

André Ekroll, Stig Ove Lekven Sætre, Erik Lilleås
Sandal

Dimensjonere og sammenligne etterspent dekke mot planlagt hulldekke i Sundebygget

Bacheloroppgave i ingeniørfag - Bygg

Veileder: Torodd Skjerve Nord

Medveileder: Anders Magne Flemmen

Mai 2021

André Ekroll, Stig Ove Lekven Sætre, Erik Lilleås
Sandal

Dimensjonere og sammenligne etterspent dekke mot planlagt hulldekke i Sundebygget

Bacheloroppgave i ingeniørfag - Bygg
Veileder: Torodd Skjerve Nord
Medveileder: Anders Magne Flemmen
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

TITTEL:
Dimensjonere og sammenligne etterspent dekke mot planlagt hulldekke i Sundebygget.

KANDIDATNUMMER(E):
10010, 10016 og 10046

DATO: 20.05.2021	EMNEKODE: IB 303312	EMNE: BACHELOROPPGAVE	DOKUMENT TILGANG:
STUDIUM: BACHELOR I INGENIØRFAG - BYGG	ANT SIDER/VEDLEGG: 165/80	BIBL. NR:	

VEILEDER:
Torodd Skjerve Nord

Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av studenter ved NTNU i Ålesund.

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

<i>Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:</i>		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§14 og 15.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens studieforskrift §31	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 20

Veileder: Torodd Skjerve Nord

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning.

Opgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

ja nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato: 20.05.2021

FORORD

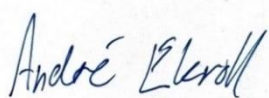
Denne Bacheloroppgaven er skrevet under vårsemestret 2021 ved NTNU i Ålesund. Oppgaven er den avsluttende hovedoppgaven for studieløpet byggingeniør der vi har spesialisert oss innen konstruksjon. Det var tidlig et ønske at tema for oppgaven skulle omhandle noe innen konstruksjon. Consto Midt-Norge AS kom med et forslag om å sammenligne deres valgte løsning med hulldekke mot etterspent dekke ved det nye studenthuset Sundebygget. Dette passet oss fint, med tanke på våre egne ønsker.

Dimensjonering har blitt gjort med hjelp fra CCL Norway, som har gitt oss tilgang til kontor, programvare og kompetanse om etterspent dekke. Vi har tilegnet oss ny kunnskap og erfaringer som vi kommer til å ta med videre i den ingeniørfaglige yrkesutøvelsen.

En spesiell takk rettes til:

- Torodd Skjerve Nord (Veileder ved NTNU Ålesund)
- Anders Magne Flemmen (Prosjektjef ved Consto Midt-Norge)
- Kristian Trygstad (Daglig leder ved CCL Norway AS / CCL Engineering Norway AS)
- Odin Holtlien Blø (Sivilingeniør ved CCL Engineering Norway AS)

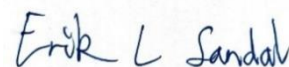
Ålesund 20.05.2021



André Ekroll



Stig Ove Lekven Sætre



Erik Lilleås Sandal

SAMMENDRAG

I denne oppgaven dimensjoneres et utvalg av etasjeskillere i det nye studenthuset (Sundebygget) ved NTNU Ålesund som etterspente dekker. Hensikten med oppgaven er å finne ut om opprinnelig løsning med hulldekke er det beste alternativet mot et etterspent dekke med tilsvarende geometrier og egenskaper som hulldekke. Det er Consto Midt-Norge AS som har prosjektert hulldekkene, og vi vil prosjektere dekkene som etterspent betongdekker. Det vi vil sammenligne er kostnad, tidsbruk, dekketykkelse og betongbruk.

Oppgaven ser på disse to dekkssystemene. Hulldekke bruker forspente kabler og blir produsert i fabrikk, mens etterspent dekke er et plasstøpt dekke hvor spennkabler blir spent opp etter støpning er ferdig.

Dimensjonering og analyser er gjort med RAM Concept og det har i tillegg blitt utført håndberegninger for en valgt del av et dekke. Pris og tidsbruk er innhentet fra Consto Midt-Norge AS og CCL Norway AS, der vi har kommet fram til en totalpris for hvert enkelt dekkssystem.

Basert på oppnådde resultater og diskusjoner er de etterspente dekkene fullt gjennomførbare. Der vi i tillegg klarer å redusere dekketykkelse på alle dekkene i forhold til hulldekke, og betongbruken er litt lavere. Men prisen og tidsbruk blir mye høyere enn hulldekke.

Konklusjonen blir derfor at hulldekke er den beste løsningen for dette bygget.

ABSTRACT

In this thesis we calculate a selected number of slabs in the new campus building (Sundebygget) by NTNU Ålesund. The purpose of the thesis is to find out if the hollow core slabs is the best option, which is projected by Consto Midt-Norge AS. Or whether the post-tensioned slabs we are calculating is a better alternative, where we compare price, time, slab thickness and concrete usage.

The thesis focuses on these two slab-systems. Hollow core uses pre-tensioned tendons and is produced in factories, while post-tensioned slabs are cast on site where the tendons are stressed after casting is finished.

Calculation and analyzes has been done with RAM Concept, and in addition there have been done some hand calculations for a chosen part of a slab. Price and time use is given by Consto Midt-Norge AS and CCL Norway AS, where we have calculated a total price for each slab-system.

Based on achieved results and discussions, the post-tensioned slabs are fully doable and in addition the slab thickness is smaller than the hollow core slabs, while also using less concrete. But the price and time became much higher with post-tensioned slabs.

The conclusion is therefore that hollow core is the best solution for this building.

INNHOLD

FORORD	4
SAMMENDRAG	5
TERMINOLOGI	10
BEGREPER	10
FØRKORTELSER, SYMBOLER OG NOTASJON	11
FIGURLISTE	13
TABELLISTE	15
1. INNLEDNING	16
1.1. BAKGRUNN	16
1.2. FORMÅL OG PROBLEMSTILLING	17
1.3. AVGRENSINGER	17
1.4. RAPPORTENS OPPBYGGING	18
2. TEORETISK GRUNNLAG	19
2.1. REGELVERK	19
2.1.1. Standarder	19
2.1.2. Forskrifter	19
2.1.3. Lovverk	19
2.2. BETONG	20
2.2.1. Generelt	20
2.2.2. Betongens mekaniske egenskaper	20
2.2.3. Svinn	21
2.2.4. Kryp	21
2.3. SPENNBETONG	21
2.3.1. Historie	21
2.3.2. Generelt	22
2.3.3. Betong i spennkonstruksjoner	22
2.3.4. Spennstål	23
2.3.5. Konsepter i oppspenning	23
2.4. ETTEROPSPENNING	24
2.4.1. Generelt	24
2.4.2. Ekvivalente krefter og lastbalansering	25
2.4.3. Fordeler og ulemper	26
2.4.4. Injiserte kabler	27
2.4.5. Uinjiserte kabler	28
2.4.6. Oppspenningen	29
2.4.7. Tap av spennkraft	30
2.5. PREFABRIKKERTE ELEMENTER	33
2.5.1. Generelt	33
2.5.2. Hulldekker	34
2.5.3. Montering	36
2.5.4. Konstruksjonsdetaljer	37
2.5.5. Fordeler og ulemper	38
2.6. JORDSKJELV	39

2.6.1.	<i>Jordskjelvberregning knyttet til etterspent betong</i>	39
2.7.	PROSJEKTERING AV ETTERSPEPTE BETONGDEKKER	40
2.7.1.	<i>Plassering av bærende vegger</i>	40
2.7.2.	<i>Faser ved dimensjonering</i>	41
2.7.3.	<i>Distribusjon av spennkabler i toveis dekke</i>	43
2.8.	DOKUMENTASJON OG KONTROLL AV MONTASJE AV ETTERSPEPTEKABLER	43
2.8.1.	<i>Publikasjon nr. 14</i>	43
2.8.2.	<i>Krav</i>	43
2.8.3.	<i>Spennliste</i>	43
2.8.4.	<i>Oppspenningsprotokoll</i>	44
2.9.	DOKUMENTASJON OG KONTROLL AV MONTASJE AV HULLDEKKE	44
2.9.1.	<i>Mottakskontroll</i>	44
2.9.2.	<i>Egenkontroll av montasjen</i>	45
2.10.	PROGRAMVARER	46
2.10.1.	<i>Mathcad</i>	46
2.10.2.	<i>Solibri</i>	46
2.10.3.	<i>AutoCAD</i>	46
2.10.4.	<i>RAM Concept</i>	46
2.10.5.	<i>Excel</i>	47
3.	METODE	48
3.1.	LITTERATURSØK	48
3.2.	OPPRINNELIG LØSNING MED HULLDEKKE	49
3.3.	SAMMENLIGNING AV DEKKENE	51
3.4.	RAM CONCEPT	52
3.4.1.	<i>Tegne inn modellen av dekket</i>	52
3.4.2.	<i>Legge inn laster</i>	53
3.4.3.	<i>Definere design strips i X og Y retning</i>	54
3.4.4.	<i>Spennkabler i X- og Y- retning</i>	55
3.4.5.	<i>Kontrollere resultatet og justere for feilmeldinger</i>	56
3.4.6.	<i>Justeringer</i>	58
3.5.	HÅNDBEREGNING	60
3.5.1.	<i>Lastbalansering</i>	60
3.5.2.	<i>Tap av spennkraft</i>	62
4.	RESULTATER	67
4.1.	SAMMENLIGNING AV DEKKENE	67
4.1.1.	<i>Dimensjoner</i>	67
4.1.2.	<i>Kostnader</i>	67
4.1.3.	<i>Tidsbruk</i>	68
4.1.4.	<i>Betongbruk</i>	69
4.2.	FRA RAM	69
4.2.1.	<i>Dimensjoner og mengder</i>	69
4.2.2.	<i>Primærkabler i dekke over kjeller</i>	71
4.2.3.	<i>Sekundærkabler i do kjeller</i>	72
4.2.4.	<i>Nedbøying</i>	73
4.2.5.	<i>Slakkarmeringsføring</i>	74
4.3.	HÅNDBEREGNINGER	75
4.3.1.	<i>Lastbalansering</i>	75
4.3.2.	<i>Tap av spennkraft</i>	76

5. DISKUSJON	77
5.1. BEGRUNNELSE FOR VALG AV KABELFØRING	77
5.1.1. <i>Justeringer fra Ram Concept</i>	77
5.1.2. <i>Fra håndberegningen</i>	78
5.1.3. <i>Håndberegninger sett mot Ram Concept</i>	80
5.1.4. <i>Endring fra opprinnelig løsning – fjerning av fastspent hjørne</i>	80
5.1.5. <i>Utkraging ved trapp</i>	81
5.2. FORDELER OG ULEMPER	81
5.3. ERFARINGER	82
6. KONKLUSJON	83
7. REFERANSER	84
8. VEDLEGG	85
8.1. EXCELDOKUMENTER MASSEBEREGNING	85
8.2. DETALJTEGNINGER FOR DEKKENE	89
8.3. DATA FRA CONSTO	95
8.4. DIVERSE SJEKKLISTER	98
8.5. HÅNDBEREGNING FRA MATHCAD – TAP AV SPENNKRAFT	102
8.6. HÅNDBEREGNINGER FRA MATHCAD - LASTBALANSERING	107
8.7. DEKKE PLAN 1 + DIV INFO FRA RAM CONCEPT	118
8.8. DEKKE PLAN 2	133
8.9. DEKKE PLAN 3	140
8.10. FORPROSJEKTSRAPPORT	145
8.11. LOGGFØRING	160
8.12. AVTALE MED BEDRIFT	161
8.13. MØTEREFERAT	164

TERMINOLOGI

Begreper

Aktiv anker – ankeret på spennkabel hvor man spenner opp med jekk, overfører kraft til betongen

Analyse – er den beregningsmessige delen i prosjekteringen

Dekkesystem – for eksempel hulldekke eller etterspent dekke

Design – er valg av dimensjoner, utforming, antall spennkabler, og baseres på analysen/arkitekturen

Design Strip – En inndeling av dekket i Ram Concept

Duktilitet – Hvor seigt et materiale oppfører seg

Eksentrisitet – avstand fra tyngdepunkt dekke (her forkortet til tpb) til tyngdepunkt spennarmering (tps).

E-modul – Youngs modul. Forholdet mellom fasthet og forlengelse.

Injisert – spennkabelen er omgitt av herdet masse

Inntrukne søyler – Søyler som er plassert på innsiden av dekket, slik at dekket er utkraget

Noder – Knutepunkt

Passiv anker – anker på spennkabel som overfører kraft til betongen

Relaksasjon – spenningsfall i armering fra konstant tøyning over tid

Retninger – Hvor ikke annet er definert:

X – retning vil være horisontalt på tegningen, hvor positiv retning er til høyre.

Y – retning vil være vertikalt på tegningen med positiv retning oppover.

Z – retningen er inn og ut av papirplanet hvor positiv retning er ut av papiret

Uinjisert – Spennkabelen ligger fritt i et plastikkør

Von Mises – metode for å beregne maks spenninger i en kombinasjon av x – og y – retning.

Forkortelser, symboler og notasjon

a = spennkabelføring (tps)

A_c = arealet av betongtverrsnittet

A_p = er tverrsnittsarealet til spennarmeringen

b = bredde på beregnet element for håndberegning

C_b = avstand fra senter spennkabel og ned til dekkekant

C_t = avstand fra senter spennkabel og opp til dekkekant

d = dekketykkelsen

d_o = dekke over

E_{cm} = E-modulen til betongen

E_p = E-modulen til spennarmeringen

f_{cm} er gjennomsnittlig betongtrykkfasthet etter 28 døgn, hentet fra Tabell 3.1 i EC2

f_{pd} = dimensjonerende fasthet spennstål

f_{pk} = karakteristisk fasthet spennstål

$f_{p0,1k}$ = 0,1% inelastisk tøyningsgrense spennstål

F_e = Spennkraft

F_{eff} = Effektiv spennkraft (spennkraft etter tap)

f_{se} = spenning etter tap

h = tykkelsen på dekket

$h_0 = 2 \cdot A_c / u$

I_c er treghetsarealet til betongen

K = tilleggskrumning per lengdeenhet, hentet fra datablad fra CCL

k_h er en koeffisient som er avhengig av den effektive tverrsnittstykkelsen h_0

K_{vm} = kvadratmeter

L = Lengde av beregnet element for håndberegning

MPa – N/mm²

n = antall spennkabler

P_{max} = oppspenningskraft ved jekken

Pa – N/m²

t er timer etter oppspenning

t_{pa} – tyngdepunktsakse spennarmering

Ved spesifisering av tpa (i mm) brukes avstand fra bunn av dekkekant og opp til senter spennkabel ved et gitt punkt i dekket.

tpb – tyngdepunktsakse dekke. Bruker tpb = halvparten av dekketykkelsen

u = omkretsen av den konstruksjonsdelen utsatt for uttørking

wbal = balansert last

x = avstanden langs spennkabelen fra jekk (gjelder for tap av spennkraft)

ε = tøyning

$\varepsilon_{cd,0}$ = den nominelle verdien for uttørkingssvinnet

ε_{cs} = den frie svinntøyningen

ρ_{1000} = prosentvis relaksasjonstap etter 1000 timer (for 2,5%, brukes tallet 2,5 i formelen, ikke 0,025)

γ_s = materialkoeffisient armering

μ = friksjonskoeffisienten, hentet fra datablad fra CCL

$\mu = \sigma_{pi}/f_{pk}$, der f_{pk} er den karakteristiske strekkfastheten til spennarmeringen (spenning i relaksasjonstap)

θ = summen av vinkelendringene over en avstand x

$\varphi(t, t_0)$ = kryptallet. Blir her satt som $\varphi(\infty, t_0)$

σ = spenning

$\sigma_{c,QP}$ er betongspenningen ved spennarmeringen

σ_{pi} er spenningen i kabelen rett etter oppspenning

$\Delta\sigma_{pr}$ = langtids relaksasjonstap

$\Delta\sigma_{pr}$ er relaksasjonstapet i oppspenningen

Z_{cp} = eksentrisiteten til kabelen.

Figurliste

- Figur 1.1 Arkitektsskisse av Sundebygget (Sit, 2021)
- Figur 2.1 Test for dokumentering av E-modul (Maage)
- Figur 2.2 Visualisering av deformasjon i test av E-modul (Maage, 2015)
- Figur 2.3 Hvordan trykk fra oppspenning påvirker spenningen i en bjelke (Sørensen, 2013)
- Figur 2.4 Spennkabelprofil i etterspent betongelement (Sørensen 2010)
- Figur 2.6 Bjelke med påførte krefter fra oppspenning og laster, og ekvivalente krefter fra spennkabel (Sørensen, 2013)
- Figur 2.7 Rør for injiserte spennkabler (Astral Pipes, 2021).
- Figur 2.8 Komponenter i injisert etterspenning (Juliebø, 1997).
- Figur 2.9 Plastbelagt fettet spenntau (Juliebø, 1997)
- Figur 2.10 Komponenter i uinjiserte spennsystemer (Juliebø, 1997)
- Figur 2.11 Oppspenning av spennkabler (KB Spenneteknikk AS, 2018)
- Figur 2.12 Oppspenning- og friksjonsretning (Sørensen, 2013)
- Figur 2.13 Spenningstapet, $\Delta\sigma_{pr}$, som følge av relaksasjon (Sørensen, 2013)
- Figur 2.14 Eksempel på prefabrikkert element hulldekke
- Figur 2.15 Konsept for spennbenk (Sørensen, 2013)
- Figur 2.16 Bæresystem med kombinasjon av stål-søyler og bjelker med hulldekket oppå (Node, 2019).
- Figur 2.17 Påstøp oppå hulldekke (Sintef, 2005)
- Figur 2.18 Vanlig armeringsføring før fugging (Vinje et al., 2010)
- Figur 2.19 Staging (Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund, 2008)
- Figur 2.20 Stempling (Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund, 2008)
- Figur 2.21 Eksempler på løsninger der første viser et tosidig opplegg med hatteprofil. Deretter er det et ensidig opplegg på vinkel mot betongvegg. Til slutt er det ensidig opplegg på valset profil (Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund, 2008)
- Figur 2.22 Mellomlegg mellom vegg og hulldekke (Vinje et al., 2010)
- Figur 2.23 Plassering av skjærvegger (*Post-Tensioning Manual*, 2006)
- Figur 2.24 Detalj på dekke mot bærevegg (CCL)
- Figur 3.1 Modell over opprinnelig løsning med hulldekke for plan kjeller til plan 3 (Solibri/Consto)
- Figur 3.2 Forenklet plantegning for plan 1, med søylenummerering, nummerering av spenn, og trapp (AutoCad)

Figur 3.3 Opprinnelige bærevegger (lys grønn), søyler (mørk beige), stålbjelker (mørkeblå) og stålsøyler (svart) for dekket over kjeller. Påsatt navn for sentrale rom i plan kjeller. (Consto)

Figur 3.4 Inntegnet dekke, vegger og søyler i programmet (Ram Concept)

Figur 0.1 Lastplan for påsatt egenlast, vist som skravert område (Ram Concept)

Figur 3.6 Området (hele plan 1) for jevnt fordelt nyttelast (Ram Concept)

Figur 3.7 Design strips i X - retning (Ram Concept)

Figur 3.8 Design strips i Y – retning (Ram Concept)

Figur 3.9 Spennkabler i X – retning (Ram Concept)

Figur 3.10 Spennkabler i Y – retning (Ram Concept)

Figur 3.11 Design Status. Eksempel på hvordan status var ved ferdig dimensjonert dekke over kjeller. (Ram Concept)

Figur 3.12 Grafisk representasjon av maks spenning (Von Mises) for bunn av dekket over kjeller (Ram Concept)

Figur 3.13 Eksempel på hvordan nedbøyningen så ut ved ferdig dimensjonert do kjeller (Ram Concept)

Figur 3.14 Eksempel på for mye eksentrisitet ved spenn 1 og 3 (rød strek). Dekket på figuren er skalert opp (AutoCad)

Figur 3.15 Område (rød sirkel) hvor vi fjernet en del av opprinnelig vegg for dekke i plan 1(AutoCAD)

Figur 4.1 Plan 1 med dekketykkelser. (AutoCad)

Figur 4.2 Plan 2, med dekketykkelse (AutoCad)

Figur 4.3 Plan 3, med dekketykkelse (AutoCad)

Figur 4.4 Symboler for hvor mange spennkabler som går i linjen

Figur 4.5 Spennkabelføring i Y – retning for dekke over kjeller (AutoCad)

Figur 4.6 Spennkabelføring i X – retning for

4.7

Figur 4.8 Slakkarmering i bunn av dekket over kjeller (Ram Concept)

Figur 4.9 Slakkarmering i topp av dekket over kjeller. (Ram Concept)

Tabelliste

Tabell 2.1 Veiledning for bestemmelse av dekketykkelse (*Post-Tensioning Manual*, 2006)

Tabell 3.2 Priser vi har brukt i utregning av kostnader (Consto/CCL)

Tabell 3.3 Estimert tidsbruk (Consto/CCL)

Tabell 4.10 Overdekning vi valgte for de ulike armeringstypene

Tabell 4.11 Dekketykkelser vi har kommet fram til for de ulike planene

Tabell 4.1 Målt areal av det vi tegnet inn i Ram Concept. Arealene er like for hulldekkene

Tabell 4.2 Tykkelse på hulldekke og etterspent dekke

Tabell 4.3 Kostnader for løsningen med etterspent dekke

Tabell 4.4 Kostnad for opprinnelig løsning med hulldekke

Tabell 4.5 Kostnadsdifferansen for hulldekke mot etterspent dekke

Tabell 4.6 Tidsestimat for etterspent dekke

Tabell 4.7 Tidsestimat for hulldekke

Tabell 4.8 Differanse på tidsestimat for hulldekke mot etterspent (negativ verdi = tar lengre tid med etterspent dekke)

Tabell 4.9 Betongbruk

Tabell 4.12 Lastbalansering

Tabell 4.13 Tabell over spennkabelføring ved ulike deler av dekket

Tabell 4.14 Spenningstap

Tabell 4.15 Spenninger i spennarmering før og etter tap

1. INNLEDNING

1.1. Bakgrunn

Ålesund begynner å etablere seg på kartet som en attraktiv studentby. Studentsamfunnet vokser fort og trenger lokaler til forskjellige bruksmål. Et samarbeid mellom NTNU, Ålesund kommune, Brødr. Sunde AS og Sit sørger for et nytt studenthus som blir hetende Sundebygget. Bygget skal ligge sentralt på Campus Ålesund og skal være et samlingspunkt og bindeledd mellom studenter, industri og næringsliv.

Bygget blir bestående av en flerbruksdel på 2 475 kvadratmeter med innovasjonshub, serveringsted, treningssenter, kontor til studentfrivillighet og studentorganisasjoner, og kontorer og kundemottak for Sit. Det blir også en del på 2 270 kvadratmeter som er studenthybler. Bygging er igangsatt der Consto Midt-Norge er totalentreprenør for prosjektet, som er planlagt ferdig semesterstart 2022.

Consto Midt-Norge hadde et ønske om at vi skulle vurdere deres planlagte hulldekke mot etterspent dekke. Resultatet til rapporten vil ikke endre på noe av deres planlagte hulldekke, men vil kunne gi dem nyttig kunnskap om etterspente dekker til fremtidige prosjekter.



Figur 1.1 Arkitektskisse av Sundebygget (Sit, 2021)

1.2. Formål og problemstilling

Formålet med oppgaven er å dimensjonere de tre nederste etasjeskillerne i Sundebygget med etterspent betong for å se om det hadde vært et bedre alternativ enn den opprinnelige løsningen med hulldekke. Dekkene blir sammenlignet på kostnad, tidsbruk, dekketykkelse og betongbruk.

Et annet formål for vår sin del, er å få mer kunnskap om både teori og gjennomføring av hulldekke og etterspent dekke.

Problemstilling: Hvilket av dekkesystemene er best for Sundebygget?

1.3. Avgrensinger

Av hensyn til tid og ressurser har vi gjort avgrensinger for hva rapporten tar for seg. Vi fikk tidlig rådgiving fra CCL at de fem øverste dekkene mest sannsynlig ikke er fordelaktige som etterspente dekker. Dermed ble det valgt å bare se på dekkene i plan 1, 2 og 3. Det er også foretatt noen forenklinger av form og opplagere for dekkene i håndberegninger. Andre forenklinger som er gjort:

- Har ikke tatt høyde for brann og lyd
- Der den opprinnelige løsningen med hulldekke har brukt stålbjelker, har vi i plan 2 og 3 brukt bærevægger når vi beregnet i RAM Concept. Dette fordi at formålet med å beregne plan 2 og 3, var å finne kostnadene for selve dekke.

1.4. Rapportens oppbygging

Tabell 1.1 Kapittelbeskrivelse

Kapittel	Innhold
Innledning	Forteller bakgrunn for arbeidet, formål og problemstilling, avgreninger og leserveiledning.
Teoretisk grunnlag	Gjennomgang av teori for alt som er relevant for rapporten.
Metode	Metodene som er brukt blir beskrevet slik at det kan reproduseres eller etterprøves.
Resultater	Presenterer resultater som ofte oppsummeres med figurer eller tabeller.
Diskusjon	Diskusjon som danner grunnlaget for konklusjonen.
Konklusjon	Svarer på problemstillingen.
Referanser	Liste over kilder som har blitt brukt.
Vedlegg	Informasjon som støtter innholdet i rapporten som større tabeller, omfattende beregninger og dataoversikt.

2. TEORETISK GRUNNLAG

2.1. Regelverk

2.1.1. Standarder

Prosjektering og utførelse av bygninger skal bli gjennomført ved å oppfylle reglene i Norsk standard (NS). Norsk Standard er en del av den felles europeiske standarden Eurokoder (EN). Standardene tar for seg krav på produkter, prosjektering og utførelse (Larsen, 2010)

2.1.2. Forskrifter

Byggeforskriftene inneholder bestemmelser om detaljer for tekniske krav (TEK), krav til dokumentasjon (DOK) og krav til byggesaksbehandling (SAK). Disse blir utarbeidet og forvaltet av Direktoratet for byggkvalitet (Larsen, 2010).

2.1.3. Lovverk

Plan og bygningsloven er en ramme og fullmaktslov som gir hovedbestemmelsene for konstruksjoner. For eksempel om planer på riksnivå, fylkes og kommuneplaner, reguleringsplaner og konsekvensutredninger. Det er også bestemmelser om byggetillatelse, nabovarsler og kontroll av byggearbeid (Larsen, 2010).

2.2. Betong

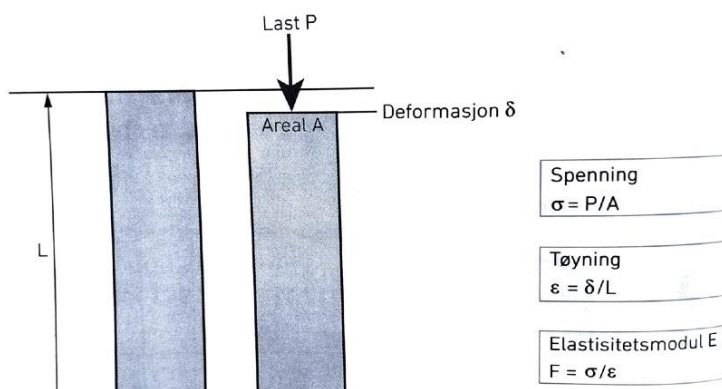
2.2.1. Generelt

Betong blir ansett som et av de viktigste materialene i byggebransjen. Betongen har egenskaper som gjør at det er mange muligheter for forskjellige utforminger og dimensjoner. Med kombinasjonen betong og armering tar betongen trykkreftene, og den lave strekkstyrken til betong blir kompensert av armeringsstålet sin store strekkstyrke. (Sørensen, 2013)

2.2.2. Betongens mekaniske egenskaper

Betongen sin viktigste egenskap er trykkfastheten, og det er denne man utnytter i betongkonstruksjoner. For å måle trykkfastheten til betongen, belaster man standardiserte prøvestykker til brudd. Prøvestykkene er produsert for et formål, som er å måle fasthet. I nasjonalt tillegg til NS-EN 206/4/ blir fasthetsklasser definert av betongens trykkfasthet etter testing av karakteristisk fasthet målt på en sylinder som har herdet i 28 døgn. Betegnelsen som blir brukt er bokstaven B og et to-sifret tall. Et eksempel på dette er B45, som betyr at sylinderprøven har en karakteristisk fasthet på 45 MPa. (Maage, 2015)

Når deformasjoner/nedbøyinger skal bergenes, må vi vite betongens E-modul. E-moduler finner du i NS-EN 1992-1-1 /5/ avhengig av fasthetsklasse. Hvis det er tiltenkt bruk av spennarmering, må E-Modulen dokumenteres med en test. Testen blir gjennomført med en økende last på en sylinder og måler deformasjoner som vist på figur 2.2 (Maage, 2015).



Figur 2.2 Visualisering av deformasjon i test av E-modul (Maage, 2015)

2.2.3. Svinn

Svinn er når volumet til betongen reduseres. Uttørkingssvinn og autogensvinn er de to bidragene som gir den totale svinntøyningen. Uttørkingssvinn er når fuktighet transporteres ut av herdet betong og er en langsom prosess. Autogensvinn er den kjemiske reaksjonen mellom vann og sement der det endelige volumet av sementpastaen er mindre enn volumet til de to individuelle stoffene til sammen. Svinn vil skje igjennom levetiden til konstruksjonen, men storparten vil skje på et tidlig stadium etter utstøping. (Dolan & Hamilton, 2019)

2.2.4. Kryp

Kryp blir definert som en deformasjon av betongen forårsaket av en permanent last/spenning over tid. Denne deformasjonen kommer i tillegg til den umiddelbare sammentrykningen fra lasten. Selv om lasten er langt under bruddgrensen, kan det oppstå deformasjoner som følge av kryp. Parametere som tverrsnittsarealet til betongelementet, betongens sammensetning, betongens alder når last blir påført, luftfuktighet og lastens varighet påvirker hvor mye kryp betongen får. (Maage, 2015)

2.3. Spennbetong

2.3.1. Historie

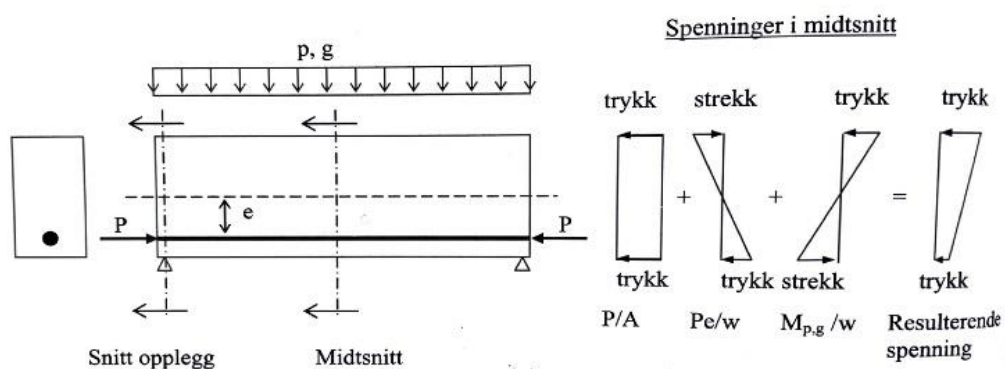
De første forsøkene på betong med spennarmering kom i slutten av 1800-tallet og tidlig på 1900-tallet, men de var generelt mislykket. Grunnen til dette var at tap av spennkraft utgjorde en så stor del av oppspenningskraften. Løsningen på dette problemet kom i 1930 av Eugene Freysinnet, en fransk ingeniør. Den gikk ut på at man brukte stål som kunne belastes med en høyere spenning, noe som gjorde at tapene av spennkraft utgjorde en mindre prosentandel. Dette stålet kunne forlenges med 0.7% ved oppspenning, til sammenligning med stål av lavere kvalitet som kunne forlenges med bare 0.15% ved oppspenning. Dette forklarer at oppspenning av stål av lavere kvalitet kan føre til at omtrent 70% av spenningen blir tapt som følge av spenningstap, mens ved oppspenning av stål av høyere kvalitet kan ha tap ned mot 20% (*Post-Tensioning Manual*, 2006).

Det som ble oppdaget som den største fordelen med spennarmering, var at man kunne ha et større uopprisset tverrsnitt enn før, som gjorde at man kunne dimensjonere lengre og tynnere, og dermed mer økonomiske konstruksjoner (Dolan & Hamilton, 2019).

