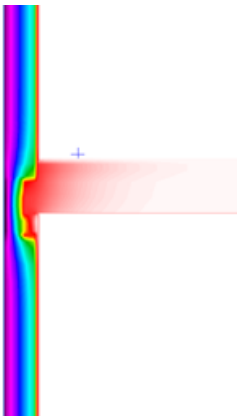
Løsningen består av et flatt balkongelement med fire opplagerpunkter. Det er to festepunkter for skråstag på hver side av elementet, og to konsoller som er festet i innvendige søyler. Konsollene består av sirkulære hulprofiler med en stålvinke som balkongelementet legges på. Balkongelementet holdes fast mot horisontal forflytting av det sirkulære hulprofilet som sitter fast i konsollen. Illustrasjoner av et lignende konsollprodukt er vedlagt i vedlegg C. Balkongelementet til løsningen er 220mm tykk.

Bygningsfysikk

Kuldebro

Skråstagløsningen har som nevnt to opplagerpunkt på konsoller av stål som er festet i en innvendig stålsøyle, samt innfestning til skråstagene. Dette gir et stort tilleggsvarmetap

gjennom disse punktene. Fordelt på balkongbredden blir derimot den totale kuldebroverdien likevel lav, ettersom vegg mellom innfestningene er tilnærmet uendret og gir god plass til isolering. Differansen er gitt i tabell 6.2, sammen med et varmekart for etasjeskillet med og uten balkong.

Kuldebroverdi Ψ	$\Delta U = 0,02421 \text{ W/mK}$
<u>Varmetap med balkong</u>	<u>Varmetap uten balkong</u>
	

Tabell 6.2 «Kuldebroverdi for balkong med skråstag i case»

Tetting

Denne løsningen vil i overkant tettes med et beslag. Ved innfestningene vil vindsperreren trekkes mellom element og vegg, men brytes av konsollene som balkongen legges opp på. Dette må bygges rundt og teipes for å sørge for tilstrekkelig tetthet. Det samme gjelder rundt innfestningen til skråstagene. Utformingen og detaljene til løsningen gir noe mer komplisert tetting, og krever som nevnt en del bruk av teip for å få en tett vindsperre.

Praktiske forhold

Størrelsen på balkongen i Vario overskrider ikke den maksimale lastbredden på 3,25 meter, noe som gjør at elementene kan fraktes liggende. Dette gjør løfteoperasjonen på byggeplass enklere, ettersom elementene kan løftes direkte av kjøretøyet og monteres. Denne løsningen har derfor en relativt enkel og lite tidskrevende montasjeoperasjon. Balkongelementet løftes på plass og festes i braketter på stålsøylene i en arbeidsoperasjon. Skråstagene monteres i den samme arbeidsoperasjonen, slik at balkongen er festet i de fire festepunktene. Forarbeidet som må gjøres innebærer å sveise braketter til stålsøylen og justere lengden på skråstagene slik at de er klare til montasje.

Balkongløsningen kan monteres både rett etter bæresystemet og etter klimaveggene er ferdig bygget. I begge tilfellene legges vindsperren bak balkongelementet slik figur 6.1 viser. Dersom balkongen monteres før klimaveggene bygges har ikke løsningen stor påvirkning på fremdriften, utover at veggene og tettingen må tilpasses balkongløsningen. Ved montering etter at klimavegger er ferdig bygget må detaljer og toleranser rundt balkongelementet tilpasses og kontrolleres nøye, ettersom det er vanskelig å justere i ettertid. Dette gir merarbeid med kontroller og for prosjektering. Total montasjetid vil være lenger for prefab leverandør ved montering av balkonger etter klimavegger er ferdigstilt (Vedlegg C).

Løsningen krever en tilpasning i bæresystemet ved at det må ha stålsøyler for innfesting av skråstag. Ferdig balkonghøyde blir liggende 29mm under ferdig innvendig gulv. Dette er med sluk ved innvendig kant av balkongen, samt fall ned mot dette punktet. Øverste punkt på balkongen ligger i samme høyde som innvendig gulv.

6.4. Diskusjon

Statikk

Kompleksiteten rundt detaljene til innfestningene er omtrent like for begge løsningene. Løsning 1b har tre braketter som må sveises fast i en vinkel, og skråstagsløsningen har to konsoller som elementet legges opp på og to fester til skråstagene som må sveises i stålsøyler. Løsningene er forskjellige når det kommer til betongelementene. Skråstagsløsningen har et enkelt utformet betongdekke. Løsning 1b har mer kompleks utforming med en L – form, noe som gjør at armering og produksjon av elementet blir mer komplisert.

Nedbøyningen til løsningene er ulike. Løsning 1b er en utkrager med maks nedbøyning ytterst på dekket, og skråstagsløsningen er fritt opplagt med maks nedbøyning midt på balkongen i tverretning. Skråstagsløsningen har blitt prosjektert inn i flere prosjekter av Skanska Norge. Den er godt utprøvd og mindre utsatt for nedbøyning enn en utkraget løsning. Løsning 1b er ikke en etablert løsning slik som skråstagsløsningen, men tilfredsstillende alle de undersøkte kravene under statikk.

Bygningsfysikk

Som resultatene viser gir løsningen med skråstag en noe lavere kuldebroverdi, men begge balkongløsningene har en relativt lik kuldebroverdi. Begge løsningene har få

innfestningspunkter, og forblir relativt uendret mellom innfestningene. Dette gjør at konstruksjonen kun får et lite tilleggsvarmetap i balkongbredden på grunn av knutepunktene.

Løsningene er relativt like når det kommer til tetting. Løsning 1b bryter vindspærren i en linje langs hele elementet, hvor tettingen løses ved hjelp av membran og beslag i overkant. På undersiden må det tilpasses og teipes rundt stålvinklene i braketten. Skråstagløsningen bryter vindspærren med hvert innfestningspunkt, som består av to konsoller og to fester for skråstag. Rundt disse punktene må vindspærren tilpasses, og det må teipes rundt. I overkant ser skråstagløsningen relativt lik ut med et beslag langs hele elementet. Begge bryter vindspærren og det krever noe teiping og tilpasning av vindspærren. En liten ulempe med skråstagsløsningen er at to av punktene hvor vindspærren brytes er over elementet på veggen, og løses kun ved å teipe rundt innfestningene. Dette gjør at risikoen for lekkasjer blir noe større for balkongløsningen med skråstag.

Praktisk

I teoridelen av oppgaven er det vist til at krantid er dyrt, og at færre løft minker faren for skader på elementet. Størrelsen på begge balkongløsningene gjør at de kan fraktes liggende og dermed løftes direkte til montasje på byggeplass. Løsningene stiller dermed likt når det gjelder transport og montasje.

Løsning 1b må monteres før vindspærren, i motsetning til skråstagløsningen som kan monteres både før og etter vindspærren monteres ettersom vindspærren blir liggende bak balkongelementet. Dette gir en noe større fleksibilitet, men dersom balkongene monteres etter ferdig fasade gir det noen praktiske konsekvenser. Rekkverk må blant annet monteres uten stillas på plass, noe som gir mye arbeid i høyden. I tillegg vil det være nødvendig med tilpasning av detaljene rundt balkongelementet, samt nøye gjennomføring av kontroller av toleranser. Det fører dermed til en del merarbeid å montere balkongen etter klimavegg er ferdig, samtidig som det gir lenger montasjetid. Dette betyr at fleksibiliteten som løsningen med skråstag gir er relevant, men kommer også med ulemper og dermed er det ikke nødvendigvis en stor fordel ved denne løsningen.

Tilpasninger av bæresystemet vil føre til merarbeid og økte kostnader. Løsning 1b vil gi noe arbeid med å støpe igjen kanaler som skal ta strekk og trykk fra innspenningen. Skråstagsløsningen må ha stålsøyler i ytterveggen for å feste skråstagene. Dimensjonene på

søylene varierer med vinkelen på skråstagene. Løsningen med skråstag vil dermed føre til endringer i bæresystemet som påvirker oppbyggingen av veggen. Løsning 1b vil kun gi en endring inne i hulldekket, ved at kanaler må støpes igjen. Løsning 1b er dermed den løsningen som krever minst tilpasning ettersom bæresystemet ikke må bygges opp rundt løsningen. Den krever kun at IPE-bjelken hulldekkene legges opp på er underliggende, noe som allerede gjøres i prosjektet.

En faktor som ikke er belyst tidligere er overgangen fra innvendig gulv til utvendig gulv. Innvendig gulv har en relativt høy oppbygning og det er dermed nødvendig å bygge opp den utvendige balkongen for å oppnå trinnløs ferdsel. Dette er viktig for at bygget skal tilfredsstillende krav til universell utforming. I løsningen med skråstag er dette gjort ved å feste konsollen i søylen, istedenfor i dekkeanten. På denne måten kan den lett justeres i høyden. For løsning 1b må balkongen festes i dekkeant for å forankre momentet. Dette gjør at denne løsningen blir låst i en fast høyde i forhold til hulldekkene. For å komme opp i riktig høyde må det derfor bygges et tremmegulv på balkongen. Dette gir merarbeid og krever ekstra materialer. En annen mulighet kan være å øke høyden på balkongbjelken og knutepunktet. Dette må i så fall kontrolleres med moment og skjær i HUP-profilet og rotasjon i balkongbjelken. Fordelene og ulempene som er diskutert ved løsningen er oppsummert i tabell 6.3.

<u>Oppsummering av løsningene</u>		
Løsning 1		
Kriterier	<u>Fordeler</u>	<u>Ulemper</u>
Statikk		Kompleks utforming på betongelementet
Bygningsfysikk	Lav kuldebroverdi	Kompleks tetting, men kun langs element
Praktiske forhold	Enkel montasje og frakt, ingen ekstra påvirkning på fremdrift Lite tilpasning av bæresystem	Må bygges opp med tremmegulv eller høyere balkongbjelke og konsoll Gjenstøping av kanaler i hulldekket
Skråstag		
Kriterier	<u>Fordeler</u>	<u>Ulemper</u>
Statikk	Enkel utforming	
Bygningsfysikk	Lav kuldebroverdi	Kompleks tetting, med to punkter over element
Praktiske forhold	Enkel montasje	Tilpasning av bæresystem med søyler

Tabell 6.3 «Oppsummering av casestudiet»

7. Konklusjon

Målet med denne oppgaven har vært å undersøke om det finnes en hensiktsmessig måte å bygge utkragede balkonger i et bæresystem av hulldekker, og vurdere løsningen opp mot nåværende praksis med skråstag på balkongene.

Oppgaven har kommet frem til at det er flere mulige løsninger for å bygge utkragede balkonger i bæresystem av hulldekker. Løsningene har ulike fordeler og ulemper, og egner seg best i ulike tilfeller. Løsningen med Isokorb som støpes fast i innvendig dekke utmerker seg på kriteriene statikk og kuldebroverdi, men gir derimot en lang montasjetid. Dette må det være mulig å ta hensyn til dersom den skal benyttes på et prosjekt. Løsningene med L-formet element utmerker seg på praktiske forhold, samtidig løser løsning 1b problemene som løsning 1a hadde under statikkresultatene og gir samtidig en god kuldebroverdi. Løsning 3 er en etablert løsning som fungerer godt, den har gode resultater på alle kriterier, men må monteres i flere steg. Dersom et prosjekt har fleksibiliteten til å montere denne løsningen i flere steg er dette et godt alternativ. Alle løsningene fungerer basert på de kriteriene som er benyttet i denne oppgaven.

Bakgrunnen for denne oppgaven har vært å finne en hensiktsmessig balkongløsning uten skråstag for bæresystem av hulldekke. Det har derfor vært naturlig å sammenligne en løsning med balkongløsningen med skråstag. Resultatene i casestudiet viser at løsning 1b med L-formet balkongelement og skråstagsløsningen gir relativt like resultater. Begge løsningene gir gode kuldebroverdier, og er praktisk gjennomførbare. De skiller seg derimot noe på statikk-kriteriet, hvor løsningen med L-formet element har en mer kompleks utforming som gir mer komplisert produksjon. Det er også vanskeligere å justere høyden på elementet til løsning 1b i forhold til innvendig gulv, og det er derfor nødvendig med et tremmegulv på balkongen for å oppnå trinnløs ferdsel. Den største forskjellen er likevel at den utkragede balkongen gir mulighet til å bygge uten synlige skråstag.

Basert på de kriteriene som er vurdert i denne oppgaven er det mulig å konkludere med at løsning 1b med L-formet element er et godt alternativ til en balkong med skråstag. Det er fortsatt faktorer, blant annet økonomi, riss og vibrasjoner, som ikke er vurdert for løsningene. Derfor bør løsningene videre undersøkes og utprøves før det er mulig å fastslå om den L-formede balkongen faktisk kan erstatte balkongløsningen med skråstag.

8. Litteraturliste

- Abdalla, M. M., Oliveira, L. G. L., Azevedo, C. E. F. & Gonzalez, R. K. (2018). Quality in qualitative organizational research: Types of triangulation as a methodological alternative. *Administração: ensino e pesquisa*, 19(1).
<https://doi.org/10.13058/raep.2018.v19n1.578>
- Alexander, S. (2010). *Betongelementboken: Bind A: Bygging med betongelementer*. Betongelementforeningen.
- Algaard, E. & Høsøien, C. O. (2008). *Betongelementboken: Bind E: Isolasjon, varme og lyd*. Betongelementforeningen.
- Andersen, A. & Venås, B. (2010). *Varmestrømsberegning av balkonginnfesting med CFD*. Norconsult. <https://www.invisibleconnections.no/?s=notat>
- Autodesk. (u.å.-a). *Detailed Analysis*. <https://knowledge.autodesk.com/support/robot-structural-analysis-professional/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2023/ENU/RSAPRO-UsersGuide/files/GUID-4CFF0420-7C35-4859-8BDC-4440DA3F91BF-htm.html> [17.03.2022]
- Autodesk. (u.å.-b). *Generate a computational model*. <https://knowledge.autodesk.com/support/robot-structural-analysis-professional/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Robot/files/GUID-DDBFAAE0-BB2B-4674-B918-A79F9B8DF446-htm.html> [17.03.2022]
- Autodesk. (u.å.-c). *Robot Structural Analysis Professional*. <https://www.autodesk.no/products/robot-structural-analysis/overview#features> [17.03.2022]
- Con-form. (u.å.). *Dekker*. <https://www.con-form.no/dekker/category963.html> [21.03.2022]
- Contiga AS. (u.å.). *Hulldekker*. <https://www.contiga.no/no/Hulldekker> [21.03.2022]
- Davison, B. & Owens, G. W. (2011). *Steel Designers' Manual: The Steel Construction Institute (7th Edition)*. I. John Wiley & Sons.
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A19MP6/steel-designers-manual/barriers>
- Edvardsen, K. I. & Ramstad, T. (2018). *Trehus (2. utgave)*. SINTEF akademisk forlag.
- Einstabland, H. (2010). *Utkraget trebalkong (526.411)*. SINTEF Byggforsk.
https://www.byggforsk.no/dokument/414/526411_utkraget_trebalkong
- Geving, S. (2008). *Yttervegger over terreng. Egenskaper og konstruksjonsprinsipper. Krav og anbefalinger (523.002)*. SINTEF Byggforsk.
https://www.byggforsk.no/dokument/348/yttervegger_over_terreng_egenskaper_og_konstruksjonsprinsipper_krav_og_anbefalinger#i5
- Gripsrud, G., Olsson, U. H. & Silkoset, R. (2016). *Metode og dataanalyse: beslutningsstøtte for bedrifter ved bruk av JMP, Excel og SPSS (Bd. 3)*. Cappelen Damm akademisk.

- Gustavsen, A., Thue, J. V., Blom, P., Dalehaug, A., Aurlien, T., Grynning, S. & Uvsløkk, S. (2008). *Kuldebroer - Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk* (B21394). SINTEF.
https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prosjektrapport_25.pdf
- HALFEN. (2021). *HALFEN HIT Insulated Connection: Technical Product Information*.
<https://www.halfen.com/uk/807/product-ranges/construction/reinforcement-systems/halfen-hit-insulated-connection/product-information/?category=4>
- Hjelseng, G. V. (2014). *Plasstøpt vs. prefabrikkert betong: Valg av løsning* [Masteroppgave]. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
https://ntnuopen.ntnu.no/ntnuxmlui/bitstream/handle/11250/233214/755526_FULTEXT01.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Hjorth-Hansen, S. (2018). *Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946 (471.008)*. SINTEF.
https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946#i4
- Hole, I. & Aurlien, T. (2013). *Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall (520.401)*. SINTEF Byggforsk.
https://www.byggforsk.no/dokument/4110/lufttetting_av_bygninger_framgangsmaate_for_aa_oppnaa_lavt_lekkasjetall#i42
- Invisible connections AS. (2019a). *Balkong/svalgang-forbindelser*. I. Invisible connections AS,. <https://www.invisibleconnections.no/category/produkter/balkong/>
- Invisible connections AS. (2019b). *MEMO 756D: BWC 40 UH Nedbøyning Og Lastevne (191216A)*. <https://www.invisibleconnections.no/category/designverktøy/#balkong-teknisk-info>
- Invisible connections AS. (2020a). *MEMO 750: Veiledning BWC - Utkraget (2001034A)*.
<https://www.invisibleconnections.no/category/designverktøy/#balkong-teknisk-info>
- Invisible connections AS. (2020b). *MEMO 751: Balkonglaster - Deformasjonskrav (20001101A)*. <https://www.invisibleconnections.no/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=7688>
- Krohn, H. V. J. C. (2009). *Balkonger. Utbedring, utvidelse og utskifting (726.605)*. SINTEF Byggforsk.
https://www.byggforsk.no/dokument/695/balkonger_utbedring_utvidelse_og_utsifting
- Larsen, P. K. (2014). *Konstruksjonsteknikk: Laster og bæresystemer* (2. utgave. utg.). Fagbokforlaget Vigmostad og Bjørke AS.
- Lawrence Berkeley National Laboratory. (u.å.). *THERM*.
<https://windows.lbl.gov/software/therm> [03.02.2022]
- Lysberg, M. (2020). *Betongelementboken: Bind C: Elementer og knutepunkter*. Betongelementforeningen.
- Maage, M. (2015). *Betong; regelverk, teknologi og utførelse*. Byggenæringens forlag.

- Reiersen, J.-E., Alexander, S., Elvestuen, Å., Fosse, H., Injar, J., Lysberg, M., Ruud, B., Vestbekken, R. & Øverlid, S. (2020). *Betongelementboken: Bind G: Transport og montasje*. Betongelementforeningen.
- Roggema, R. (2016). Research by Design: Proposition for a Methodological Approach.
- Røykenes, K. (2008). Metodetriangulering—et metodisk minefelt eller en berikelse av fenomener. *Sykepleien forskning*, 3(4), 3.
<https://sykepleien.no/forskning/2009/03/metodetriangulering-et-metodisk-minefelt-eller-en-berikelse-av-fenomener>
- Schlunk, L. (2020). *Utforming av balkonger og terrasser i boliger (361.501)*. SINTEF.
https://www.byggforsk.no/dokument/149/utforming_av_balkonger_og_terrasser_i_boliger
- Schlunk, L. & Elvebakk, K. (2019). *Fuktsikre dørterskler til balkonger og svalganger med betongdekke (523.733)*. SINTEF.
[https://www.byggforsk.no/dokument/5205/fuktsikre doerterskler til balkonger og svalganger med betongdekke#i4](https://www.byggforsk.no/dokument/5205/fuktsikre_doerterskler_til_balkonger_og_svalganger_med_betongdekke#i4)
- Schöck. (2014). *Technical Information Schöck Isokorb®*.
<https://www.schoeck.com/no/nedlastinger/eyJjYXRIZ29yeSI6eyI3Ijo3fX0>
- Skanska Norge. (2021). Varior. <https://www.ensjo-torg.no/vario/#prosjektet> [10.05.2022]
- Spenncon. (u.å.). *Etasjeskiller*. <https://spenncon.no/produkter/etasjeskiller/> [22.03.2022]
- Standard Norge. (2009). *Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-8: Knutepunkter og forbindelser (NS-EN 1993-1-8:2005+NA:2009)*.
- Standard Norge. (2015). *Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger (NS-EN 1993-1-1:2005+A1:2014+NA:2015)*.
- Standard Norge. (2016). *Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner (NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016)*.
- Standard Norge. (2017). *Kuldebroer i bygningskonstruksjoner: Varmestrømmer og overflatetemperaturer: Detaljerte beregninger (ISO 10211:2017)*.
- Standard Norge. (2018). *Universell utforming av byggverk - Del 2: Boliger (NS 11001-2:2018)*.
- Standard Norge. (2019). *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-1: Allmenne laster, Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger (NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019)*.
- Standard Norge. (2021a). *Bygningers energiytelse: Beregning av energibehov og energiforsyning (SN-NSPEK 3031:2021)*.
- Standard Norge. (2021b). *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger (NS-EN 1992-1-1:2004+A1+NA)*.
- Standard Norge. (u.å.). *Eurokoder*. <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/> [30.03.2022]
- Statens vegvesen. (2021a). *Trucker's guide for kjøring i Norge*.
https://www.vegvesen.no/globalassets/kjoretøy/yrkestransport/truckersguide/donnadiesel_truckersguide_2021-web-no.pdf

Statens vegvesen. (2021b). *Vegliste 2021; Spesialtransport*.