2.3.2. Generelt

Spennbetong er betong som blir påført en trykkspenning slik at den vil motvirke ytre laster til en viss grad. Trykkspenningen blir påført betongen ved å danne en tøyning på strekkarmeringen med en strekkraft påført av en jekk. Strekkraften blir overført til betongen som trykk med hjelp av endeforankring av spennarmeringen, eller heft mellom spennarmeringen og betongen (Sørensen, 2013).

Konseptet blir illustrert i figur 2.3, der en fritt opplagt rektangulær bjelke får en last som danner strekk i underkant. Ved å legge spennarmeringen i underkant vil det motvirke strekket i underkant med en trykkraft fra armeringen.



Figur 2.3 Hvordan trykk fra oppspenning påvirker spenningen i en bjelke (Sørensen, 2013)

2.3.3. Betong i spennkonstruksjoner

Betongen som blir brukt i spennarmerte konstruksjoner må ofte ha en høyere fasthet enn i slakkarmerte konstruksjoner. Hovedgrunnen for dette er at den blir påført en mye høyere trykkspenning enn slakkarmerte konstruksjonsdeler. En annen årsak er at forankringspunktene kan ha veldig høye lokale spenninger. Vanlige fastheter er B35-B55, men det kan i noen spesielle tilfeller også være høyere fasthetsklasser enn dette. (Sørensen, 2013)

For å forhindre og redusere tap av effektiv forspenning på grunn av kryp og svinn, må betongens sammensetning og delmaterialer være godt planlagt slik at disse langtidseffektene ikke medfører store spenningstap. (Sørensen, 2013)

2.3.4. Spennstål

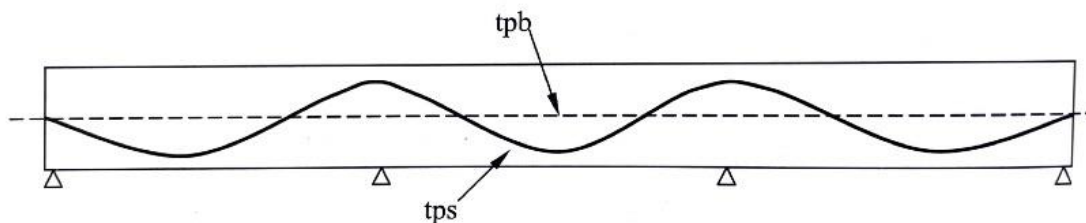
Spennarmering blir påført betydelig mer spenning enn vanlig slakkarmering, og det er derfor hensiktsmessig å bruke stål med høyere fasthet enn vanlig armering. En slik stålqualität oppnås ved en kombinasjon av legering og kaldbearbeiding. (Sørensen, 2013)

Materialegenskaper for spennstål er gitt i EC 2, 3.3.

2.3.5. Konsepter i oppspenning

Innenfor oppspenning av betong skiller man hovedsakelig mellom to metoder: føroppspenning, og etteroppspenning. Forskjellen mellom de to ligger i om spennarmeringen blir påført strekk før eller etter betongen er ferdig støpt og tilstrekkelig herdet (Sørensen, 2013).

En annen forskjell er hvordan spennarmeringen blir lagt i konstruksjonen. I forspent betong blir spennarmeringen lagt som en gjennomgående rettlinjert armering, mens i etterspent betong kan man i tillegg legge armeringen i tilnærmet parabelform slik som figur 2.4 viser.



Figur 2.4 Spennkabelprofil i etterspent betongelement (Sørensen 2010)

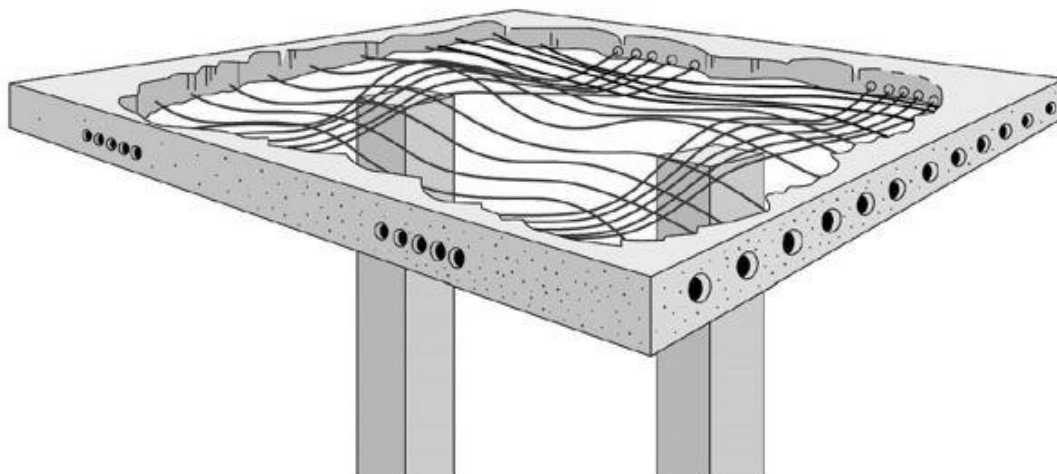
2.4. Etteroppspanning

2.4.1. Generelt

Etteroppspanning blir brukt i plasstøpte konstruksjoner der man med en kombinasjon av slakkarmering danner konstruksjoner som kan motstå større krefter og lengre spenn. Ved etteroppspanning støper man inn spennkabler med en eksentrisitet som er tilpasset momentene som oppstår av ytre laster. Figur 2.5 illustrerer en typisk spennarmeringsføring i et dekke, hvor man har en retning med konsentrerte kabler og en retning hvor man legger de fordelt. Etteroppspent betong kan deles inn i tre forskjellige metoder, alt etter hvilken måte spennkabelen overfører spennkraften til betongen på. Disse tre metodene er:

- Uinjiserte spennkabler
- Injiserte spennkabler
- Eksterne spennkabler

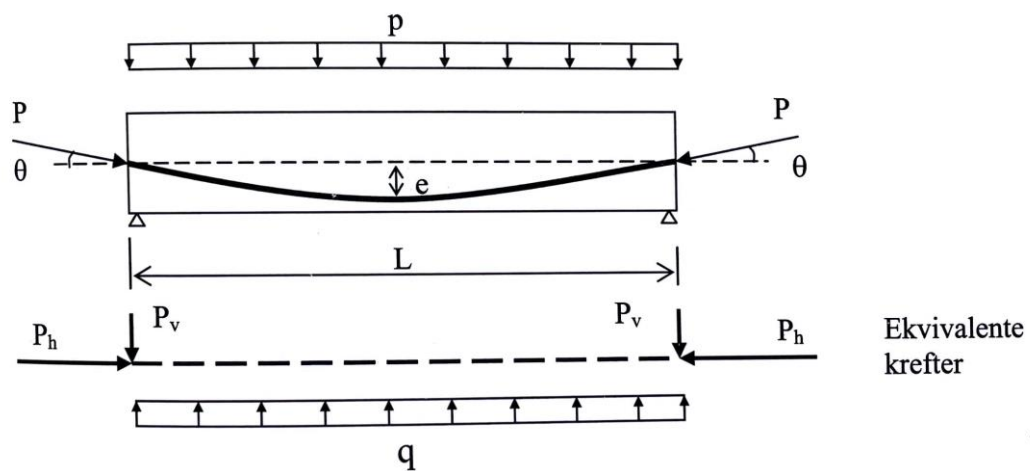
Mer om uninjiserte og injiserte kabler kommer vi inn på i kapittel 2.4.4 og 2.4.5.



Figur 2.5 Typisk kabelføring for etterspent dekke (Unicon, 2021)

2.4.2. Ekvivalente krefter og lastbalansering

Når kablene blir lagt i parabler vil det føre til en jevnt fordelt tverrkraft på betongen. Dette kommer av at spennarmeringen som strekkes i endene med en kraft, vil prøve å rette seg. Denne kraftvirkningen kalles ekvivalente krefter, og vises i figur 2.6. Disse kreftene brukes til å direkte motvirke en bestemt prosentandel av egenlasten. Dette kalles lastbalansering (Sørensen, 2013).



Figur 2.6 Bjelke med påførte krefter fra oppspenning og laster, og ekvivalente krefter fra spennkabel (Sørensen, 2013)

2.4.3. Fordeler og ulemper

Fordeler og ulemper vil variere fra prosjekt til prosjekt, men følgende punkter er mulige fordeler og ulemper for etterspente dekker.

Fordeler:

- Tynnere dekke, som kan gi
 - Mindre egenvekt
 - Mindre høyde per etasje som kan gi ekstra etasje eller større romhøyde
 - Mindre kvm fasade
 - Mindre betong (Mindre CO₂)
- Kan bygge estetisk fint, siden det har mindre begrensinger på design og utforming
- Utkraging av dekke der søyler er lenger inn på dekke, som da hindrer kuldebro
- Fasadeelementer kan henges på dekke, som også hindrer kuldebro fra dekke
- Godt valg med tanke på jordskjelv, da det har skivevirkning uten noen påstøp
- Lengre spennvidder og færre søyler i forhold til slakkarmert
- Søyler trenger ikke å være på linje med hverandre
- Kan ha skjult installasjon (Vannrør, EL kabler osv.)

Ulemper:

- Mange er avhengig av å innhente kompetanse for montering og oppspenning av spennkabler
- Hvis det ikke er planlagt, er det vanskelig å danne nye utsparinger
- Trenger strategisk plasserte vegger for å ta opp horisontale krefter
- Må ha en del lagringsplass for forskaling

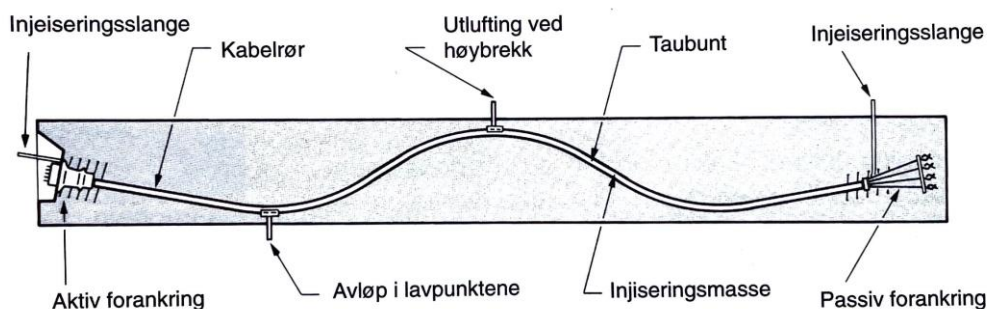
2.4.4. Injiserte kabler

Der store krefter må bli tatt opp brukes injiserte kabler. Flere spennkabler befinner seg i samme rør, som har bølgete eller knekt profil (figur 2.7) som er festet til et passivt anker. I motsatt ende av det passive ankeret festes det aktive ankeret, som spennkabelen skal spennes opp fra. Det blir festet en utsparingshylse til det aktive ankeret, som ligger helt inntil forskalingen. Dette er for at jekken som spenner opp kabelene skal få tilgang etter at dekket er utstøpt. Kablene blir lagt på høydestoler, som gir spennkablene den ønskede høyden i dekket. Høydestolene står på bunnen av forskalingen, og kommer i ulike høyder. Etter oppspenning blir det injisert sementbasert mørtel inn i de korrugerte rørene med hjelp av nipler, som er plassert i lave og høye punkter i kabelføringen (se figur 2.8). Det dannes da heft mellom armeringen og betongen, og forhindrer korrosjon av spennstålet (Sørensen, 2013).

NS-EN 446 har gitt denne arbeidsprosessen en temperaturgrense som ikke kan være under +3 grader. Norge har også høy pris for arbeidskraft og siden denne prosessen er tidkrevende blir det derfor ikke brukt i særlig stor grad i Norge.



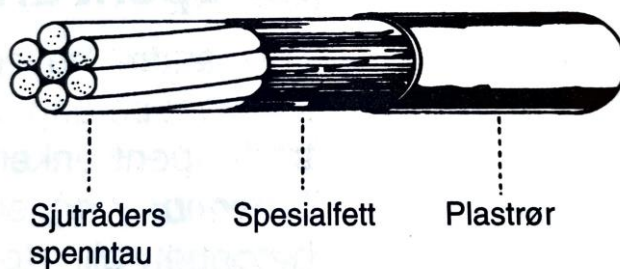
Figur 2.7 Rør for injiserte spennkabler (Astral Pipes, 2021).



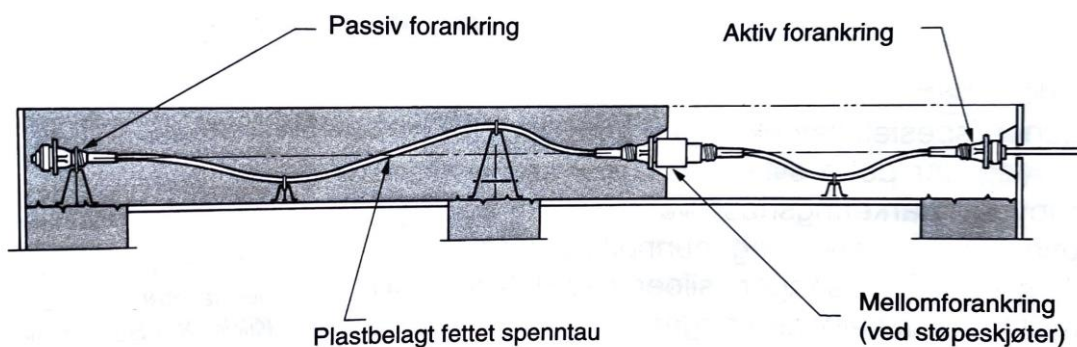
Figur 2.8 Komponenter i injisert etterspenning (Juliebo, 1997).

2.4.5. Uinjiserte kabler

De fleste etterspente dekker i Norge bruker uninjiserte single kabler, som vil si at hver kabel kommer med sitt eget anker. Det er også det vi bruker i denne rapporten. Her kommer kabelen i ønsket lengde og er fargekodet etter hvor den skal bli plassert i konstruksjonen. Kabelen består av x-antall spenntau som er innsatt med korrosjons forhindrende fett og er kapslet inn i et plastrør (se figur 2.9). Fettet hjelper også til med å redusere friksjonen mellom spennarmeringen og plastrøret under oppspenningen, noe som sørger for at spenningstapene i armeringen blir lavere. Mer om effektene av friksjon og spenningstap finner man i kapittel 2.4.7. På figur 2.10 kan man se hvordan etterspente kabler legges i parabler og hvilke komponenter som hører med.



Figur 2.9 Plastbelagt fettett spenntau (Juliebø, 1997)



Figur 2.10 Komponenter i uninjiserte spennsystemer (Juliebø, 1997)

2.4.6. Oppspenningen

Oppspenningen gjennomføres veldig likt for uinjiserte og injiserte kabler. Ved injiserte kabler strammer man opp flere kabler samtidig og injiserer med mørtel etterpå. Men ved uinjiserte kabler strammes en og en kabel som allerede er innsatt med fett. Kablene blir forankret i et passivt anker i ene enden, og et aktivt anker i andre enden. Oppgaven til ankerene er å overføre trykk fra kablene til dekket etter oppspenning. Utsparingshylser blir brukt i den aktive forankringen for å gi tilgang til jekken som skal spenne opp armeringen. Når betongen rundt har tilstrekkelig fasthet, spennes kablene opp med en hydraulisk jekk og låses med en kile, som man kan se på figur 2.11. En trykkmåler på jekken avgjør når kablene er tilstrekkelig oppspent. Som en kontroll på oppspenningen, blir lengden på utstikkende kabler målt før og etter oppspenning for å finne forlengelse. Forlengelsen sammenlignes med den teoretiske forlengelsen regnet ut fra oppspenningskraften fra jekken, for å avdekke eventuelle feil. Deretter kappes armeringen som er strukket ut av dekket, og det monteres en plast-kopp med korrosjonsbeskyttende fett på enden (CCL, 2017)



Figur 2.11 Oppspenning av spennkabler (KB Spenneteknikk AS, 2018)

2.4.7. Tap av spennkraft

Spenningen i spennkablene vil av forskjellige årsaker reduseres etter oppspenningen. Dette kalles spennkrafttap. Disse kan hovedsakelig deles inn i tre forskjellige kategorier:

- Tap av tøyningdifferanse
- Spenningsendring på grunn av korttidslast
- Tidsavhengige tap

Tap av tøyningdifferanse

Slike tap skjer når det ikke er heft mellom betongen og spennarmeringen. Det gjelder i hovedsak for etterspente system før injisering av kabelrør, uninjiserte etterspente system, og uninjisert forspenning. (Sørensen, 2013)

Tap av tøyningdifferanse kan skje på grunn av ulike mekanismer:

- Låsetap
- Friksjonstap
- Temperaturtap (blir ikke skrevet mer om her, da temperaturtap hovedsakelig forekommer i hulldekker med føroppspenning)

Låsetap

Låsetap oppstår når spennkabler blir forankret med kiler. Når man slipper opp kraften fra jekken, og kraften overføres til forankringen, vil spennkabelen kunne gli noen millimeter i kilen. Glidningen, $\Delta L_{\text{lås}}$, fører til en relativt lavere tøyning, og spenningen vil da bli lavere.

Siden glidningen til kilen vil være lik uavhengig av hvor lang kabelen er, vil låsetapet bli større jo kortere kabelen er. Det er derfor lurt å prøve å designe dekket med lengre kabler for å unngå store låsetap.

Friksjonstap

Siden spennkablene blir lagt og oppspent i tilnærmete parabelformer, vil spennkablene utgjøre en normalkraft på utsparingsrørene de blir trukket gjennom. Denne normalkraften fører til at det oppstår en friksjonskraft mellom spennkabelen og utsparingsrøret. Friksjonskraften virker i motsatt retning av oppspenningsretningen, som illustrert i figur 2.12.

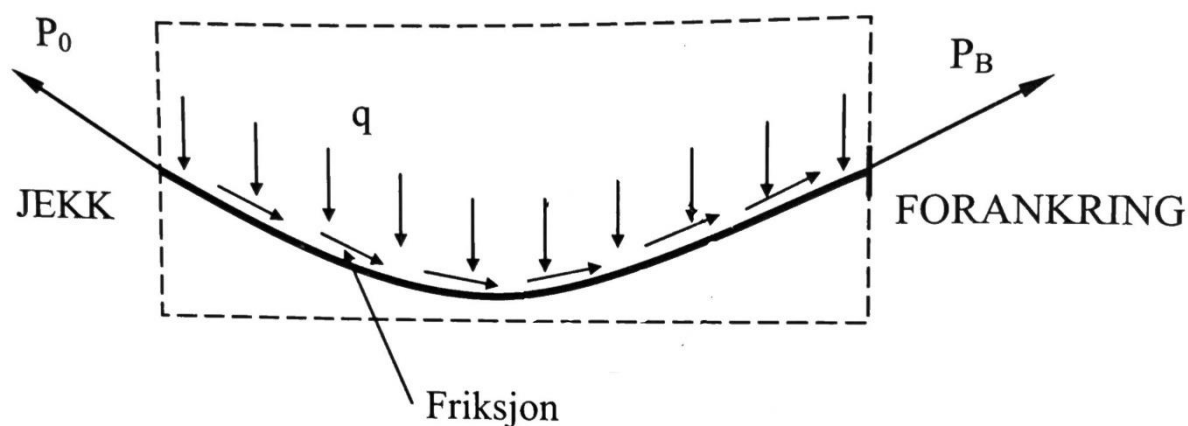
Normalkraften, og dermed friksjonskraften også, er proporsjonal med retningsendringen i spennkabelen. Enkelt forklart vil friksjonskraften bli større desto flere ganger spennkabelen

går opp og ned i dekket.

Selv spennarmering som er ment å være rettlinjet, vil i realiteten alltid ha litt kurvatur, siden det er en viss avstand mellom høydestolene. Dette kalles tilleggskrumning og blir betegnet med bokstaven K.

Den samlede friksjonskraften vil akkumuleres langs spennkabelen, noe som fører til at spenningen i kabelen vil bli lavere jo lengre fra jekken man kommer. Den samlede friksjonskraften vil derfor alltid være størst i det passive ankeret.

For uninjisererte kabler som ligger i plastrør, vil friksjonskoeffisienten ligge i området $\mu = 0,05-0,07$. (Sørensen, 2013)



Figur 2.12 Oppspenning- og friksjonsretning (Sørensen, 2013)

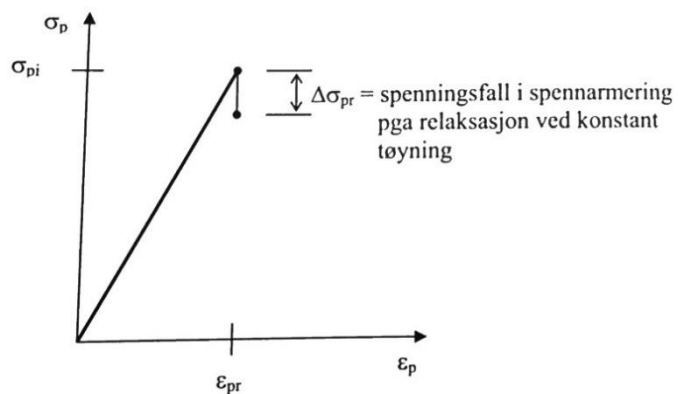
Tidsavhengige effekter: kryp, svinn og relaksasjon:

Utenom de momentane spenningsstapene som friksjon og låsetap, vil spenningen også reduseres på grunn av tidsavhengige prosesser. Disse prosessene er kryp, svinn og relaksasjon.

Kryp og svinn er tap som har med betongen å gjøre, og blir omtalt i større detalj i kapitlene 2.2.3 og 2.2.4.

Relaksasjon har med spennstålet å gjøre, og er en effekt som opptrer i armering som er utsatt for konstant tøyning over lengre tid.

Relaksasjon vil si at det oppstår et spenningsfall i stålet, som vist i figur 2.13.



Figur 2.13 Spenningstapet, $\Delta\sigma_{pr}$, som følge av relaksasjon (Sørensen, 2013)

I EC2, 3.3.2 (4)P blir det definert tre relaksasjonsklasser, med relaksasjonstapet ρ_{1000} fra EC2, 3.3.2 (6):

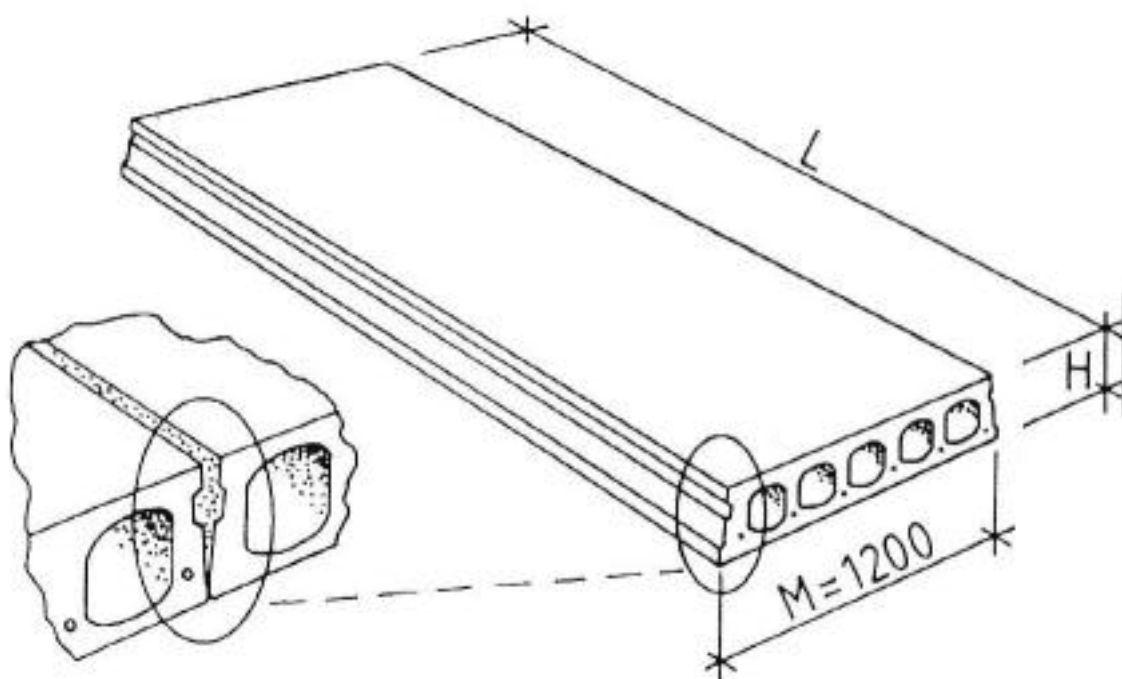
- Klasse 1: Tråd eller tau – vanlig relaksasjon ($\rho_{1000} = 8\%$)
- Klasse 2: Tråd eller tau – Lav relaksasjon ($\rho_{1000} = 2,5\%$)
- Klasse 3: Varmvalsete og bearbeidede stenger ($\rho_{1000} = 4\%$)

ρ_{1000} er det prosentvise spenningsstapet 1000 timer etter oppspenningen, og blir brukt videre i beregningen for det totale relaksasjonstapet over lang tid.

2.5. Prefabrikkerte elementer

2.5.1. Generelt

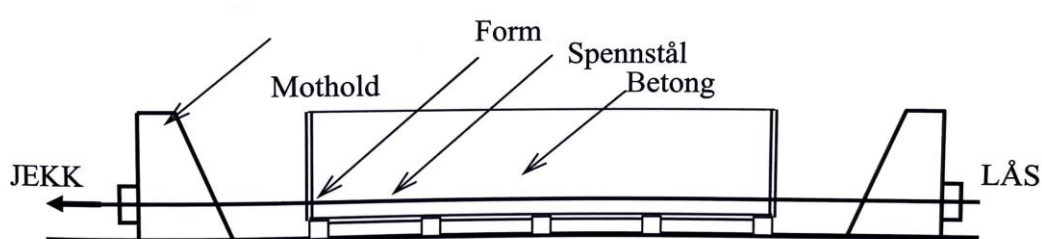
Prefabrikkerte betongelementer blir fra utførelsesstandarden NS-EN 13670 definert som et betongelement som er produsert en annen plass enn endelig plassering. Et eksempel på et slikt element kan være som vist i figur 2.14. Prefabrikkerte elementer blir produsert på fabrikker under kontrollerte forhold. Elementene blir transportert og montert til stedet hvor de skal brukes når de har herdet til nødvendig fasthet. Elementene heises med kran på angitt plassering og deretter støpes de i knutepunkter, fuger og eventuelt blir det lagt til en påstøp (Maage, 2015).



Figur 2.14 Eksempel på prefabrikkert element hulldekke

2.5.2. Hulldekker

Forspente hulldekker har en dominerende markedsandel i Norge som etasjeskiller i bygninger som skoler, kontor, forretningsbygg og større boligbygg. Hulldekker har langsgående åpne kanaler inne i tverrsnittet. Figur 2.15 illustrerer hvordan hulldekker produseres på 100-120m lange benker, der det er lagt ned spennarmering som er spent opp mellom spennbukker. Betongen som blir brukt har en stivere konsistens en vanlig, så når fersk betong ekstruderes av en spesiell utleggingsmaskin holder betongen tverrsnittet uten hjelp fra forskaling. Når ønsket trykkfasthet er oppnådd, kan de løsne spennarmeringen fra spennbukene. Heften mellom betong og spenntauene er da viktig for å ikke miste krefter. Når dette er oppnådd kan elementene kappes i ønskede lengder (Maage, 2015).



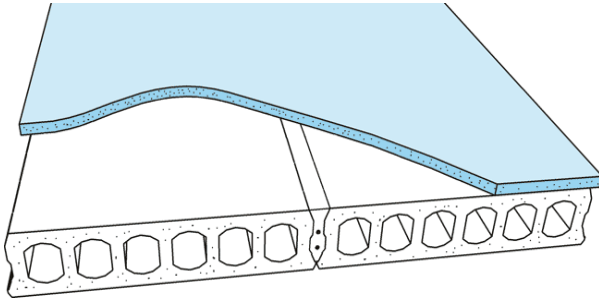
Figur 2.15 Konsept for spennbenk (Sørensen, 2013)

Hulldekker blir ofte bygget i kombinasjon med stålrammeverk (se figur 2.16) der man oppnår rask byggetid på byggeplass, og relativ lav egenvekt. Stål blir ofte brannisolert for å få tilstrekkelig brannmotstand. Bjelker er enten innfelt eller underliggende, alt etter behov.

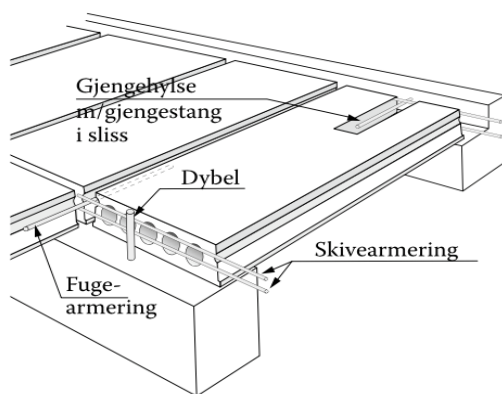


Figur 2.16 Bæresystem med kombinasjon av stål-søyler og bjelker med hulldekket oppå (Node, 2019).

For å oppnå stabilitet i horisontalplanet, må dekke ha skivevirkning som viderefører vindlaster og jordskjelvlaster til vertikalavstivende konstruksjonselementer som vindkryss eller trappesjakter. Det kan for eksempel bli gjort som figur 2.17 med påstøp eller som figur 2.18 der armering legges i utstøpte fuger (Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund, 2008).



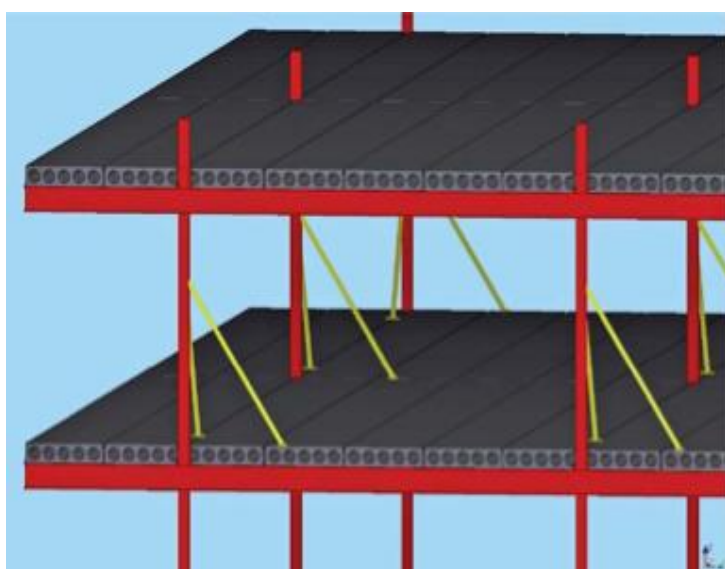
Figur 2.17 Påstøp oppå hulldekke (Sintef, 2005)



Figur 2.18 Vanlig armeringsføring før fuging (Vinje et al., 2010)

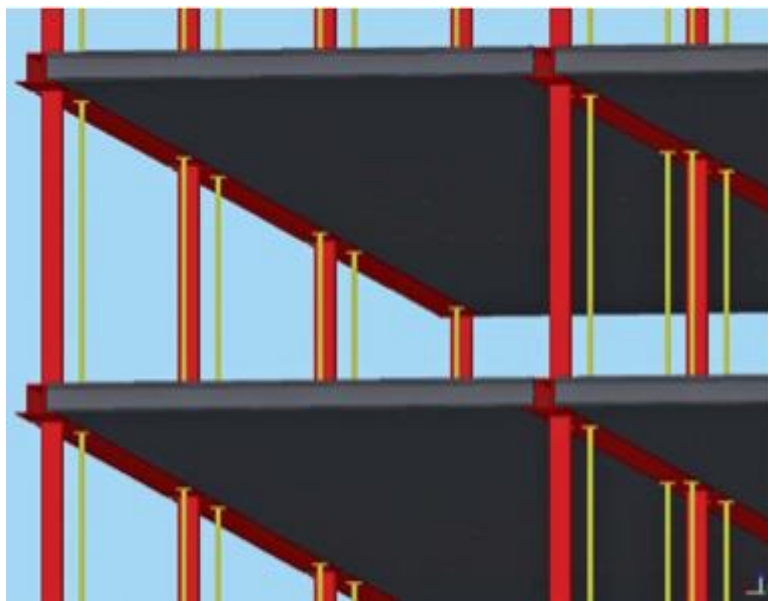
2.5.3. Montering

NS-EN 13670+NA gir krav til hvilken kompetanse som trengs hos personellet som utfører og leder montasjen på arbeidsplass. Også de som har kontrollerende ansvar for utførelsen. Standarden tar også for seg hvilke dokumentasjoner på løfteprosedyrer, lagringsanvisninger og montasjebeskrivelser, som skal følge med ved levering av elementene (Maage, 2015). Staging og stempling må bli tatt med i prosjekteringen og ha en montasjebeskrivelse. De må dimensjoneres for å motstå deformasjoner som kan oppstå under monteringsfasen. Stagingen som er vist på figur 2.19 forblir til alle horisontale og vertikale skiver er etablert ved at alle fugestøper og stålforbindelser er ferdig utført.



Figur 2.19 Staging (Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund, 2008)

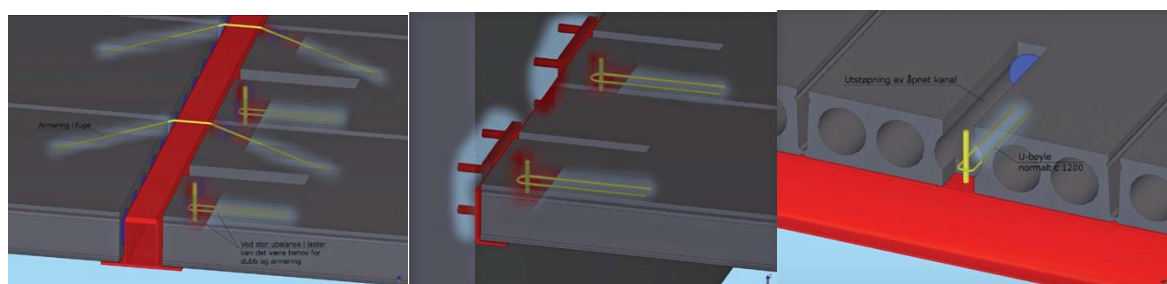
Stempling (se figur 2.20) av bjelker varierer med hvilke bjelkeløsninger og lastsituasjoner som oppstår. Stempling kan fjernes når fugestøp har herdet tilstrekkelig. (Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund, 2008)



Figur 2.20 Stempling (Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund, 2008)

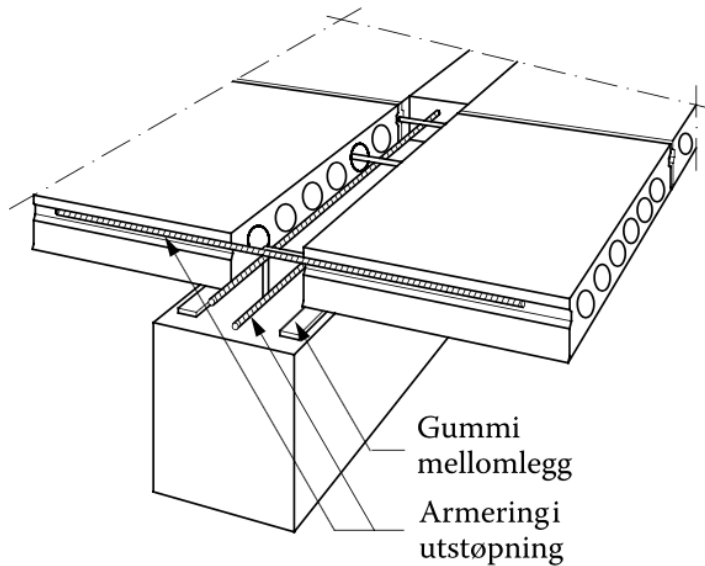
2.5.4. Konstruksjonsdetaljer

Bygninger har forskjellige utformingsbehov. Så det finnes mye forskjellige detaljer på hvordan knutepunkt og forbindelser blir seende ut. Noen eksempler er vist i figur 2.21. Materialene som brukes sammen her må virke på en sikker måte sammen. Det er derfor viktig at de har duktil oppførsel slik at man får relativt store deformasjoner før brudd (Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund, 2008)



Figur 2.21 Eksempler på løsninger der første viser et tosidig opplegg med hatteprofil. Deretter er det et ensidig opplegg på vinkel mot betongvegg. Til slutt er det ensidig opplegg på valset profil (Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund, 2008)

Det anbefales minimum 250mm tykkelse på plastøppte vegger for å oppnå tilstrekkelig oppleggslengde for hulldekkene. Det må også bli plassert mellomlegg (figur 2.22) med hensikt å sentrere vertikallastene og utjevne trykkspenningene på kontaktflaten. Mellomlegg sløyfes ved stål opplegg (Vinje et al., 2010).



Figur 2.22 Mellomlegg mellom vegg og hulldekke (Vinje et al., 2010)

2.5.5. Fordeler og ulemper

Fordeler og ulemper vil variere fra prosjekt til prosjekt, men følgende punkter er mulige fordeler og ulemper med hulldekke.

Fordeler:

- Rask byggetid på byggeplass
- Billig når det er enkle firkantede bygg
- Elementer produseres under kontrollerte forhold
- Mindre forskalingsarbeid
- Mindre plasskrevende på byggeplass (hvis elementer blir kranet rett på plass)
- Kan ta lange spenn
- Liten egenvekt

Ulemper:

- Det krever god planlegging og presisjon, fordi det er vanskelig å gjøre justeringer seint i arbeidsprosessen
- Det er vanskelig å oppnå estetisk fine konstruksjoner med forskjellige fasonger, siden det blir dyrt og tidkrevende med mye kapping etter produksjon på benk.
- Dårlig mot jordskjelv. Må ha påstøp for å oppnå skiveeffekt.
- Feil/skade på elementer kan føre til byggestopp, på grunn av lang leveringstid på et eventuelt nytt element.
- Begrensinger ved transport (Vekt, størrelse og avstand)

2.6. Jordskjelv

Man vil ved et jordskjelv få en horisontal forskyvning i grunnen som forplanter seg videre inn i fundament og det bærende systemet til en bygning. Dette skaper også en forskyvning i bygget, som kan føre til skader eller kollaps. Det er derfor viktig å ta hensyn til jordskjelv ved dimensjonering av bygg, og vi skal her gå nærmere innpå hvordan etterspent betong fungerer mot jordskjelv.

2.6.1. Jordskjelvberegning knyttet til etterspent betong

Fordeler ved bruk av etterspent betong i forhold til seismiske krefter kan man på et generelt grunnlag si er:

- Sterkere skivevirkning som følge av at dekke blir støpt i ett, istedenfor et dekke av flere enkeltstående elementer.
- At etterspente betongdekker motstår effekten som de horisontalkrefter et jordskjelv gir på en mer elastisk og en mindre rissutviklende måte enn slakkarmert betong. Dette reduserer også kostnadene knyttet til reparasjoner/utbedringer som følge av skader ved jordskjelv.
- At etterspent betongdekke reduserer forskyvninger i vegger og rammeverk, fordi spennarmeringen, som er designet til å ikke flyte, vil returnere til en ikke deformert tilstand knyttet til jordskjelvkrefter.

Et etterspent betongdekke vil hovedsakelig utføre to oppgaver knyttet til å motstå jordskjelv. Det første er at den vil motstå seismiske krefter i planet, og fordele disse jevnt ut på de

bæreelementene som fungerer som avstivende for horisontalkrefter. Videre så vil det oppstå deformasjoner i dekke og søyler som følge av horisontal forskyvning, og dette gir tilleggskrefter som strekk, trykk, og skjær i bæresystemet. Disse kreftene må dekket være designet for å håndtere (*Post-Tensioning Manual*, 2006).

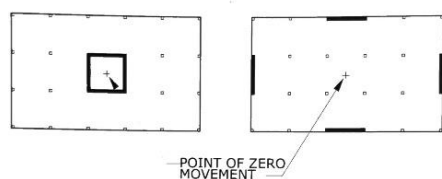
2.7. Prosjektering av etterspente betongdekker

2.7.1. Plassering av bærende vegger

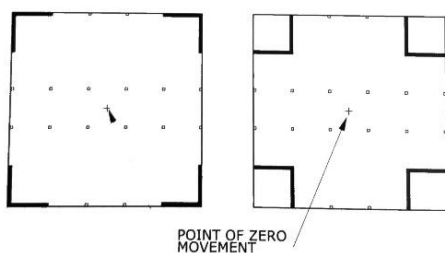
Betongdekker som er veldig store vil også få større svinn og kryp tøyninger, noe som vil føre til riss og sprekker på dekke og/eller bærende elementer ved fast opplagring på stive søyler og vegger. Noen faktorer som fører til dette, er at:

- Man får elastisk forkortelse som følge av oppspenning
- Man får kryp som følge av oppspenning
- Man får svinn i betongen
- Man har temperaturvariasjoner

En av metodene man bruker for å unngå riss og sprekker ved store dekker, er at man sørger for at søyler og vegger er korrekt plassert (se figur 2.23). Stive element som skjærvegger bør lokaliseres nærme det punktet hvor man har null forventet bevegelse i dekket. For eksempel ved et rektangulært dekke vil punktet hvor man har null forventet bevegelse være i midten, og den dårligst egnede lokasjonen for skjærvegger vil være i hjørnene.



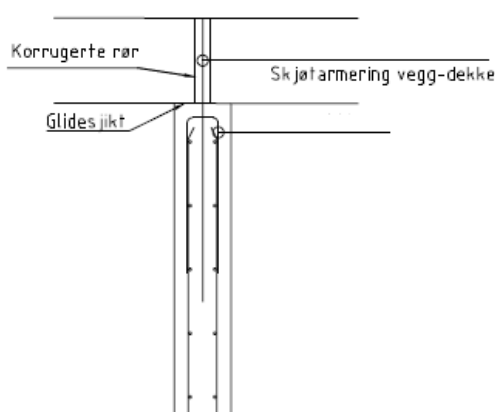
(a) Favorable Arrangement of Shear Walls



(b) Unfavorable Arrangement of Shear Walls

Figur 2.23 Plassering av skjærvegger (*Post-Tensioning Manual*, 2006)

I tillegg til å plassere vegger på en strategisk plass, bør man utforme selve sammenkoblingen av dekke mot vegg på en måte som tillater bevegelse. Dette gjøres vanligvis ved at man har armeringsstenger som går ut av veggen vertikalt, og en plastmembran på toppen av veggen. Plasten skal være som et glidesjikt mellom dekket og veggen. Etter dette er gjort klart, støpes dekket med utsparringsrør rundt den vertikale armeringen fra veggen, og i dette røret fyller man i en masse som tillater noe bevegelse. En slik utforming vises i figur 2.24. Det er viktig å gjøre disse tiltakene for å unngå spenninger og riss i bærende vegger, men det er også viktig for å bevare spenningene fra spennkablene. Om man har en utforming mellom vegg/søyle mot dekket som gir en fastlåsning, vil man ved en oppspenning føre spennkraften ned i disse bærende elementene istedenfor at spennkraften blir tatt opp i dekket (*Post-Tensioning Manual*, 2006).



Figur 2.24 Detalj på dekke mot bærevegg (CCL)

2.7.2. Faser ved dimensjonering

Følgende punkter beskriver kort hvordan man går frem ved dimensjonering av etterspent dekke for hånd.

- Første fase: Se på de arkitektoniske kriteriene for dekket. Som for eksempel form, spenn, miljø og levetid på bygget. Her ser man også på hvilke standarder som gjelder.
- Fase 2: Bestemme laster, dekketype, tilpasse geometrien på dekket, og bestemme størrelsene på bærende elementer (søyle, vegg). Tabell 2.1 viser hvordan man går frem for å bestemme dekketykkelsen, ved å bruke anbefalt forhold mellom spenn og dekketykkelse.
- Fase 3:
 - a. Beregne tverrsnittsegenskaper
 - b. Bestemme materialeegenskapene
 - c. Velge mellom injisert eller uninjserte kabler.

- Fase 4:
 - a. Bestemme overdekning
 - b. Motstand mot brann
 - c. Maksimum spennkabel profil
 - d. Hvor mye av lasten som skal balanseres
 - e. Gjennomsnittlig trykkgrense
 - f. Tillatte spenninger
 - g. Lastkombinasjoner
 - h. Krav på slakkarmering og detaljer på dette for etterspent betong.
- Fase 5:
 - a. Beregne kraften i oppspenningen ved bruk av lastbalansering
 - b. Beregne kraften i oppspenningen ved bruk av tillatt gjennomsnittlig trykk
 - c. Velge en spennkraft større enn punkt «a» og «b» ovenfor
 - d. Beregne momenter på elementet (som dimensjoneres) fra laster
 - e. Beregne sekundærmomenter
 - f. Beregne moment distribusjonen
 - g. Sjekke spenninger i tverrsnittet under påføring av laster
 - h. Beregne minimum slakkarmering
 - i. Kontrollere styrken og supplere med slakkarmering, viss nødvendig
 - j. Sjekke «punching shear»
 - k. Sjekke nedbøying
- Siste fase:
 - a. Justere/bestemme spennkabelføringen og slakkarmeringsføringen.
 - b. Eventuelt se på løsninger rundt åpninger og hjørner

Av disse punktene blir fase 5 som regel utført av dataprogram.

(*Post-Tensioning Manual*, 2006)

Tabell 2.1 Veiledning for bestemmelse av dekketykkelse (*Post-Tensioning Manual*, 2006)

Dekketype	Spenn/dybde forhold
Enveis-dekke	48
Toveis-dekke	45
bjelke, $b \approx h/3$	20
bjelke, $b \approx 3H$	30

2.7.3. Distribusjon av spennkabler i toveis dekke

Det som er vanlig, og enklest å montere, er at spennkablene i x- og y- retning ligger i hver sine lag i dekket. Under prosjektering er det derfor viktig å kontrollere at kablene ikke krysser hverandre, spesielt i hjørner av dekket, siden her vil kablene gå i midten av dekket i begge retninger.

Spennkablene ble tidligere i historien opprinnelig lagt på en måte som gjorde at man måtte flette kablene. Dette baserte seg på eksisterende modeller som definerte områdene på dekket som enten søylestripe eller midtre stripe. En slik distribusjon av spennkablene skulle gi en større oppspenningskraft langs søylestripen, enn langs den midtre stripen. Man måtte da nummerere alle kablene, og legge de i den rekkefølgen som nummereringen beskrev. I tillegg til at dette var vanskelig å utføre for montøren, så var ikke metoden spesielt hensiktsmessig med tanke på å beregne lastveien. Flere tester viste i senere tid at denne flettingen av kablene ikke nødvendigvis var bedre, ved at testene brukte en mer rasjonell og jevnt fordelt spennkabeldistribusjon og likevel fikk bedre egenskaper. Man så dermed at det var gunstigst å legge kablene i hver retning i hver sine lag. (*Design of Post-tensioned Slabs Using Unbonded Tendons*, 2004).

2.8. Dokumentasjon og kontroll av montasje av etterspentkabler

2.8.1. Publikasjon nr. 14

Publikasjon nr. 14 av Norsk Betongforening beskriver kontrollrutiner og utførelse av spennarmeringsarbeider veldig detaljert. Å gjengi alt blir for omfattende, så vi nevner bare noe av innholdet. Ønskes det mer informasjon om dette henviser vi til denne publikasjonen.

2.8.2. Krav

For å føre kontroll på utførelse av spennbetongarbeid må man i tillegg til å oppfylle kompetansekravene for utførelseklasse 3 i NS-EN 13670, også ha tilleggskurs innen spennarmering. Kurset heter U4 "Utførelse av spennarmeringsarbeider for produksjonsleder, kontrolleder og formann/bas".

2.8.3. Spennliste

Utlevert spennliste skal inneholde:

- Krav til betongens trykkfasthet
- Kabelsystem med nødvendige mål eller detaljer

- Kabellengde
- Spennkraft med forventet forlengelser
- Kabelnummerering/rekkefølge
- Tollersanser for Min/Max forlengelse

2.8.4. Oppspenningsprotokoll

For hver enkelt spennkabel føres det protokoll over oppspenningen. Denne må minimum ha:

- Tidspunkt
- Kabelnummer
- Kabelstørrelse
- Oppspenningsrekkefølge
- Min. Betongfasthet ved oppspenning
- Målt trykkfasthet av betong
- Avleste spennkrefter
- Målte forlengelser

Se vedlegg 8.4 for eksempel: Oppspennings kontroll CCL

2.9. Dokumentasjon og kontroll av montasje av hulldekke

2.9.1. Mottakskontroll

Før det kvitteres på følgeseddelen til sjåføren må følgende punkter sjekkes:

- Riktig elementer
- Skader på elementer som riss, kantskader og tilsmussing
- Eventuelle innstøpte løfteanordninger

Dersom det ikke noen feil kan elementene løftes av bilen og kvitteres. Hvis det er anmerkninger, kan det noteres på følgeseddel (Vinje et al., 2010)

2.9.2. Egenkontroll av montasjen

Egenkontroll utføres av montasjebas, som gjøres parallelt med montering. Toleranser for ferdig montert produkt kan variere fra produkt til produkt, men tar basis i NS-EN 13670. I prinsippet kontrolleres hvert enkelt element under montasje der de vanligste punktene er:

- Loddavvik
- Posisjonsavvik
- Høyder
- Innfestninger
- Fugebredder
- Fugesprang
- Knutepunkter
- Armering og utstøping

Egnede kontrollskjemaer eller tegninger brukes til dokumentasjon av kontroll se vedlegg 8,4 for eksempel.

Avviksrapporter må utarbeides hvis krav og spesifikasjoner ikke er oppnådd. Hensikten er å finne årsak å forebygge for lignende hendelser skjer igjen (Vinje et al., 2010).

2.10. Programvarer

2.10.1. Mathcad

Mathcad er et beregningsprogram for tekniske dokumentasjoner og beregninger. Programmet er enkelt for rask innskriving av tekst og matematiske uttrykk. Mathcad gjør alt fra komplekse til lette beregninger når du skriver inn nye uttrykk eller endrer på eksisterende verdier (alfasoft, 2021).

2.10.2. Solibri

Solibri er et BIM program som samler alle BIM-modeler fra alle faggrupper slik at man har mulighet til å avdekke mulige problemer før bygging. Modellen viser plassering og dimensjoner for alle delene av bygget. Det er her vi har hentet mye av dataene for hulldekkene som bygget er dimensjonert med fra før (Graphisoft, 2021).

2.10.3. AutoCAD

AutoCAD er et dataassistert program for konstruksjoner, som arkitekter, ingeniører og fagfolk bruker til å lage 2D og 3D modeller med. Brukeren av programmet kan tegne enkle linjer, sirkler og buer som danner ønskede modeller. Automatiserte prosesser gjør at det går raskere å tegne enn for hånd. Programmet blir mest brukt til 2D tegninger av detaljer og skisser der man kan legge på mål og kommentarer (Autodesk, 2021).

2.10.4. RAM Concept

RAM Concept er et analyse- og designprogram for dekker som er slakkarmert, etterspent eller en kombinasjon av de to. Historisk så er den store majoriteten av betongdekker dimensjonert forhånd. Dette ble gjort ved at dekket deles inn i mindre rammer, og at man bruker kjente teknikker for å beregne momenter og krefter i disse inndelingene. Denne metoden har sine begrensinger. For det første vil det være upraktisk å bruke denne inndelingen der hvor man har uregelmessige elementer. Og for det andre er det utfordrende å få rammene man regner på til å samspille i sin helhet.

RAM Concept gjør det mulig å designe dekker med å bruke Endelig elementmetode (Finite element method, også kalt FEM) for hele dekket. Programmet kan da forutse den elastiske

oppførselen bedre og mer presist enn beregninger for hånd. Denne metoden sørger for at analysen oppfyller gjeldende krav.

Når programmet bruker FEM deles dekket opp i mange firkantede og trekantede elementer, og utfører numeriske løsninger av differensialligninger som oppstår for hvert enkelt element. Geometrien på elementene er basert på en formulering av Robert Cook (Two hybrid elements for analysis of thick, thin and sandwich plates). Noder «limer» så alt til et helt dekke der det er fem frihetsgrader for hver node (*Ram Concept User Manual*, 2019).

2.10.5.

Excel

Programvare for å lage regneark der man kan utføre beregninger. Programvaren har mange nyttige funksjoner og formler som gjør det enkelt å beregne på store mengder data, og sette opp resultater på en oversiktlig og informativ måte.

3. METODE

3.1. Litteratursøk

I starten av prosjektet begynte vi med å finne frem relevant teori om etterspent betong. Der ble fokuset først og fremst å skaffe litteratur på dimensjonering av etterspent betong med parabelformet armering, siden dette ville ta lengst tid å sette seg inn i. Vi hadde fra før boka Betongkonstruksjoner av Sørensen, som tar for seg spennbetong. Denne var god til å få en innføring i etterspent betong, men vi var egentlig på jakt etter litteratur som hadde mer detaljerte utrekningsseksempler. Gjennom søk på NTNUs Universitetsbibliotek (Oria) og ved søk i hyllene på biblioteket ved NTNU Ålesund, fant vi til slutt en bok som tok for seg dette.

Boken heter Post-tensioning Manual Sixth Edition, og vi vil komme nærmere inn på en av metodene som denne boken tar for seg senere i denne rapporten. For beregning av etterspente betongdekker blir det i dag stort sett bare brukt programvare. Det er noe vi også har gjort, men før vi gikk løs på programvaren ønsket vi å forstå metoden som ligger til grunn for disse programmene. Dermed ønsket vi å finne en bok som tok for seg dette, og vi brukte både denne og Sørensen sin bok under håndberegningene.

Boken Post-tensioning Manual er publisert av Post Tensioning Institute i USA. Det vi måtte være obs på ved bruk av denne boken, var at den baserer seg på Amerikanske standarder. Dette fordi de har ulike krav enn Eurokoden, men beregningsmetoden er stort sett den samme.

Norsk Standard, Eurokode 2 (EC2) har blitt benyttet regelmessig underveis i oppgaven, da denne tar for seg beregningsmetoder og krav for betongkonstruksjoner (både slakkarmert og spennarmert).

Vi har også brukt flere kilder, men disse var de vi vektla mest.

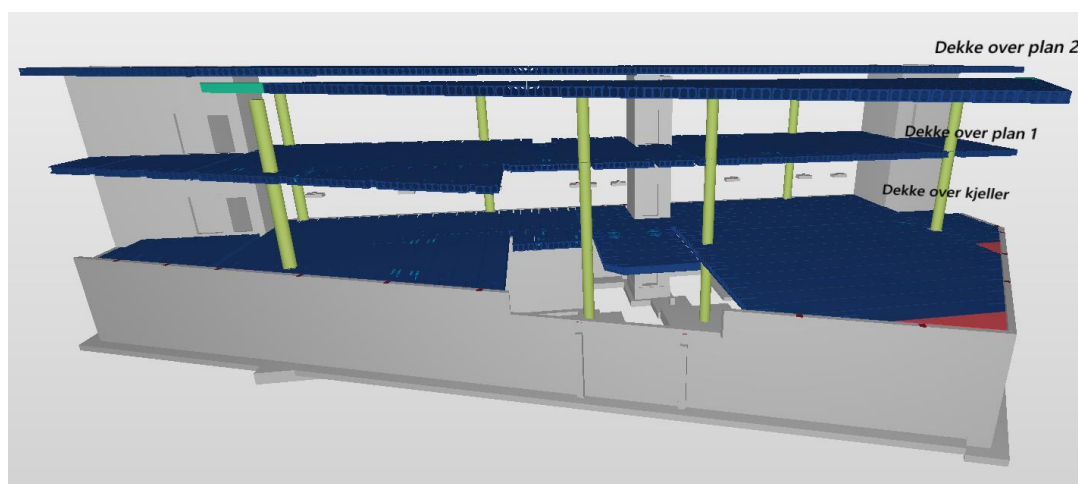
3.2. Opprinnelig løsning med hulldekke

Sundebygget er prosjektert med dekker bestående av hulldekkeelementer. Dekketykkelsen for disse er gitt i tabell 3.1. Vi skal se på tre ulike plan i bygget, der vi skal sammenligne den opprinnelige løsningen med et etterspent betongdekke med uinjiserte kabler. Dekkene vi skal se på er plan 1, 2 og 3, som er vist i figur 3.1 under. For å gjøre denne sammenligningen, har vi utført dimensjonering av dekkene i Ram Concept. For dekkene i plan 2 og 3, gjorde vi flere forenklinger ved dimensjoneringen som nevnt i innledningen.

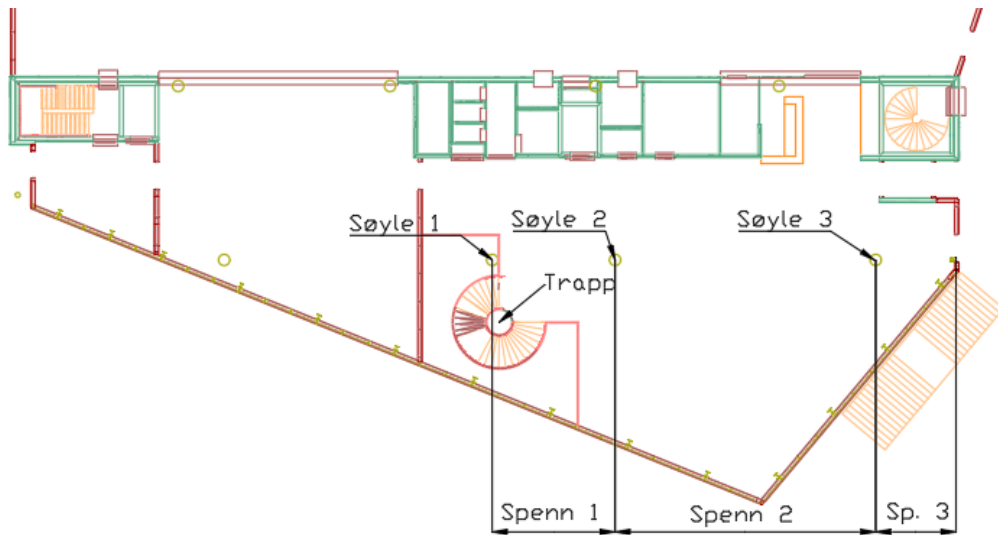
Dekket vi har valgt å bruke som eksempel for selve håndberegningdelen av oppgaven, var dekket på plan 1 som vises i figur 3.1 og 3.2. Det er også dette dekket vi refererer til når vi nå skal gå inn på metoden for dimensjoneringen. I figur 3.2 har vi definert søyler og spenn med en egen nummerering, og i figur 3.3 har vi navngitt sentrale objekter/området som vil bli brukt senere i rapporten.

Tabell 3.1 Dekketykkelser for den opprinnelige løsningen

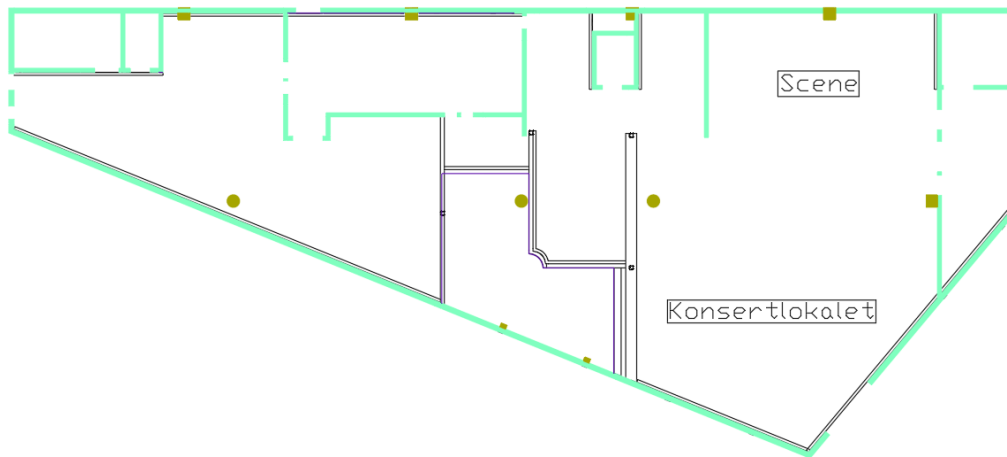
Plan	Hulldekketykkelse (mm)
1: Hele dekket:	400
2: Hele dekket	340
3: Takhagen:	400
Boligdelen:	340



Figur 3.1 Modell over opprinnelig løsning med hulldekke for plan kjeller til plan 3 (Solibri/Consto)



Figur 3.2 Forenklet plantegning for plan 1, med søylenummerering, nummerering av spenn, og trapp (AutoCad)



Figur 3.3 Opprinnelige bærevegger (lys grønn), søyler (mørk beige), stålbejler (mørkeblå) og stålsøyler (svart) for dekket over kjeller. Påsatt navn for sentrale rom i plan kjeller. (Consto)

3.3. Sammenligning av dekkene

Det vi så på ved sammenligning av dekkene var kostnader, tid, dekketykkelse og betongbruk for de to løsningene. Vi brukte mengder for det etterspente dekket som vi hadde kommet frem til i dimensjoneringen. Priser og tidsestimat har vi fått oppgitt fra Consto og CCL. Disse prisene vises i tabell 3.2 og tidsestimatene vises i tabell 3.3.

Tabell 3.2 Priser vi har brukt i utrekning av kostnader (Consto/CCL)

Type	Pris	Enhet
Leie forskaling	100	kr/m ²
Endestenger til forskaling	400	kr/lengdemeter
Betongleveranse	1 000	kr/m ³
Betongpumpe	150	kr/m ³
Spennarmering	350 000	kr (totalt alle plan)
Slakkarmering	9	kr/kg
Hulldekke	1 000	kr/m ²
Arbeid	450	kr/timen

Tabell 3.3 Estimert tidsbruk (Consto/CCL)

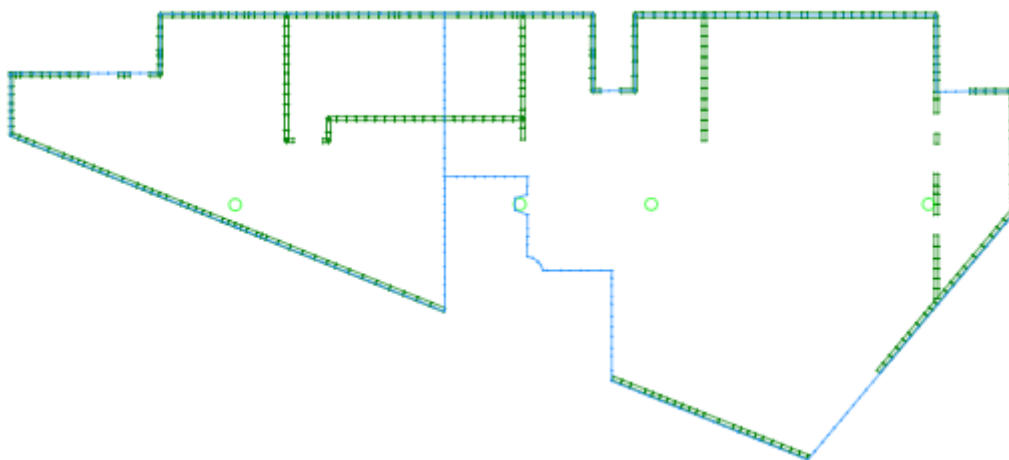
Arbeidstype	Tid	Enhet
Forskaling	1,3	timer/m ²
Støping	0,3	timer/m ³
Avtrekking	0,05	timer/m ²
Spennarmering	0,04	timer/meter
Slakkarmering	20	timer/tonn
Hulldekke	0,4	timer/m ²

3.4. Ram Concept

For å oppnå et best mulig resultat i RAM Concept er det flere steg man må gjøre, der noen er viktigere enn andre. Vil vi gi en kort innføring i hva disse stegene går ut på, ved å fortelle hva vi gjorde på dekke i plan 1. Fremgangsmåten er mer eller mindre lik for dekkene i plan 1 og 2 også. Stegene vi beskriver her gjør man som regel flere ganger for å oppnå en best mulig analyse og design. Alle figurer i dette kapittelet er hentet fra sluttrapporten for dekke over kjeller, som finnes i vedlegg 8.7, 8.8 og 8.9.

3.4.1. Tegne inn modellen av dekket

Det første vi gjorde var å tegne inn dekket med støtteelementer som søyler og vegger, som vist i figur 3.4. Her tegnet vi etter en importert tegning fra AutoCad. For valg av dekketykkelse, benyttet vi Tabell 2.1 for spenn/dybde forhold for toveisplate. Veggene vi har tegnet inn har tykkelse 200mm og søylene har en diameter på 600mm.