<https://www.vegvesen.no/globalassets/kjoretoy/yrkestransport/veglister/riksveg---vegliste-spesialtransport---oktober-2021.pdf>

Systemblokk. (u.å.). *Plattendekker*.

<https://systemblokk.no/proff/dekkeretasjeskillere/plattendekke/> [22.03.2022]

Sørensen, S. I. (2013). *Betongkonstruksjoner: Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2* (2. utgave). Fagbokforlaget.

Vinje, L. (2016). *Betongelementboka: Bind B: Avstivning og kraftoverføring*. Betongelementforeningen.

9. Vedlegg

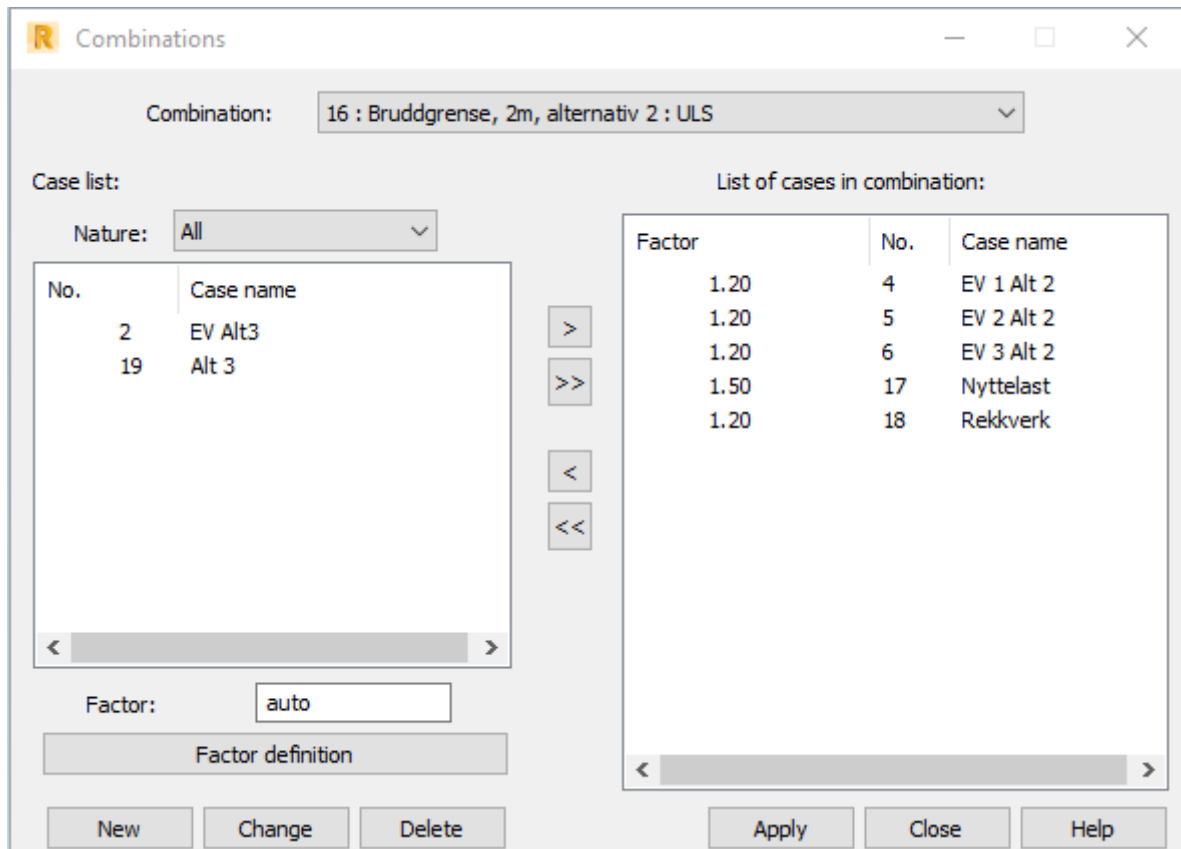
Vedlegg A	–	Robotberegninger	1
Vedlegg B	–	Tegninger fra Contiga	21
Vedlegg C	–	Personlig kommunikasjon	24
Vedlegg D	–	Tegninger fra Vario	29
Vedlegg E	–	Excelark med beregninger	Egen fil
Vedlegg F	–	Vibrasjonskontroll av Contiga	33

9.1. Vedlegg A - Robotberegninger

Løsning 1

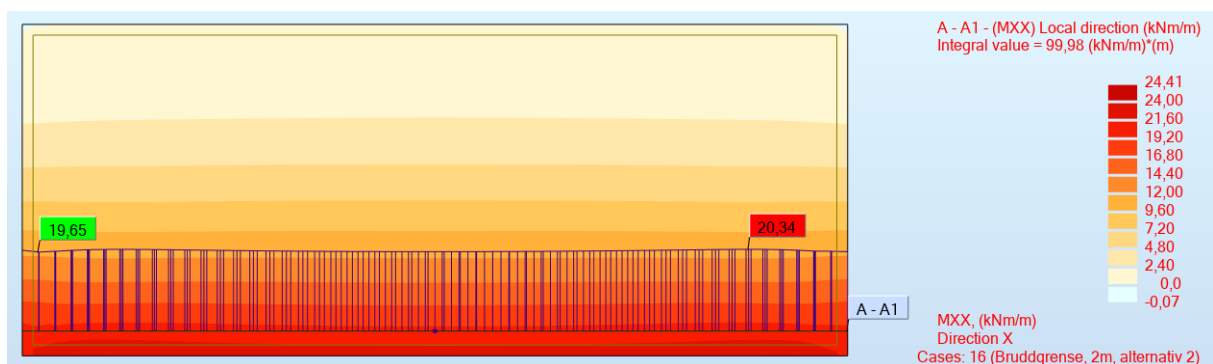
2m

Lastkombinasjon bruddgrense

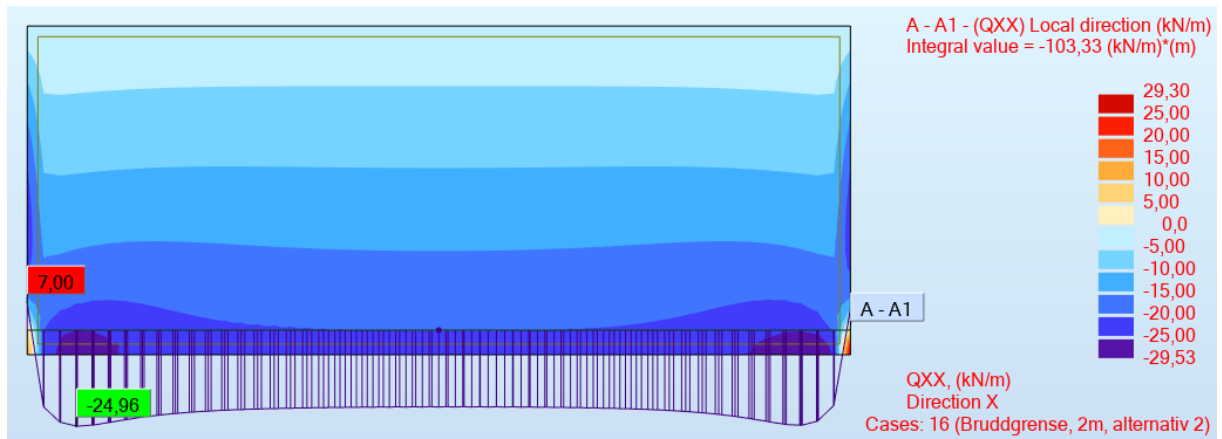


1. iterasjon

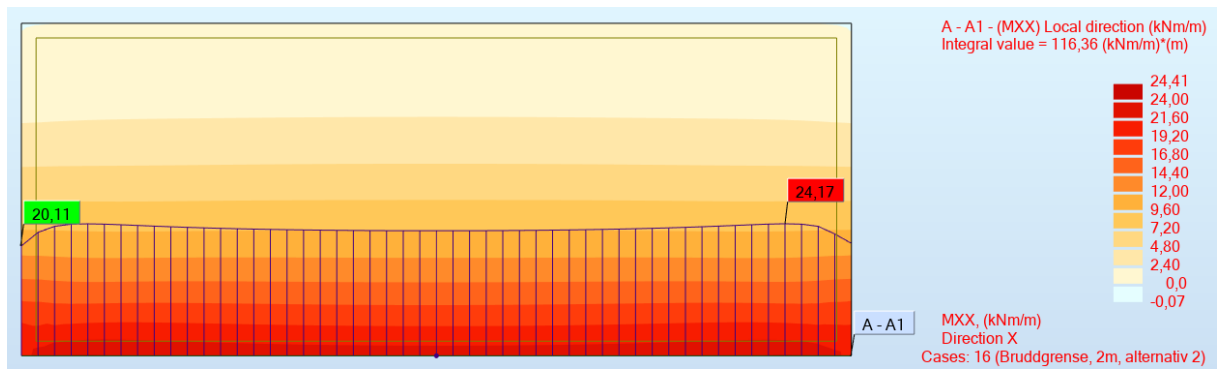
Moment 0,15m fra opplegg



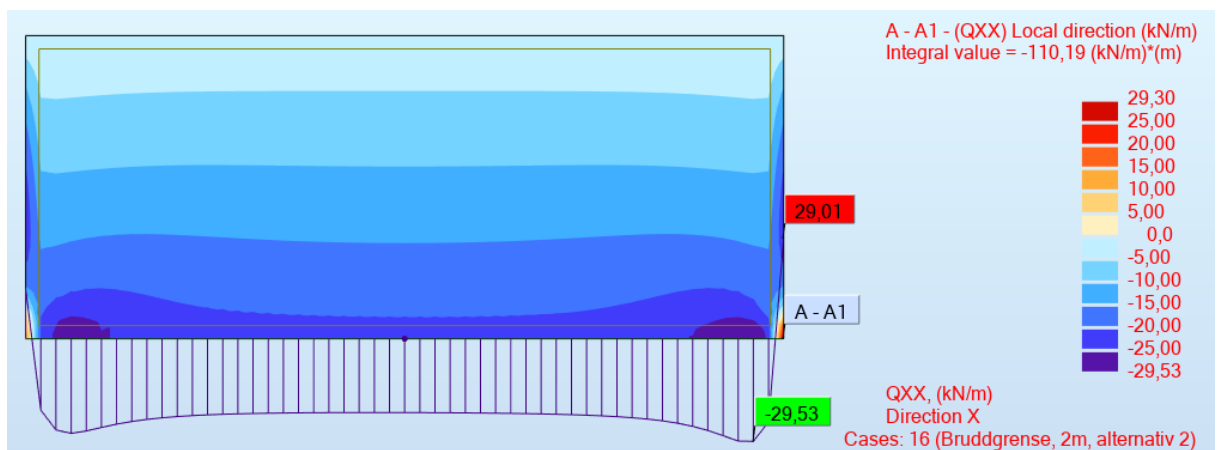
Skjærkraft 0,15m fra opplegg



Moment ved opplegg

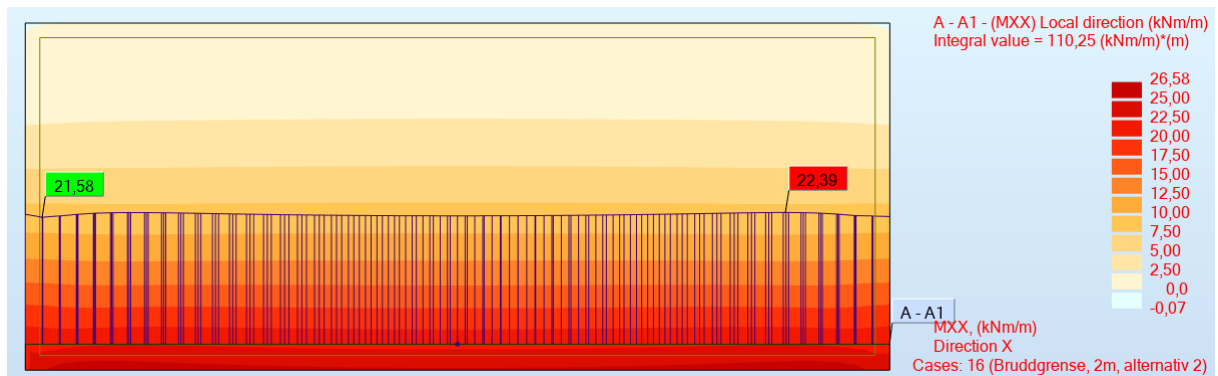


Skjærkraft ved opplegg

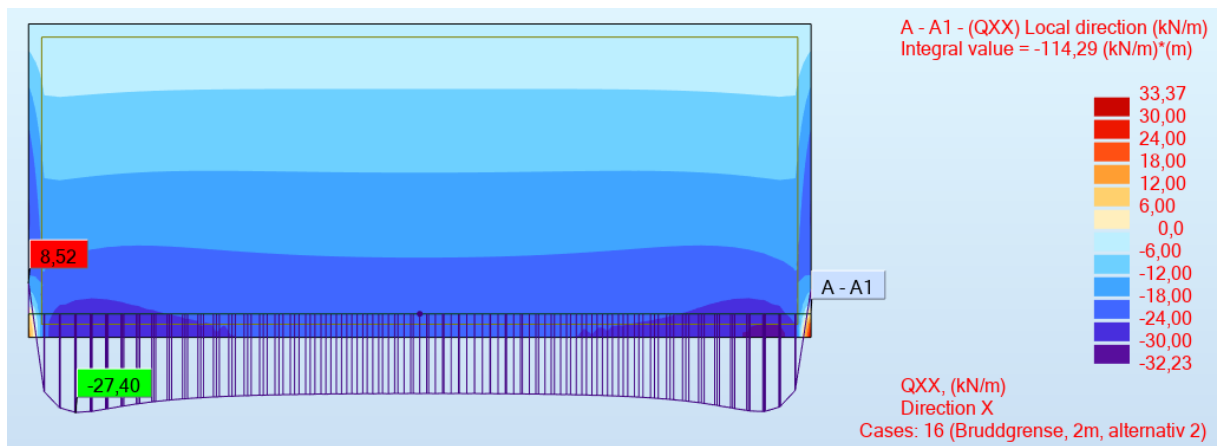


2.iterasjon

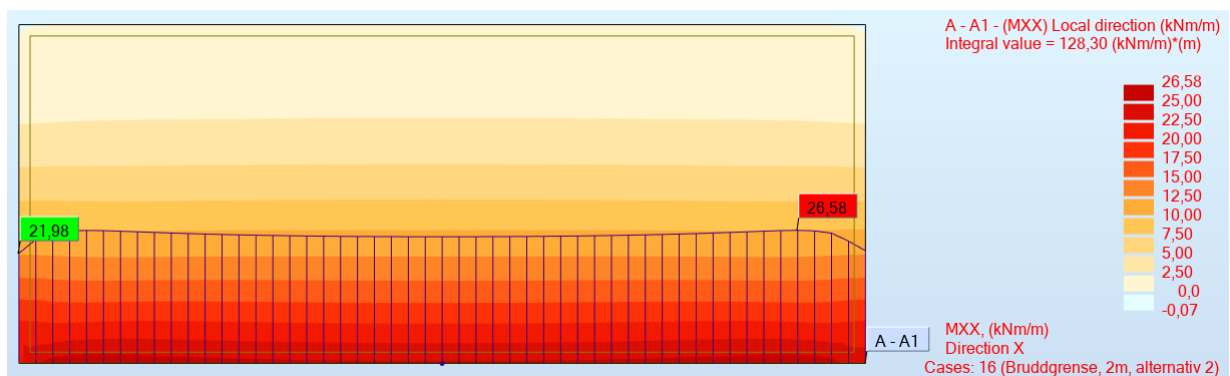
Moment 0,15m fra opplegg



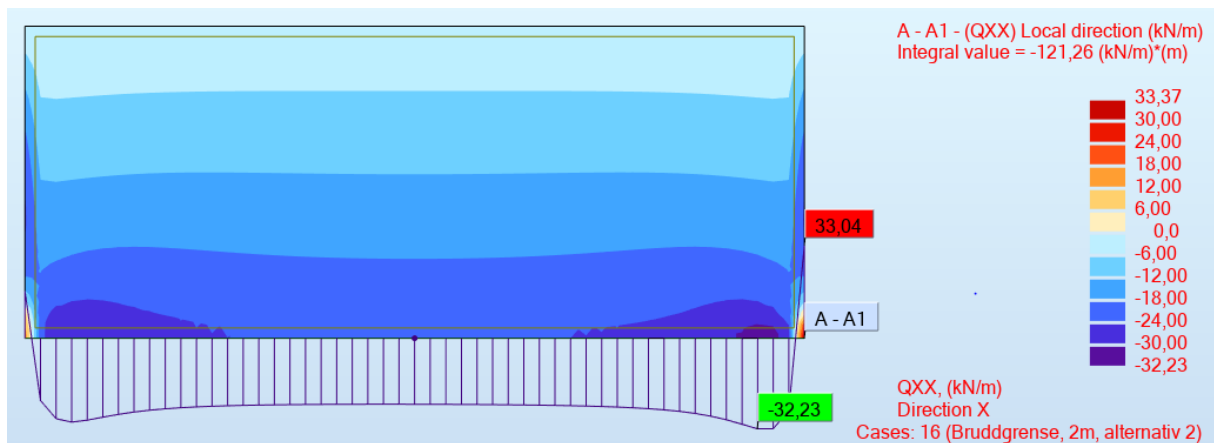
Skjærkraft 0,15m fra opplegg



Moment ved opplegg



Skjærkraft ved opplegg



Bruksgrense

Lastkombinasjon bruksgrense

R Combinations

Combination: 23 : Bruksgrense Alt 2 : SLS

Case list:

Nature: All

No.	Case name
2	EV Alt 3
5	Bruddgrense Alt 2
6	Bruddgrense Alt 3
22	Alt 3 Bruksgrense

Factor: auto

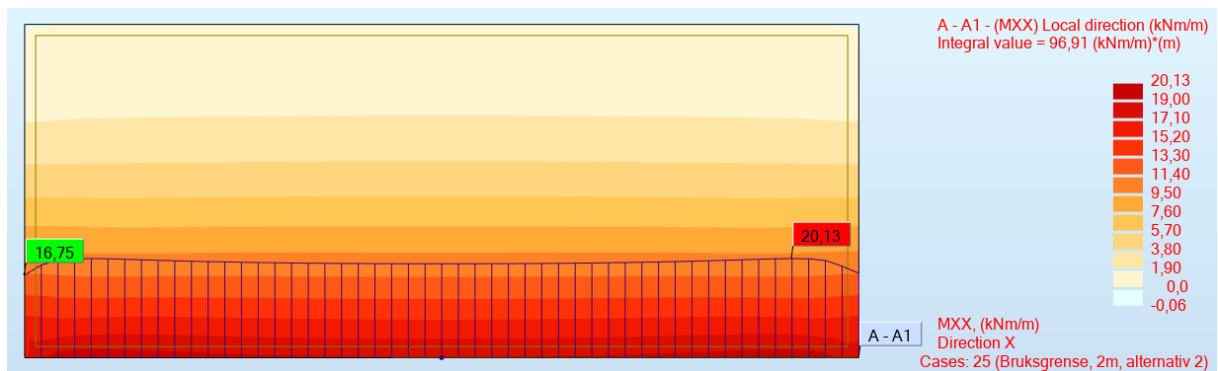
Factor definition

List of cases in combination:

Factor	No.	Case name
1.00	1	EV Alt 2
1.00	3	Rekkverk
1.00	4	Nyttelast

New Change Delete Apply Close Help

Moment ved opplegg



2,5m

Lastkombinasjon bruddgrense

Combinations

Combination: 7 : Bruddgrense, 2,5m utkraging, alternativ 2 : ULS

Case list:

Nature: All

No.	Case name
4	EV 2 Alt 2
5	EV 3 Alt 2
6	EV Alt 3

Factor: auto

Factor definition

New Change Delete

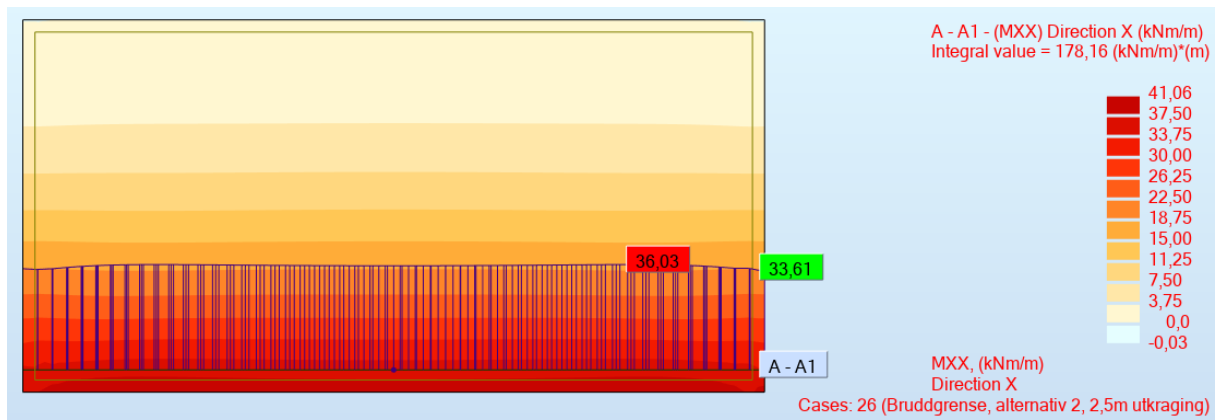
List of cases in combination:

Factor	No.	Case name
1.20	1	Rekkverk
1.50	2	Nyttelast
1.20	3	EV 1 Alt 2

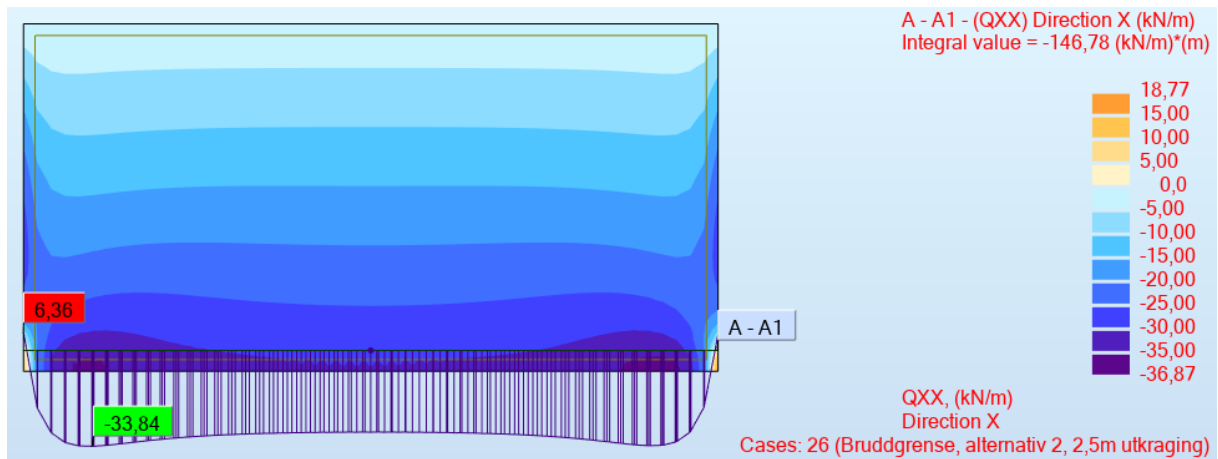
Apply Close Help

1. iterasjon

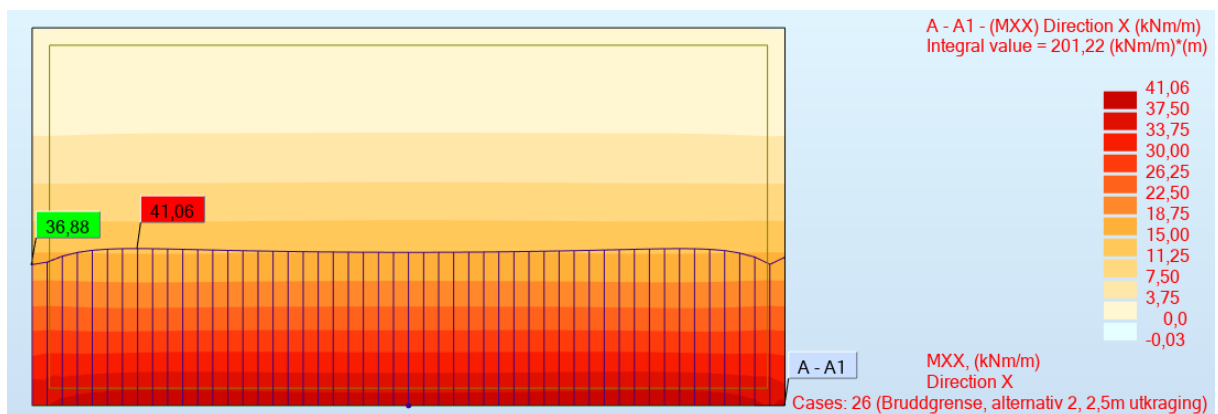
Moment snitt 0,15m fra opplegg



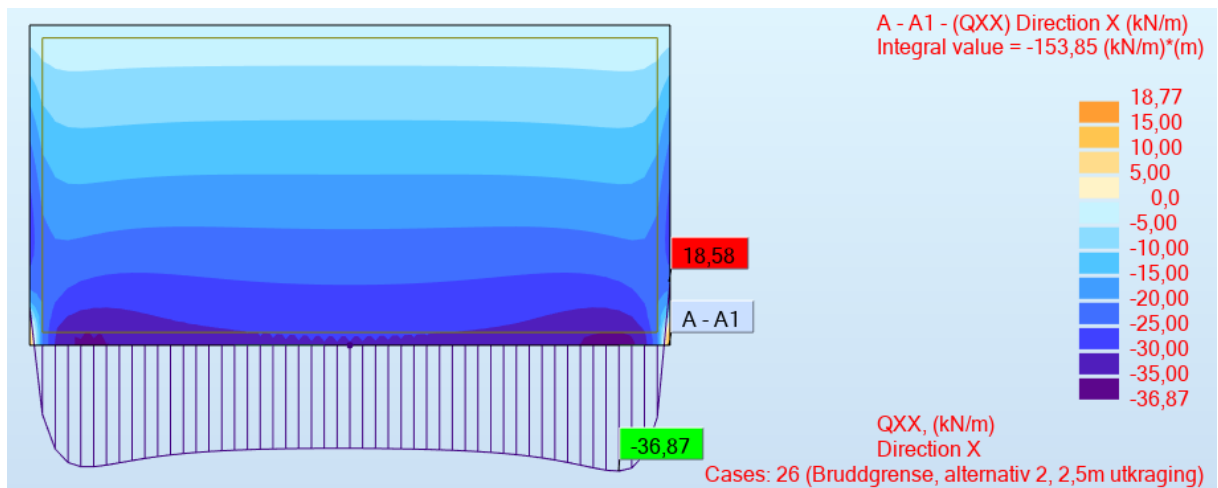
Skjærkraft 0,15m fra opplegg



Moment ved opplegg

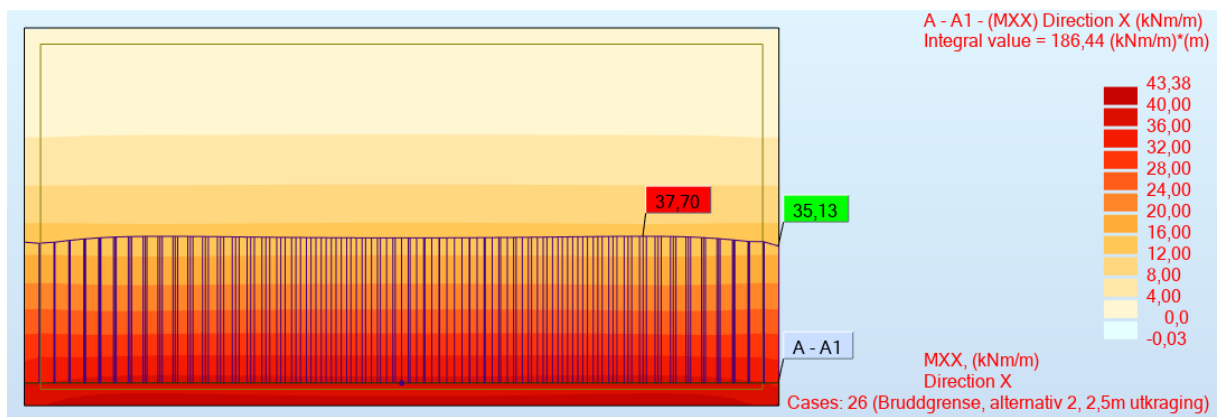


Skjærkraft ved opplegg

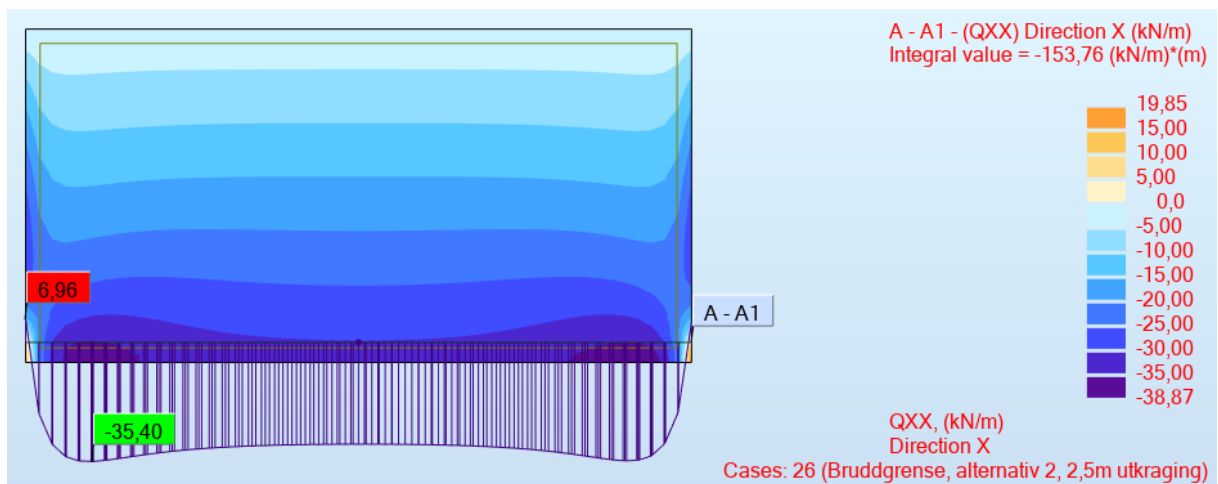


2. iterasjon

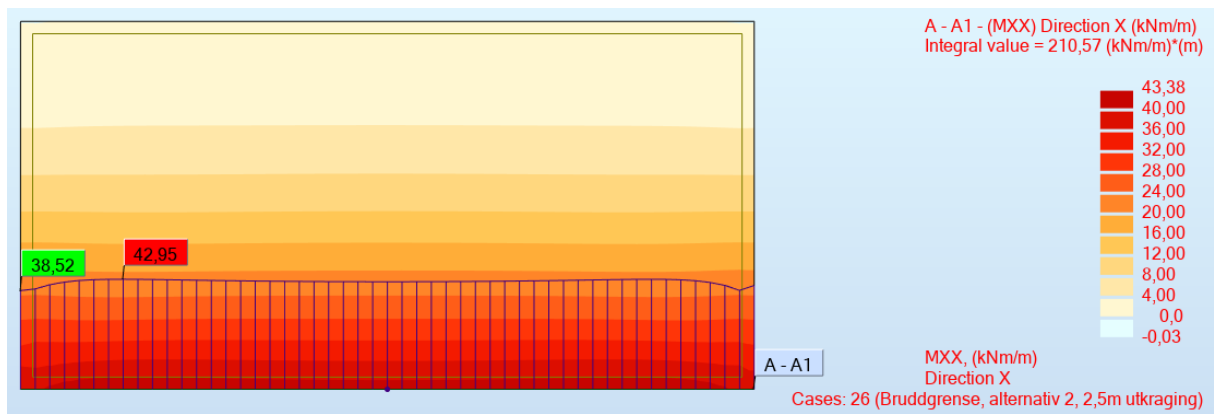
Moment 0,15m fra opplegg



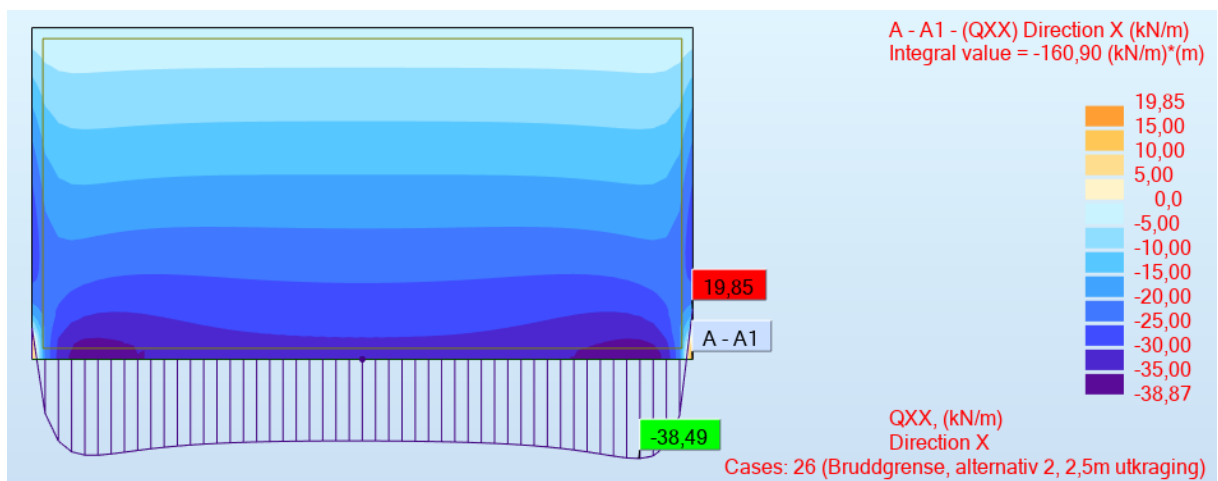
Skjærkraft 0,15m fra opplegg



Moment ved opplegg

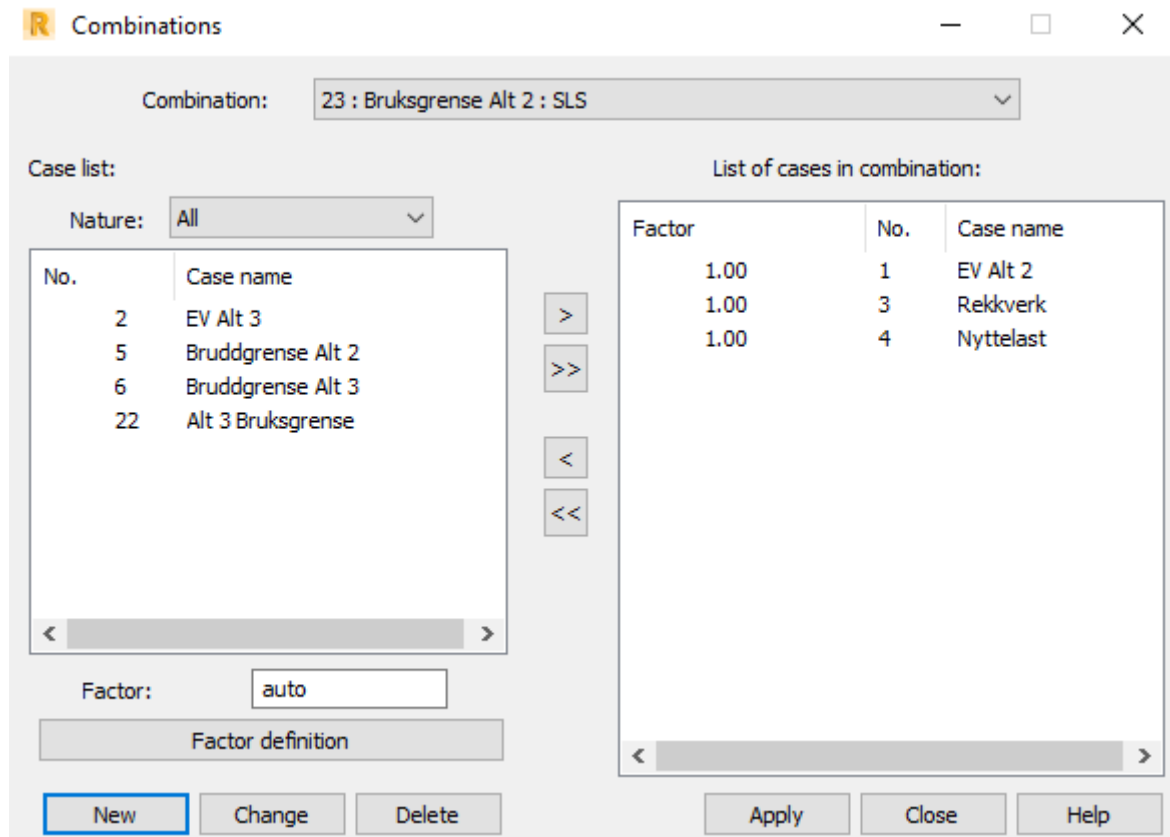


Skjærkraft ved opplegg

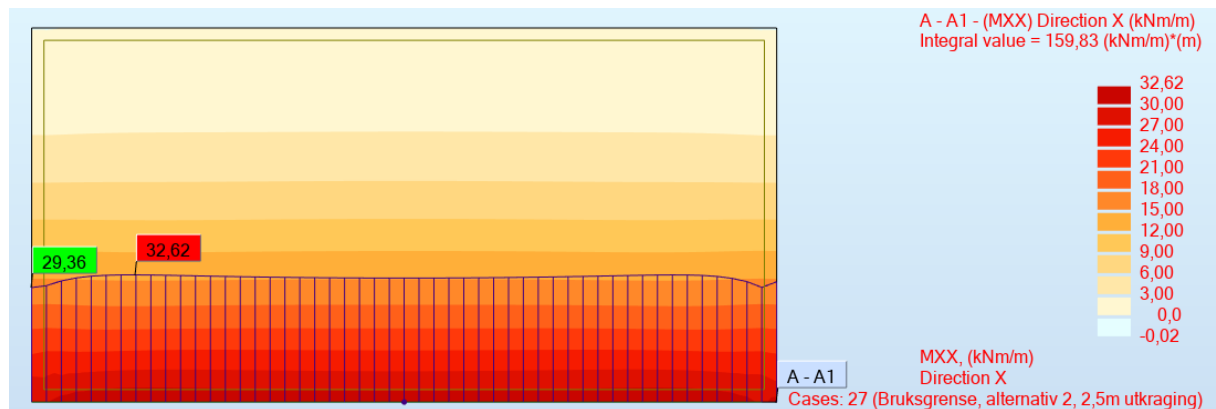


Bruksgrense

Lastkombinasjon bruksgrense

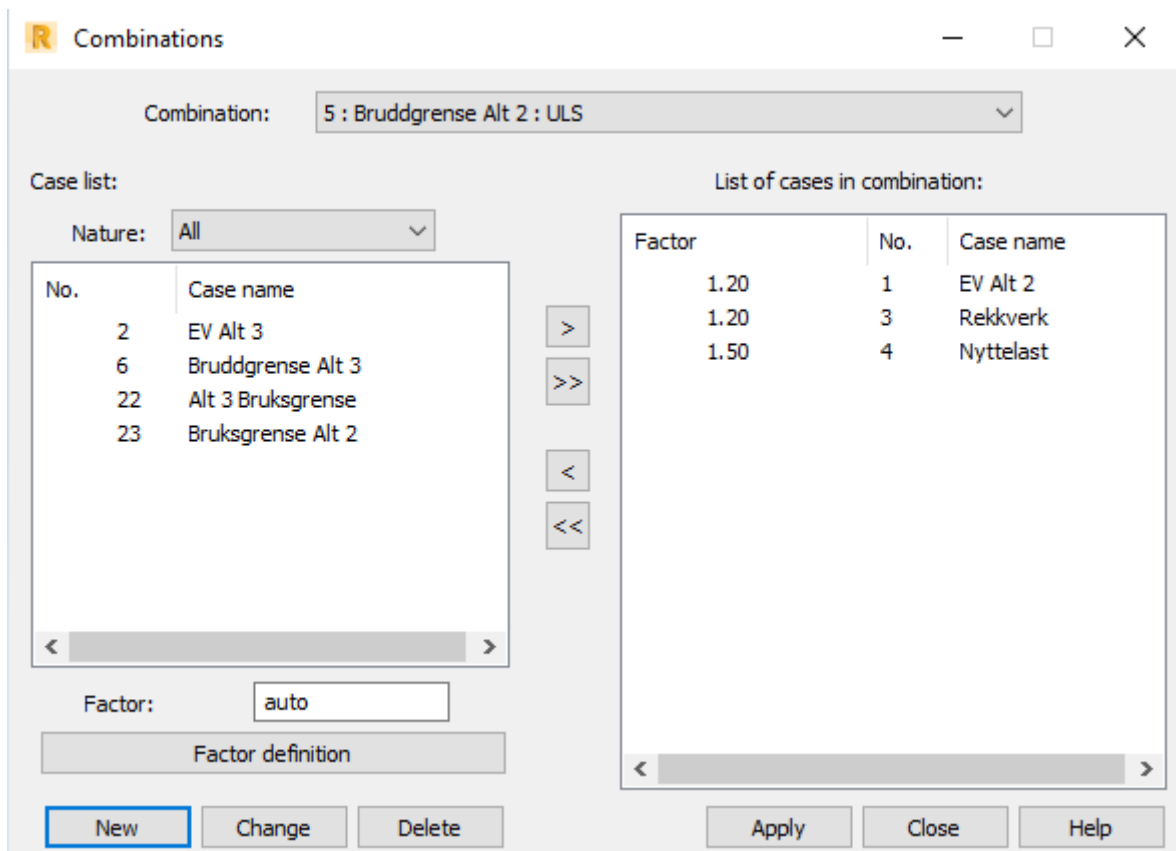


Moment ved opplegg



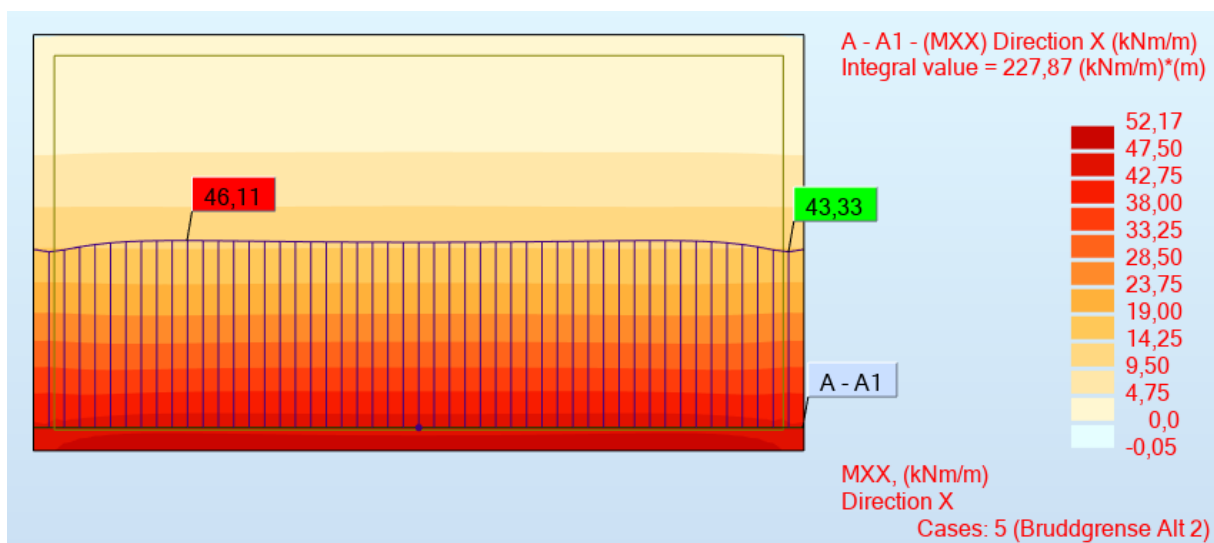
2,7m

Lastkombinasjon bruddgrense

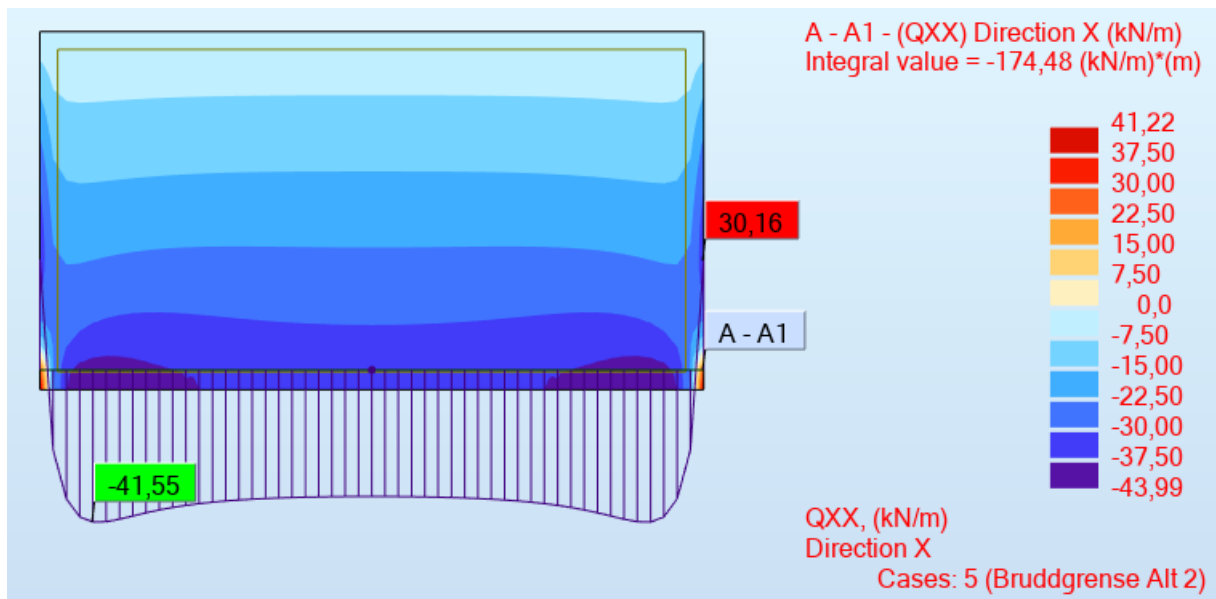


1. iterasjon

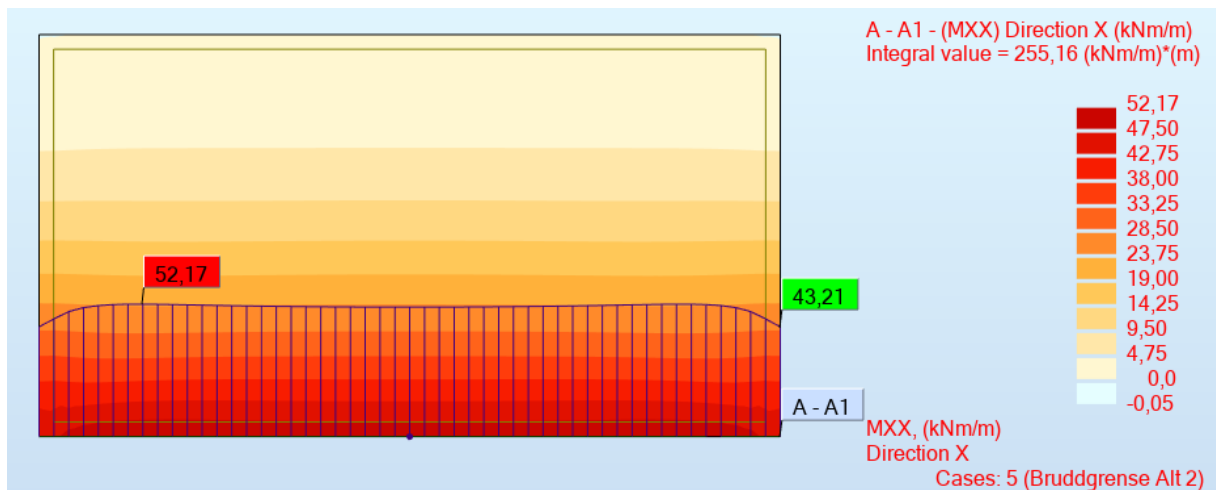
Moment 0,15m frå opplegg



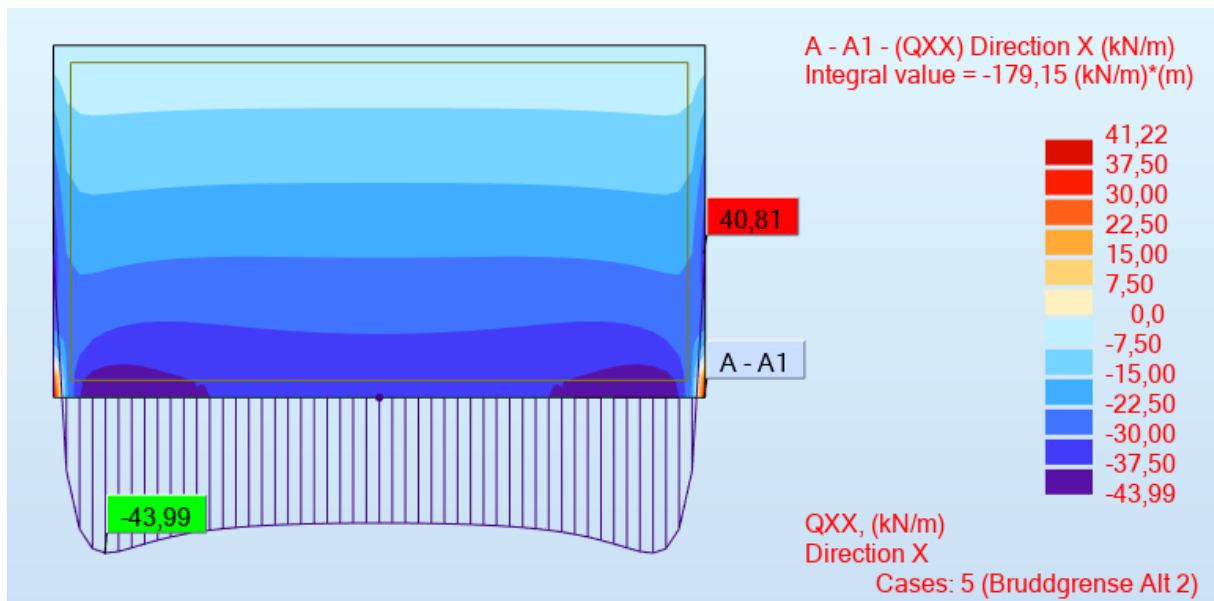
Skjærkraft 0,15m frå opplegg



Moment ved opplegg



Skjærkraft ved opplegg



Bruksgrense

Lastkombinasjon bruksgrense

R Combinations

Combination: 23 : Bruksgrense Alt 2 : SLS

Case list:
Nature: All

No.	Case name
2	EV Alt 3
5	Bruddgrense Alt 2
6	Bruddgrense Alt 3
22	Alt 3 Bruksgrense

List of cases in combination:

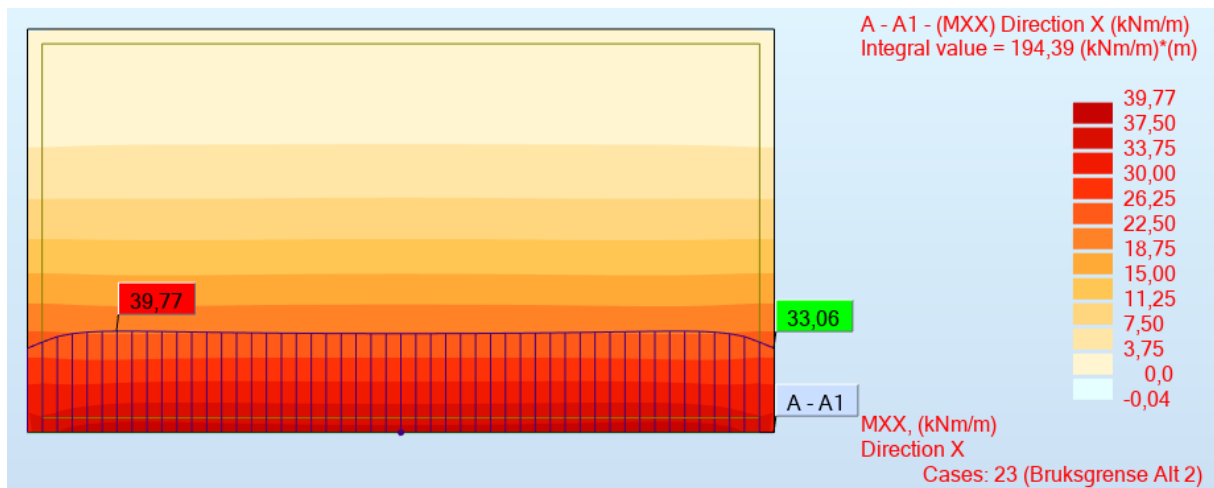
Factor	No.	Case name
1.00	1	EV Alt 2
1.00	3	Rekkverk
1.00	4	Nyttelast