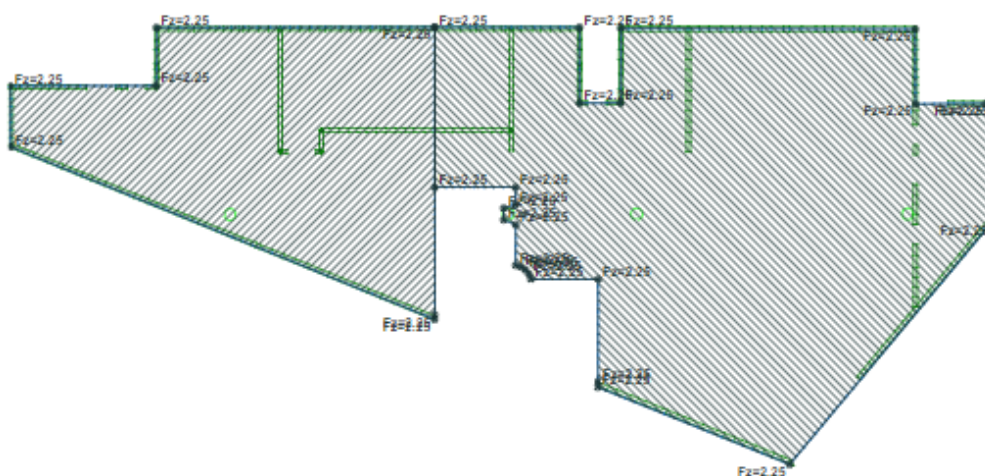
Figur 3.4 Inntegnet dekke, vegger og søyler i programmet (Ram Concept)

3.4.2. Legge inn laster

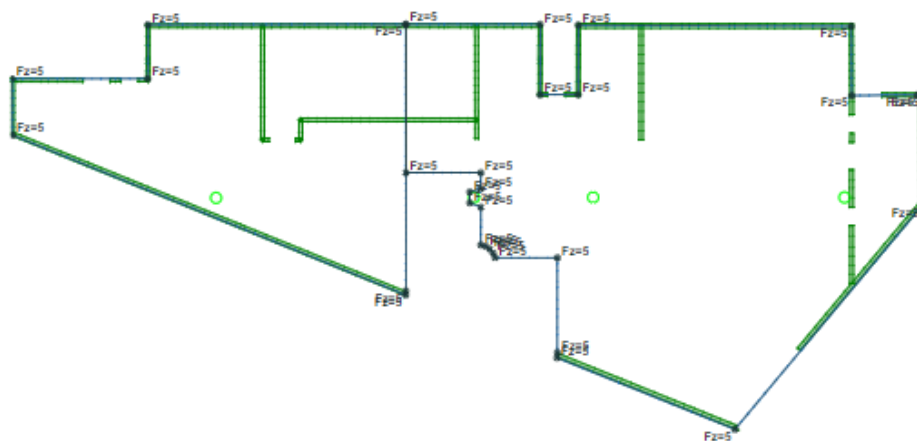
Her definerte vi hvor store lastene skulle være på de ulike områdene i dekket. For plan 1 definerte vi samme område for egenlast og nyttelast. Lastene vi brukte var:

- 2.25 kN/m^2 for himling, trinnlydsplate og påstøp
- 5 kN/m^2 nyttelast

Lastene er de samme som ble brukt for hulldekke, bare at vi ikke har tatt med 100mm påstøp for skivevirkning. Lastene som ble brukt for hulldekke finnes i vedlegg 8.3. Områdene for de ulike lastene vises i figur 3.5 og 3.6.



Figur 3.5 Lastplan for påsatt egenlast, vist som skravert område (Ram Concept)

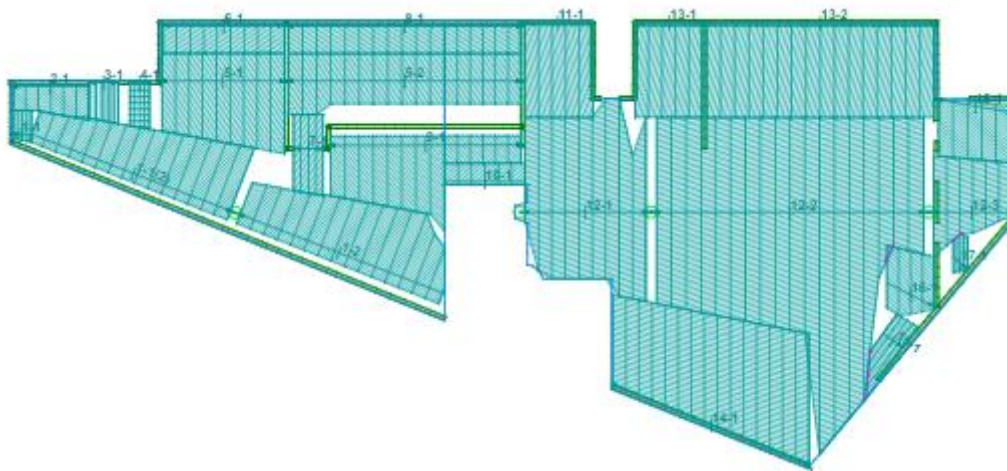


Figur 3.6 Området (hele plan 1) for jevnt fordelt nyttelast (Ram Concept)

3.4.3. Definere design strips i X og Y retning

Dette steget er beskrevet av Ram Concept som det viktigste steget for å få et resultat som er realistisk, og dette steget var et av de stegene vi brukte mye tid på å forstå.

Det som er viktig å tenke på når man definerer hvor design strips skal gå, er at man legger de fra opplager til opplager, slik at spennene blir definert. En annen ting er at man ønsker at så mye av dekket som mulig skal være definert av design strips. Design strips blir tegnet i både x- og y-retning, som vist i figur 3.7 og figur 3.8.



Figur 3.7 Design strips i X - retning (Ram Concept)

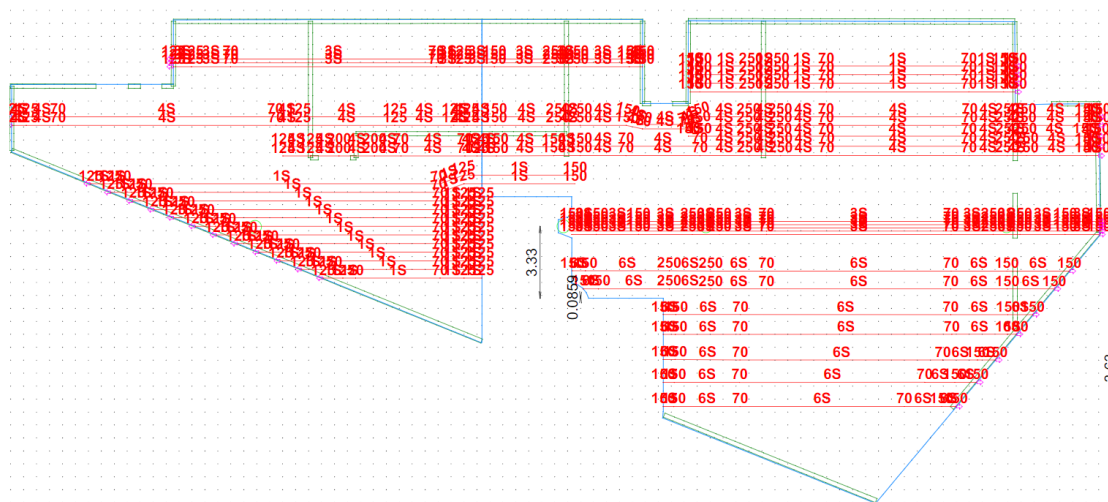


Figur 3.8 Design strips i Y – retning (Ram Concept)

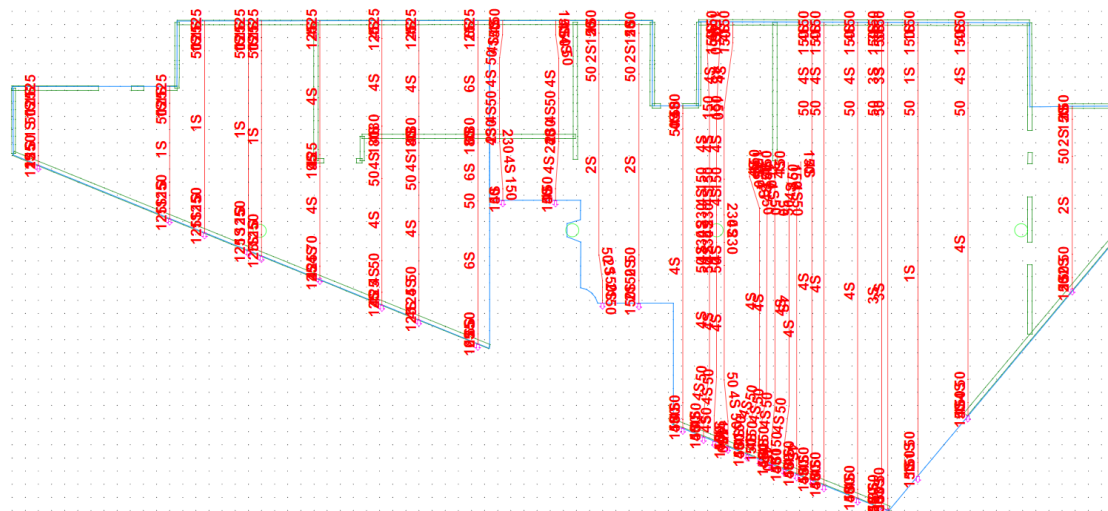
3.4.4. Spennkabler i X- og Y- retning

For at programmet skulle beregne dekket som etterspent (og ikke slakkarmert), tegnet vi inn spennkabler vist i figur 3.9 og 3.10. OBS: Disse figurene er bare ment for å gi et bedre innblikk i hvordan spennkablene ble tegnet, og er ikke ment for å være lesbare. For mer detaljerte tegninger av spennkabelføringen, se resultat kapittel 4.2.2 og 4.2.3/vedlegg 8.2.

I dette steget definerte vi hvilken høyde i dekket kablene skulle ligge i (tps). Påsatt grid har avstand 0.6 m mellom punktene i både figur 3.9 og figur 3.10.



Figur 3.9 Spennkabler i X – retning (Ram Concept)

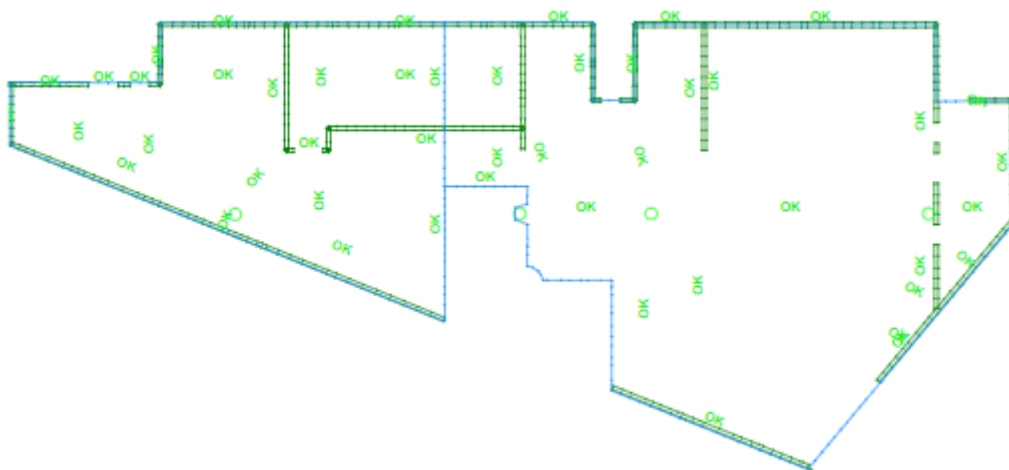


Figur 3.10 Spennkabler i Y – retning (Ram Concept)

3.4.5. Kontrollere resultatet og justere for feilmeldinger

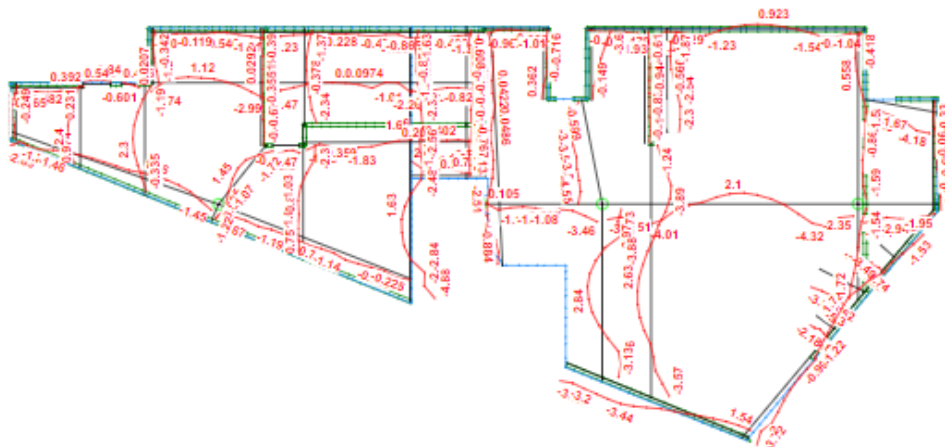
I dette steget går vi gjennom hvordan vi bearbeidet resultatet vi fikk fra kalkulasjonen i Ram Concept. Det vi så på og kontrollerte var:

- Design Status: - Tar for seg design strips og kontrollerer hver av disse mot eurokodene. Dersom det er design strips som ikke er i henhold til eurokoden, får man opp en feilmelding som refererer til kravene i gjeldende kapittel i EC2. Figur 3.11 viser et bilde av hvordan programmet gir oss «OK» på de ulike design stripene på dekket, og er her uten feilmeldinger.



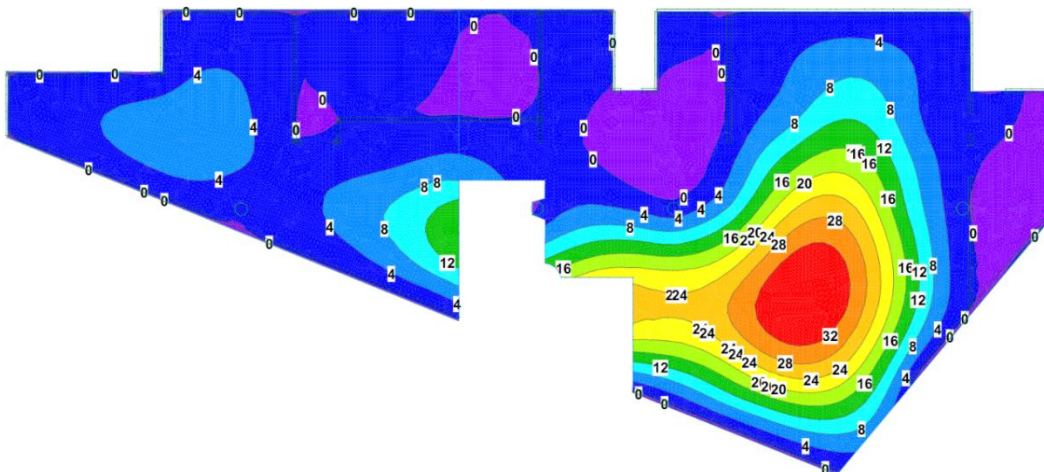
Figur 3.11 Design Status. Eksempel på hvordan status var ved ferdig dimensjonert dekke over kjeller. (Ram Concept)

- Spenninger i bunn/topp av dekket i X-/Y- retning og maksimumsverdier av spenningene (Von Mises). Figur 3.12 viser en av flere måter programmet kan visualisere spenningene på.



Figur 3.12 Grafisk representasjon av maks spenning (Von Mises) for bunn av dekket over kjeller (Ram Concept)

- Nedbøyning, som kunne visualiseres slik som figur 3.13 viser. Mer nøyaktig om hvilke resultater vi fikk på nedbøyningen, beskriver vi i kapittel 5.1.1.



Figur 3.13 Eksempel på hvordan nedbøyningen så ut ved ferdig dimensjonert do kjeller (Ram Concept)

- Slakkarmeringsføringen fra programmet.

Ram Concept legger automatisk inn forsterkninger i form av slakkarmering etter hver kalkulasjon. Dette er for eksempel i områdene hvor det er konsentrerte mengder spennkabler og hvor disse skifter retning/avsluttes, noe som fører til konsentrerte strekk/trykk spenninger.

- Status på «punching»

3.4.6. Justeringer

Underveis i dimensjoneringen i Ram Concept førte kalkulasjonen til diverse feilmeldinger og det var flere ting vi gjorde underveis for å få dekket ferdig. Noen eksempler på justeringer vi gjorde opp mot dette, går vi punktvis igjennom her. Justeringene blir videre begrunnet i kapittel 5.1.1.

- De feilmeldingene i «Design Status» vi fikk underveis, justerte vi i henhold til den delen av Eurokode 2 som feilmeldingen henviste til. Her er noen eksempler på hva vi gjorde ved de ulike feilmeldingene:

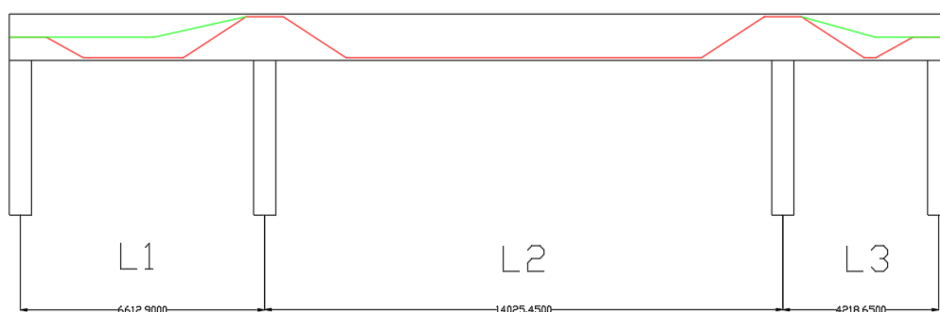
6.2.3:

Redusere antall spennkabler i denne delen av dekket, som er det området som blir definert av gjeldende design strip. Stedet vi fikk denne feilmeldingen var der hvor vi hadde konsentrert for mange spennkabler, som for eksempel over søylene.

5.5 (4):

Endre tps til å gå nærmere tpb. Dette gjorde vi blant annet ved spenn 1 og 3 i x – retning.

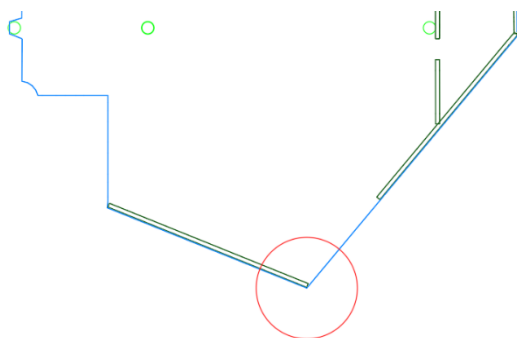
Denne feilmeldingen oppstod da vi hadde lagt kablene med maks eksentrisitet over de innerste søylene, og via bunn i midten av spenn 1 og 3 slik som figur 3.14 viser med rød strek. Grønn strek viser hvor og hvordan endringen av kabelføringen ble etter justering.



Figur 3.14 Eksempel på for mye eksentrisitet ved spenn 1 og 3 (rød strek). Dekket på figuren er skalert opp (AutoCad)

- Overskredet strekkspenning i bunn av dekket i x/y retning:

Dette ble som regel løst ved å øke antall spennkabler i den høyden som spenningene oppstod, og/eller justere høyden til kablene. For eksempel så oppstod det lokale strekkspenninger i bunn hvor vi lot spennkablene gå i topp av dekket. Noe vi også gjorde her var å fjerne det nederste hjørnet ved konsertlokalet, siden dette skapte spenninger som oppstod på grunn av fastlåsning. Bruk figur 3.3 for å se opprinnelige bærevegger for dekke i plan 1.



Figur 3.15 Område (rød sirkel) hvor vi fjernet en del av opprinnelig vegg for dekke i plan 1(AutoCAD)

- Nedbøyning:

Her gjelder kravet fra ISO 4356, og løsningen på å redusere nedbøyningen var en kombinasjon av antall spennkabler og hvor de var lokalisert i dekket.

- For mye slakkarmering fra programmet:

For å unngå dette har vi spredt ankerene (aktive og passive) jevnt langs opplagerene, og unngått for store høydeforskjeller på for kort avstand på spennkablene.

- Punching

Vi gjorde lite endringer knyttet til dette, grunnet et godkjent resultat og vil derfor ikke gå mer inn på det temaet i rapporten. Se vedlegg 8.7 for status på punching.

3.5. Håndberegning

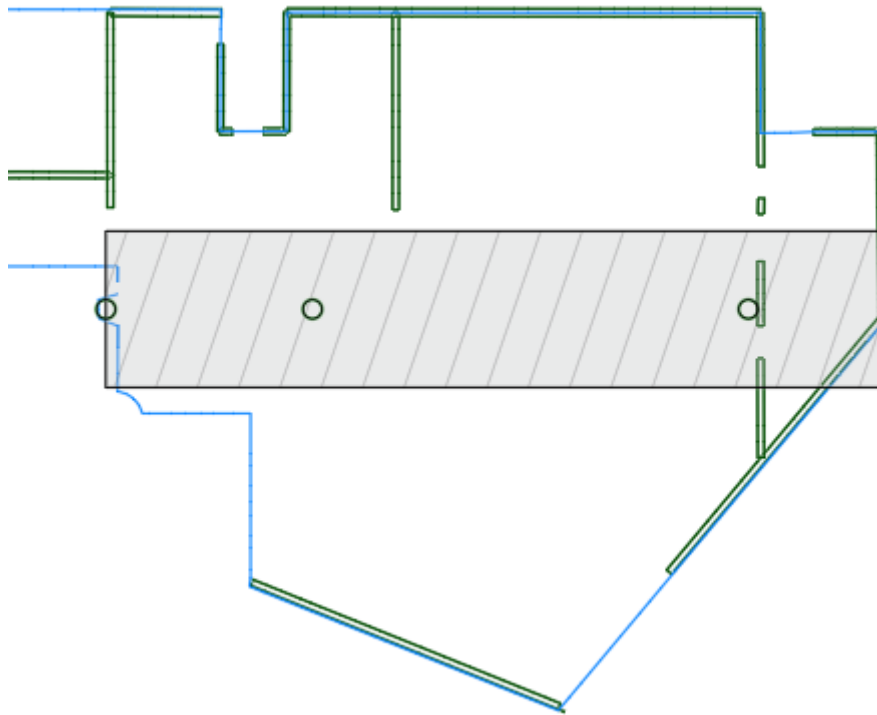
3.5.1. Lastbalansering

Vi har tatt utgangspunkt i et område på dekke over kjeller hvor vi vil beregne hvor mange spennkabler som er nødvendig i X – retning, og bruke dette til å sammenligne antall spennkabler vi fikk i dette området i samme retning ved bruk av Ram Concept. I denne delen av håndberegningen har vi fulgt et eksempel i boken Post-Tensioning Manual (2006).

Som en forenkling til håndberegningen har vi betraktet området vi har beregnet for hånd som rektangulært, som vil si at vi har sett bort fra at dekket opprinnelig ikke er uniformt belastet i dette området. Figur 3.16 viser området vi har regnet på, og som man kan se er ikke geometrien helt den samme. Om vi skulle beregnet dette området med mer nøyaktighet, måtte vi ha tatt med overføringen av krefter fra de andre delene av dekket som ikke er med i området. Vi har derfor begrenset håndberegningen til å kun inkludere lastbalansering, spenninger i bunn og topp ved netto last og tap av spennkraft. Resultatet for spenninger i bunn og topp fra håndberegningene blir bare brukt til å regne ut tap av spennkraft.

De ytterste opplagerne har vi også endret til søyler, for enkelhetsskyld. Dette vil ikke påvirke lastbalanseringen eller tap av spennkraft, men var nødvendig for å ta med distribusjon av momenter mellom dekke og søyler.

For å se mer utfyllende på hva vi gjorde i håndberegningen, viser vi til vedlegg 8.5 og 8.6.



Figur 3.16 Området vi har beregnet for hånd skravert, med søyler. 5m bredde (y-retning) og 25m lengde (AutoCad).

For å finne ønsket løftekraft fra spennkablene, har vi regnet 80% av egenvekten som balansert. Videre fant vi spennkabelføringen «a» for spenn 2, og brukte deretter formel 3.2 for å finne hvilken kraft som var nødvendig å spenne opp med. Vi brukte så denne kraften til å finne spennkabelføringen som var nødvendig for å balansere samme last i spenn 1 og 3.

Spennkabelføringen i spenn 2 fant vi ved formel 3.1:

$$a = d - (C_t + C_b)$$

Formel 3.1

$$F_e \times a = \frac{w_{bal} \times L^2}{8}$$

Formel 3.2

For å finne antall spennkabler som var nødvendig for å balansere egenlasten, brukte vi formel 3.3:

$$n = b \times \frac{F_e}{F_{eff}}$$

Formel 3.3

og rundet av n til nærmeste heltall. Vi justerte spennkraften på nytt etter denne verdien av n, ved bruk av bruk av formel 3.3 om igjen. Med denne spennkraften fant vi den faktiske balanserte lasten i spenn 1 og 3, og kunne dermed bestemme spennkabelprofil «a» her. Dette ble gjort ved bruk av formel 3.2, hvor vi satt «a» som ukjent.

3.5.2. Tap av spennkraft

I beregningen for tap av spennkraft, tok vi utgangspunkt i en kabel som tilsvarte de som gikk i x – retning i området fra figur 3.16.

Når vi hadde funnet det totale spennkrafttapet, brukte vi det for å finne ut hva netto spennkraft i kablen var etter tap og hvilken kraft som var nødvendig å spenne opp med fra jekk.

Beregninger er vist i vedlegg **Feil! Fant ikke referansekilden..**

Låsetap

For å finne låsetapet trengte vi å vite hvor stor glidning, $\Delta L_{lås}$, kilen ville ha ved overføring av kraften fra jekk til betong, og hvor stor den initielle spenningen, σ_{pi} , skulle være i kablene ved oppspenning. $\Delta L_{lås}$ og σ_{pi} ble hentet fra datablad for spennkablene, fra CCL (se vedlegg 8.7, gitt som «seating loss» og «jacking stress» under «PT stressing parameters»).

Vi startet med å benytte formel 3.4, hentet fra (Sørensen, 2013), for å finne glidningen fra fastlåsnings av jekkekraften.

$$\Delta\varepsilon_{lås} = \frac{\Delta L_{lås}}{L}$$

Formel 3.4

Videre fant vi tøyningen i spennkabelen ved formel 3.5:

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_{pi}}{E_s}$$

Formel 3.5

Prosentvis låsetap blir da ved formel 3.6:

$$Låsetap = \frac{\Delta\varepsilon_{lås}}{\varepsilon_p}$$

Formel 3.6

Og tapt spennkraft fra låsing, fant vi ved formel 3.7:

$$\Delta P_{lås} = Låsetap * P_{jekk} = \frac{\Delta\varepsilon_{lås}}{\varepsilon_{p,lås}} * P_{jekk}$$

Formel 3.7

Denne informasjonen vi har funnet hittil, brukte vi videre for å finne ut hvor mye tap av spennkraft vi fikk totalt, hva netto spennkraft i kabelen var etter tap og hvilken kraft som var nødvendig å spenne opp med fra jekk.

Friksjonstap

For å finne tap på grunn av friksjonskreftene, brukte vi formel 3.8, hentet fra EC2, 5.10.5.2 (1).

$$\Delta P_{\mu}(x) = P_{max}(1 - e^{-\mu(\theta + Kx)})$$

Formel 3.8

Tidsavhengige tap

For å finne det samlede spenningsreduksjonen fra de tidsavhengige faktorene; kryp, svinn og relaksasjon, benyttet vi metoden gitt i EC2, 5.10.6 (2). Denne metoden gir ikke de individuelle bidragene svinn og kryp har på spennkraftreduksjonen, men man får de med i summen.

De samlede tapene blir forenklet gitt ved formel 3.9:

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\varepsilon_{cs} * E_p + 0,8 * \Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} * \varphi(t, t_0) * \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} * \frac{A_p}{A_c} (1 + \frac{A_c}{I_c} * z_{cp}^2) * (1 + 0,8 * \varphi(t, t_0))}$$

Formel 3.9

Symbolene i formel 3.9 er allerede beskrevet i symbollisten, men vil også bli grundigere forklart her:

ε_{cs}

Den frie svinntøyningen, ε_{cs} , finner vi ved å summere uttørkingssvinnet, ε_{cd} , og det autogene svinnet, ε_{ca} :

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

Formel 3.10

Uttørkingssvinnet over lang tid finnes ved formel 3.11, der verdier for $\varepsilon_{cd,0}$ og k_h er hentet fra henholdsvis Tabell 3.2 og Tabell 3.3 i EC2.

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h * \varepsilon_{cd,0}$$

Formel 3.11 (Formelen er utledet fra formel 3.9 i EC2. Når man ser på betongen over lang tid, vil faktoren $\beta_{ds}(t, t_s)$ gå mot 1, og faktoren kan da ses bort fra.)

For å finne det autogene svinnet etter lang tid, benyttes formel 3.12.

$$\varepsilon_{cd,\infty} = 2,5 * (f_{ck} - 10) * 10^{-6}$$

Formel 3.12 (Fra formel 3.12 i EC2)

E_p

E_p er elastitetsmodulen til spennstålet, og er hentet fra datablad for spennarmeringen.

$\Delta\sigma_{pr}$

Relaksasjonstapet i spennstålet, $\Delta\sigma_{pr}$, ble funnet ved at vi først tok utgangspunkt i spennstål med relaksasjonsklasse 2, og fant ρ_{1000} , fra EC2, 3.3.2 (6).

Relaksasjonstapet for klasse 2 over lang tid, fant vi med formel 3.13:

$$\Delta\sigma_{pr} = \sigma_{pi} * 0,66 * \rho_{1000} * e^{9,1\mu} * \left(\frac{1}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} * 10^{-5}$$

Formel 3.13 Hentet fra EC2, 3.3.2 (7)

E_{cm}

E_{cm} er elastitetsmodulen til betongen. Regnet ut med formel 3.14:

$$E_{cm} = 22000 * \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}$$

Formel 3.14 Hentet fra Tabell 3.1. i EC2

$\varphi(t, t_0)$

$\varphi(t, t_0)$ er kryptallet. Her ser vi på $\varphi(\infty, t_0)$, altså kryptallet etter lang tid. Vi benyttet metoden for å finne kryptall som vist i Figur 3.1. a) i EC2, og har tatt utgangspunkt i at dekket blir belastet etter $t_0 = 5$ døgn, effektiv tverrsnittstykkelse er $h_0 = 300$ mm, og at betongen har fasthet C30/37 (tilsvarende ca B35) med høyfast sementklasse (N).

$\sigma_{c,QP}$

$\sigma_{c,QP}$ er betongspenningen på samme høyde som spennkablene. For å finne denne, har vi benyttet lineær interpolasjon mellom spenningene i topp og bunn av dekket. Se *Lastbalansering* for utregning topp- og bunnspenninger.

A_p

A_p er tverrsnittsarealet til spennarmeringen.

A_c

A_c er tverrsnittsarealet til betongen.

I_c

I_c er arealregningsmomentet til tverrsnittet, regnet ut med formel 3.15

$$I_c = \frac{b * h^3}{12}$$

Formel 3.15 For rektangulære tverrsnitt

Z_{cp}

Z_{cp} er eksentrisiteten til kabelen.

4. RESULTATER

4.1. Sammenligning av dekkene

Dataene vi har brukt i sammenligningen av pris, tidsbruk og betongbruk (se vedlegg **Feil! Fant ikke referanse kilden.** for dataene), har vi fått fra Consto og CCL. Masseberegningene for de forskjellige etasjene (pris, tid og materiale) er utført i Excel. Sammenligningene vi har gjort tar utgangspunkt i at estimatene vi har fått er relativt nøyaktige.