Factor: auto

Factor definition

New Change Delete Apply Close Help

Moment ved opplegg

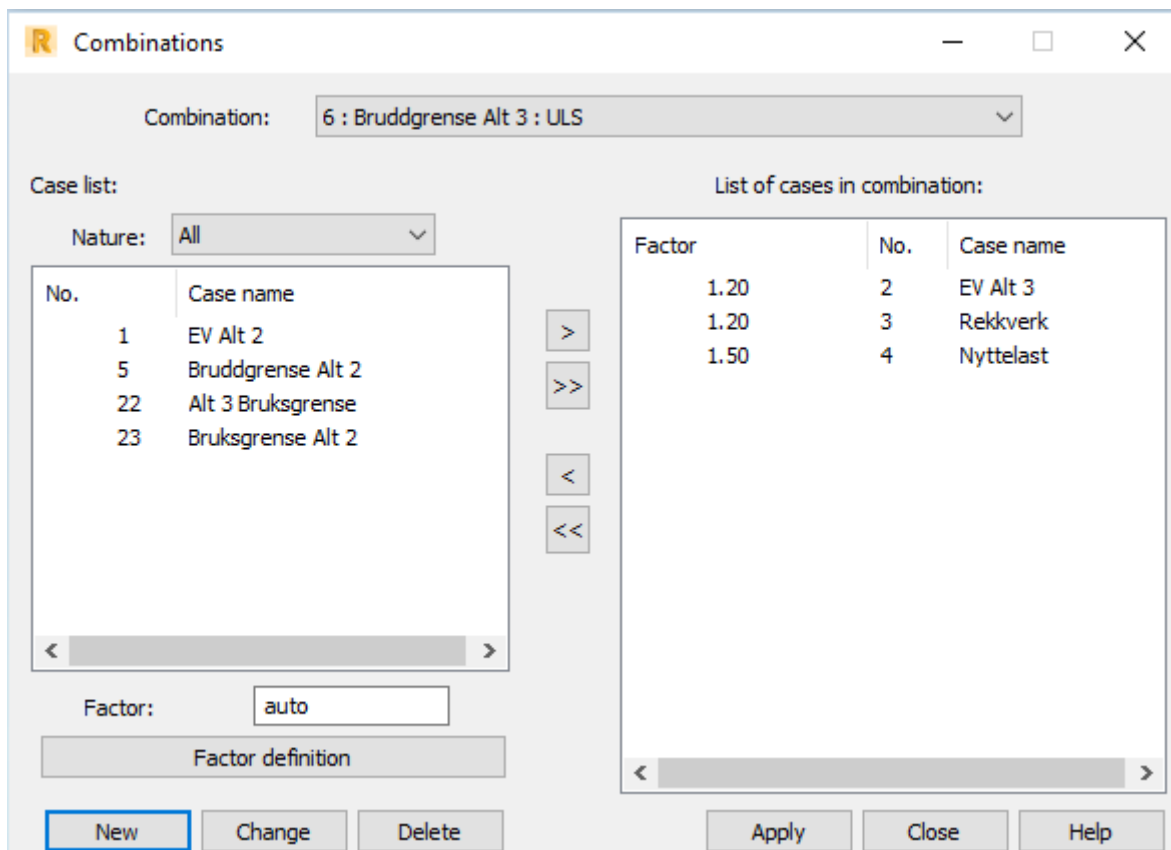


Løsning 2

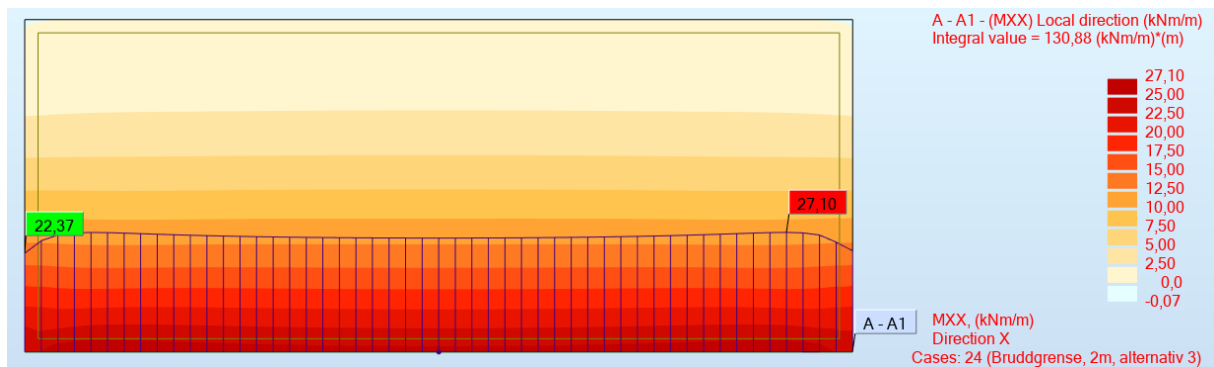
2m

Bruddgrense

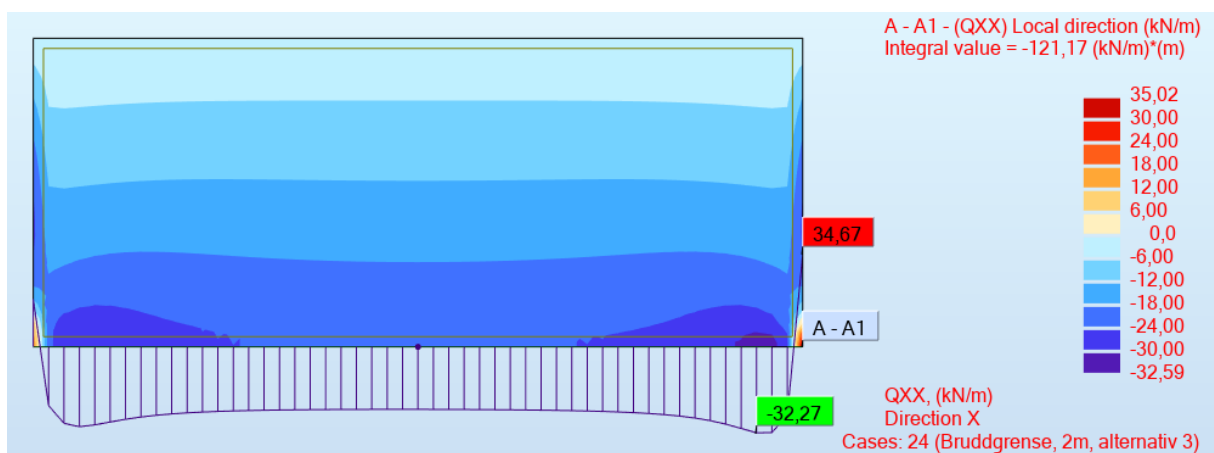
Lastkombinasjon bruksgrense



Moment ved opplegg

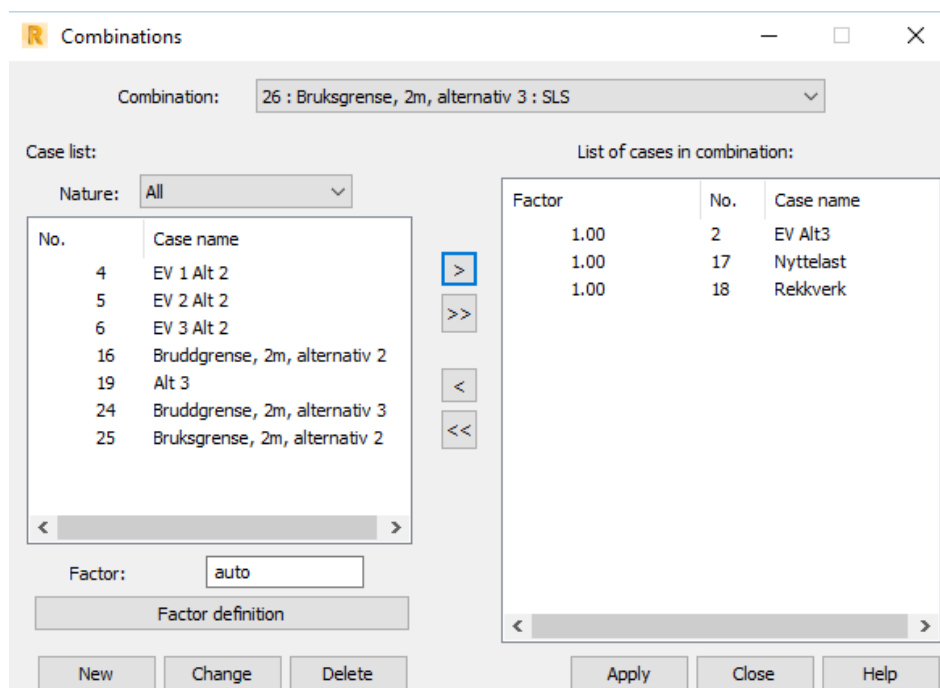


Skjærkraft ved opplegg

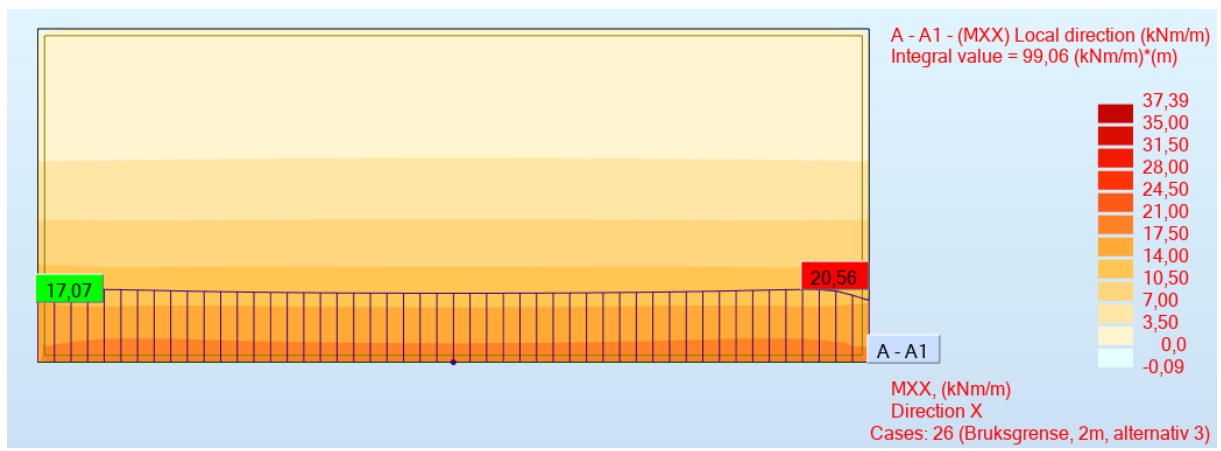


Bruksgrense

Lastkombinasjon bruksgrense



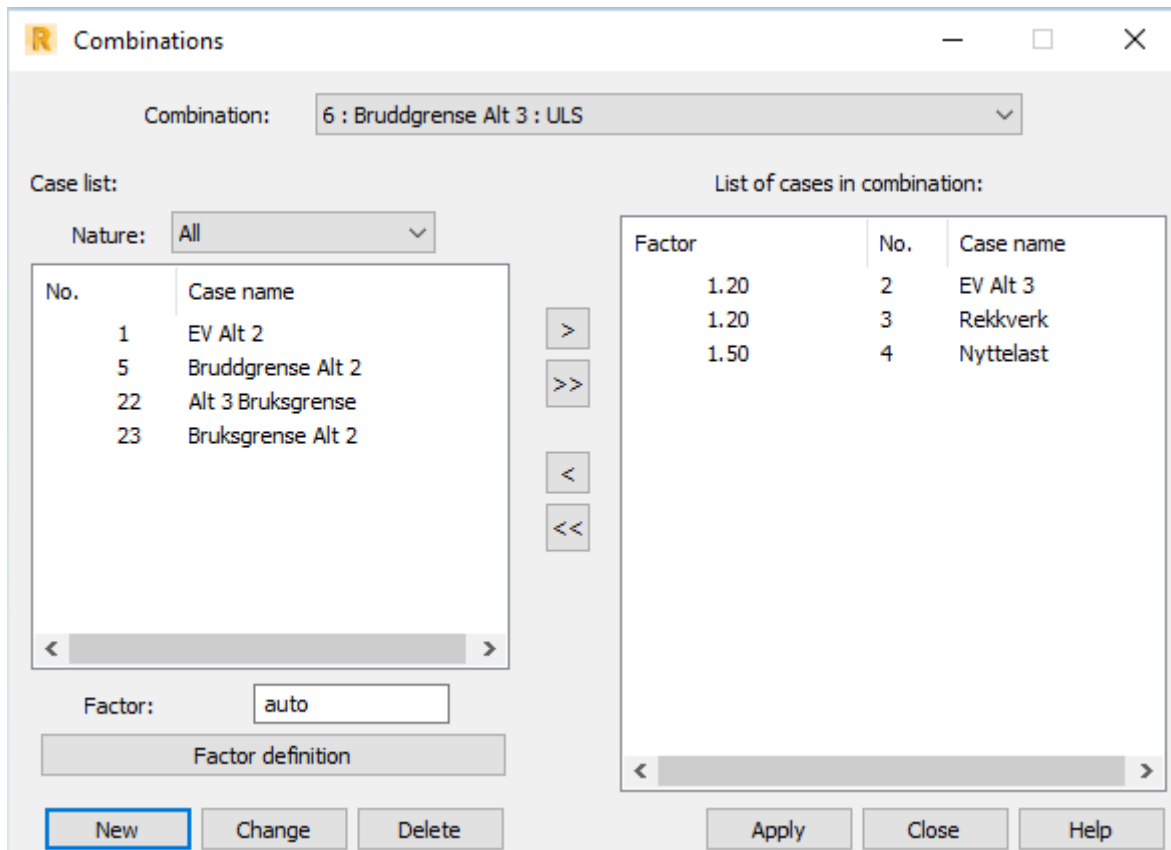
Moment ved opplegg



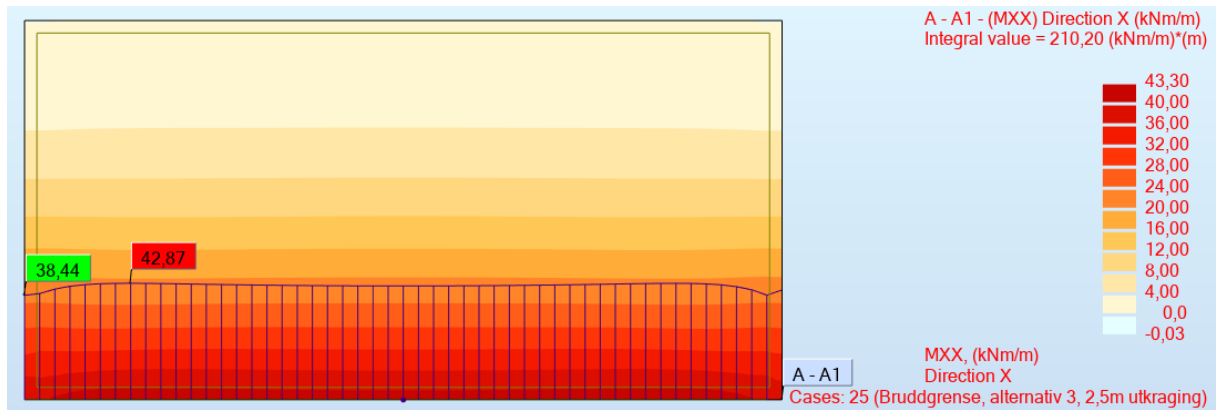
2,5m

Bruksgrense

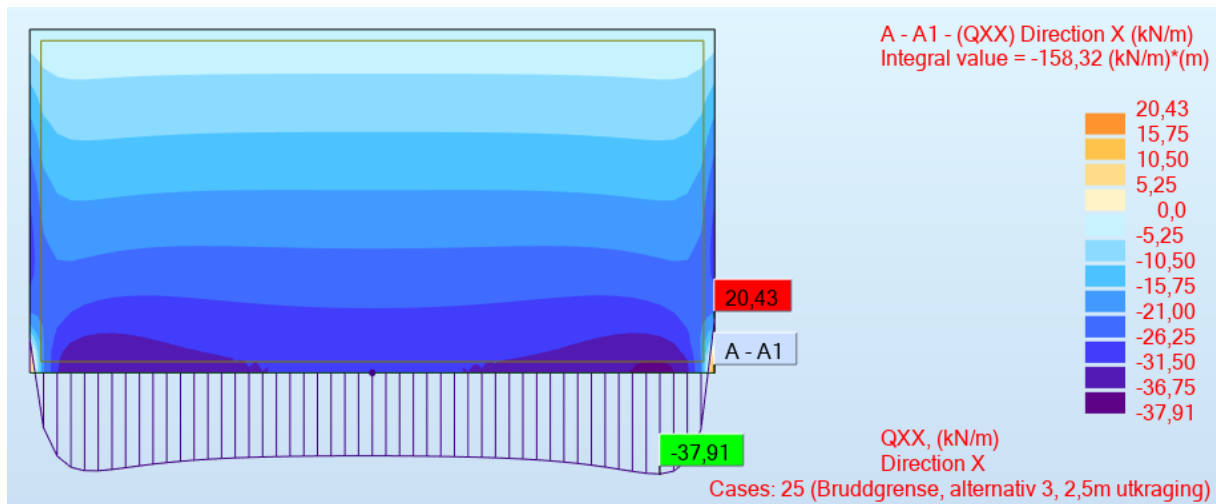
Lastkombinasjon bruksgrense



Moment ved opplegg



Skjærkraft ved opplegg



Brukgrense

Lastkombinasjon bruksgrense

Combinations

Combination: 28 : Brukgrense, alternativ 3, 2,5m utkraging : SLS

Case list:
Nature: All

No.	Case name
3	EV 1 Alt 2
4	EV 2 Alt 2
5	EV 3 Alt 2
23	DL21
24	DL22
25	Bruddgrense, alternativ 3, 2,...
26	Bruddgrense, alternativ 2, 2,...
27	Brukgrense, alternativ 2, 2,...

Factor: auto

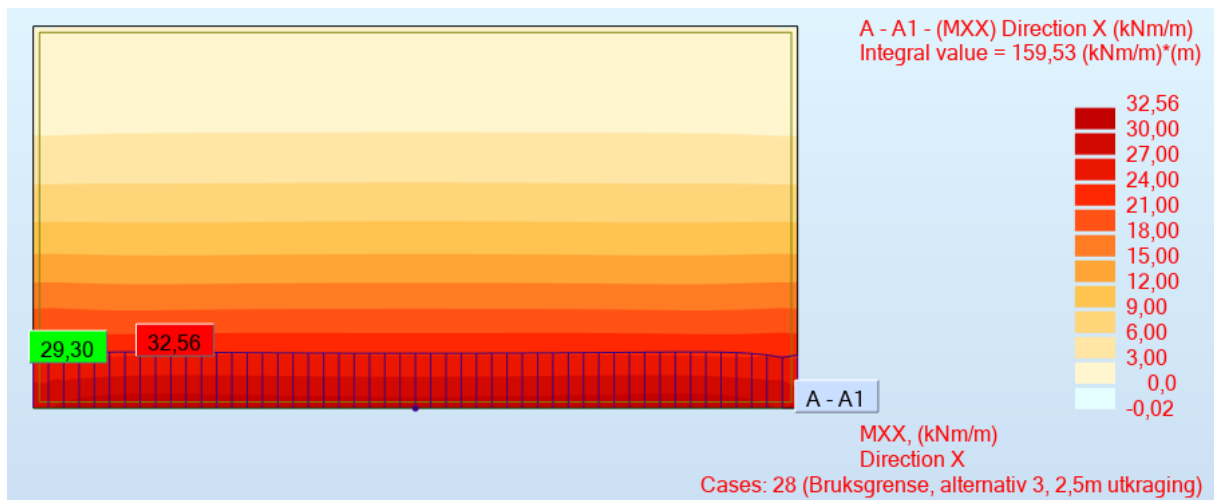
Factor definition

List of cases in combination:

Factor	No.	Case name
1.00	1	Rekkverk
1.00	2	Nyttelast
1.00	6	EV Alt 3

New Change Delete Apply Close Help

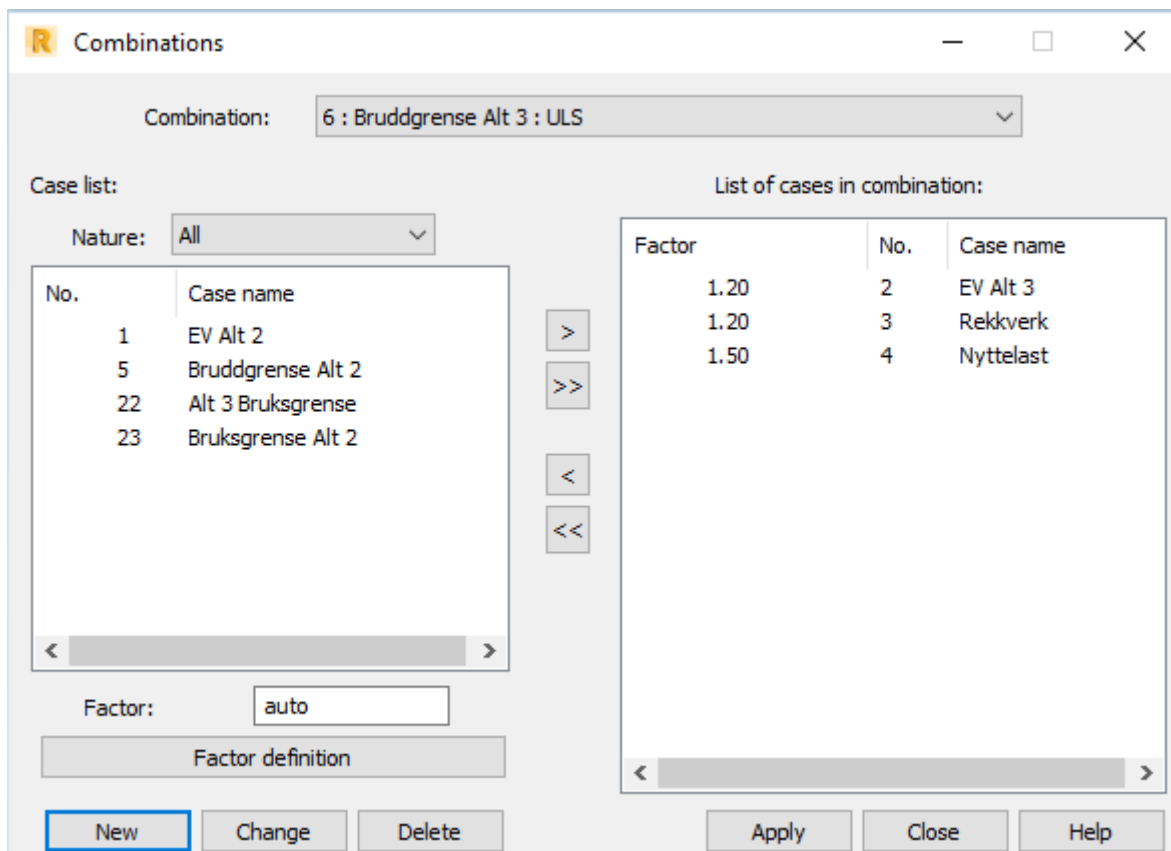
Moment ved opplegg



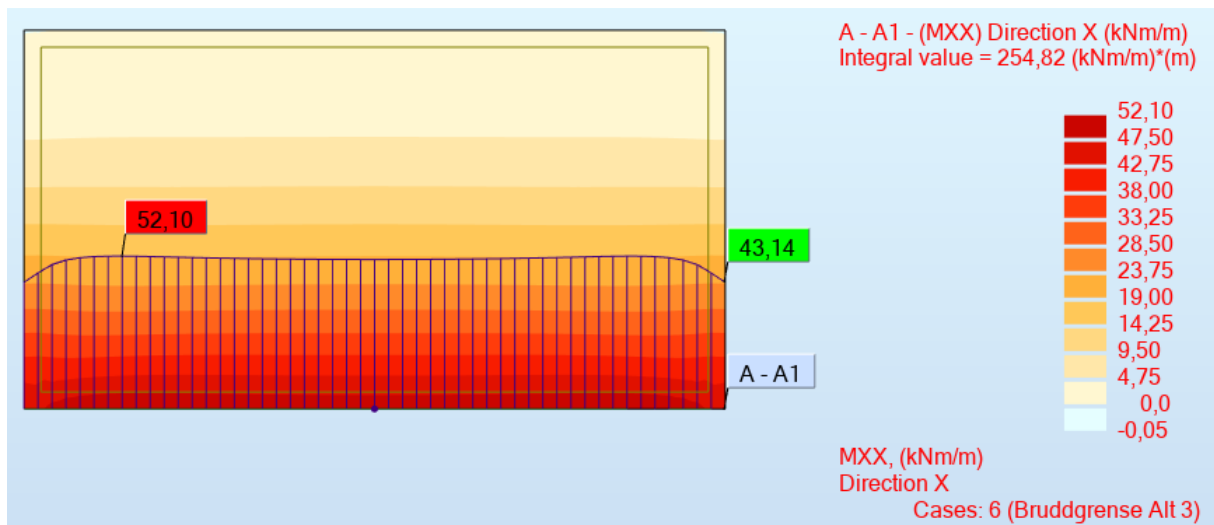
2,7m

Bruksgrense

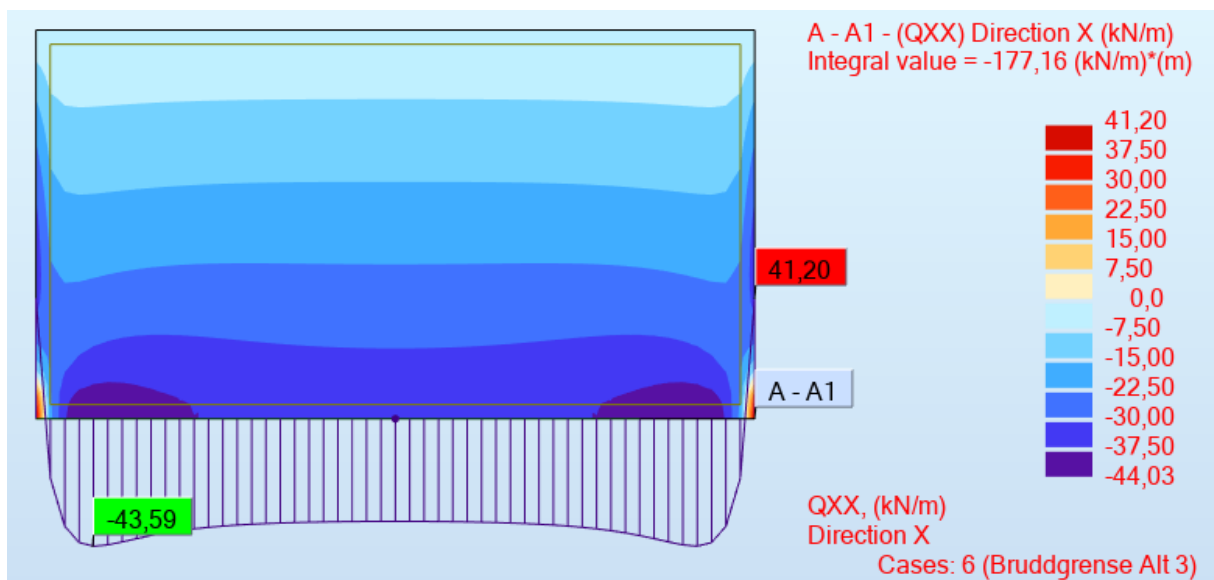
Lastkombinasjon bruksgrense



Moment ved opplegg

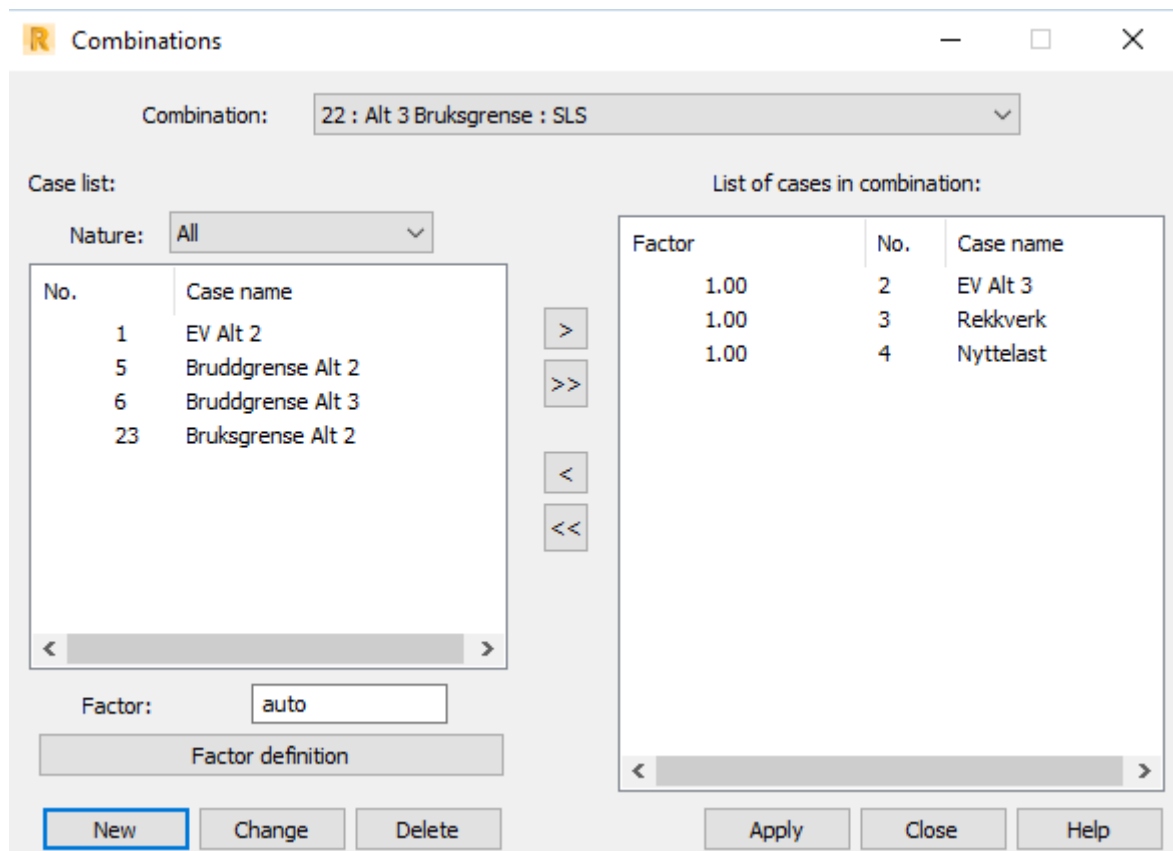


Skjærkraft ved opplegg

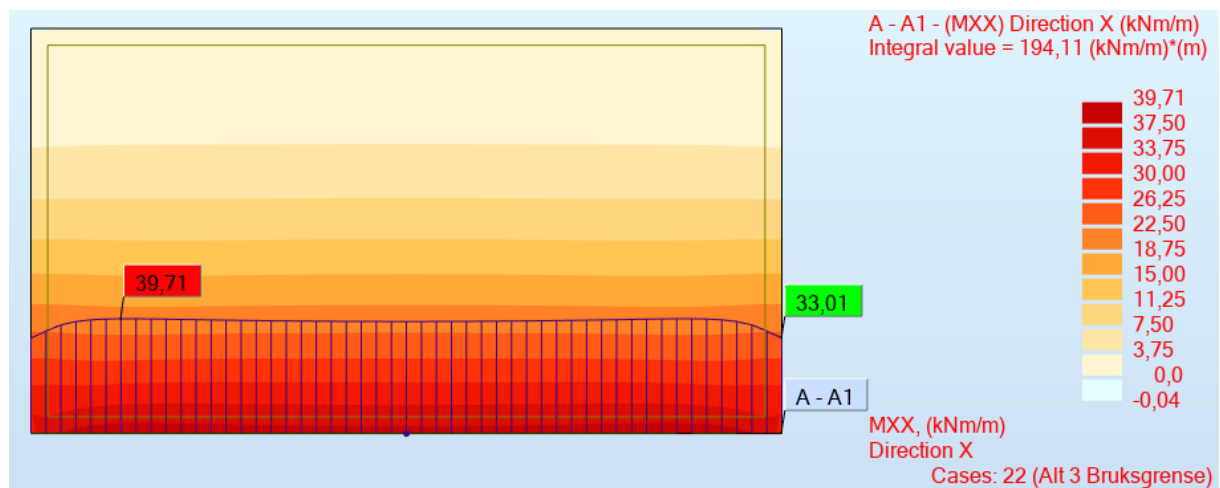


Bruksgrense

Lastkombinasjon bruksgrense

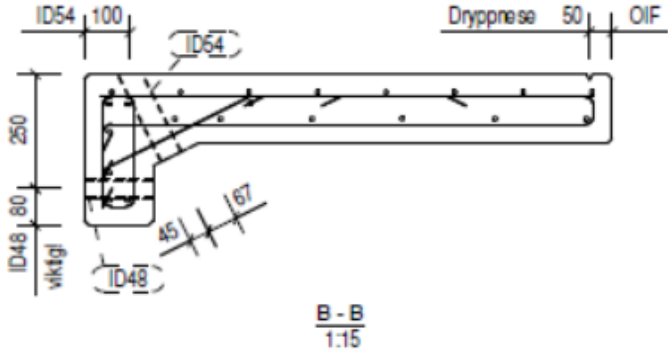
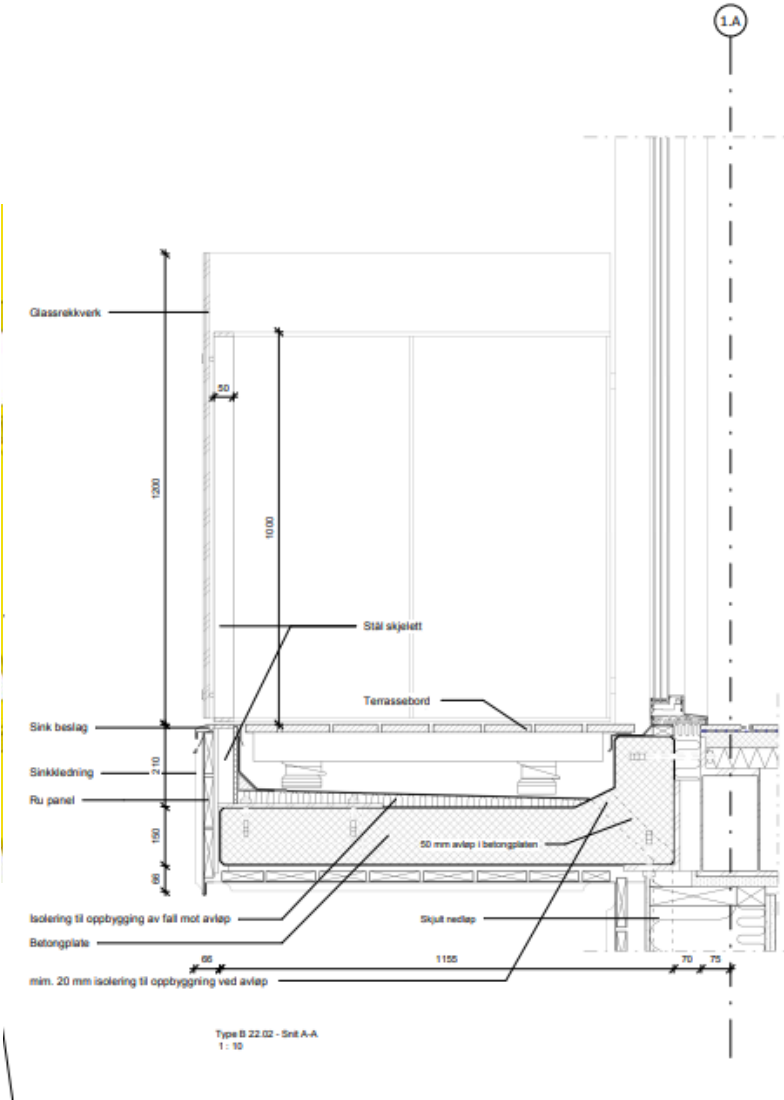


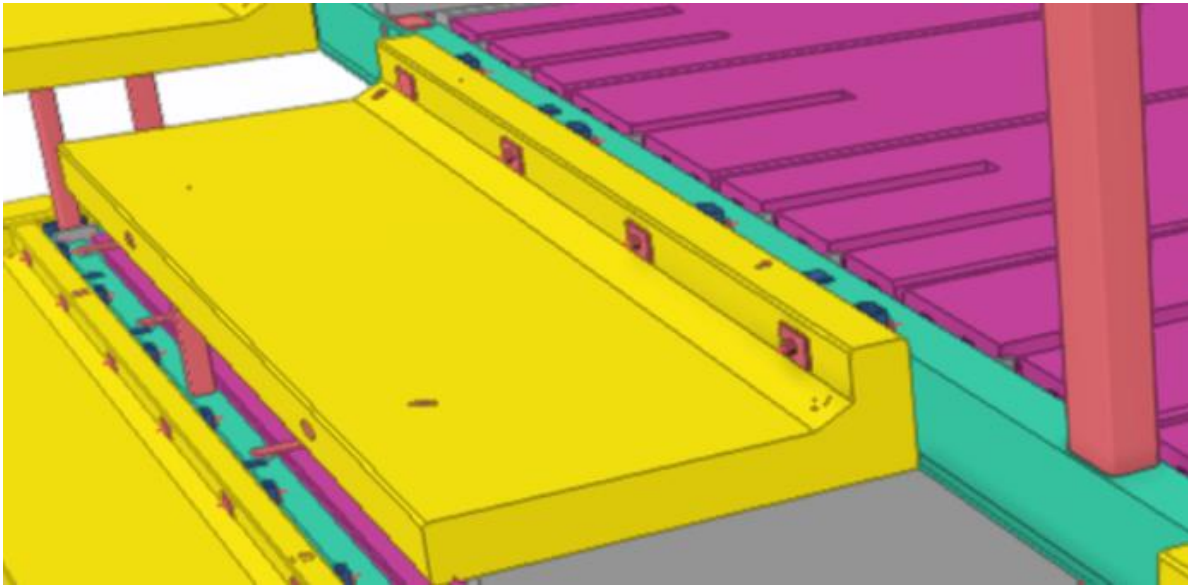
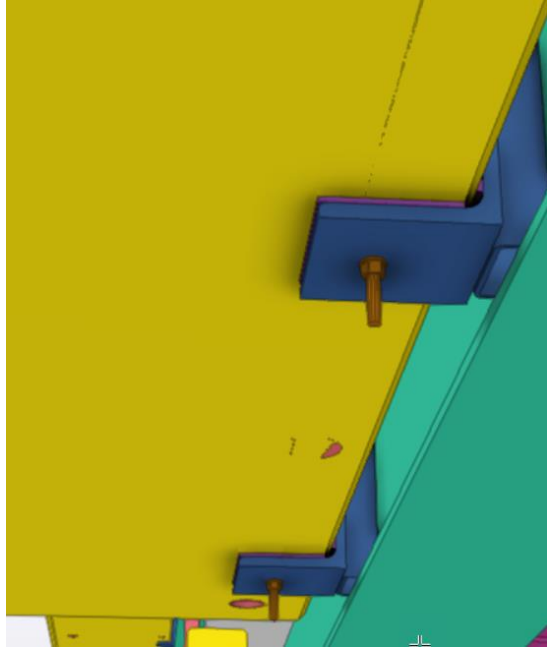
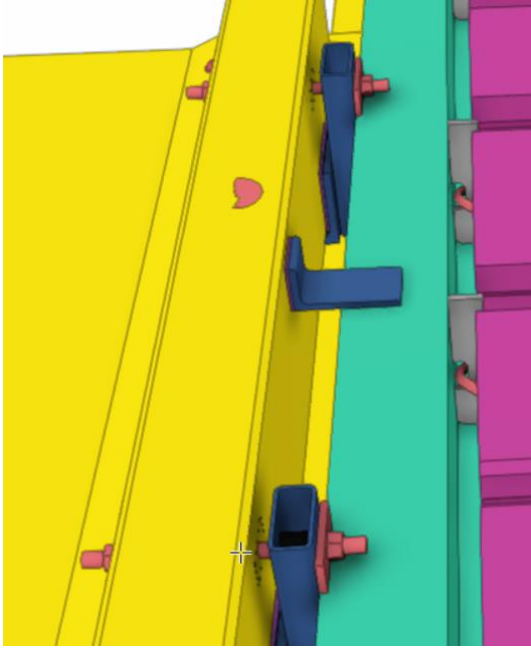
Moment ved opplegg

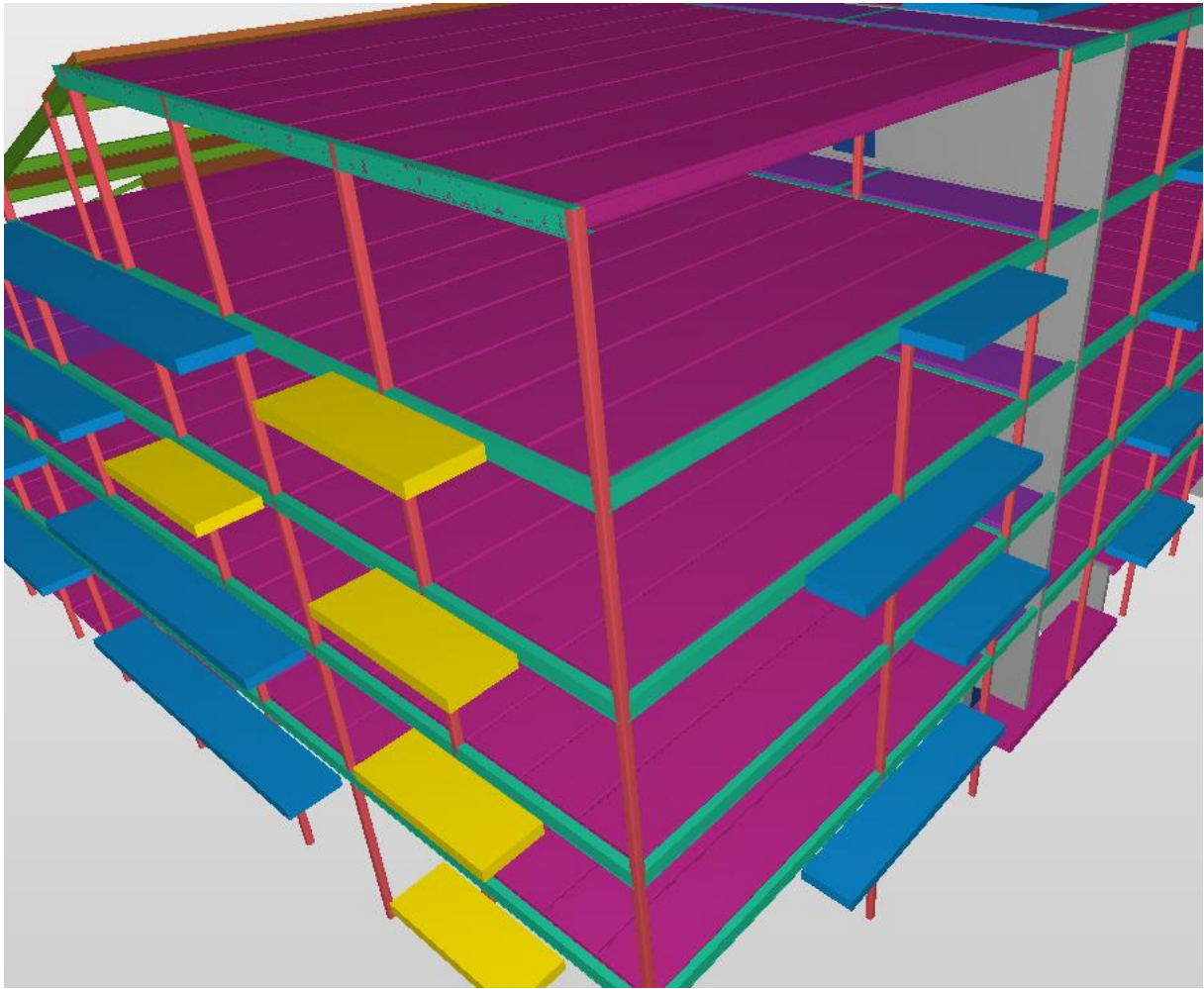


9.2. Vedlegg B - Tegninger fra Contiga

Tegninger fra Contiga AS







9.3. Vedlegg C – Personlig kommunikasjon

Innhold:

- 1) Møte med Ståle Solberg, Contiga AS
- 2) Personlig kommunikasjon med Carina Aasnes Beyer, Skanska Norge AS
- 3) Personlig kommunikasjon med Ståle Solberg, Contiga AS

Møte med Ståle Solberg, avdelingsleder konstruksjon Contiga AS

Digitalt møte, 10.02.2022 kl 09.00

Ståle Solberg Avdelingsleder Konstruksjon Fredrikstad Valle, Contiga AS

Møteagenda:

Agenda sendt ut i forkant av møtet:

- Hadde det vært mulig å få tilsendt 3d-modell og snittdetaljer som viser klimavegg og tetting for løsningene som ble vist på forrige møte sammen med Skanska?
- Vi har funnet en løsning fra produsenten av Isokorb som heter IDock og lurer på om denne lar seg kombinere med hulldekke dersom utsparingselementene til dette systemet kan støpes inn i hulldekkeelementene, eller om den kan kombineres med løsningen som bytter ut det ytterste elementet med et plattendekkeelement (Alternativ 3). Her er en link til IDock systemet:
<https://www.schoeck.com/no/schoeck-idock-system>
- Spørsmål til hvordan alternativ 3 (løsningen fra Halfen) fungerer med hulldekker som ikke går i parallell retning med kantbjelken.
- Vi har også noen spørsmål angående beregninger av alternativ 2 med de L-formede balkongelementene som er montert med bolter og braketter.
- Generelle spørsmål ift. bæresystemer

Referat:

- 3D modell og tegninger: Sender over det som finnes.
- Spørsmål til løsningene:
 - Løsning 1 – L-formet element: Sender løsning med klima-vegger

- Kan bruke flattjern i toppen for å forankre. Flattjernene kan eventuelt støpes inn i hulldekke.
- Opprinnelig brukes en krok som festes i stålplate på ytre stålbjelke og kroken går inn i hulldekke.
- Løsning 2 - Isokorb:
 - Parallelt med hulldekke: Bytter ytterste hulldekke med et plattendekke. Skjærlås tar opp kraften mot «vipping» og trenger ikke en bjelke mellom plattendekke og hulldekke.
 - Det er heller ikke nødvending med en underliggende bjelke ytterst som ligger under balkong og plattendekke. Plattendekke må armeres nok til at det tåler hele belastningen av balkongen.
 - Balkong på tvers av hulldekker / i enden av hulldekkene:
 - Her trenger man en underliggende bjelke som hulldekke legges opp på. Balkongen festes rett i hulledekke. Hulldekke må tilpasses med spor/kanaler/slisser som gir mulighet for at armering fra balkong kan legges inn og støpes fast i hulldekke.