4.1.1. Dimensjoner

Tabell 4.1 Målt areal av det vi tegnet inn i Ram Concept. Arealene er like for hulldekkene

Område	Areal (m ²)
Plan 1	640,9
Plan 2	507,4
Plan 3	678,9
Areal heissjakt	6,7

Tabell 4.2 Tykkelse på hulldekke og etterspent dekke

Tykkelse	Plan 1 (mm)	Plan 2 (mm)	Plan 3 (mm)
Hulldekke	400	340	400 og 340
Etterspent dekke	300 og 250	300	300 og 250
Differanse	100 til 150	40	90 til 100

4.1.2. Kostnader

Tabell 4.3 Kostnader for løsningen med etterspent dekke

Pristyper	Plan 1 (kr)	Plan 2 (kr)	Plan 3 (kr)	Sum (kr)
Betong	209 070	175 835	216 890	601 795
Spennarmering	121 267	115 110	113 624	350 000
Slakkarmering	30 843	29 277	28 899	89 019
Forskaling	124 264	101 069	117 930	343 262
Arbeid	502 166	391 828	514 350	1 824 144
Sum arbeid og materiale	987 610	813 119	991 692	3 208 220

Tabell 4.4 Kostnad for opprinnelig løsning med hulldekke

Pristype	Plan 1 (kr)	Plan 2 (kr)	Plan 3 (kr)	Sum (kr)
Totalt	640 943	507 427	678 922	1 827 292

Tabell 4.5 Kostnadsdifferansen for hulldekke mot etterspent dekke

Pristype	Plan 1 (kr)	Plan 2 (kr)	Plan 3 (kr)	Sum (kr)
Differanse	-346 666	-305 691	-312 770	-1 380 928

4.1.3. Tidsbruk

Tabell 4.6 Tidsestimat for etterspent dekke

Tidstype	Plan 1 (timer)	Plan 2 (timer)	Plan 3 (timer)	Sum (timer)
Betongarbeid	87	71	91	248
Slakkarmering	69	65	64	198
Forskaling	833	660	883	2375
Spennarmering	128	75	106	308
Sum	1116	871	1143	3130

Tabell 4.7 Tidsestimat for hulldekke

Tidstype	Plan 1 (timer)	Plan 2 (timer)	Plan 3 (timer)	Sum (timer)
Montering	240	190	255	685

Tabell 4.8 Differanse på tidsestimat for hulldekke mot etterspent (negativ verdi = tar lengre tid med etterspent dekke)

	Plan 1 (timer)	Plan 2 (timer)	Plan 3 (timer)	Sum (timer)
Tid	-875	-680	-888	-2444

4.1.4. Betongbruk

Tabell 4.9 Betongbruk

	Plan 1 (m ³)	Plan 2 (m ³)	Plan 3 (m ³)	Sum (m ³)
Etterspent dekke betongbruk	181,8	152,9	188,6	523,3
Hulldেকে betongbruk	190,87	143,91	203,68	538,46
Differanse	9,07	-8,99	15,08	15,16

4.2. Fra Ram

4.2.1. Dimensjoner og mengder

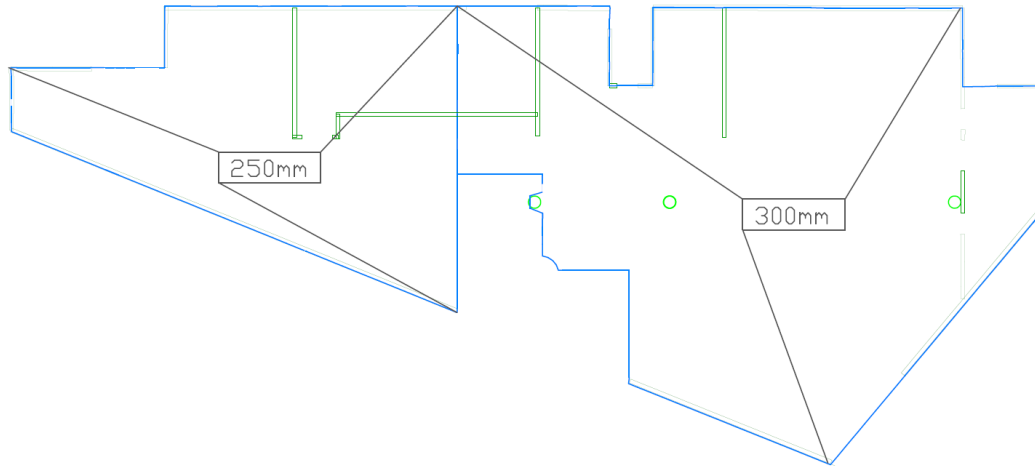
Informasjon om hvilke størrelser, dimensjoner og mengder vi fikk på dekkene, finner man her. Alle dekkene har betongkvalitet B35, og de er dimensjonert med uinjiserte kabler. Dette gjelder også for håndberegningene vi har utført.

Tabell 4.10 Overdekning vi valgte for de ulike armeringstypene

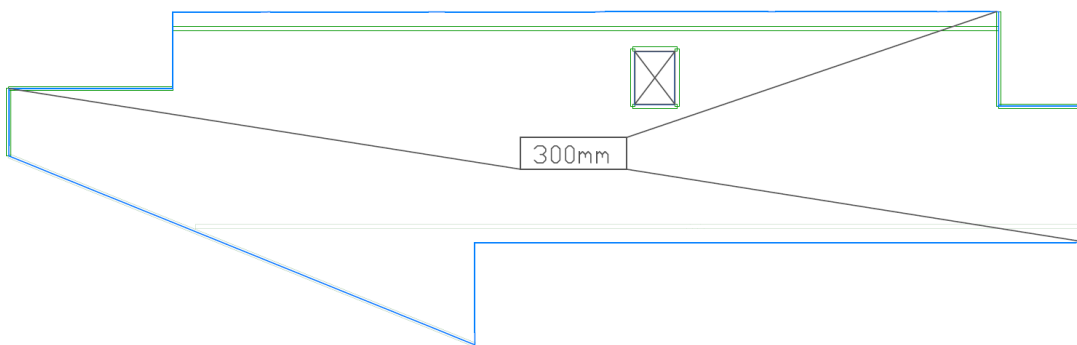
Armeringstype	Overdekning (mm)
Slakkarmering	35
Spennkabler uinjisert	>40

Tabell 4.11 Dekketykkelser vi har kommet fram til for de ulike planene

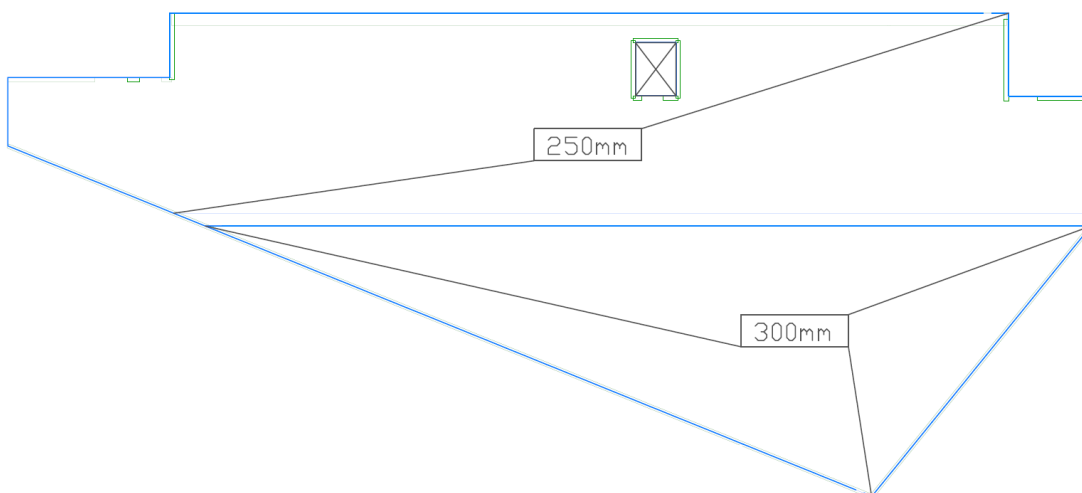
Plan	Dekketykkelse (mm)
1:	
Over konsertlokalet	300
Resterende del	250
2:	
Hele dekket	300
3:	
Takhage	300
Resterende del	250



Figur 4.1 Plan 1 med dekketykkelser. (AutoCad)



Figur 4.2 Plan 2, med dekketykkelse (AutoCad)

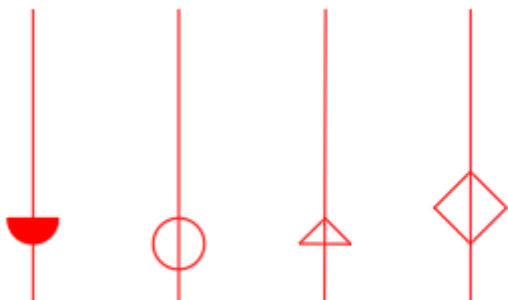


Figur 4.3 Plan 3, med dekketykkelse (AutoCad)

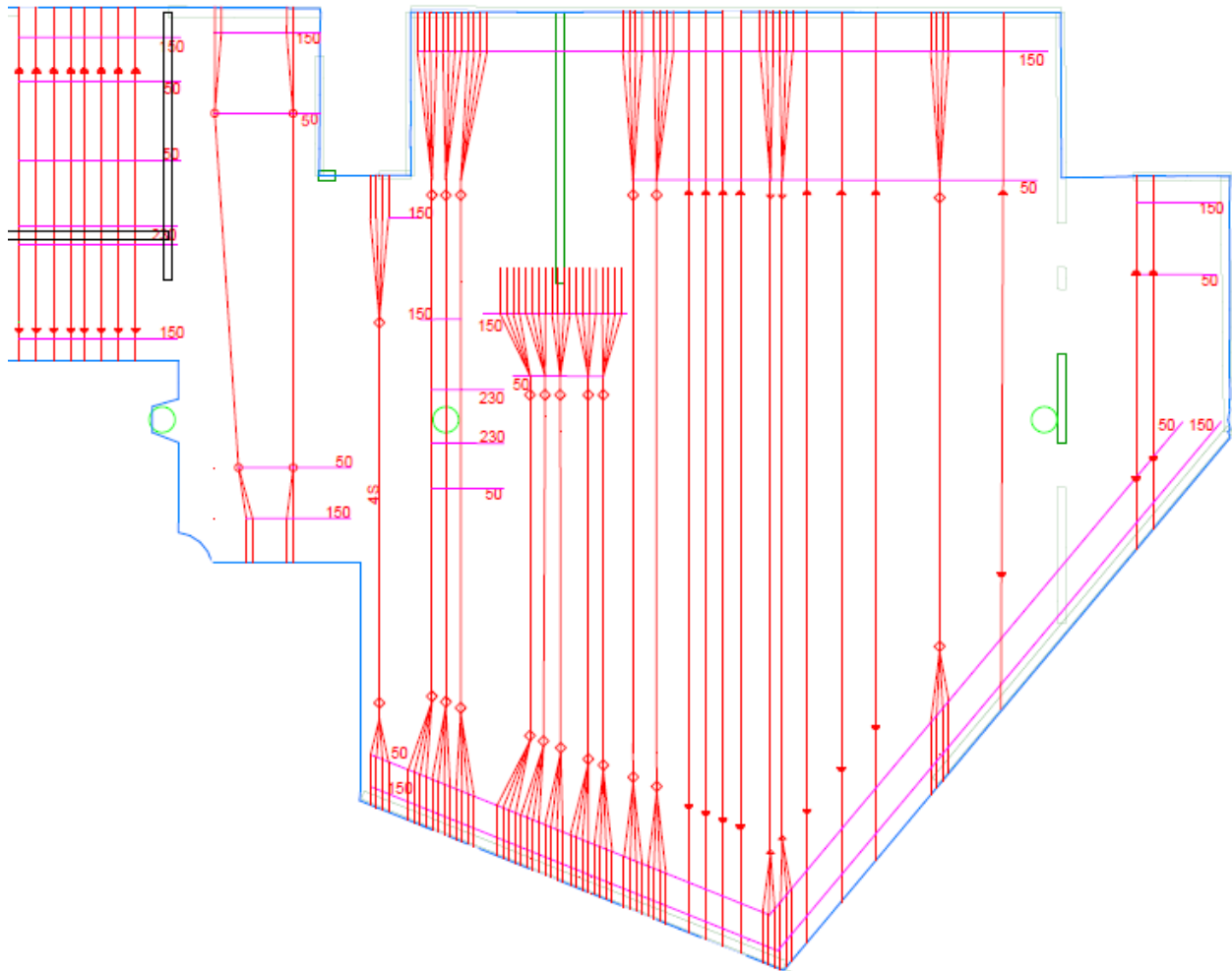
4.2.2. Primærkabler i dekke over kjeller

I dekket over kjeller blir primærkablene lagt først under montering og disse går i Y – retning slik som figur 4.5 viser. Denne tegningen baserer seg på det vi tegnet inn i Ram Concept, men er ment for å være mer illustrerende og detaljert. Noe man kan legge merke til er hvordan kablene er lagt langs søylelinjen (i y-retning) til søyle 2. Vi har i området fra øverste vegg og ned til søyle 2 lagt kablene på tpb (tilnærmet null eksentrisitet), og over søylene går de i topp av dekket og til bunn av dekket videre halvveis til nederste vegg, noe som gir maksimum eksentrisitet for dette området og derav størst løftekraft.

Figur 4.4 gir en forklaring til symbolene som er brukt i tegningene. Tallene i figur forteller hva tps til kablen er i det gitte området.



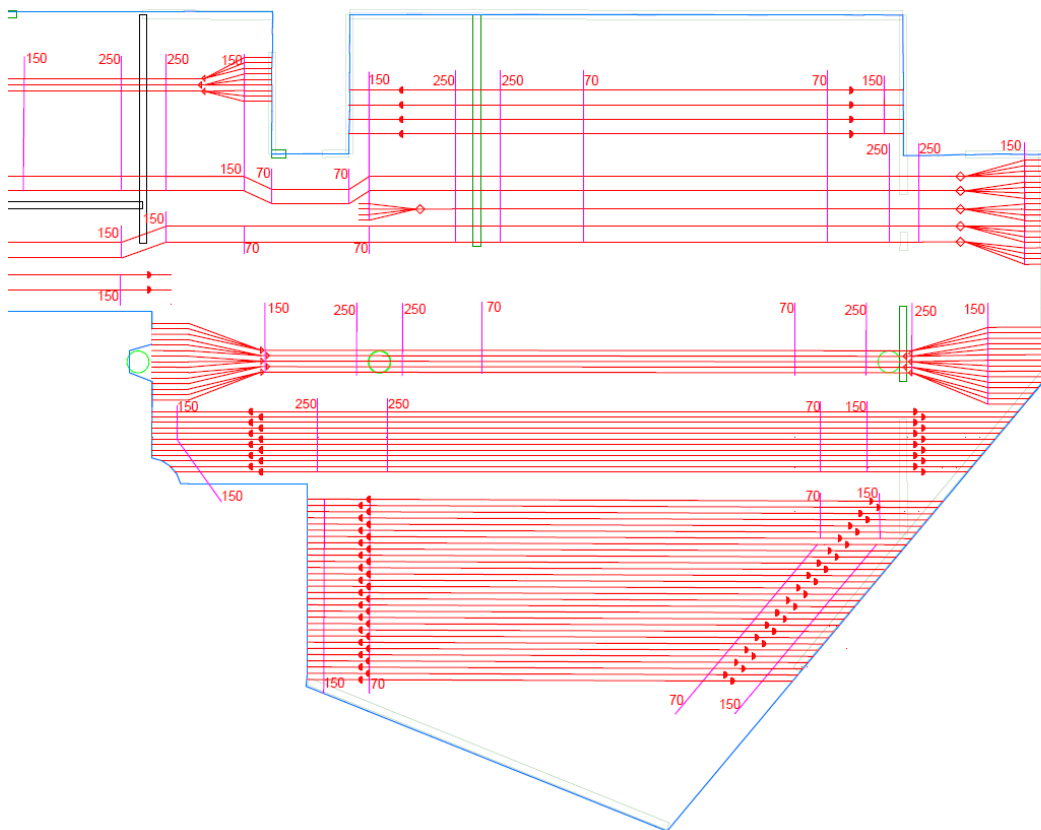
Figur 4.4 Symboler for hvor mange spennkabler som går i linjen, f.v.: 1,2,3,4.. (AutoCad)



Figur 4.5 Spennkabelføring i Y – retning for dekke over kjeller (AutoCad)

4.2.3. Sekundærkabler i do kjeller

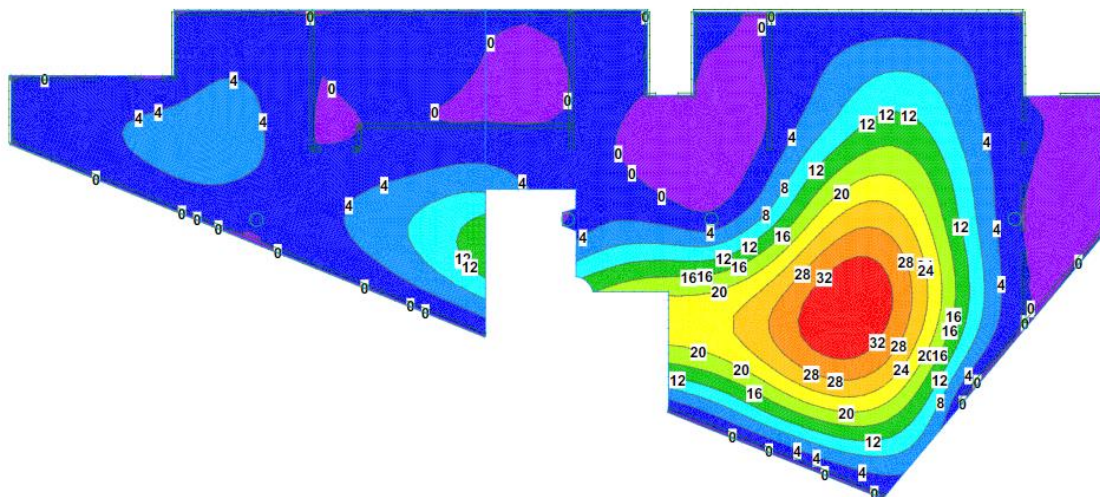
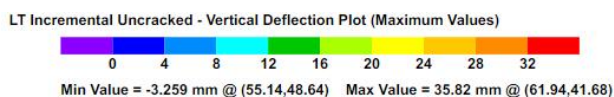
Sekundærkablene blir lagt i X – retning og blir montert etter primærkablene. I figur 4.6 kan man se at vi har lagt kablene langs søylelinjen fra søyle 1 til søyle 3 slik at vi har full eksentrisitet mellom søyle 2 og 3. I spenn 1 har vi lagt kablene uten noe særlig eksentrisitet, og det samme i spenn 3. Spennkablene som kommer rett under søylelinjen i X – retning, er lagt med tps i overkant av dekke (250mm) der hvor de krysser spennkablene fra søyle 2 i Y – retning.



Figur 4.6 Spennkabelføring i X – retning for plan 1 (AutoCad)

4.2.4. Nedbøying

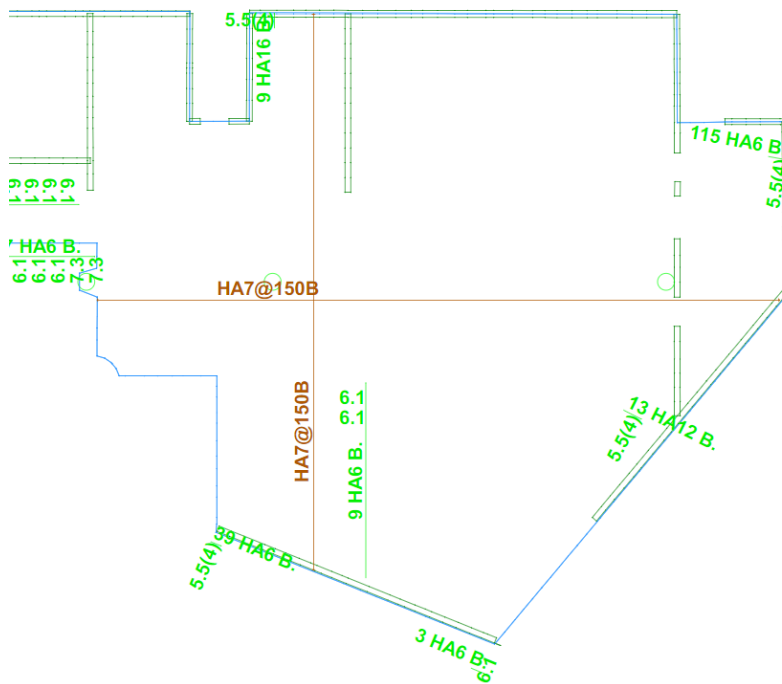
Figur 4.7 viser nedbøyingen for plan 1. Man kan se at største nedbøying er ca 36mm, og dette skjer i spennet mellom søyle 2 og skråveggen lengst til høyre i figuren. Her er spennet ca 14m, og kravet på $L/250$ fra EC2 7.4.1 (4)P gir oss en øvre grense på ca 56mm



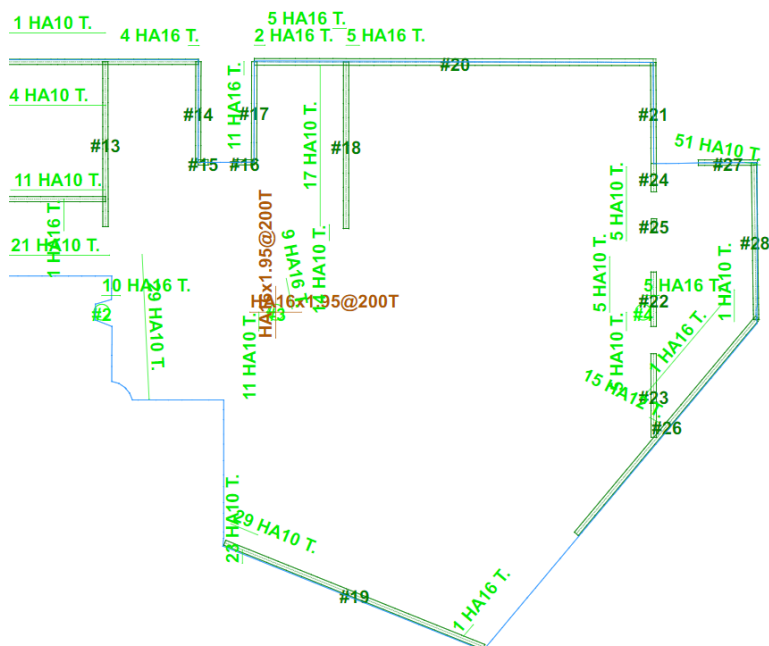
Figur 4.7 Nedbøyingsplot for do kjeller i mm (Ram Concept)

4.2.5. Slakkarmeringsføring

I tillegg til at programmet legger inn slakkarmering der hvor det trengs forsterkninger, har vi lagt inn et armeringsnett i bunn av dekket på Ø7 s150, som vist av de brune linjene i figur 4.8. «HA7@150B» betyr at Ø7 armering er lagt med 150mm senteravstand i spennet til de brune linjene. «13 HA 12» betyr at man har 13 armeringsstenger på Ø12 i det gitte design strip området.



Figur 4.8 Slakkarmering i bunn av dekket over kjeller (Ram Concept)



Figur 4.9 Slakkarmering i topp av dekket over kjeller. (Ram Concept)

4.3. Håndberegninger

4.3.1. Lastbalansering

Resultat fra vedlegg 8.6

Tabell 4.12 Lastbalansering

Balansert last i spenn 2:	6 kN/m ²
Spennkraft (per meter bredde):	817 kN/m
Antall spennkabler nødvendig:	22,685
Antall spennkabler – rundet opp:	23
Justert spennkraft (per meter bredde):	834 kN/m
Faktisk balansert last i spenn 2:	6,124 kN/m ²

Tabell 4.13 Tabell over spennkabelføring ved ulike deler av dekket

Søyle (spenn)	(1)	2	(2)	3	(3)
Tps (mm)	160	250	70	250	184

4.3.2. Tap av spennkraft

Resultat fra vedlegg **Feil! Fant ikke referanseilden..**

Tabell 4.14 Spenningstap

Tapstype	Spenningstap
Låsetap	46,99 MPa
Friksjonstap	41,90 MPa
Tidsavhengige tap (svinn, kryp og relaksasjon)	191,46 MPa
Sum tap	280,35 MPa

Tabell 4.15 Spenninger i spennarmering før og etter tap

	Spennkraft
Før tap	1488 MPa
Etter tap	1207,65 MPa
Prosentvis tap	18,8 %

5. DISKUSJON

5.1. *Begrunnelse for valg av kabelføring*

5.1.1. Justeringer fra Ram Concept

Gjenopptar samme oppsett som ved tilsvarende kapittel i metode, bare med begrunnelse istedenfor:

Design status:

- Reduksjon av antall kabler ved feilmelding på EC2 6.2

En konsekvens av å øke antall uinjiserte spennkabler er at man får et mindre effektivt tverrsnittsareal (EC2 6.2.3 (6)). Derfor ble det nødvendig å redusere antallet eller fordele spennkablene der hvor vi fikk denne feilmeldingen.

- Kabelføringen ved spenn 1 og 3, ved feilmelding på EC2 5.5(4):

Kapittel 5.5 i Eurokode 2 tar for seg lineær elastisk analyse med begrenset omfordeling, hvor EC2 5.5 (4) sier noe om hvor vidt omfordeling av bøyemomenter kan foretas uten kontroll av rotasjonskapasiteten. For vårt tilfelle ved spenn 1, 2 og 3, er forholdet mellom lengden på spennene ikke innenfor grensen for hvor man kan foreta omfordeling av bøyemomenter uten kontroll av rotasjonskapasitet. Dermed skal det ved dette området (spenn 1 og 3) gjøres en rotasjonskapasitet, før en eventuell omfordeling av bøyemomenter.

Her justerte vi kablene til at tps gikk langs tpb så mye som mulig av lengden til spennet (se resultater), som vil si at tverrkraften fra spennkabelen ble mindre. Grunnen til justeringen var at den opprinnelige kabelføringen (se Figur 3.14) trolig førte til en rotasjon i dekket som overskred rotasjonskapasiteten. Dette var noe vi også kunne forklare ved håndberegninger, som det blir gjennomgått mer om i kapittel 3.5 og 5.1.2

Overskredet spenninger i bunn/topp av dekket i henhold til tillatt strekk- og trykkspenning for B35

Underveis i dimensjoneringen måtte vi foreta justeringer mot for høye strekkspenninger i bunn av dekket. Dette ble motvirket ved å øke antall spennkabler

som gikk i bunn. Trykket fra kablene som legges i bunn av dekket (og dermed med en eksentrisitet), kommer av momentet som oppstår fra tverrkraften og er dermed avhengig av eksentrisiteten til spennkabelen.

EC2 7.4.1 (4) krav om nedbøying:

- For å oppnå en akseptabel nedbøying av dekket, ble løsningen å ha et høyt nok antall spennkabler som var riktig plassert og som utførte en tverrkraft på dekket.

En hypotese som vi hadde i starten var at det var tilstrekkelig å konsentrere kablene i y – retning over søyle 2, og i x- retning langs søyle 2 og 3. Dette viste seg å gi en skjevfordelt nedbøying, og løsningen ble å heller konsentrere antall spennkabler i y- retning lenger inn mot senter av dekket, og å øke antall spennkabler i området over søylene i x – retning. Altså en økning i spennkabler jevnt over hele dekket.

Figur 4.5 viser sluttresultatet på hvordan kablene ble lagt i y – retning, og man kan se at det ble lagt 12 kabler over søyle 2 og lenger inn mot senter av dekket la vi 20 kabler til i forhold til vår hypotese. I figur 4.6 ser dere hvordan resultatet på kabelføringen i x – retningen ble, og i området ved scenen (se figur 3.3) måtte vi øke antall spennkabler i forhold til det hypotesen vår tilsa.

5.1.2. Fra håndberegningen

Vi har som nevnt i resultatet lagt kablene over søylene i dekke over kjeller med ulik eksentrisitet alt etter hvor vi er i de ulike delene av dekket.

I y-retning: Siden vi har et større område på nedsiden av søyle 2 hvor det er større avstand mellom opplagerne, enn på oversiden av søyle 2, så har vi brukt området på nedsiden av søylen som området vi ønsker full eksentrisitet på.

I x – retning: Langs søylelinjen i denne retningen har vi 3 spenn hvor det midtre spennet er betydelig større enn de to resterende. Dermed har vi tatt utgangspunkt i å legge kablene med full eksentrisitet i dette spennet, og i de ytre spennene har vi latt kablene gå fra overkant i dekket ved søylene og ned til tpb, altså med mindre eksentrisitet enn mulig.

Bakgrunnen til denne kabelføringen var at vi ved hjelp av håndberegning fikk en bedre forståelse for hvordan eksentrisiteten i kablene som gikk i x – retning, både i spenn 1, 2 og 3, påvirket dekket i de ulike områdene. Denne forståelsen brukte vi også når vi skulle designe i Ram Concept.

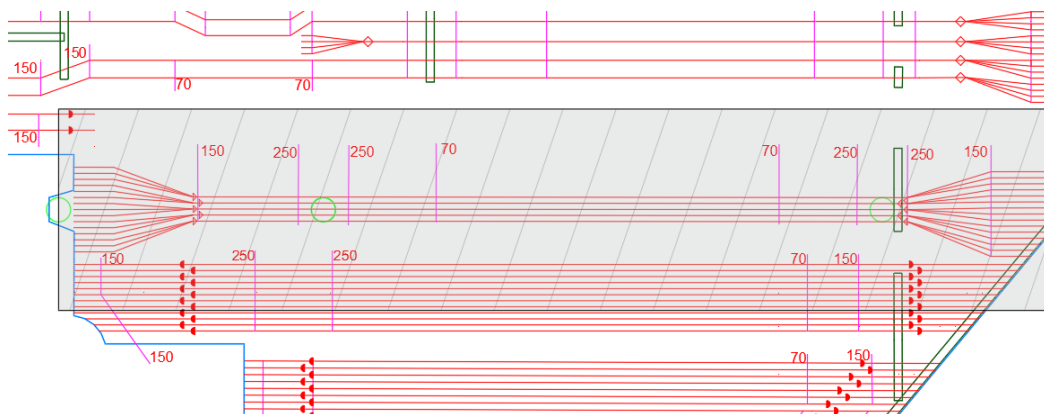
Når området i spenn 2 i x – retning skulle balanseres ut, var det her nødvendig med en stor løftekraft fra spennkablene, i forhold til de to sideliggende spennene. Dette krevde både maks eksentrisitet og en stor kraft i spennkabelen, som ville gi ønsket tverrkraft på dekket fra spennkabel. For at vi ikke skulle få for stor tverrkraft på spenn 1 og 3, måtte vi som vist i håndberegningen redusere eksentrisiteten her. Som regel vil man ved design med etterspent betong ha et mer likt forhold mellom spennene, slik at man kan utnytte eksentrisiteten bedre i alle spenn. I vårt tilfelle langs søylene i x-retning får vi bare full eksentrisitet i spenn 2.

Ved bruk av hulldekke har man ikke denne problemstillingen, siden hvert spenn vil oppføre seg uavhengig av de sideliggende spennene. Men man trenger flere opplager ved bruk av hulldekke, siden hvert element må være opplagret i hver ende.

For å få utnyttet egenskapene til etterspente betongdekker til det fulle, bør man altså ha en utforming på dekket slik at man får utnyttet eksentrisiteten. Dette gjøres ved å ha inntrukne søyler, og et likt forhold mellom spennene. Om dekket utformes på denne måten kan man oppnå slanke og sterke konstruksjoner, hvor man for eksempel kan ha hengende fasader. Likevel er ikke dette noe man må følge, dette med å ha et likt forhold mellom spennene. Det vi har gjort i dimensjoneringen av dekket i Sundebygget, har vist at selv med relativt korte spenn ytterst på dekket, kan etterspente betongdekker ta veldig store spenn. I vårt tilfelle var det største spennet på ca 14 meter mellom søylene i ene retningen. Dette klarte vi ved å bruke en dekketykkelse på 300mm, mot hulldekkene som er 400mm tykke.

5.1.3. Håndberegninger sett mot Ram Concept

Man kan se fra resultatet at vi fra lastbalanseringen for hånd fikk 23 spennkabler, fordelt på en bredde på 5 meter. Dette stemmer greit med resultatene fra Ram Concept (se figur 5.1) , som viser 15 spennkabler over søylene + 9 kabler ved utkragingen som totalt gir 24 kabler i området for håndberegningen.



Figur 5.1 Resultatet fra Ram Concept kombinert med område beregnet for hånd (AutoCad)

5.1.4. Endring fra opprinnelig løsning – fjerning av fastspent hjørne

Ved dimensjonering av dekket over kjeller, la vi inn i Ram Concept de bærende vegger/søylar som Sundebygget var prosjektert med opprinnelig. Med dette som utgangspunkt, fjernet vi det nederste hjørnet, ved å ta bort den delen av veggen som stod mot åpningen for utgangsdøren (se figur 3.15) Dette gjorde at løsningen med etterspent betongdekke ble mer passende, siden vi da ikke fikk fastlåsning av dekket i hjørnet. En slik fastlåsning førte til høye verdier av strekkspenninger spesielt i X – retning i området ved dette hjørnet, når vi beregnet på det i Ram Concept. Dette stemmer også godt overens med teorien på at man ikke bør utforme opplagerne til et dekke med fastlåste hjørner ytterst fra senter av dekket. Som tidligere nevnt vil dette føre til spenninger og riss i både dekket og opplagerne. Det at vi fjernet en vegg fra modellen, betyr at veggen i praksis ville blitt støpt slik at den ikke bar noe av dekket.