 - Det må legges inn armering i overkant hulledekket som bidrar til å ta opp kreftene som kommer fra balkong elementet og forankrer elementet inn i hulldekket.
 - Hulldekket må understøttes frem til utsparinger er støpt ut og betongen er herdet.
- Løsning 4:
 - I enden - bjelke, HSQ. Kan støpe inn i hulldekke, hvis man har underliggende bjelke.
 - Plattendekket er selvbærende. Må armeres så det kan håndtere balkongen. Ikke bjelke som er underliggende.
 - Fireco – kompositt (Fiber reinforced composite / fire resistant composite)
 - Bjørn høyning
 - Jørn Lilleborge
 - Bæresystem til kompositt løsning: Armering som stakk ut til forankring
 - Termoplast – kan smeltes om
 - Herdeplast – kan ikke smeltes om

- Bæresystem:
 - 200mm hulldekke, neste 265. Balkonger ofte 200 eller 220
- Hulldekke:
 - Styrke på hulldekker og stål bæresystemet
 - Utsparinger i hulldekker
 - Standard størrelser på hulldekke
 - Standard spenn på hulldekke
 - Kan hulldekker legges opp på bjelker, ikke inn på, for å tilpasse for balkongløsningene? Går av og til, ofte for store vindu under til at det er plass til dette.
 - Standard tykkelser på balkongelementer 200 - 220 og hulldekker 200 – 265
 - Dersom man skal feste flattjern med bolter i hulldekket, må disse kanalene støpes igjen
 - Dersom balkong skal festet rett i dekkekant på hulldekket, må den ytterste kanalen støpes igjen, for å tåle trykkpåkjenning

Personlig kommunikasjon med Carina Aasnæs Beyer, prosjekteringsleder

Skanska Norge

E-postutveksling 19.05.2022

1. balkonger blir montert med råbygget.
2. balkonger blir montert etter at klimaveggen er ferdig (stillas er nede).

Svar: Begge løsninger (1 og 2) blir utført på prosjektene.

Hvilken løsning som velges (1 eller 2) er opp til entreprenøren. Prefab tar ofte ekstra betalt for å montere balkonger etter klimaveggen er oppe og det tar totalt lenger tid for prefab leverandøren. Valgt løsning må besluttet ganske tidlig i prosjekteringen fordi det fort krever en annen prosjektert løsning for innfesting. Noen type balkonger kan ikke ettermonteres (2), og må opp når råbygget går opp (1). Dette gjelder inntrukne balkonger og kanskje også de som har vegg på 2 sider.

Når en velger balkonger som ettermonteres (2) må en ha kontroll på at alt er tenkt på – og her kan vi lettere få utfordringer:

- tilkomst for ettermontering av balkong må være vurdert (rekkveidde kran – kan være at tårnkran er nede og en må bruke mobilkran. HD over kjeller er montert, så det kan være vanskelig å komme til over alt)
- all tilkobling av balkong må skje på utsiden av klimaveggen – annen prosjektert løsning må være tenkt på i tide
- Nok tolleranser, så en kommer til å arbeide
- mere er ferdig, så det er mere knot om noe er feil.

Eventuelt kor viktig er det å kunne montere balkongen etter at klimaveggen er montert og/eller i lag med bæresystemet?

Svar:

Dette er raskt et kostnadsspørsmål og vi regner på kva som lønner seg. Prefableverandør tar ofte ekstra betalt for å montere balkonger i ettertid. Men det er en besparelse å sette opp et stillas utan at stillaset må gå rundt balkongene, og det letter monteringen og arbeidet.

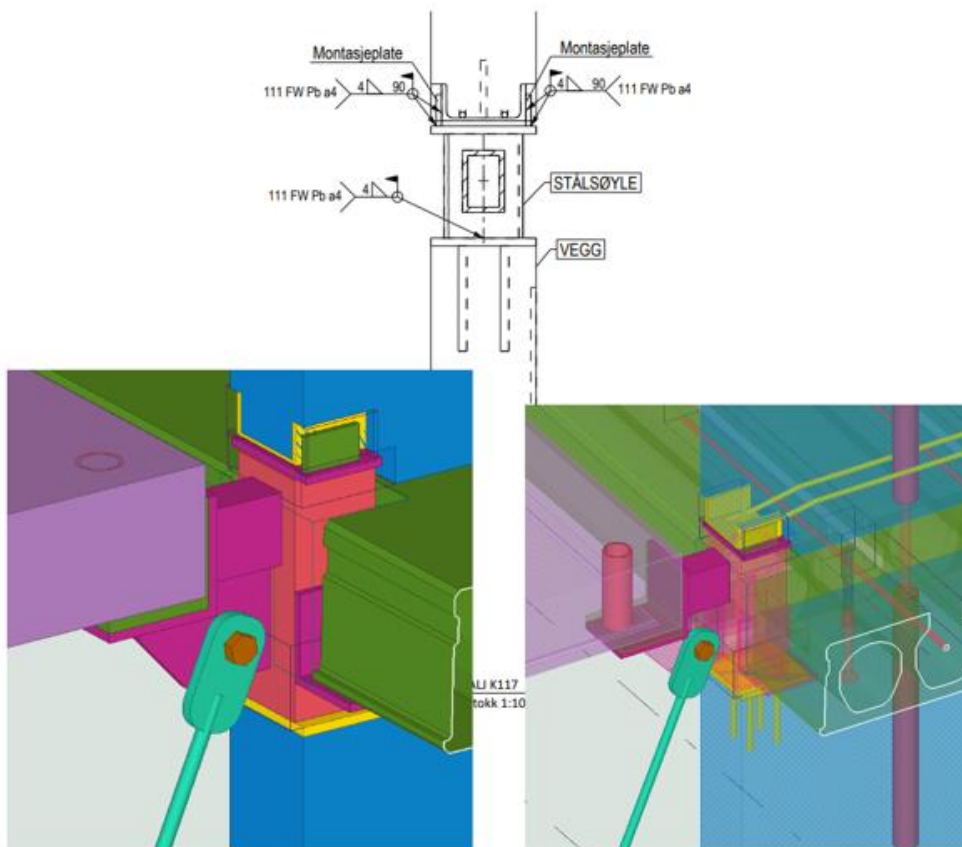
Dersom en skal sette inn veggelementer er ofte balkongen i veien, og elementet må inn før balkongen er montert.