5.1.5. Utkraging ved trapp

Der hvor trappen fra kjeller til plan 1 går (se Figur 3.2), har vi valgt å fjerne opprinnelige opplager, som vises i figur 3.2. Dette gjør at vi får en utkraging, noe som påvirker hvordan vi har lagt kablene som går i x – retning her. For å få mest mulig løft ute i utkragingen har vi som nevnt i resultatet, lagt kablene i overkant av dekket (tps = 250mm) der hvor de krysser kablene fra søyle 2 i y – retning. Dette gjorde vi for at kablene i x - retning skulle belaste kablene fra y – retning, og at man da fikk en bedre eksentrisitet og dermed større løftekraft ved utkragingen. Ulempen med dette er at man vil få lavere trykkspenninger i underkant der hvor kabelen går i topp av dekket.

5.2. Fordeler og ulemper

- Dekketykkelse

En av fordelene med etterspente dekker er at man ofte får tynnere dekker enn med hulldekker. Noe vi også fikk her. Forskjellene i dekketykkelse ser vi i tabell 4.2, som viser at de etterspente dekkene er fra 40 til 150 mm tynnere enn hulldekkene. At dekkene er tynnere, vil redusere andre kostnader som vi ikke har tatt hensyn til her. Eksempel på dette er at man vil få mindre fasade og innervegger som skal dekkes til eller kles igjen, og vil da spare både arbeid og materialkostnader. Det vil også gjøre bygget noe lavere, som kan være en fordel dersom man må holde bygget under en viss høyde.

- Tidsbruk

Når det gjelder tidsbruken, viser det tydelig fra tabell 4.8 at det er mye mer tidkrevende å få ferdig et etterspent dekke enn et hulldekke mht. arbeid på anleggsplassen. Den store tidsforskjellen kommer i stor grad av behovet for forskaling, og man ser at forskalingsarbeidet alene utgjør over to tredjedeler av den totale tidsbruken.

En svakhet med beregninga vår av tidsbruk, er at vi ikke har sett på andre tidkrevende jobber som kommer etter at dekkene er montert.

Hulldekker vil ha en påstøp etter montering for å sikre skivevirkning, som i seg selv vil ta litt tid, og vil hindre at andre arbeidsprosesser kan bli igangsatt før.

Etterspent betong er derimot et ferdig produkt etter det er støpt, og arbeidsprosesser som er

avhengige av at dekket er støpt kan tre i gang bare noen dager etter støping. Når det er plasstøpt er det også muligheter for skjult installasjon av sprinkleranlegg og strømkabler, som kan være besparende på tidsbruk.

- Materialbruk

På grunn av manglende data for armeringsmengde i hulldekkene, har vi valgt å kun sammenligne betongbruken for dekkene. Tabell 4.9 viser at betongbruken er relativt lik, men med en liten fordel til etterspent dekke. Det er her tatt med at hulldekkene trenger en 100 mm påstøp for å sikre skivevirkning i beregningene. Det vi ikke har tatt med i beregningene er at hulldekkene trenger å kappes for å tilpasses de vinklede ytterveggene. Betongbruken til hulldekkene vil derfor være litt høyere enn det vi har beregnet.

5.3. Erfaringer

Gjennom denne arbeidsperioden med bacheloroppgaven har vi gjort oss nye erfaringer, både med dataprogrammer og kunnskap om to ulike dekkssystemer. Gruppen har opparbeidet kunnskap om fordeler og ulemper for hvert enkelt system. Spesielt spennende har arbeidet med etterspent betong vært, siden studieforløpet vårt ikke har dekt dette i pensum.

Håndberegninger bidro med forståelse av konseptet med etterspente betong før vi startet med analyse og dimensjoneringsprogrammet Ram Concept. Bruken av Ram har vært det mest tidkrevende i denne prosessen, men det er også her vi har fått størst læringsutbytte og forståelse for dimensjoneringen av etterspent betong.

Vi tar også med oss at arbeidstid er veldig utslagsgivende for totalpris av systemene.

6. KONKLUSJON

De etterspente dekkene er fullt gjennomførbare, der man reduserer dekketykkelse på alle dekkene i forhold til løsningen med hulldekke. Men vil på en annen side bli mye dyrere og mer tidkrevende enn hulldekke. Med disse resultatene er det hulldekket som viser seg å være den beste løsningen for Sundebygget.

Vi ser at det er veldig tidkrevende å sette opp et etterspent dekke og dette blir en veldig stor kostnad. Men som en anbefaling til videre studie kan det være nyttig å se om andre arbeidsprosesser av installasjoner kan komme inn på et tidligere stadium og dermed få en raskere byggeprosess for hele bygget ved bruk av etterspent dekke.

7. REFERANSER

- alfasoft. (2021). *Alfasoft*. <https://www.alfasoft.com/no/produkter/matematikk/mathcad.html>
- Astral Pipes. (2021). *Astral pipes*. Astral Pipes. <https://www.astralpipes.com/application-details/urban-infrastructure-plusstirex-41>
- Autodesk. (2021). *Autodesk*. <https://www.autodesk.no/products/autocad/overview?term=1-YEAR>
- Betongelementforeningen & Norsk Stålforbund. (2008). *Hulldekker på bæresystemer av stål*. https://www.betongelement.no/siteassets/dokumenter/bef.veileder.hulldekker_13.pdf
- CCL. (2017). *Brosjyre Etterspente Dekker*. CCLint. [https://cclnorway.no/uploads/8649_CCL_Slabs_Brochure%20\(LR\).pdf](https://cclnorway.no/uploads/8649_CCL_Slabs_Brochure%20(LR).pdf)
- Design of Post-tensioned Slabs Using Unbonded Tendons* (Third Edition). (2004). Post Tensioning Institute.
- Dolan, C. W. & Hamilton, H. R. (Trey). (2019). *Prestressed Concrete. Building, Design and Construction*. Springer.
- Graphisoft. (2021). *Graphisoft*.
- Juliebø, E. (1997). *Armeringsboka*. Universitetsforlaget AS.
- KB Spennteknikk AS. (2018). *Brosjyre BBR VT CONA SINGLE*. KB Spennteknikk AS. <http://new.spennteknikk.no/wp-content/uploads/2018/05/BBR-VT-CONA-Single-spenntausystem-24022011.pdf>
- Larsen, P. Kr. (2010). *Dimensjonering av stålkonstruksjoner* (2. utg).
- Maage, M. (2015). *Betong Regelverk, teknologi og utførelse* (1. utg.). Byggnærings Forlag AS.
- Node. (2019). *Node*. Node. <https://www.node.no/naeringsbygg/254-kiwi-vallaheiane>
- Post-Tensioning Manual* (Sixth Edition). (2006). Post Tensioning Institute.
- Ram Concept User Manual*. (2019). Bentley.
- Sintef. (2005). *Byggforskserien*. Sintef. https://www.byggforsk.no/dokument/458/paastoep_og_golv puss_paa_golv
- Sit. (2021). *Sundebygget Bilde*. Sit. <https://www.sit.no/alesund/om-sit/sundebygget>
- Sørensen, S. I. (2013). *Betongkonstruksjoner* (2. Utgave). Fagbokforlaget.
- Vinje, L., Wilberg, J. & Alexander, S. (2010). *Betongelementboken* (4. utg.). Betongindustriens Landsforening. <https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/default.html>

8. VEDLEGG

8.1. Exceldokumenter masseberegning

<i>Priser og tidsbruk er hentet fra Consto og CCL</i>		
Arbeid/materiale	Pris/tid	Enhet
Forskaling:		
Leie av forskaling for dekker inkl transport og retur	100	kr/m ²
Bygging av forskaling, riving og flikk av underside	1,3	timer/m ²
Pris forskaling av endestenge på dekke (inkluderer materiell og montasje / demontering)	400	kr/lengdemeter
Slakkarmering:		
Tid slakkarmering	20	timer/tonn montert armering
Pris slakkarmering levert byggeplass, inklusive bindetråd og avstandsholdere	9	kr/kg
Betong:		
Utstøping av dekke	0,3	timer/m ³
Avtrekking topp dekke	0,05	timer/m ²
Betongleveranse	1 000	kr/m ³
Betongpumpe	150	kr/m ³
Spennarmering:		
Tid montering og oppspenning per lengdemeter	0,04	timer/lengdemeter
Spennarmering og ankere levert til byggeplass, alle tre dekkene	350 000	kr
Arbeid:		
Timesats arbeid	450	kr/timen
Hulldekke:		
Pris hulldekke. Inkluderer leveranse av kappet/saget dekke, montasje og fugestøp	1 000	kr/m ²
Tid hulldekke	400	m ² i uken per lag (4 personer)
Tid hulldekke	0,4	timer/m ²

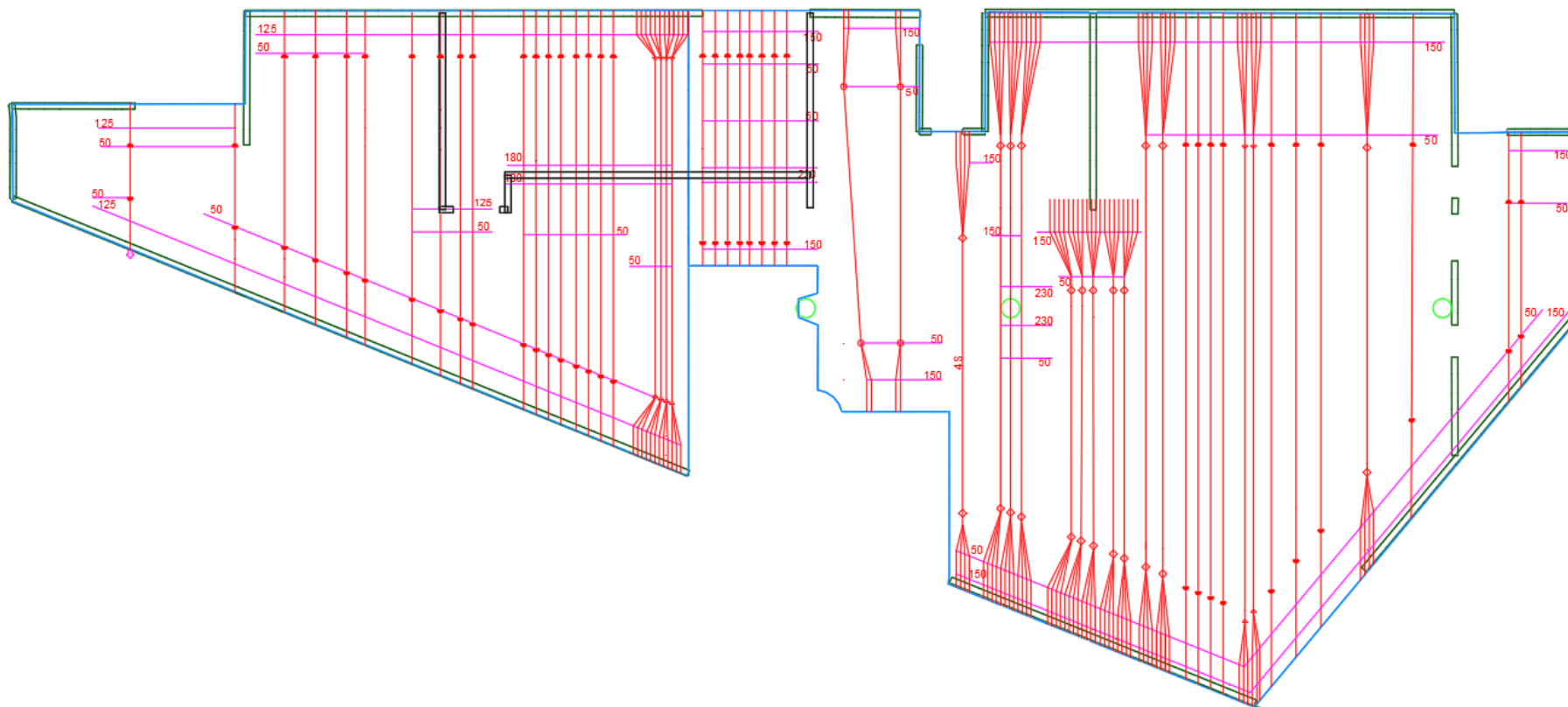
Mengdetype	Do kjeller	Do 1	Do 2	Sum dekker
Areal [m ²]	640,94	507,43	678,92	1827,29
Omkrins [m]	150,42	125,82	125,09	401,33
Betong [m ³]	181,8	152,9	188,6	523,30
Spennarmering [kg]	4424	2593	3664	10681,00
Spennarmering lengdemeter [m]	3189,29	1869,31	2641,40	7700,00
Slakkarmering [kg]	3427	3253	3211	9891,00
Gj. snitt tykkelse hulldekker (mm)	430	340	400	
Fyllingsgrad av hulldekker med betong:	46 %	54 %	50 %	
Betongbruk hulldekker (m ³)	126,78	93,16	135,78	355,73

Materiale-sammenligning				
	Do kjeller	Do 1	Do 2	Sum dekker
Etterspent dekke				
Betong [m ³]	181,8	152,9	188,6	523,3
Hulldekke				
Betong [m ³]	126,78	93,16	135,78	355,73
Differanse: Etterspent dekke-Hulldekke				
Betong [m ³]	-55,02	-59,74	-52,82	-167,57

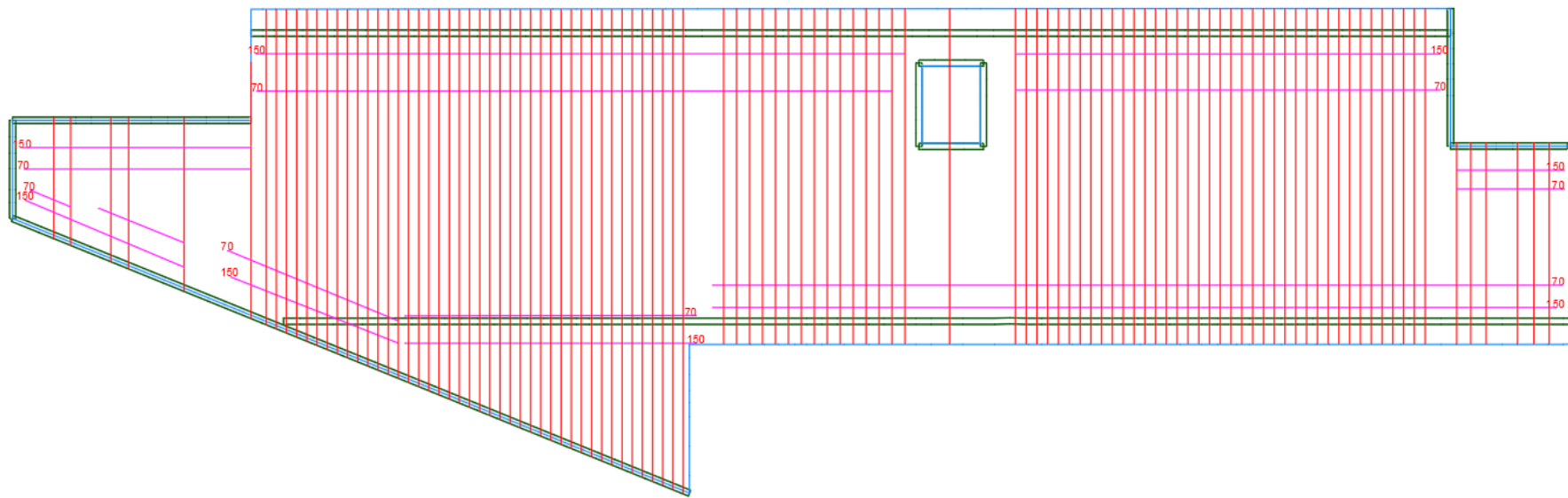
Prisrelatert celle				
Tidsrelatert celle				
Pris- og tidssammenligning				
<i>Alle priser er eks.mva.</i>	Do kjeller	Do 1	Do 2	Sum dekker
Etterspent dekke				
Pris betong (Betongleveranse og betongpumpe) [kr]	kr 209 070,00	kr 175 835,00	kr 216 890,00	kr 601 795,00
Tid betongarbeid (Utstøping og avtrekking) [timer]	86,59	71,24	90,53	248,35
Pris slakkarmering (Pris armering levert, inklusive bindinstråd og avstandsholdere) [kr]	kr 30 843,00	kr 29 277,00	kr 28 899,00	kr 89 019,00
Tid slakkarmering (legging av slakkarmering) [timer]	68,54	65,06	64,22	197,82
Pris forskaling (Leie av forskaling, forskaling av endestenge) [kr]	kr 124 263,53	kr 101 068,72	kr 117 929,76	kr 343 262,01
Tid forskaling (Bygging av forskaling, riving og flikk av underside) [timer]	833,23	659,66	882,60	2375,48
Pris spennarmering (481 kabler, 10 394kg) [kr]	kr 121 266,81	kr 115 109,70	kr 113 623,50	kr 350 000,00
Tid spennarmering (montering og oppspenning) [timer]	127,6	74,8	105,7	308
Pris arbeid	kr 502 166,25	kr 391 828,13	kr 514 350,09	kr 1 408 344,46
Sum pris, materiale [kr]	kr 485 443,34	kr 421 290,42	kr 477 342,26	kr 1 384 076,01
Sum pris, arbeid og materiale [kr]	kr 987 609,59	kr 813 118,54	kr 991 692,34	kr 2 792 420,47
Sum tid [timer]	1115,92	870,73	1143,00	3129,65
Hulldেকে				
Pris hulldেকে (Inkluderer leveranse av kappet/saget dekke, montasje og fugestøp) [kr]	kr 640 943,28	kr 507 427,24	kr 678 921,61	kr 1 827 292,12
Tid hulldেকে (Lag på 4 pers) [timer]	240,35	190,29	254,60	685,23
Differanse: Etterspent dekke-Hulldেকে				
Pris [kr]	-kr 346 666,31	-kr 305 691,31	-kr 312 770,74	-kr 965 128,36
Tid [timer]	-875,57	-680,44	-888,40	-2444,42

8.2. Detaljtegninger for dekkene

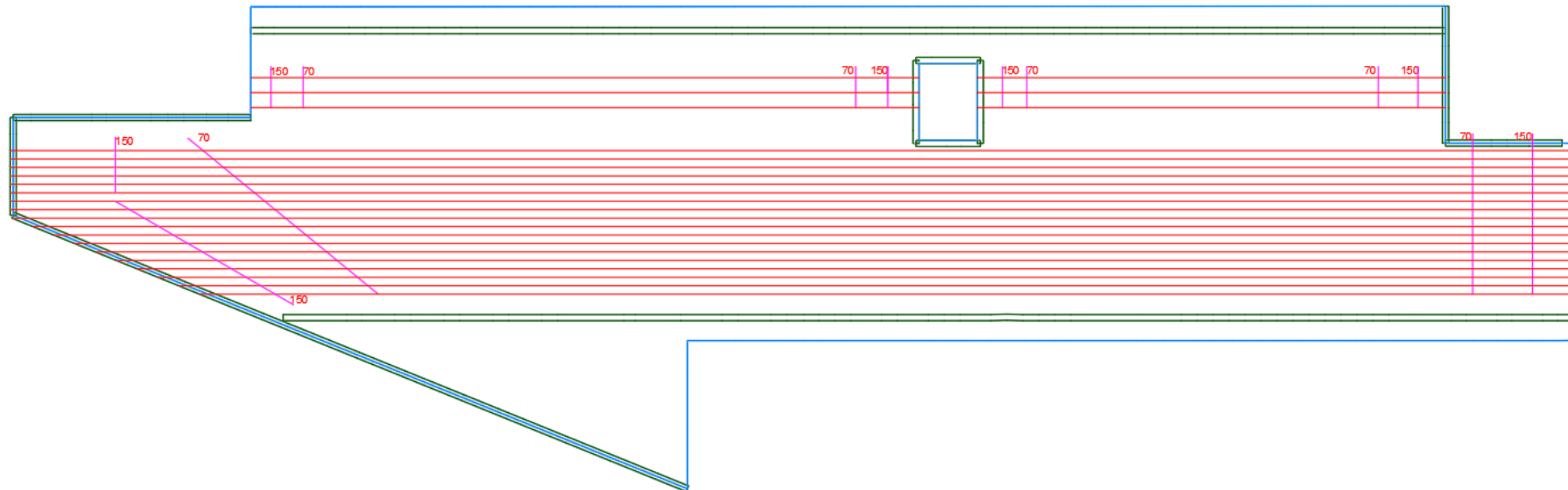
DEKKE PLAN 1, Y- RETNING



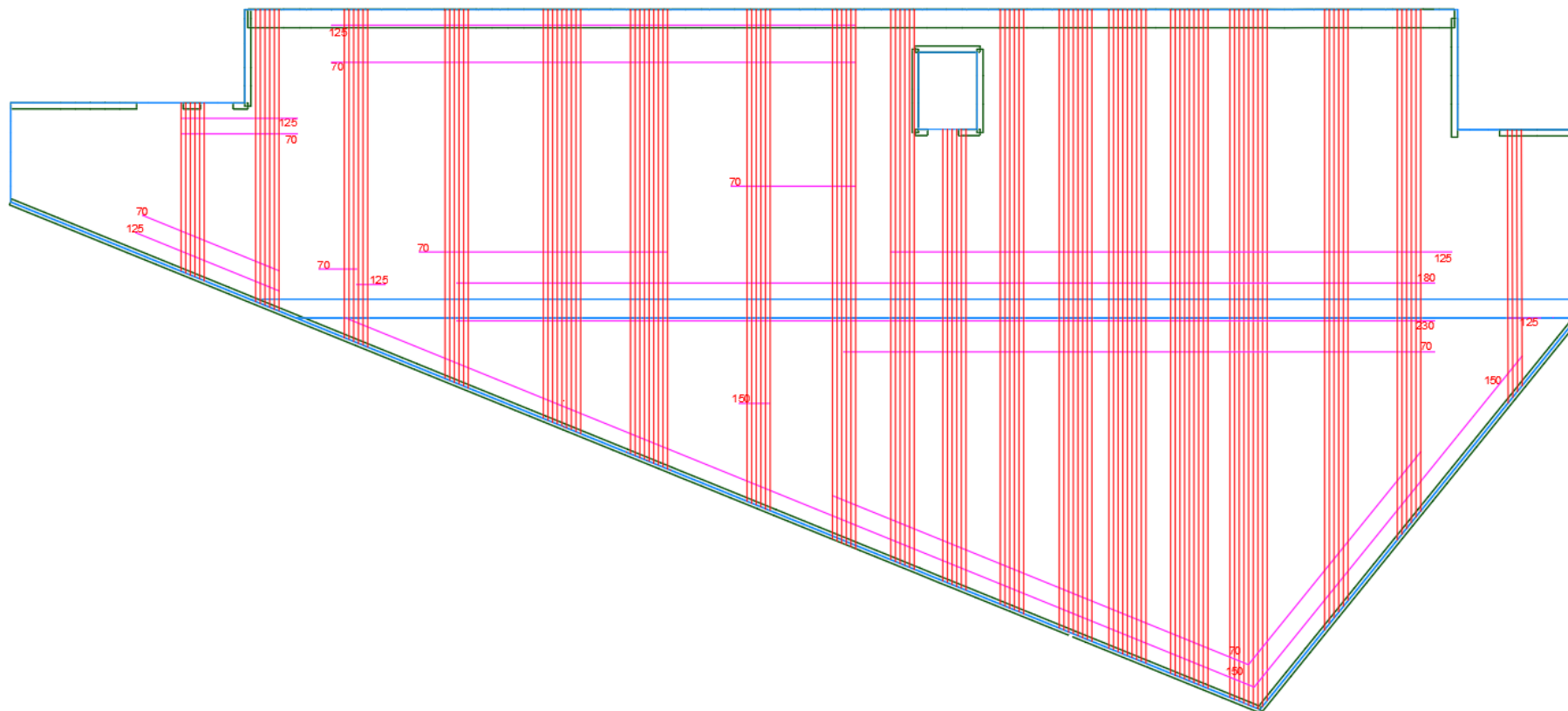
DEKKE PLAN 2, Y – RETNING



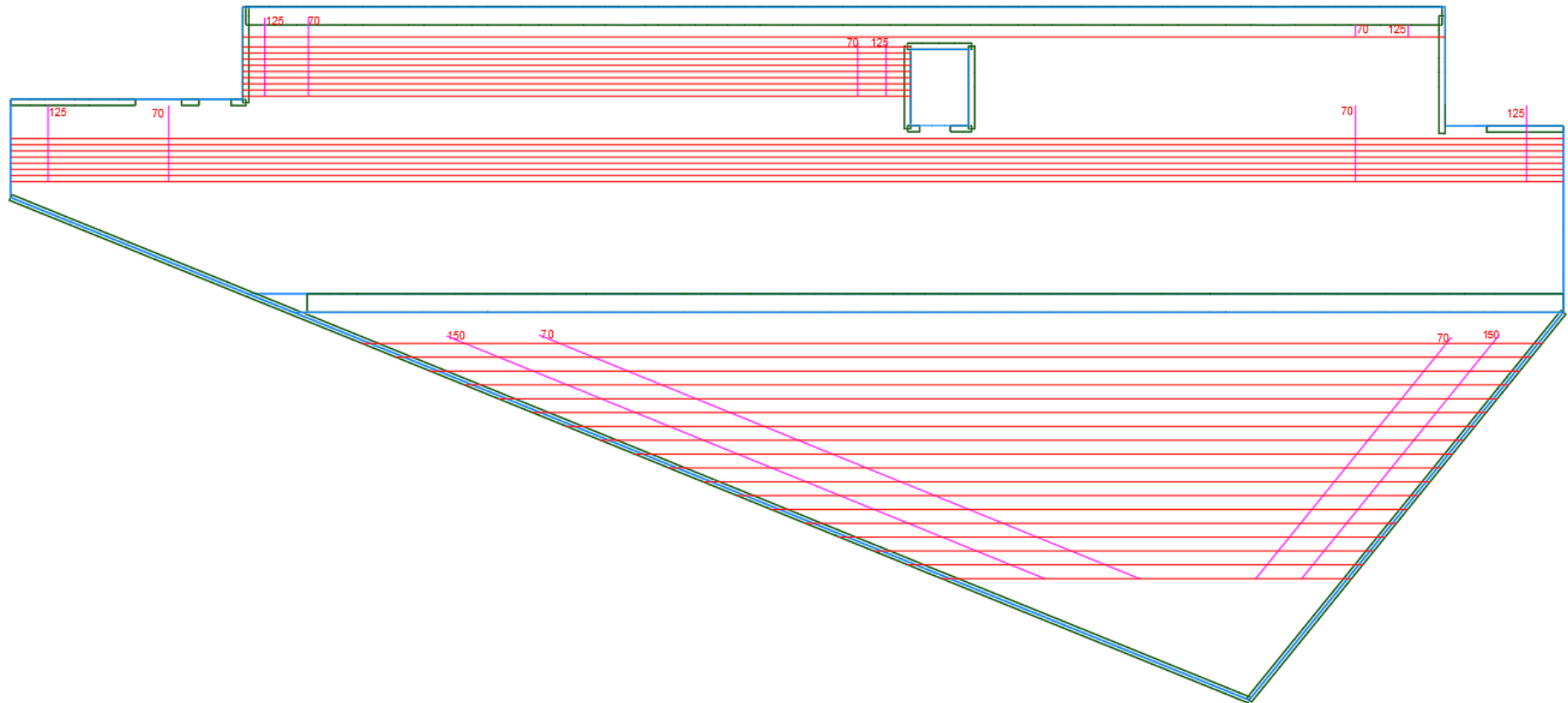
DEKKE PLAN 2, X – RETNING



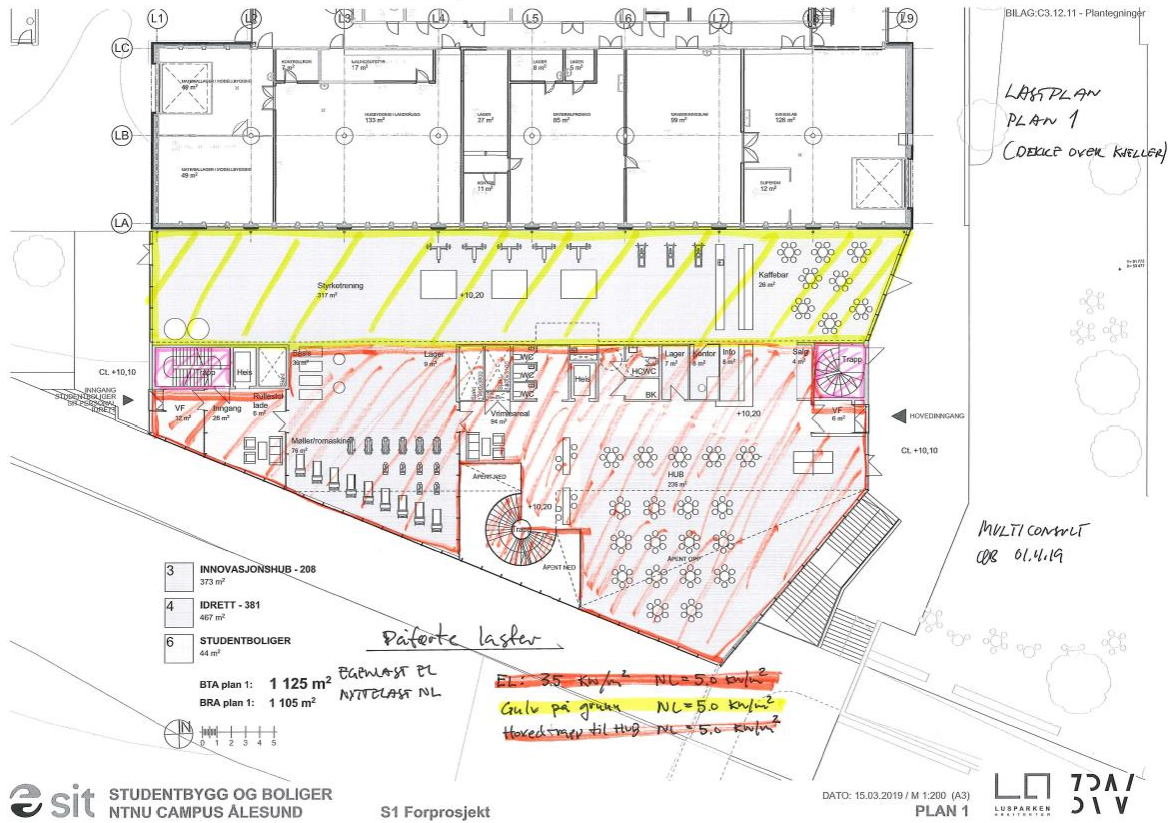
DEKKE PLAN 3, Y – RETNING

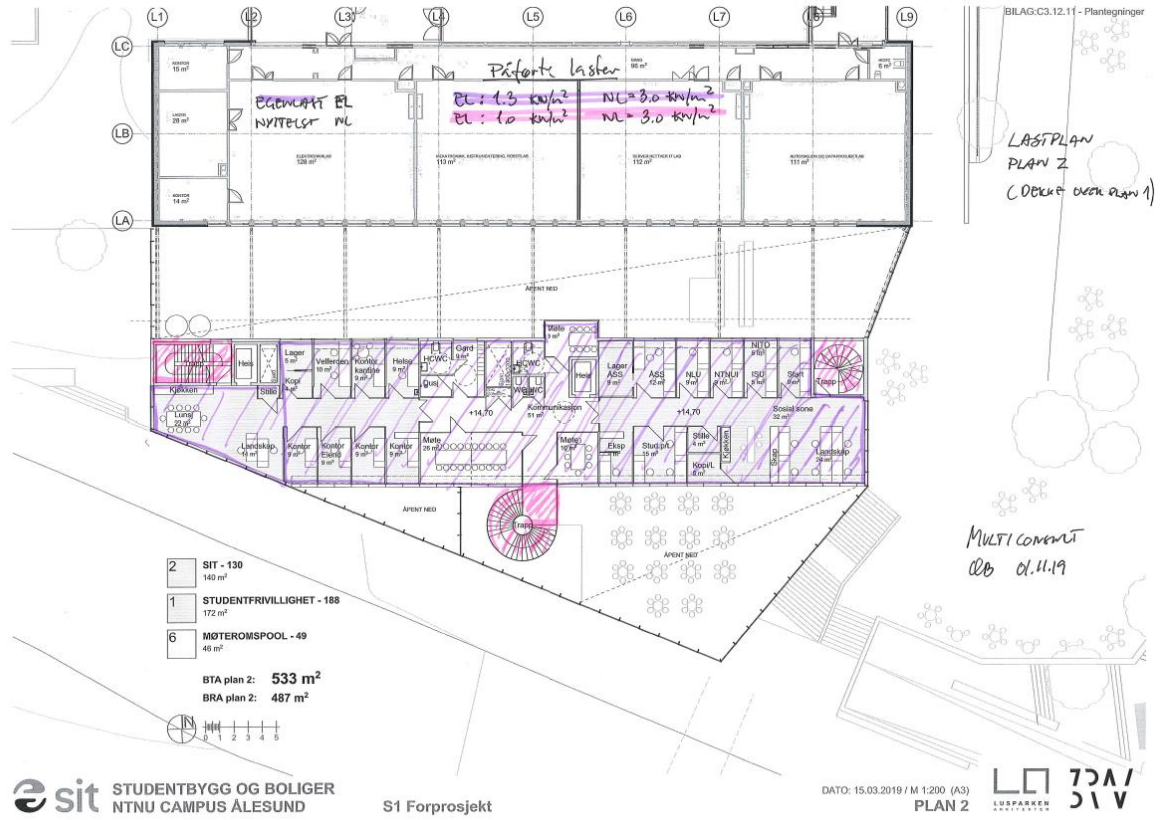


DEKKE PLAN 3, X – RETNING



8.3. Data fra Consto





8.4. Diverse sjekklister



KAP. 4.1 INTERNKONTROLL-SYSTEM	Side 1 Revisjon: 16.06.2015 - STT Dato: 21.06.2005
8 Sjekkliste dekke	

SJEKKLISTE FOR KONTROLL AV: DEKKER				
Prosjekt nr:		Navn:		
Bygningsdel/lokalisering:		Bøye liste nr:		
Tegning nr:		Annet:		
Kontroll utført som:		Stikkprøve	Systematisk kontroll	Iht. kontrollplan
Beskrivelse:				
Miljøklasse:		Betongfasthet:		Kloridklasse:
Kontrollklasse:		Eksponeringsklasse:		Overdekningskrav:
Toleranseklasse:		Bestandighetsklasse:		
Utførelseskrav:				
Kvalitetskrav:				
Kontrollkrav: (NB! Husk kontrollutstyr: planlaser, rettholdt, kikkert, målebånd, bet. prøveutstyr):				
<ul style="list-style-type: none"> • Eksterne krav: • Interne krav: 				
Nr.	Kontrollpunkt	OK	I.OK	Merknader
1.	Forskaling:			
1.1	Riktig høyde og plassering			
1.2	Stempling/avstiving av forskaling			
1.3	Utsparinger			
1.4	Innstøpingsgods (type, antall og plassering)			
1.5	Forskalingsmateriell (finer, bordforsk m.v)			
1.6	Fortanning/lekter i forskaling			
1.7	Overhøyde/fall i dekke			
2.	Armering:			
2.1	Kvalitet (merking) og riktig dimensjon			
2.2	Senteravstand og riktig antall			
2.3	Plassering og overdekning			
2.4	Plassering av stoler ok? Krav om betongstoler?			
2.5	Skjøtejern (omfar/fordeling)			
2.6	Skjøtearmering			
3.	Betong/støping:			
3.0	SKB skal ikke vibreres			
3.1	Mottakskontroll (følgeseddel)			
3.2	Støpetrykk			
3.3	Avretting/overflatekrav			
3.4	Prøvetaking av leveranse			
3.5	Kontroll fibermengde/type på følgeseddle			
3.6	Visuell kontroll av støpelighet og fiberfordeling			
3.7	Uttak av prøver (NS-EN 206 Tab 17)			
3.8	Pumping skjer gjennom rist			
4.	Detaljer:			
4.1	Dilatasjonsfuger: dybler, isol., fugebånd etc.			
4.2	Vannetting støpeskjøter og yterside			
4.3				
Avviksrapport nødvendig:		Ja	Nei	Utført dato:
Hvis Ja, Avviksrapport nr.:				Sign:

EGENKONTROLL MONTASJE

Utgave nr:
Side 1 av 1
Godkjent av :

Ordre nr:

Prosjekt:

Montasjeområde:	Plan:	Tegning:
-----------------	-------	----------

Elementtype i montasjeområdet: SØYLER AV BETONG	Akser:
--	--------

Sjekkpunkt	Pos	Toleranse Normal	Kontroll. Dato / sign	Avviksm. nr
Plassering i høyde		±12mm		
		±20mm		
		±15mm-L / 300		
Loddavvik				
KD ?	Innfesting i bunn	Tegning		
	Understøpt	Tegning		
Plassering i høyde		±12mm		
		±20mm		
		±15mm-L / 300		
Loddavvik				
KD ?	Innfesting i bunn	Tegning		
	Understøpt	Tegning		
Plassering i høyde		±12mm		
		±20mm		
		±15mm-L / 300		
Loddavvik				
KD ?	Innfesting i bunn	Tegning		
	Understøpt	Tegning		
Plassering i høyde		±12mm		
		±20mm		
		±15mm-L / 300		
Loddavvik				
KD ?	Innfesting i bunn	Tegning		
	Understøpt	Tegning		

ID: 10302-6

Mal HMS-rutiner kvalitetsplan byggeplass



Prosess Spenncon AS / Montasje / HMS KS plan
 Godkjent dato 18.06.2015 (HMS KS sjef)
 Endret dato 18.06.2015 (HMS KS sjef)
 Gyldighetsområde Spenncon AS

Dokumentkategori HMS KS plan
 Siste revisjon
 Neste revisjonsdato

Kontrollmåling skal utføres fra akse:	til akse:	Tegningsnummer, plan:

Sjekkpunkt – stryk de som ikke passer	Krav		Målt:	Avvik i mm	Avvik ID. nr.
	Toleranse iht bind F el. 1090-2	– stryk den som ikke passer – sjekk evt. Nye krav i NS			
	Normal	Spesial			
HULDEKKER (HD)					
HD, plassering i høyde ved opplegg	± 20mm	± 10mm			
HD, plassering i side	± 20mm	± 15mm			
HD, fugebredde underkant	+ 15/-4mm	+ 10/-4mm			
HD, fugesprang underkant	10mm	5mm			
HD, fritt for snø og is før gysing	Fritt	Fritt			
HD, drenshull; Kontrolleres/bores nye	Åpne	Åpne			
SØYLER AV BETONG					
Plassering i høyde	±12mm	±8mm			
Plassering i side posisjonsavvik	±20mm	±12mm			
Loddavvik	±15mm- L / 300 maks 30	±10mm- L / 300 maks 20			
SØYLER AV STÅL					
Plassering i høyde	± 5mm				
Plassering i side posisjonsavvik	± 5mm				
Avs. mellom yttersøyler i grunnplanet	± 20mm				
Loddavvik	2mm/m				
Loddavvik, pr etasje	2mm/m				
Loddavvik, totalt etasjebygg, 5 etasjer	21mm				
BJELKER AV BETONG <10m (>10m)					
Bjelker av betong, overkant ved opplegg	±15mm (±20mm)	±8mm			
Bjelker av betong, posisjonsavvik i side	±20mm (±25mm)	±10mm			
Bjelker av betong, loddavvik	±10mm (±15mm)	±5mm			

PROSJEKT NR: ...
 PROSJEKT: ...
 DIMENSJONERT AV: ...
 DATO: ...
 MERKNAD : $\sigma_1/\sigma_0 = 1670 / 1860 \text{ N/mm}^2$
 BYGNINGSDEL: ...
 SPENNKABEL: 0,62" (150 mm²)



OPPSPENNINGSLISTE

HYDRAULISK JEKK
 KALIBRERT DATO:
 JEKK NR:

HYDRAULISK PUMPE
 KALIBRERT DATO:
 PUMPE NR:

LISTE NR: OSL 05

MAKSIMUM SPENNING : 1.860 MPa
 SPENNKRAFT 100% : 223 kN

rev :

filnavn:

Kabel nr	Antall kabler	Plassering akse	Fargekode	Forankring A / M / P	Kabellengde (kapp lengde) mm	Teoretisk forlengelse mm	Tillatt avvik +/- mm	ΔL_1 før mm	ΔL_2 etter mm	ΔL_3 etter mm	Målt forlengelse 1 $\Delta L_2 - \Delta L_1$	Målt forlengelse 2 $\Delta L_3 - \Delta L_2$
K116-2	1		Grønn/Gul/Hvit	A / P	25 475	171	9					
K116-3	1		Grønn/Gul/Hvit	A / P	25 475	171	9					
K116-4	1		Grønn/Gul/Hvit	A / P	25 475	171	9					
K117-1	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 268	89	4					
K117-2	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 268	89	4					
K117-3	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 268	89	4					
K117-4	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 268	89	4					
K117-5	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 040	87	4					
K117-6	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 040	87	4					
K117-7	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 040	87	4					
K117-8	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 040	87	4					
K115-5	1		Grønn/Gul/Gul	A / P	6 670	40	2					
K115-6	1		Grønn/Gul/Gul	A / P	6 670	40	2					
K115-7	1		Grønn/Gul/Gul	A / P	6 670	40	2					
K115-8	1		Grønn/Gul/Gul	A / P	6 670	40	2					
K117-9	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 040	87	4					
K117-10	1		Grønn/Hvit/Hvit	A / P	13 040	87	4					

8.5. Håndberegning fra Mathcad – tap av spennkraft

Låsetap

$\Delta L_{\text{lås}} := 6 \text{ mm}$ Glidning ved låsing. Hentet fra datablad for spennkabler

$L_{\text{kabel}} := 24900 \text{ mm}$ Lengde kabel

$E_s := 195000 \text{ MPa}$ E-modul spennkabel

$A_p := 20 \text{ mm}^2$ Areal per spennkabel

$\sigma_{\text{pi}} := 1488 \text{ Mpa}$ Spenning ved oppspenning

$P_{\text{jekk}} := \sigma_{\text{pi}} \cdot A_p = 2.976 \times 10^4 \text{ N}$ Jekkekraft

Tøyningstap

$$\Delta \varepsilon_{\text{lås}} := \frac{\Delta L_{\text{lås}}}{L_{\text{kabel}}} = 2.41 \times 10^{-4}$$

Tøyning spennkabel:

$$\varepsilon_p := \frac{P_{\text{jekk}}}{E_s \cdot A_p} = 7.631 \times 10^{-3}$$

Prosentvis låsetap

$$\text{Låsetap} := \frac{\Delta \varepsilon_{\text{lås}}}{\varepsilon_p} = 0.032$$

Tapt spennkraft:

$$\Delta P_{\text{lås}} := \text{Låsetap} \cdot P_{\text{jekk}} = 939.76 \text{ N}$$

Spenningsstap fra låsing:

$$\Delta \sigma_{\text{lås}} := \frac{\Delta P_{\text{lås}}}{A_p} = 46.99 \text{ MPa}$$

Friksjonstap

$\mu := 0.07 \frac{1}{\text{radianer}}$ Friksjonskoeffisient. Hentet fra datablad for spennkabler

$\theta := 0.387$ Samlet vinkelendring (radianer) ved x. Vinkelendring målt i Autocad-tegning

$x := 14 \text{ m}$ Avstand fra oppjekkingspunkt man ser på samlet friksjonstap (midt på spenn L2). Valgte 14m siden det er her det dimensjonerende momentet er

$k := 0.0015 \frac{1}{\text{m}}$ Tilleggskrumning (per meter). Hentet fra datablad for spennkabler

Krafttap fra friksjon, ved punkt x

$\Delta P_{\mu} := P_{\text{jekk}} \cdot [1 - e^{-\mu \cdot (\theta + k \cdot x)}] = 837.92 \text{ N}$ Formel hentet fra EC2, 5.10.5.2 (1)

Spenningstap fra friksjon, ved punkt x

$\Delta \sigma_{\mu} := \frac{\Delta P_{\mu}}{A_p} = 41.9 \text{ MPa}$

Samlet låse- og friksjonstap

$\sigma_{\text{totaltap}} := \Delta \sigma_{\mu} + \Delta \sigma_{\text{lås}} = 88.88 \text{ MPa}$

Relaksasjonstap

$$\sigma_{pi} := 1488 \text{ Mpa}$$

$$f_{pk} := 1860 \text{ Mpa} \quad \text{Karakteristisk strekkfasthet spennstål, fra datablad CCL}$$

$$\mu := \frac{\sigma_{pi}}{f_{pk}} = 0.8$$

$$\rho_{1000} := 2.5 \% \quad \text{Antar relaksasjonsklasse 2, hentet fra EC2, 3.3.2 (6)}$$

$$t := 500000 \text{ timer}$$

har ganget formelen med σ_{pi} på begge sider:

Spenningstap fra relaksasjon:

$$\text{Klasse 2: } \Delta\sigma_{pr} := 0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9.1 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0.75 \cdot (1-\mu)} \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{pi} = 90.49 \text{ Mpa}$$

$$\text{Prosentvis tap av spennkraft pga. relaksasjon: } \frac{\Delta\sigma_{pr} \cdot 100}{\sigma_{pi}} = 6.08 \%$$

Samlet tap pga. kryp, svinn og relaksasjon

$$A_{ps} := 150 \text{ mm}^2 \quad \text{Areal per spennkabel}$$

$$\sigma_{pi} := 1488 \text{ Mpa} \quad \text{Initiell spenning i kabler ved oppspenning}$$

$$n := 20 \quad \text{Antall kabler}$$

$$f_{cm} := 43 \text{ Mpa} \quad \text{Fra tabell 3.1 i EC2 for } f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$b := 5000 \text{ mm}$$

$$h := 300 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{cs} := 4.3 \cdot 10^{-4} \quad \text{Beregnet svinntøyning}$$

$$E_p := 195 \cdot 10^3 \text{ Mpa} \quad \text{E-modul spennkabler}$$

$$E_{cm} := 22000 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} = 3.408 \times 10^4 \text{ Mpa} \quad \text{E-modul betong}$$

$$\Delta\sigma_{pr} := 90.49 \text{ Mpa} \quad \text{Beregnet tap fra relaksasjon}$$

$$\varphi_{\infty t0} := 2.8 \quad \text{Antar belastningstidspunkt } t_0 = 5 \text{ døgn, } h_0 = 296 \text{ mm,} \\ \text{sementtype N. Funnet fra Figur 3.1 i EC2}$$

$$A_p := A_{ps} \cdot n = 3 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$A_c := h \cdot b = 1.5 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{Qp} := 3.692 - (3.692 - 1.72) \cdot \frac{70}{300} = 3.23 \text{ MPa}$$

Betongspenning ved spennkablene
(absoluttverdi).

Funnet ved lineær interpolasjon
mellom spenning i topp og bunn av
dekket

$$I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 1.125 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \quad \text{Arealreghetsmoment betong}$$

$$z_{cp} := 100 \text{ mm} \quad \text{Eksentrisitet spennkabler}$$

Samlet tidsavheningetap, formel hentet fra EC2, 5.10.6 (2):

$$\Delta\sigma_{csr} := \frac{\left(\varepsilon_{cs} \cdot E_p + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \varphi_{\infty t0} \sigma_{Qp} \right)}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_p}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c}{I_c} \cdot z_{cp}^2 \right) \cdot (1 + 0.8 \cdot \varphi_{\infty t0})} = 191.46 \text{ Mpa}$$

Prosentvis tap av spennkraft pga. svinn, kryp og relaksasjon:

$$\frac{\Delta\sigma_{csr} \cdot 100}{\sigma_{pi}} = 12.87 \%$$

Samlet tap fra svinn, kryp relaksasjon, låsetap og friksjonstap:

$$\Delta\sigma_{csr} = 191.46 \text{ MPa} \quad \text{Tap tra kryp, svinn og relaksasjon}$$

$$\Delta\sigma_{\mu} := 41.90 \text{ MPa} \quad \text{Tap fra friksjon}$$

$$\Delta\sigma_{lås} := 46.99 \text{ MPa} \quad \text{Tap fra låsing}$$

$$\Delta\sigma_p := \Delta\sigma_{csr} + \Delta\sigma_{\mu} + \Delta\sigma_{lås} = 280.35 \text{ MPa} \quad \text{Totalt tap}$$

Spenning etter tap:

$$\sigma_p := \sigma_{pi} - \Delta\sigma_p = 1207.65 \text{ MPa}$$

8.6. Håndberegninger fra Mathcad - lastbalansering

Nyttelast

$$N_t := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Egenlast himling og betong:

$$E_t := 2.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$E_b := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Spennkraft:

$$f_{pu} := 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{py} := 1640 \text{ MPa}$$

$$f_{se} := 1208 \text{ MPa} \quad \leftarrow \text{hentet fra håndberegning}$$

Dimensjoner

$$L_1 := 6.6 \text{ m}$$

Bredde:

Areal (1m bredde):

$$h := 0.3 \text{ m}$$

$$L_2 := 14 \text{ m}$$

Antar 5m

$$E_d := E_b \cdot h = 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$L_3 := 4.2 \text{ m}$$

$$b := 5 \quad A := 300 \cdot 1000 = 3 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

Nyttelast

$$N_t = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastfaktor (B1):

$$E_{f1} := (E_d + E_t) \cdot 1.35 = 13.163 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$N_{t1} := N_t \cdot 1.05 = 5.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastfaktor (B2):

$$Ef2 := (Ed + Et) \cdot 1.2 = 11.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad Ntf2 := Nt \cdot 1.5 = 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Arealreduksjonsfaktor spenn 1:

$$\text{ared1} := 0.5 + \frac{15}{b \cdot L1} = 0.955$$

$$\text{ared1} := 1$$

Arealreduksjonsfaktor spenn 2:

$$\text{ared2} := 0.5 + \frac{15}{b \cdot L2} = 0.714$$

Lastbalansering

Antar 80% av egenvekten som balansert

$$w_{bal} := 0.8 \cdot Ed = 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Max eksentrisitet fra søyle til midten av spenn 2:

$$h_{\text{eff}} := h \cdot 1000 = 300 \text{ mm} \quad Ct := 50 \text{ mm} \\ Cb := 70 \text{ mm}$$

$$a_{int} := h - (Ct + Cb) = 180 \text{ mm}$$

$$\text{a}_{int} := \frac{a_{int}}{1000} = 0.18 \text{ m}$$

$$Fe := \frac{w_{bal} \cdot L2^2}{8 \cdot a_{int}} = 816.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Effektiv kraft per spennkabel:

$$As := 150 \text{ mm}^2$$

$$F_{eff} := f_{se} \cdot As = 1.812 \times 10^5$$

Antall spennkabler på 5m bredde:

$$n := b \cdot \frac{Fe}{F_{eff}} = 22.535$$

$$n := b \cdot \frac{Fe}{F_{eff}} = 22.535 \quad \rightarrow \text{velger 23 kabler på 5m}$$

$$n := \text{round}(n) = 23$$

$$A = 3 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

Dermed blir

$$F_{\text{eff}} := n \cdot \frac{F_{\text{eff}}}{b} = 8.335 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$F_{\text{e}} := \frac{F_{\text{e}}}{10^3} = 833.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \rightarrow \text{på 1 meters bredde i dekket er det 828kN som fordeles på et tverrsnittsareal A : Dermed blir spenningen } F/A = F_a:$$

$$F_a := \frac{F_{\text{e}} \cdot 10^3}{A} = 2.778 \text{ MPa per meter bredde}$$

Etablerer spennkabel profil:

Faktisk balansert last blir i spenn 2:

$$w_{\text{bal2}} := \frac{(8F_{\text{e}} \cdot a_{\text{int}})}{L_2^2} = 6.124 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Justerer spennkabelprofil i spenn 1 og 3 for å balansere samme last som i spenn 2:

$$a_1 := \frac{w_{\text{bal2}} \cdot L_1^2}{8F_{\text{e}}} = 0.04 \text{ m}$$

$$a_1 := a_1 \cdot 1000 = 40.004 \text{ mm}$$

$$a_3 := \frac{w_{\text{bal2}} \cdot L_3^2}{8F_{\text{e}}} = 0.016 \text{ m}$$

$$a_3 := a_3 \cdot 1000 = 16.2 \text{ mm}$$

Midtspenn CGS ved spenn 1:

$$h = 300$$

CGS -> senter av spennkabel

CGC -> senter betong tverrsnitt

$$\text{CGS1} := \frac{\left(\frac{h}{2} + h - C_t\right)}{2} - a_1 = 159.996 \text{ mm}$$

$$\text{Velger } \text{CGS1} := \text{round}(\text{CGS1}) = 160 \text{ mm}$$

Faktisk eksentrisitet spenn 1:

$$af1 := \frac{\left(\frac{h}{2} + h - Ct\right)}{2} - CGS1 = 40$$

Midtspenn CGS ved spenn 3:

$$CGS3 := \frac{\left(\frac{h}{2} + h - Ct\right)}{2} - a3 = 183.8 \quad \text{mm}$$

Velger $\underline{CGS3} := \text{round}(CGS3) = 184$

Faktisk eksentrisitet spenn 3:

$$af3 := \frac{\left(\frac{h}{2} + h - Ct\right)}{2} - CGS3 = 16$$

Faktisk balansert last ved spenn 1 og 3:

$$\underline{af1} := \frac{af1}{1000} = 0.04 \qquad \underline{af3} := \frac{af3}{1000} = 0.016$$

$$w_{bal1} := \frac{8 \cdot Fe \cdot af1}{L1^2} = 6.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \qquad w_{bal3} := \frac{8 Fe \cdot af3}{L3^2} = 6.048 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Netto last som skaper nedbøyning:



$$Ltuf1 := Nt \cdot ared1 + Et + Ed = 14.75 \quad \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Ltuf2 := Nt \cdot ared2 + Et + Ed = 13.321 \quad \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Ltuf := Nt + Et + Ed = 14.75$$

Spenn 2:

$$W_{net2} := L_{tuf2} - w_{bal2} = 7.198 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Spenn 1 :

$$W_{net1} := L_{tuf1} - w_{bal1} = 8.627 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Spenn 3:

$$W_{net3} := L_{tuf} - w_{bal3} = 8.702 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Søylestivhet indre søyler :

$$K_c = 4EI/(L-2h)$$

$$\text{Søyle } \varnothing 600: \quad d := 600 \quad \text{mm}$$

$$E_{søyl} := 30000 \quad \text{MPa}$$

$$E_{dek} := 30000 \quad \text{MPa}$$

$$I_{int} := \frac{3.14 \cdot d^4}{64} = 6.359 \times 10^9 \quad \text{mm}^4$$

$$\frac{E_{søyl}}{E_{dek}} = 1$$

Bruker L som etasjehøyden mellom plan kjeller til plan 1

$$L_{etg} := 4.5 \quad \text{m}$$

$$L_{etg} := L_{etg} \cdot 1000 = 4.5 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

$$K_c := \frac{4 \cdot I_{int}}{L_{etg} - 2 \cdot h} = 6.522 \times 10^6 \quad \text{mm}^3 \quad \rightarrow \text{joint total: } K_{csum} := K_c \cdot 2 = 1.304 \times 10^7 \quad \text{mm}^4$$

Torsjonsstivhet av dekke i søylelinjen, K_t , er funne ved:

$$K_t = 9 \cdot C \cdot E / (L^2 \cdot (1 - c^2/L^2)^3)$$

hvor:

$$C = (1 - 0.63 \cdot x/y) \cdot (x^3 \cdot y/3)$$

$$c2 = \text{bredde på søyle vinkelrett på dekke strip} \quad \rightarrow \quad c2 := d = 600 \text{ mm}$$

$$L22 = \text{bredde på dekket som bidrar til torsjon} \quad \rightarrow \quad L22 := b \cdot 1000 = 5 \times 10^3$$

$$x = \text{tykkelse dekke} \quad \rightarrow \quad x := h = 300 \text{ mm}$$

$$y = \text{bredde på søyle} \quad \rightarrow \quad y := d = 600 \text{ mm}$$

$$C := \left(1 - 0.63 \cdot \frac{x}{y}\right) \cdot \frac{x^3 \cdot y}{3} = 3.699 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$Kt := \frac{9 \cdot C \cdot 1}{L22 \cdot \left(1 - \frac{c2}{L22}\right)^3} = 9.77 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Sum:

$$Ktsum := 2 \cdot Kt = 1.954 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

Ekvivalent søylestivhet finner man videre ved:

$$Kec := \left(\frac{1}{Kcsum} + \frac{1}{Ktsum}\right)^{-1} = 7.822 \times 10^6$$

Ytre søylestivhet:

$$Kcsum = 1.304 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$Ktsum = 1.954 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$Kec = 7.822 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Dekkestivhet spenn 2:

$$btverr := b \cdot 1000 = 5 \times 10^3$$

$$Ks = 4EI / (L1 - c1 / 2)$$

$$L12 = \text{senterlinje spenn} \quad \rightarrow \quad L12 := L2 \cdot 1000 = 1.4 \times 10^4$$

$$c12 = \text{søyle dybde} \quad \rightarrow \quad c12 := 600 \text{ mm}$$

$$K_{s2} := \frac{(4 \cdot I \cdot b_{\text{verr}} \cdot h^3)}{L_{12} - \frac{c_{12}}{2}} = 3.942 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

Dekkestivhet spenn 1 ved indre søyle :

$$L_{11} := L_1 \cdot 1000 = 6.6 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$c_{11} := c_{12} = 600 \text{ mm}$$

$$K_{s1} := \frac{(4 \cdot I \cdot b_{\text{verr}} \cdot h^3)}{L_{11} - \frac{c_{11}}{2}} = 8.571 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

Dekkestivhet spenn 3 ved indre søyle :

$$L_{13} := L_3 \cdot 1000 = 4.2 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$c_{13} := c_{12} = 600 \text{ mm}$$

$$K_{s3} := \frac{(4 \cdot I \cdot b_{\text{verr}} \cdot h^3)}{L_{13} - \frac{c_{13}}{2}} = 1.385 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

Dekkestivhet spenn 1 og 3 ved ytre søyle:

--> Samme som ved indre søyle i disse spennene

Distribusjonsfaktor for moment:

Dekke-distribusjonsfaktor (fra opplager venstre til høyre på figur):

$$F_{1y} := \frac{K_{s1}}{K_{s1} + K_{ec}} = 0.916$$

$$F_{1i} := \frac{K_{s1}}{K_{s1} + K_{s2} + K_{ec}} = 0.645$$

$$F_{2v} := \frac{K_{s2}}{K_{s1} + K_{s2} + K_{ec}} = 0.296$$

$$F2h := \frac{Ks2}{Ks3 + Ks2 + Kec} = 0.212$$

$$F3i := \frac{Ks3}{Ks3 + Ks2 + Kec} = 0.746$$

$$F3y := \frac{Ks3}{Ks3 + Kec} = 0.947$$

Momentdistribusjon - netto last $wl^2/12$

Spenn 1 FEM (fixed end moments) fra netto last: $W_{net1} = 8.627 \frac{kN}{m^2}$

$$FEM1 := W_{net1} \cdot \frac{L1^2}{12} = 31.315 \frac{kN}{m^2} \quad 43 \quad W_{net2} = 7.198 \frac{kN}{m^2}$$

Spenn 2 FEM fra netto last: $W_{net3} = 8.702 \frac{kN}{m^2}$

$$FEM2 := W_{net2} \cdot \frac{L2^2}{12} = 117.561 \frac{kN}{m^2} \quad 104$$

Spenn 3 FEM fra netto last:

$$FEM3 := W_{net3} \cdot \frac{L3^2}{12} = 12.792 \frac{kN}{m^2} \quad 20$$

$$\underline{\underline{FEM1}} := FEM1 \cdot (-1) = -31.315$$

$$\underline{\underline{FEM2}} := FEM2 \cdot (-1) = -117.561$$

$$\underline{\underline{FEM3}} := FEM3 \cdot (-1) = -12.792$$

$$FEM2v := FEM1 = -31.315$$

$$FEM3h := FEM3 = -12.792$$

$$\begin{array}{cccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \text{DF} & F_{1y} = 0.916 & F_{1i} = 0.645 & F_{3i} = 0.746 & F_{3y} = 0.947 \\ & & F_{2v} = 0.296 & F_{2h} = 0.212 & \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc} \text{FEM} & \text{FEM1} = -31.315 & \text{FEM2v} = -31.315 & \text{FEM3h} = -12.792 & \text{FEM3} = -12.792 \\ & & \text{FEM2} = -117.561 & \text{FEM2} = -117.561 & \end{array}$$



$$\begin{array}{ll} \text{D1} := \text{FEM1} \cdot F_{1y} \cdot (-1) = 28.697 & \text{Diff2v} := -\text{FEM2} + \text{FEM2v} = 86.246 \\ & \text{Diff3h} := -\text{FEM2} + \text{FEM3h} = 104.769 \\ & \text{D2v} := (\text{Diff2v}) \cdot F_{1i} \cdot (-1) = -55.602 \\ & \text{D2h} := \text{Diff2v} \cdot F_{2v} = 25.569 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Co1} := \text{D2v} \cdot -0.5 = 27.801 & \text{D3v} := (\text{Diff3h}) \cdot F_{2h} = 22.238 \\ \text{Co2v} := \text{D1} \cdot -0.5 = -14.348 & \text{D3h} := (\text{Diff3h}) \cdot F_{3i} \cdot (-1) = -78.118 \\ \text{Co2h} := \text{D3v} \cdot -0.5 = -11.119 & \text{D4} := \text{FEM3} \cdot F_{3y} \cdot (-1) = 12.108 \\ \text{Co3v} := \text{D2h} \cdot -0.5 = -12.785 \\ \text{Co3h} := \text{D4} \cdot -0.5 = -6.054 \\ \text{Co4} := \text{D3h} \cdot -0.5 = 39.059 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Diff2c} := -\text{Co2v} + \text{Co2h} = 3.229 \\ \text{Diff3c} := -\text{Co3v} + \text{Co3h} = 6.731 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Co1d} := \text{Co1} \cdot F_{1y} \cdot (-1) = -25.476 \\ \text{Co2vd} := (\text{Diff2c}) \cdot F_{1i} = 2.082 \\ \text{Co2hd} := \text{Diff2c} \cdot F_{2v} \cdot (-1) = -0.957 \\ \text{Co3vd} := \text{Diff3c} \cdot F_{2h} \cdot (-1) = -1.429 \\ \text{Co3hd} := \text{Diff3c} \cdot F_{3i} = 5.019 \\ \text{Co4d} := \text{Co4} \cdot F_{3y} \cdot (-1) = -36.971 \end{array}$$



Dist	$D1 = 28.697$	$D2v = -55.602$	$D3h = -78.118$	$D4 = 12.108$
		$D2h = 25.569$	$D3v = 22.238$	

Carry over	$Co1 = 27.801$	$Co2v = -14.348$	$Co3h = -6.054$	$Co4 = 39.059$
		$Co2h = -11.119$	$Co3v = -12.785$	

	$Co1d = -25.476$	$Co2vd = 2.082$	$Co3hd = 5.019$	$Co4d = -36.971$
Dist		$Co2hd = -0.957$	$Co3vd = -1.429$	



$$Sn1 := FEM1 + D1 + Co1 + Co1d = -0.294$$

$$Sn2v := FEM1 + D2v + Co2v + Co2vd = -99.184$$

$$Sn2h := FEM2 + D2h + Co2h + Co2hd = -104.068$$

$$Sn3v := FEM2 + D3v + Co3v + Co3vd = -109.536$$

$$Sn3h := FEM3 + D3h + Co3h + Co3hd = -91.945$$

$$Sn4 := FEM3 + D4 + Co4 + Co4d = 1.405$$



Sum	$Sn1 = -0.294$	$Sn2v = -99.184$	$Sn3h = -91.945$	$Sn4 = 1.405$
		$Sn2h = -104.068$	$Sn3v = -109.536$	

Enhet for moment i "tabell" over har kNm

Sjekker netto strekkspenninger

--> Ved søylekant 2h

$$\begin{aligned} S_{n2h} &= -104.068 \\ L2 &= 14 \text{ m} \\ d &= 600 \text{ mm} \\ W_{net2} &= 7.198 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

$$-M_{max} := S_{n2h} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{W_{net2} \cdot L2}{2} \right) \cdot \frac{d}{1000}$$

$$-M_{max} = -93.992$$

$$b_{mm} := b \cdot 1000 = 5 \times 10^3$$

$$S := b_{mm} \cdot \frac{h^2}{6} = 7.5 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$f_{tbn} := -F_a + \frac{M_{max} \cdot 10^6}{S} = -4.032 \text{ MPa} < 3.2 \text{ MPa}$$

$$f_{tbp} := -F_a - \frac{M_{max} \cdot 10^6}{S} = -1.525 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Tilatt trykspenning:

$$f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{35}{1.5} = 19.833 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Ved midten av spenn 2:

$$+ M_{max2} := W_{net2} \cdot \frac{L2^2}{8} + S_{n2h}$$

$$+ M_{max2} = 72.273$$

$$f_{tbn1} := -F_a + \frac{M_{max2} \cdot 10^6}{S} = -1.815 \text{ MPa} < 3.2 \text{ MPa}$$

$$f_{tbp1} := -F_a - \frac{M_{max2} \cdot 10^6}{S} = -3.742 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