Personlig kommunikasjon med Ståle Solberg, avdelingsleder konstruksjon

Contiga AS

E-postutveksling 04.04.2022

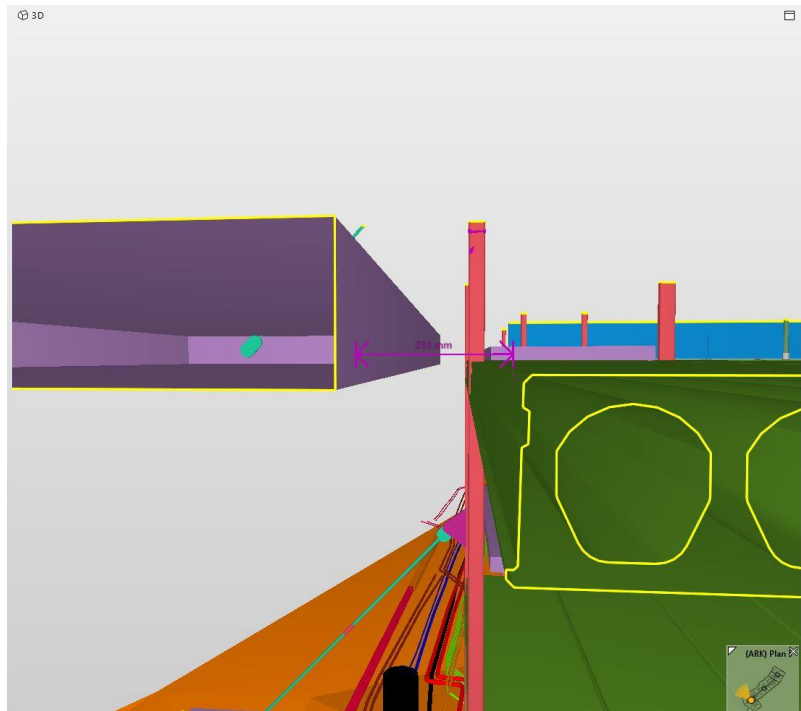
Hei,
Lagt et utklipp med løsningen ift. veggen. Håper det hjelper 😊



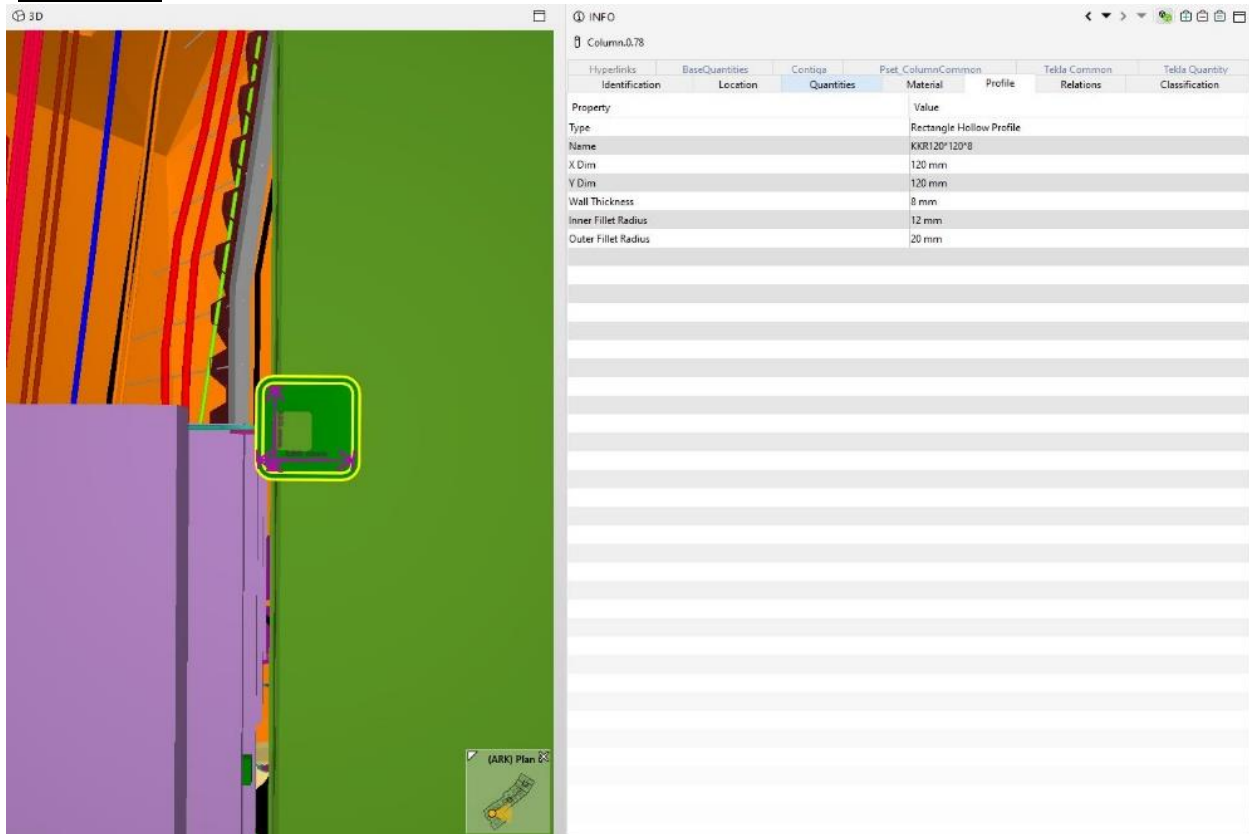
9.4. Vedlegg D - Tegninger fra Vario

Utklipp fra 3D – modell - Vario

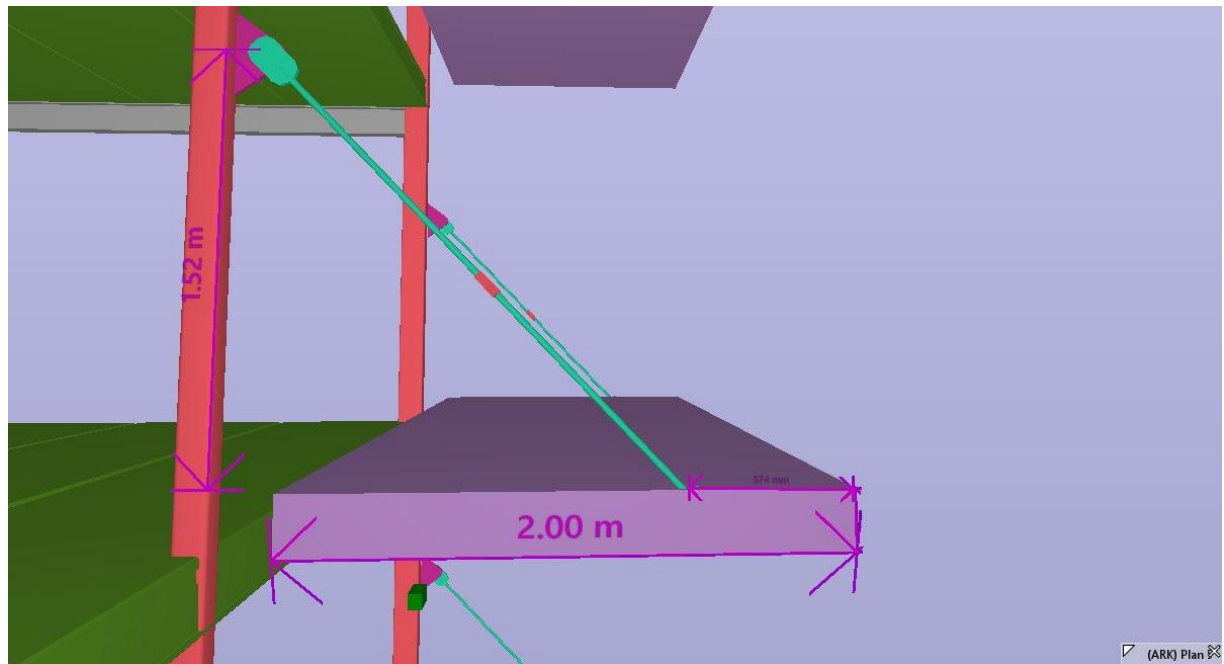
Avstand fra balkongdekke til innvendig dekkekant:

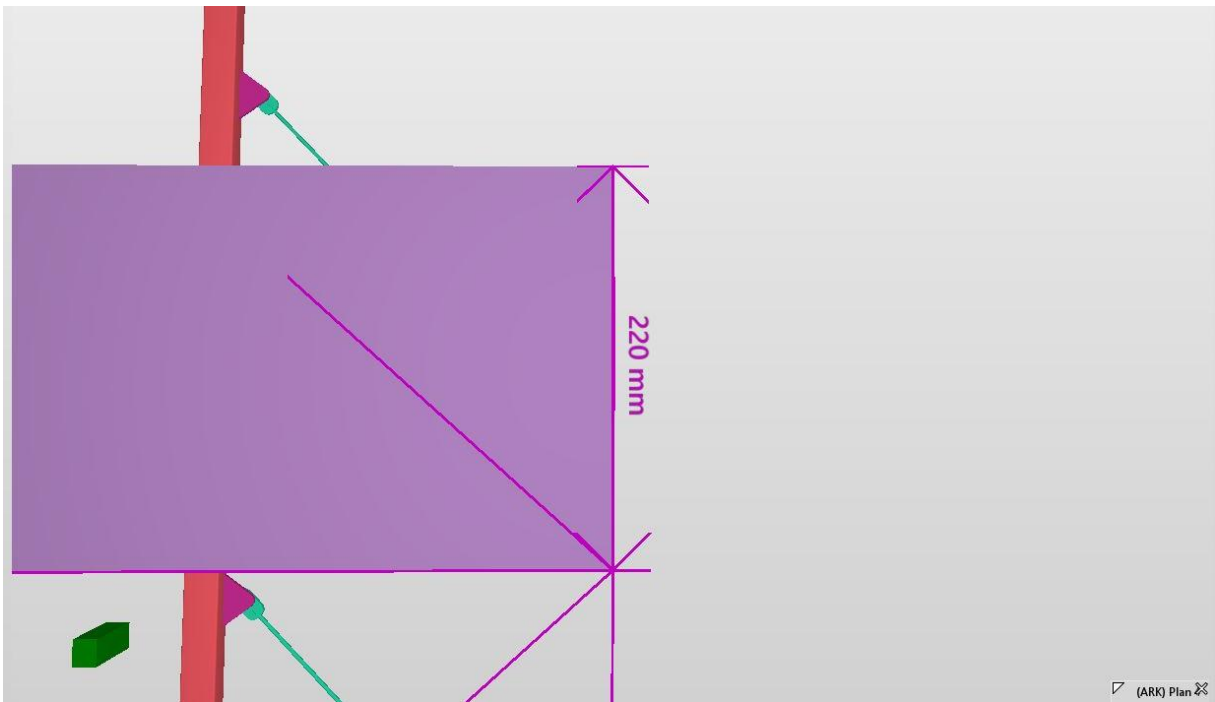


Snitt søyle:



Mål på balkong:





9.5. Vedlegg F – Vibrasjonskontroll av Contiga

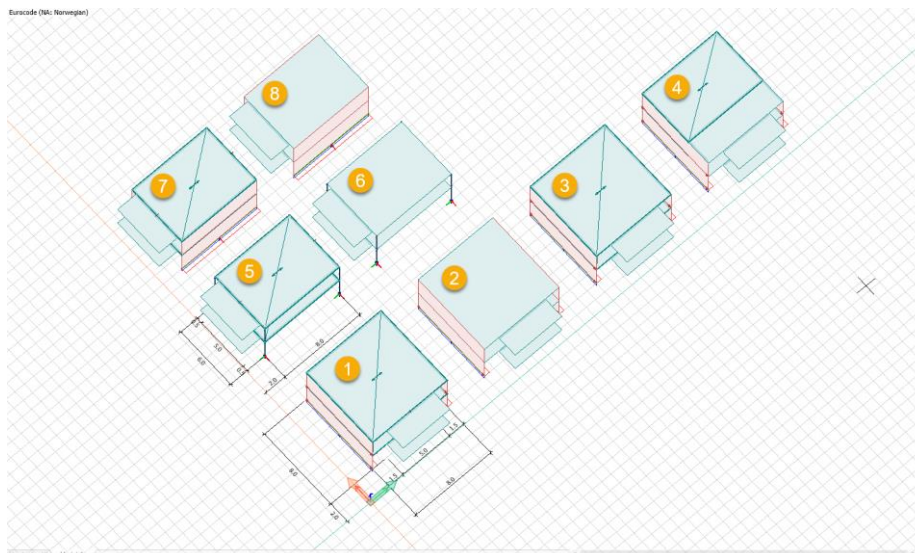
NOTAT – UTKRAGEDE BALKONGER



Utf:thla, 24.02.22, ktr: stso, 24.02.22

Det er utført en enkel elastisk analyse av følgende løsninger med hulldekker og plasstøpte konstruksjoner basert på en valgt geometri. Geometri og spennretning på hulldekker i henhold til figur.

1. Hulldekke 265 på vegg med stålbjelke langs sidekant og utkraget balkong $t=220\text{mm}$ i sidekant hulldekke
2. Plasstøpte vegger og dekker, og utkraget balkong i sidekant
3. Hulldekke 265 på vegg og utkraget balkong $t=220\text{mm}$ i sidekant hulldekke
4. Hulldekke 265 på vegg, med 2,4m massivdekke $t=250\text{mm}$ ytterst mot balkong i sidekant
5. Hulldekke på bæresystem av bjelker og søyler, med balkong utkraget i enden av hulldekkene
6. Flatedekke på søyler med momentstiv forbundet balkong
7. Hulldekke på bæresystem av bjelker og vegger, med balkong utkraget i enden av hulldekkene
8. Plasstøpt bæresystem av vegger og dekker, med balkong utkraget (omtrent tilsvarende 2)

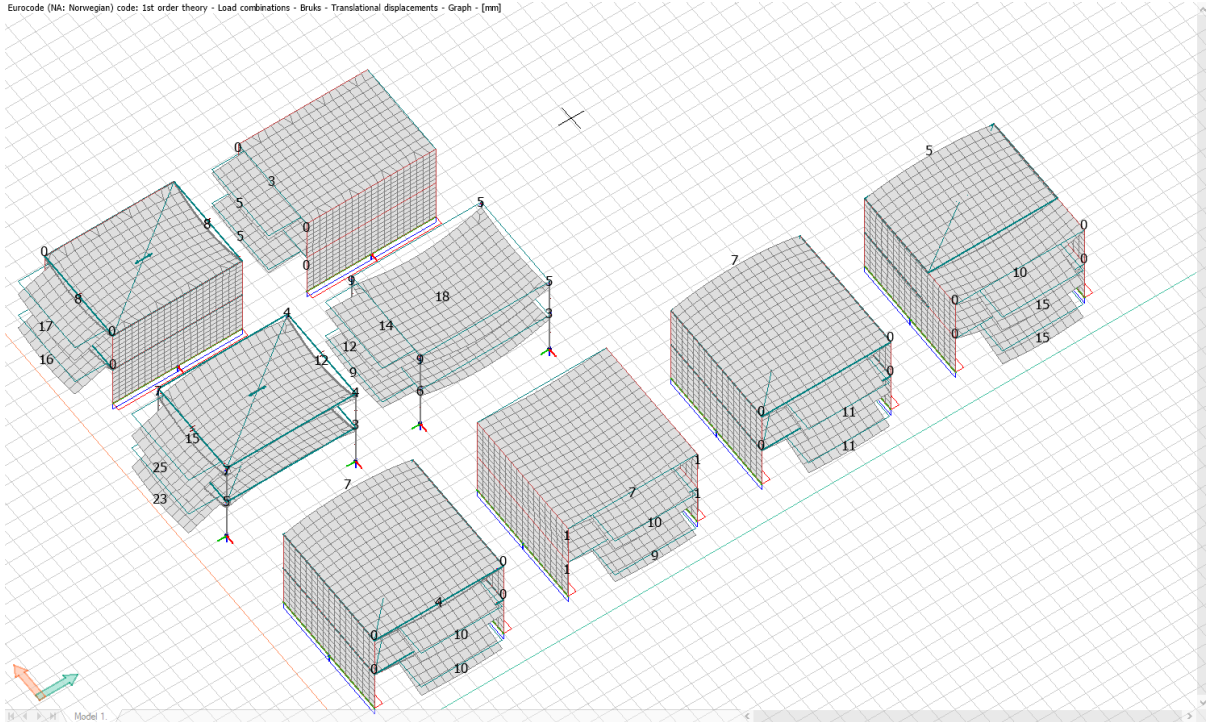


LASTER

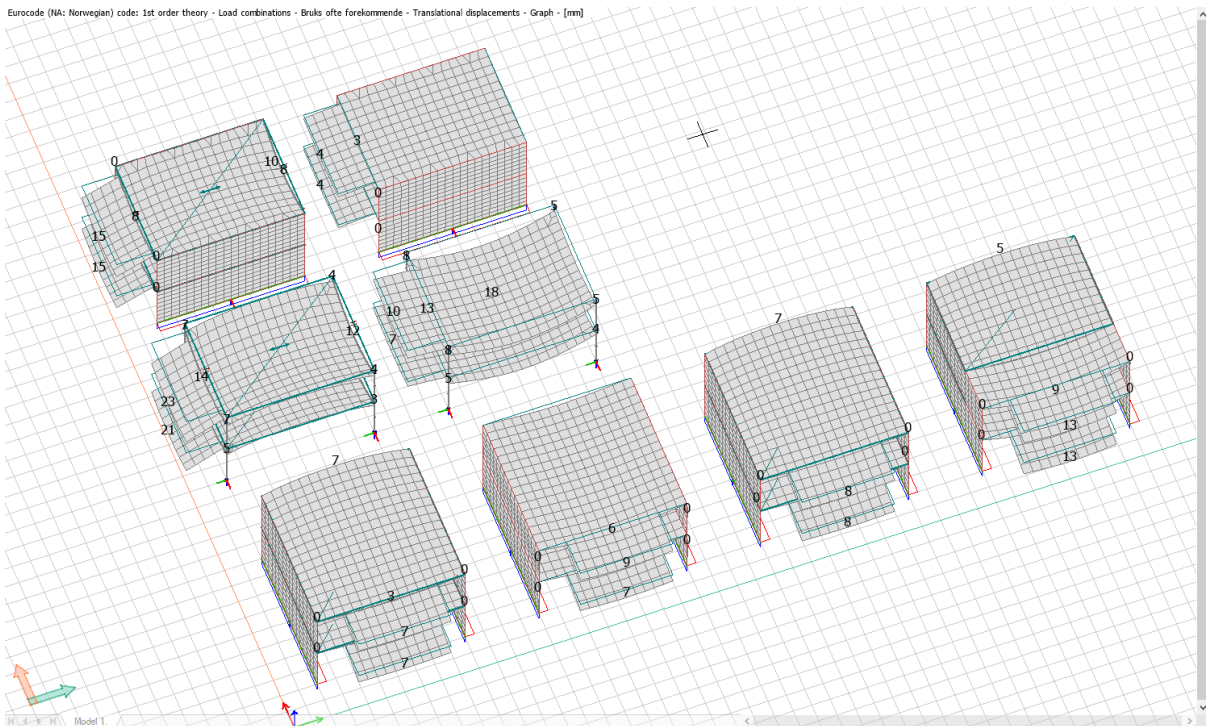
Boliglast påført egenlast $2,0\text{ kN/m}^2$ på dekkene. $0,5\text{ kN/m}^2$ på balkongene. Nyttelast $4,0\text{ kN/m}^2$ på balkonger. Ingen nyttelast på dekkene innenfor balkonger.

Kjørt på elastisk analyse, dvs. effekter av langtids effekter ignorert.

Karakteristiske laster



Ofte forekommende (1,0G+0,5P)

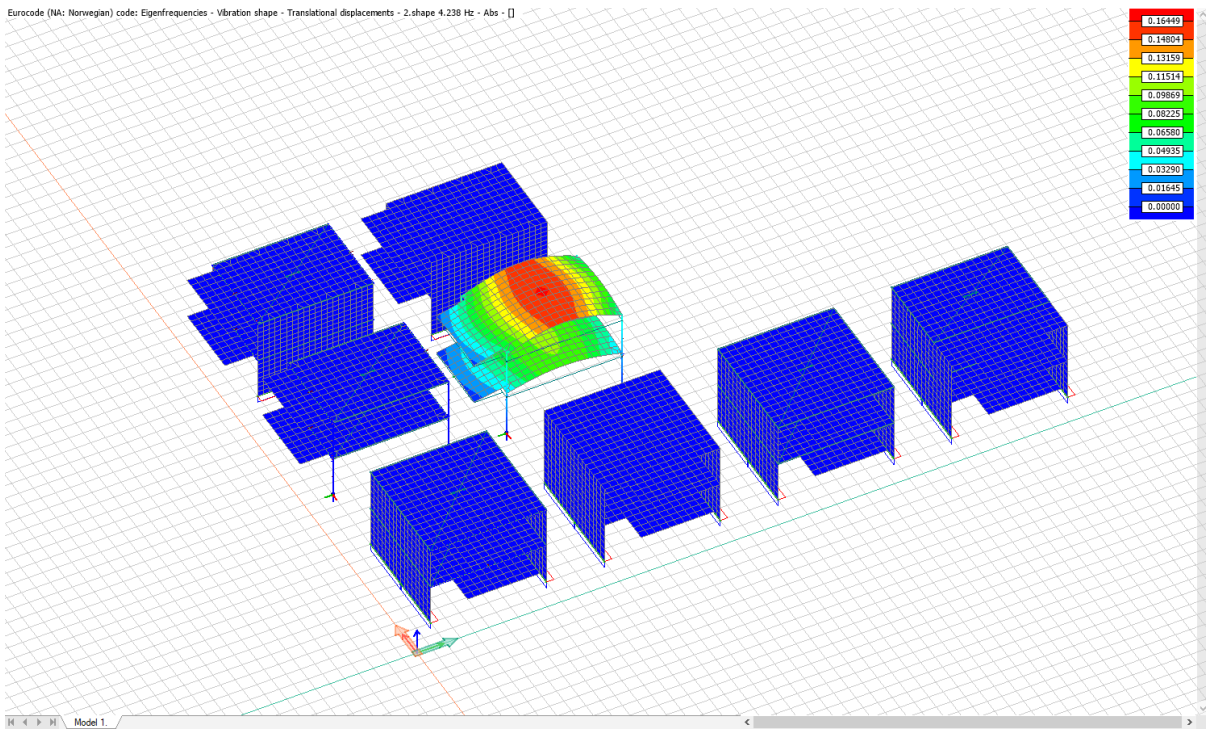
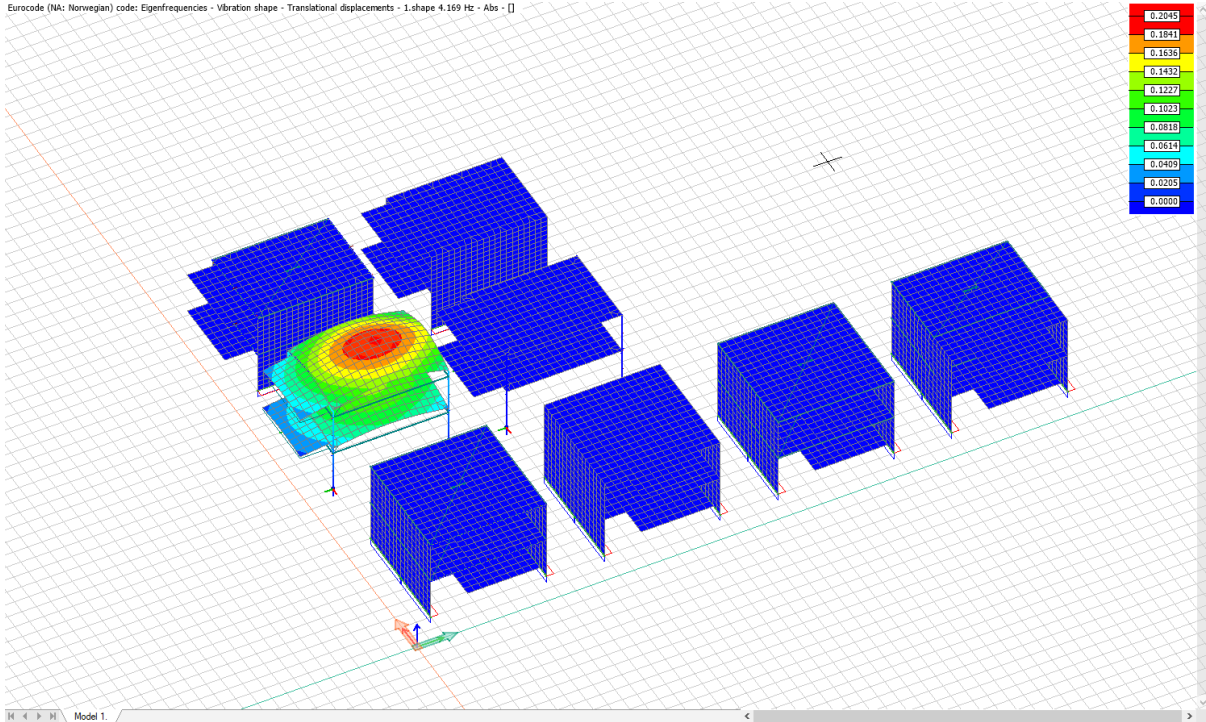


Eigenfrequencies			
Shape	Frequency	Period	System
[-]	[Hz]	[s]	-
1	4,2	0,2	5
2	4,2	0,2	6
3	4,7	0,2	3
4	4,7	0,2	
5	4,7	0,2	
6	5,0	0,2	
7	5,0	0,2	7
8	5,1	0,2	
9	5,1	0,2	1
10	5,1	0,2	
11	5,2	0,2	4
12	5,2	0,2	
13	5,8	0,2	
14	6,2	0,2	
15	6,3	0,2	
16	6,5	0,2	
17	6,5	0,2	
18	6,7	0,1	
19	6,9	0,1	
20	6,9	0,1	
21	6,9	0,1	
22	6,9	0,1	

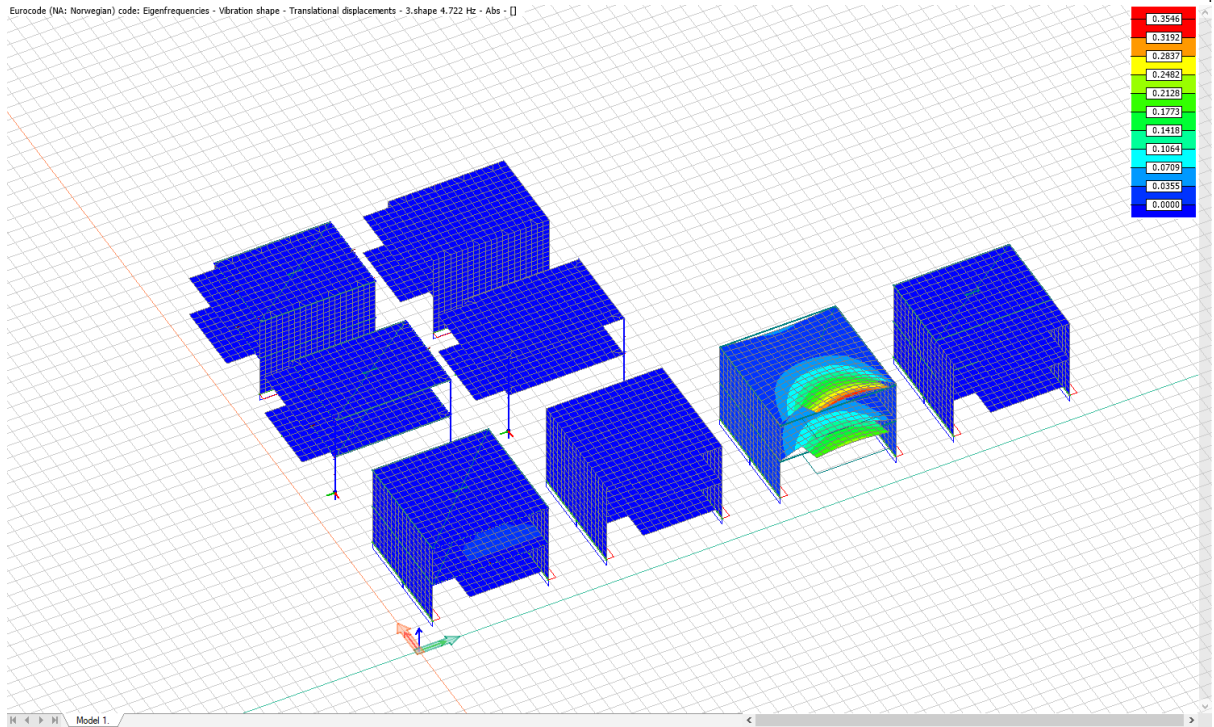
23	6,9	0,1	
24	7,0	0,1	2
25	7,5	0,1	
26	7,5	0,1	
27	7,7	0,1	
28	7,7	0,1	
29	8,0	0,1	
30	8,3	0,1	
31	8,8	0,1	
32	9,2	0,1	
33	9,2	0,1	
34	9,6	0,1	
35	9,9	0,1	
36	9,9	0,1	
37	10,1	0,1	
38	10,8	0,1	8
39	11,0	0,1	
40	11,3	0,1	
41	11,5	0,1	
42	11,5	0,1	
43	11,5	0,1	
44	11,7	0,1	
45	12,0	0,1	
46	12,2	0,1	
47	12,2	0,1	
48	13,0	0,1	

49	13,0	0,1	
50	13,1	0,1	

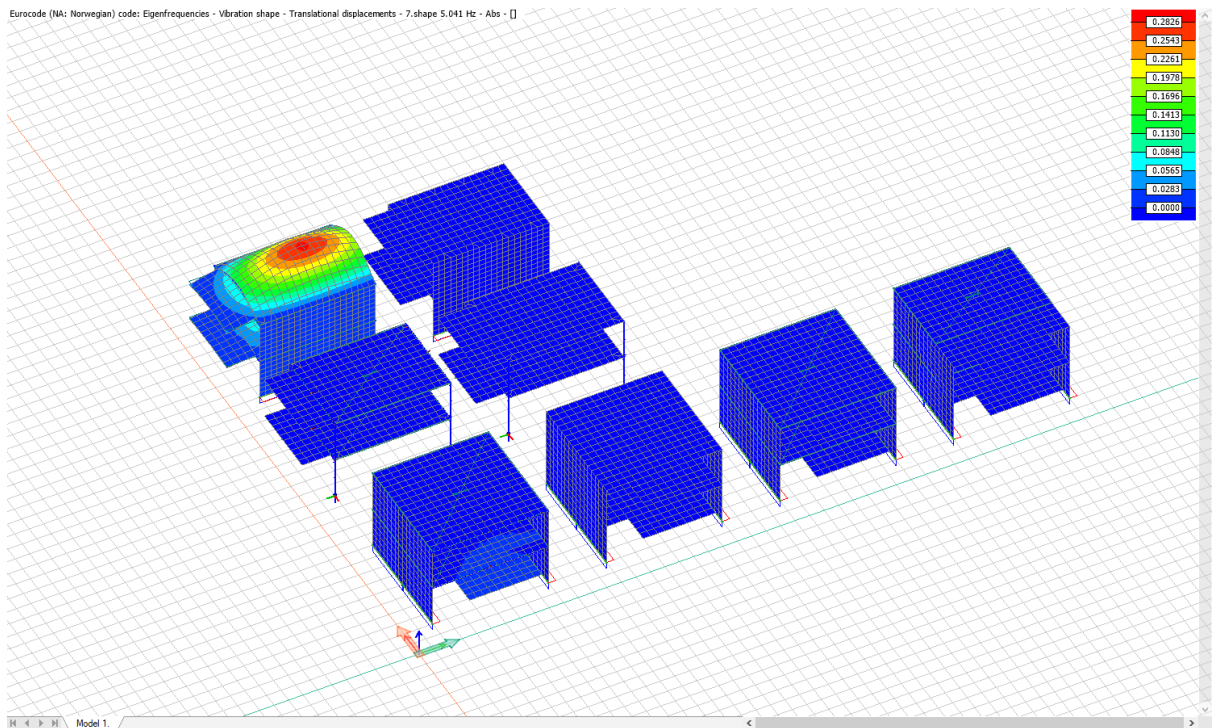
Egensvingemoder:



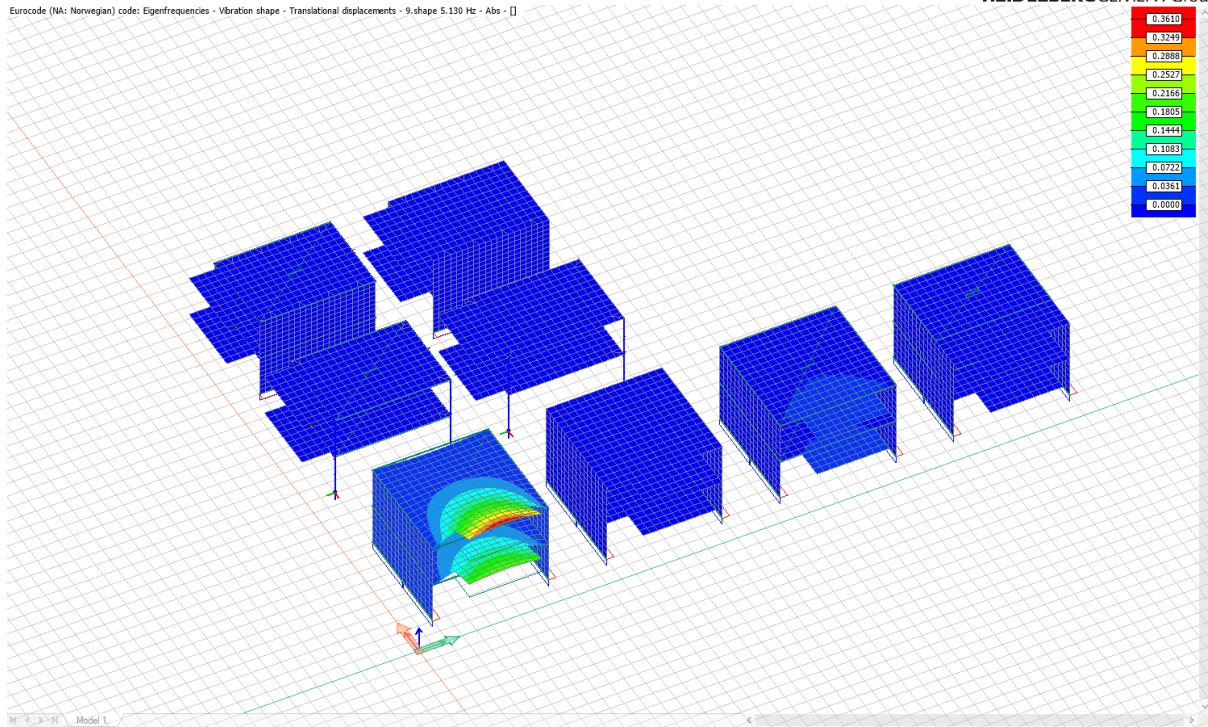
Eurocode (NA: Norwegian) code: Eigenfrequencies - Vibration shape - Translational displacements - 3.shape 4.722 Hz - Abs - []



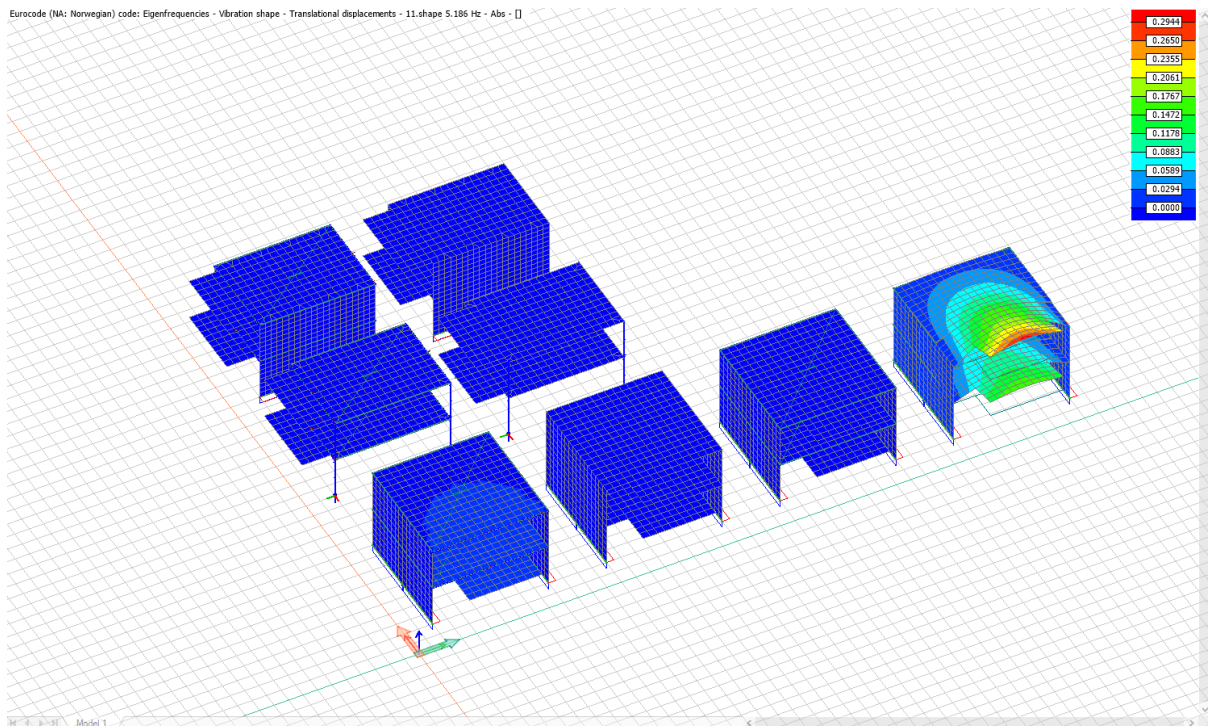
Eurocode (NA: Norwegian) code: Eigenfrequencies - Vibration shape - Translational displacements - 7.shape 5.041 Hz - Abs - []



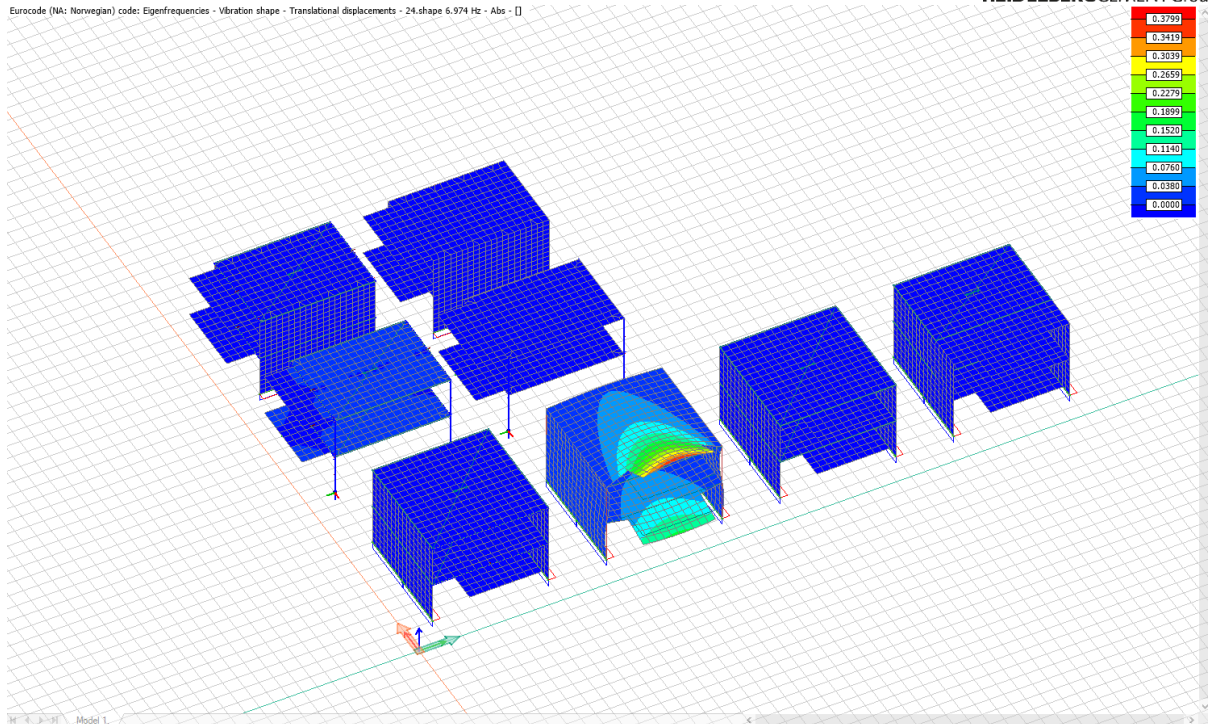
Eurocode (NA: Norwegian) code: Eigenfrequencies - Vibration shape - Translational displacements - 9.shape 5.130 Hz - Abs - []



Eurocode (NA: Norwegian) code: Eigenfrequencies - Vibration shape - Translational displacements - 11.shape 5.186 Hz - Abs - []



Eurocode (NA: Norwegian) code: Eigenfrequencies - Vibration shape - Translational displacements - 24.shape 6.974 Hz - Abs - []



Eurocode (NA: Norwegian) code: Eigenfrequencies - Vibration shape - Translational displacements - 38.shape 10.844 Hz - Abs - []