8.7. Dekke plan 1 + div info fra Ram Concept

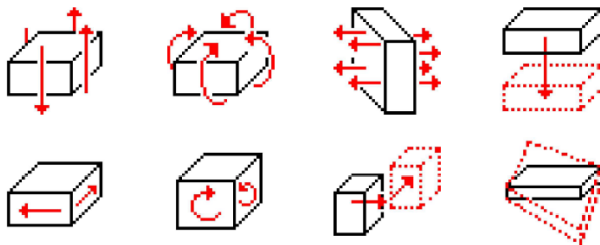
CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

Signs

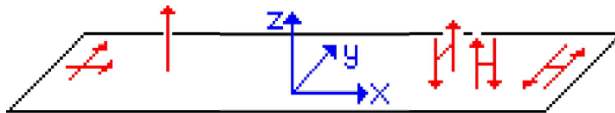
Positive Loads



Positive Analysis



Positive Reactions



Materials

Concrete Mix

Mix Name	Density (kg/m ³)	Density For Loads (kg/m ³)	f _{ci} (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _{cu1} (N/mm ²)	f _{cu} (N/mm ²)	Poissons Ratio	Ec Calc	User Ec1 (N/mm ²)	User Ec (N/mm ²)
C35/45	2500	2500	20	35	25	45	0.2	Code	22500	30000

PT Systems

System Name	Type	A _{ps} (mm ²)	E _{ps} (N/mm ²)	f _{se} (N/mm ²)	f _{py} (N/mm ²)	f _{pu} (N/mm ²)	Duct Width (mm)	Strands Per Duct	Min Radius (meters)
15.7mm unbonded	unbonded	150	195000	1200	1640	1860	20	1	0

PT Stressing Parameters

System Name	Jacking Stress (N/mm ²)	Seating Loss (mm)	Anchor Friction	Wobble Friction (1/meters)	Angular Friction (1/radians)	Long-Term Losses (N/mm ²)
15.7mm unbonded	1488	6	0	0,0015	0,07	75

Reinforcing Bars

Bar Name	A _s (mm ²)	E _s (N/mm ²)	F _y (N/mm ²)	Coating	Straight Ld/Db	90 Hook Ld/Db	180 Hook Ld/Db
HA8	50.3	200000	500	None	Code	Code	Code
HA10	78.5	200000	500	None	Code	Code	Code
HA12	113	200000	500	None	Code	Code	Code
HA16	201	200000	500	None	Code	Code	Code
HA20	314	200000	500	None	Code	Code	Code
HA25	491	200000	500	None	Code	Code	Code
HA32	804	200000	500	None	Code	Code	Code
HA40	1260	200000	500	None	Code	Code	Code
HA6	28.2	200000	500	None	Code	Code	Code
HA7	38.4	200000	500	None	Code	Code	Code
HA9	63.6	200000	500	None	Code	Code	Code

SSR Systems

SSR System Name	Stud Area (mm ²)	Head Area (mm ²)	Min Clear Head Spacing (mm)	Specified Stud Spacing (mm)	F _y (N/mm ²)	Stud Spacing Increment (mm)	Rounding (mm)	Min Studs Per Rail	System Type
10mm SSR	78.5	785	15	None	500	5		2	Rail
12mm SSR	113.1	1131	15	None	500	5		2	Rail
16mm SSR	201.1	2011	15	None	500	5		2	Rail
20mm SSR	314.2	3142	15	None	500	5		2	Rail
25mm SSR	490.9	4909	15	None	500	5		2	Rail
Ancon Shearfix Auto-54	78.54	706.9	15	None	500	1		2	Rail
Ancon Shearfix 10 mm	78.54	706.9	15	None	500	1		2	Rail
Ancon Shearfix 12 mm	113.1	1018	15	None	500	1		2	Rail
Ancon Shearfix 14 mm	153.9	1385	15	None	500	1		2	Rail
Ancon Shearfix 16 mm	201.1	1810	15	None	500	1		2	Rail
Ancon Shearfix 20 mm	314.2	2827	15	None	500	1		2	Rail
Ancon Shearfix 24 mm	452.4	4072	15	None	500	1		2	Rail

CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

Loadings

<i>Loading Name</i>	<i>Type</i>	<i>Analysis</i>	<i>On-Pattern Factor</i>	<i>Off-Pattern Factor</i>
Self-Dead Loading	Self-Weight	Normal	1	1
Balance Loading	Balance	Normal	1	1
Hyperstatic Loading	Hyperstatic	Hyperstatic	1	1
Temporary Construction (At Stressing) Loading	Stressing Dead	Normal	1	1
Cladding Load (Edge)	Dead	Normal	1	1
Superimposed Dead Loading	Dead	Normal	1	1
Live (CAT A OR B) Loading	Live (Reducible)	Normal	1	0
Live (CAT C or D) Loading	Live (Unreducible)	Normal	1	0
Live (Storage CAT E) Loading	Live (Storage)	Normal	1	0
Live (Parking CAT F OR G) Loading	Live (Parking)	Normal	1	0
Live (Roof CAT H I J) Loading	Live (Roof)	Normal	1	0

Load Combinations

All Dead LC

Active Design Criteria: <none>

Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1	1
Cladding Load (Edge)	1	1
Superimposed Dead Loading	1	1

Dead + Balance LC

Active Design Criteria: <none>

Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1	1
Balance Loading	1	1
Cladding Load (Edge)	1	1
Superimposed Dead Loading	1	1

Initial Service LC

Active Design Criteria: Initial Service Design

Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1	1
Balance Loading	1,15	1,15
Temporary Construction (At Stressing) Loading	1	1

Characteristic Service LC: D + (1.0 | 0.0) L

Active Design Criteria: User Minimum Design, Code Minimum Design, Characteristic Service Design

Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1	1
Balance Loading	1	1
Cladding Load (Edge)	1	1
Superimposed Dead Loading	1	1
Live (CAT A OR B) Loading	1	0
Live (CAT C or D) Loading	1	0
Live (Storage CAT E) Loading	1	0
Live (Parking CAT F OR G) Loading	1	0
Live (Roof CAT H I J) Loading	1	0

Load Combinations (2)

Frequent Service LC: $D + \Psi 1L$

Active Design Criteria: User Minimum Design, Code Minimum Design, Frequent Service Design
Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1	1
Balance Loading	1	1
Cladding Load (Edge)	1	1
Superimposed Dead Loading	1	1
Live (CAT A OR B) Loading	0,5	0
Live (CAT C or D) Loading	0,7	0
Live (Storage CAT E) Loading	0,9	0
Live (Parking CAT F OR G) Loading	0,7	0

Quasi-Permanent Service LC: $D + \Psi 2L$

Active Design Criteria: User Minimum Design, Code Minimum Design, Quasi-Permanent Service Design
Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1	1
Balance Loading	1	1
Cladding Load (Edge)	1	1
Superimposed Dead Loading	1	1
Live (CAT A OR B) Loading	0,3	0
Live (CAT C or D) Loading	0,6	0
Live (Storage CAT E) Loading	0,8	0
Live (Parking CAT F OR G) Loading	0,6	0

Ultimate LC - (1): $1.35D + 0.9H + 1.5\Psi 0L$

Active Design Criteria: User Minimum Design, Code Minimum Design, Strength Design, Ductility Design
Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1,35	1
Hyperstatic Loading	0,9	1,1
Cladding Load (Edge)	1,35	1
Superimposed Dead Loading	1,35	1
Live (CAT A OR B) Loading	1,05	0
Live (CAT C or D) Loading	1,05	0
Live (Storage CAT E) Loading	1,5	0
Live (Parking CAT F OR G) Loading	1,05	0

Load Combinations (3)

Ultimate LC - (2): 1.2D + 0.9H + 1.5L

Active Design Criteria: User Minimum Design, Code Minimum Design, Strength Design, Ductility Design

Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1.2	1
Hyperstatic Loading	0.9	1.1
Cladding Load (Edge)	1.2	1
Superimposed Dead Loading	1.2	1
Live (CAT A OR B) Loading	1.5	0
Live (CAT C or D) Loading	1.5	0
Live (Storage CAT E) Loading	1.5	0
Live (Parking CAT F OR G) Loading	1.5	0
Live (Roof CAT H I J) Loading	1.5	0

Accident LC

Active Design Criteria: Accident Design

Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1	1
Cladding Load (Edge)	1	1
Superimposed Dead Loading	1	1
Live (CAT A OR B) Loading	1	1
Live (CAT C or D) Loading	1	1
Live (Storage CAT E) Loading	1	1
Live (Parking CAT F OR G) Loading	1	1
Live (Roof CAT H I J) Loading	1	1

SelfDead + Balance + Cladding LC

Active Design Criteria: <none>

Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1	1
Balance Loading	1	1
Cladding Load (Edge)	1	1

SelfDead + Balance LC

Active Design Criteria: <none>

Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	1	1
Balance Loading	1	1

Load Combinations (4)

LT Incremental Uncracked

Active Design Criteria: <none>

Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	2	2
Balance Loading	2	2
Cladding Load (Edge)	2	2
Superimposed Dead Loading	3	3
Live (CAT A OR B) Loading	1.6	1.6
Live (CAT C or D) Loading	2.2	2.2
Live (Storage CAT E) Loading	2.6	2.6
Live (Parking CAT F OR G) Loading	2.2	2.2
Live (Roof CAT H I J) Loading	1	1

LT Total Uncracked

Active Design Criteria: <none>

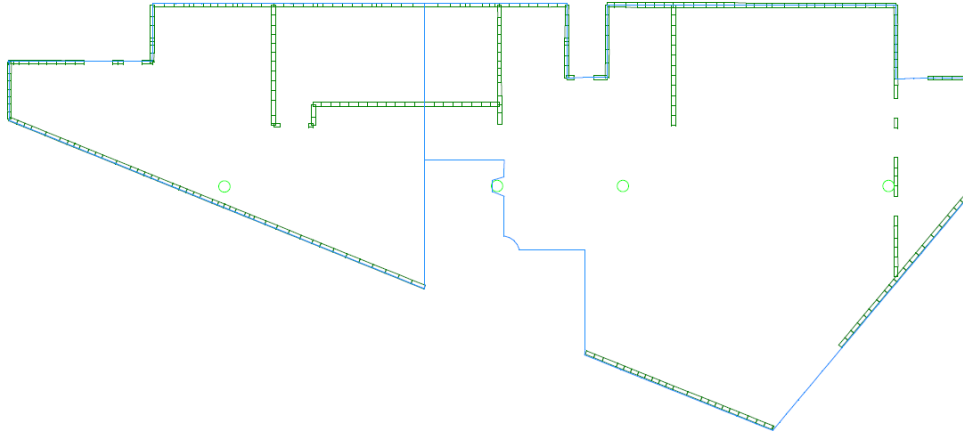
Analysis: Linear

<i>Loading</i>	<i>Standard Factor</i>	<i>Alt. Envelope Factor</i>
Self-Dead Loading	3	3
Balance Loading	3	3
Cladding Load (Edge)	3	3
Superimposed Dead Loading	3	3
Live (CAT A OR B) Loading	1.6	1.6
Live (CAT C or D) Loading	2.2	2.2
Live (Storage CAT E) Loading	2.6	2.6
Live (Parking CAT F OR G) Loading	2.2	2.2
Live (Roof CAT H I J) Loading	1	1

CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

Element: Standard Plan

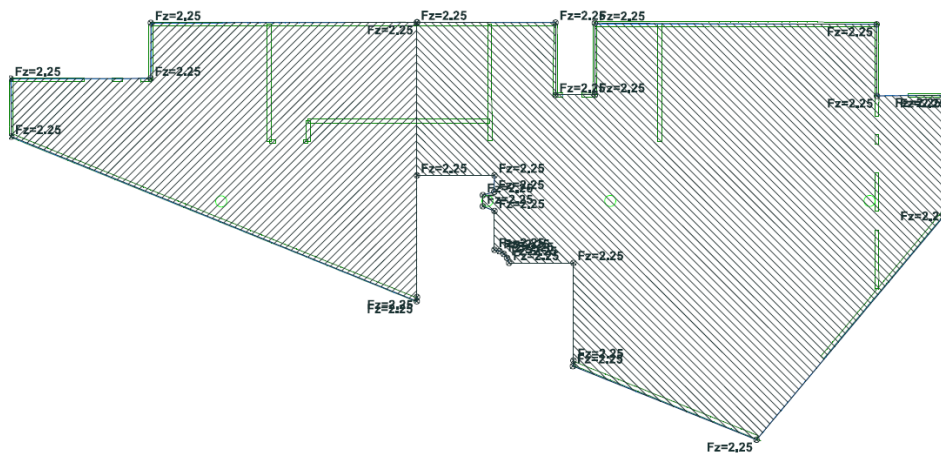
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Column Elements Above; Column Elements Below; Point Supports; Point Support Icons; Line Supports; Line Support Icons; Slab Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

Superimposed Dead Loading: All Loads Plan

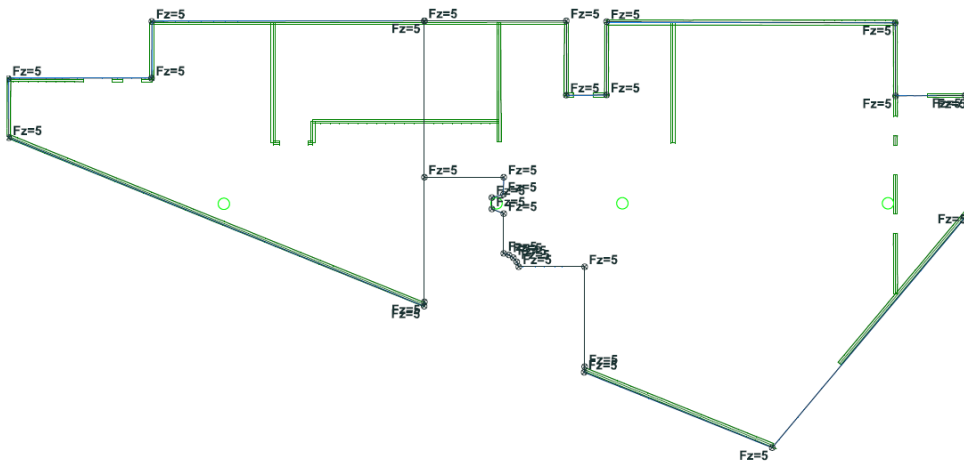
Superimposed Dead Loading: Point Loads; Point Load Icons; Point Load Values; Line Loads; Line Load Icons; Line Load Values; Area Loads; Area Load Hatching; Area Load Icons; Slab Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

Live (CAT C or D) Loading: All Loads Plan

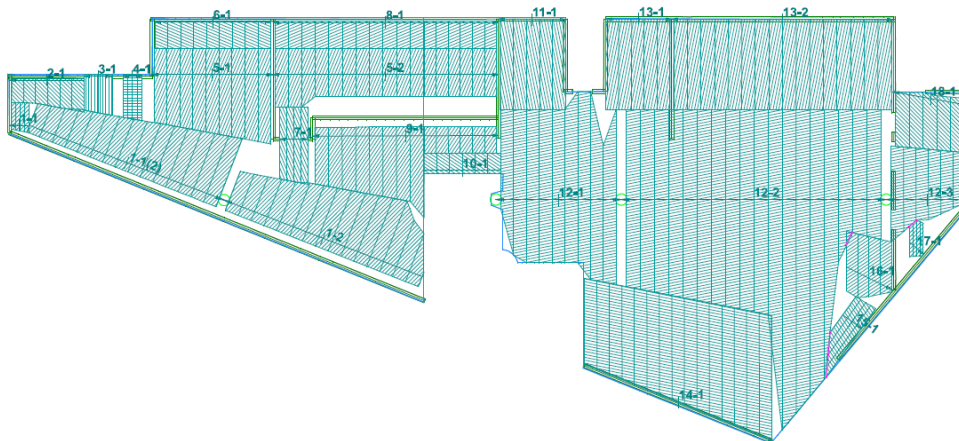
Live (CAT C or D) Loading: Point Loads; Point Load Icons; Point Load Values; Line Loads; Line Load Icons; Line Load Values; Area Loads; Area Load Icons; Area Load Values; User Notes
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Walls Above; Walls Below; Columns Above; Columns Below;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

Design Strip: Latitude Design Spans Plan

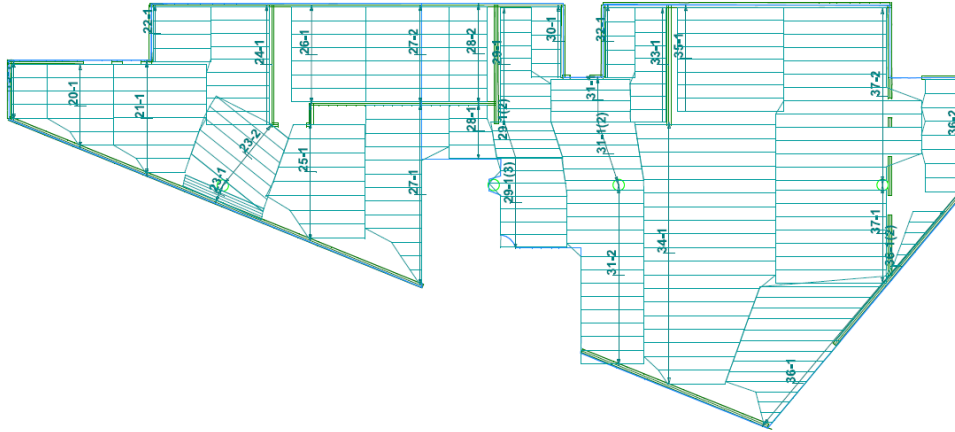
Design Strip: Latitude Span Boundaries; Longitude Span Boundaries; Latitude SSSs; SSS Numbers; Latitude SSSs; SSS Hatching; SSS Internal Sections;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Slab Areas; Walls Above; Walls Below; Columns Above; Columns Below; User Lines;
Element: Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

Design Strip: Longitude Design Spans Plan

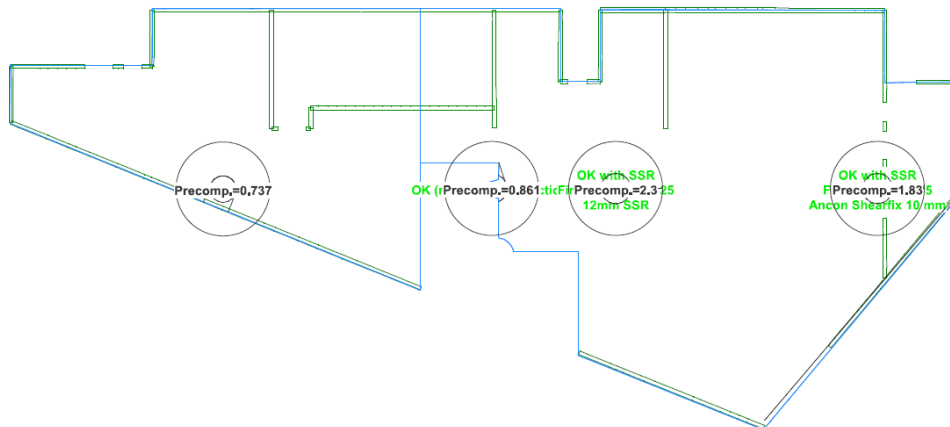
Design Strip: Longitude SSSs; SS Numbers; Longitude SSSs; SSS Internal Sections;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Slab Areas; Walls Below; Columns Below; User Lines;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

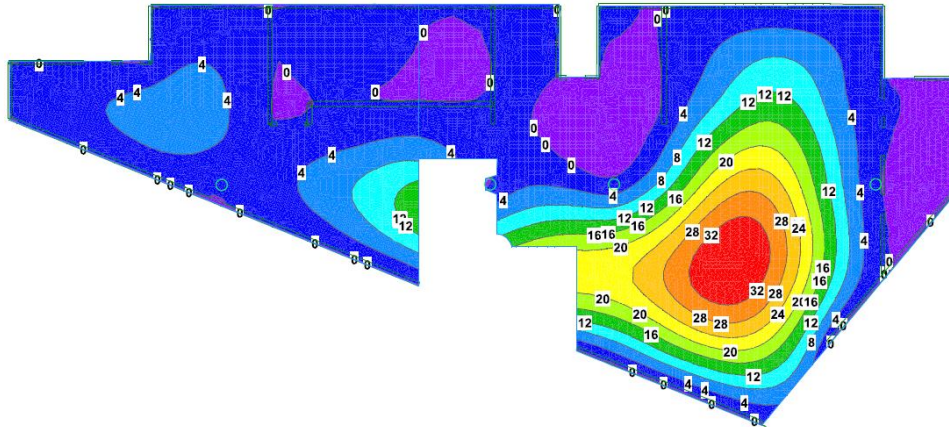
Design Strip: Punching Checks Plan

Design Strip: Punching Checks; Punching Check Precompression; Punching Check Sections; User Notes; User Lines; User Dimensions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Slab Areas;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Design Status: PC Designs; PC Design Status; SSR; SSR Details;
Scale = 1:320



LT Incremental Uncracked: Max Deflection Plan

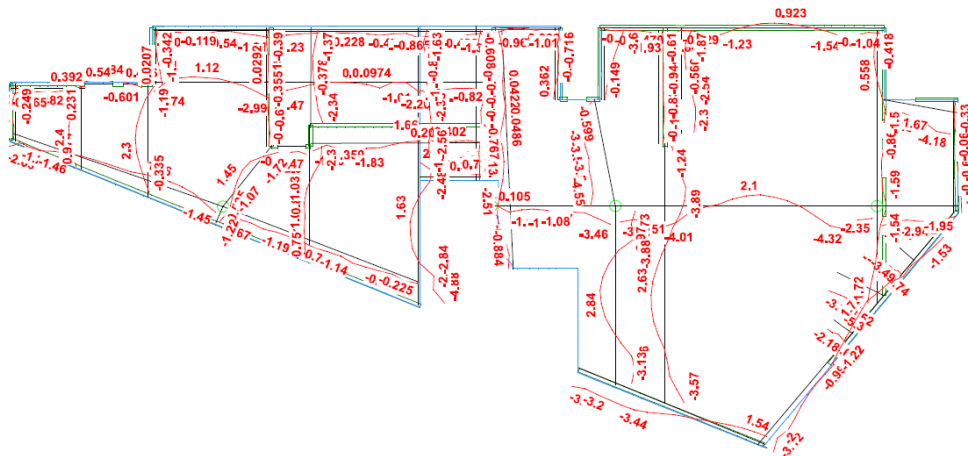
LT Incremental Uncracked: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Element: Wall Elements Below; Wall Elements Above; Wall Element Outline Only; Column Elements Below; Column Elements Above; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



Characteristic Service Design: Bottom Stress Plan

Characteristic Service Design: Latitude Span Designs; Longitude Span Designs; User Notes; User Lines; User Dimensions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320

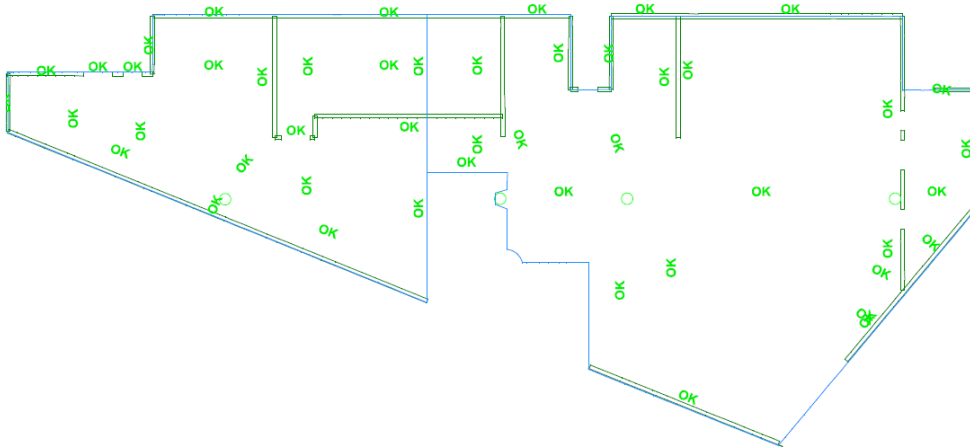
Characteristic Service Design - Section Analysis Plot: (Gross Section Bottom Concrete Stress)(Context: Max Demand)



CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

Design Status: Status Plan

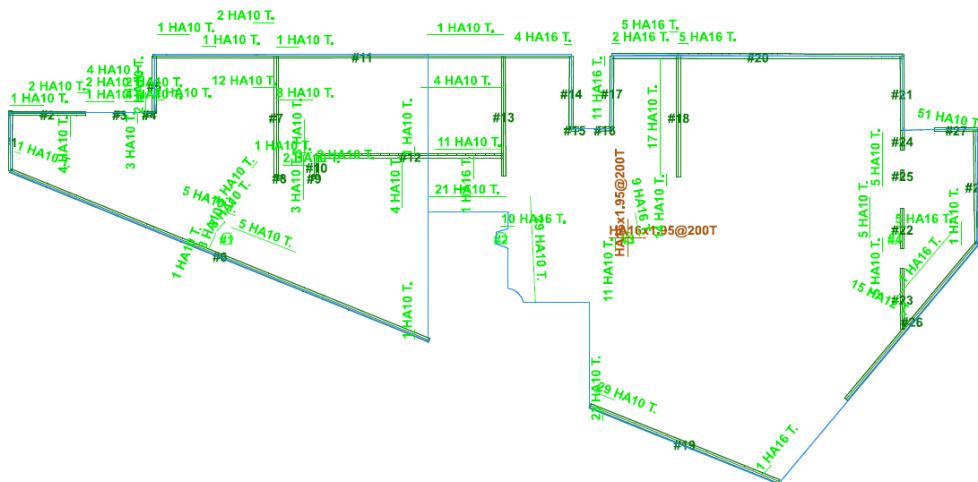
Design Status: Latitude Span Designs; Longitude Span Designs; Span Design Status; DS Design Numbers; DS Design Status; PC Design Numbers; PC Design Status; User Notes; User Drawing Import; User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: User Lines;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - do kjeller.cpt - 07.05.2021

Design Status: Top Reinforcement Plan

Design Status: Latitude Span Designs; Longitude Span Designs; Span Design Top Bars; Span Design Bar Descriptions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Slab Areas; Walls Below; Wall Numbers; Columns Below; Column Numbers;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Reinforcement: Latitude User Concentrated Reinf.; Longitude User Concentrated Reinf.; Top Face Concentrated Reinf.; Both Faces Concentrated Reinf.; Auto Face Concentrated Reinf.
Scale = 1:320



Design Status: Bottom Reinforcement Plan

Design Status: Latitude Span Designs; Longitude Span Designs; Span Design Bottom Bars; Span Design Bar Descriptions; Span Design Bar Controlling Criteria;

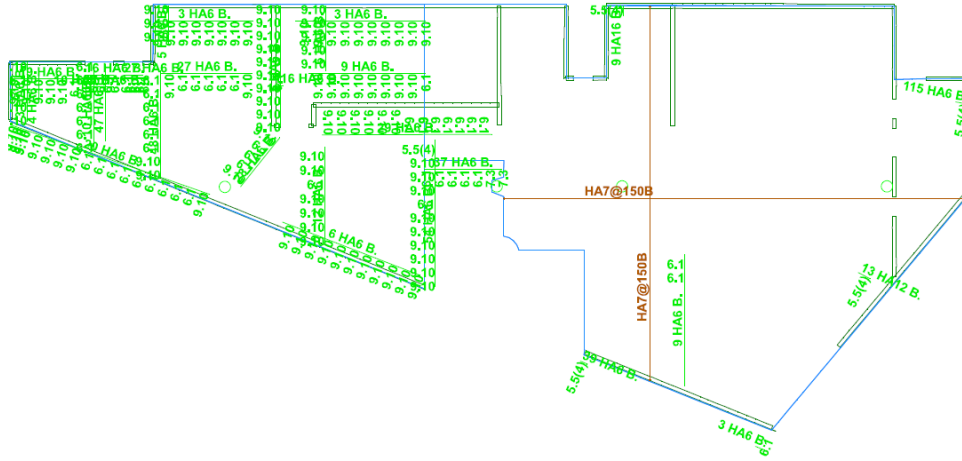
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;

Mesh Input: Slab Areas;

Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;

Reinforcement: Latitude User Concentrated Reinf.; Longitude User Concentrated Reinf.; Bottom Face Concentrated Reinf.; Both Faces Concentrated Reinf.; Auto Face Concentrated R

Scale = 1:320



Estimate

Concrete Costs

Materials:	60 per m ³	x	181,8 m ³	=	10910
Labor:	30 per m ³	x	181,8 m ³	=	5454
Total:	90 per m³	x	181,8 m³	=	16360

Post-Tensioning Cost:

Materials:	3 per kg	x	4424 kg	=	13270
Labor:	1.2 per kg	x	4424 kg	=	5309
Total:	4,2 per kg	x	4424 kg	=	18580

Formwork Cost:

Materials:	20 per m ²	x	640,6 m ²	=	12810
Labor:	15 per m ²	x	640,6 m ²	=	9608
Total:	35 per m²	x	640,6 m²	=	22420

Mild Steel Reinforcing Cost

Materials:	500 per tonnes	x	3,427 tonnes	=	1713
Labor:	350 per tonnes	x	3,427 tonnes	=	1199
Total:	850 per tonnes	x	3,427 tonnes	=	2913

SSR Costs

Materials:	1 per stud	x	112 studs	=	112
Labor:	1 per stud	x	112 studs	=	112
Total:	2 per stud	x	112 studs	=	224

Total Costs

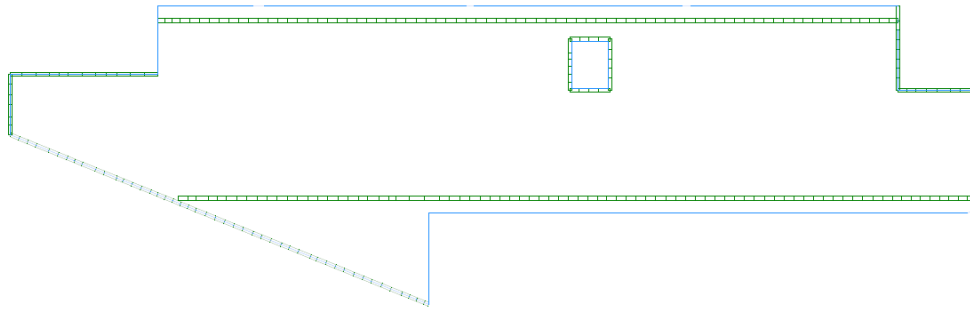
Materials:	60,6 per m ²	x	640,6 m ²	=	38820
Labor:	33,85 per m ²	x	640,6 m ²	=	21680
Total:	94,45 per m²	x	640,6 m²	=	60500

8.8. Dekke plan 2

CCL ENGINEERING - SB bachelor plan 02.cpt - 07.05.2021

Element: Standard Plan

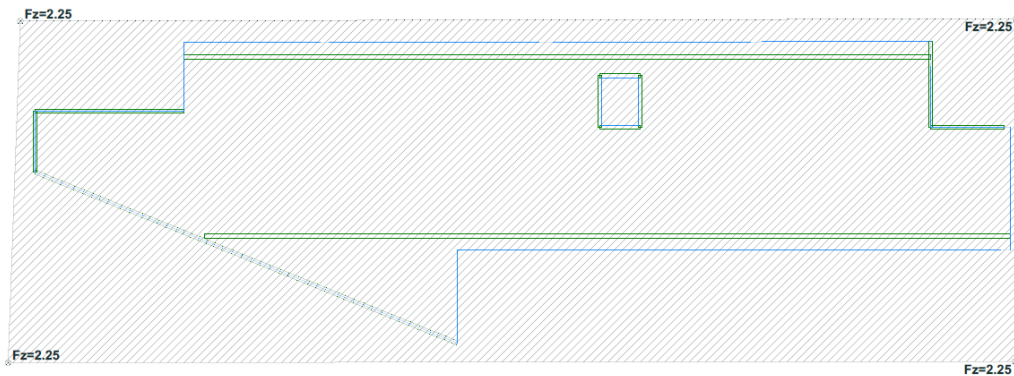
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Column Elements Above; Column Elements Below; Point Supports; Point Support Icons; Line Supports; Line Support Icons; Slab
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - SB bachelor plan 02.cpt - 07.05.2021

Superimposed Dead Loading: All Loads Plan

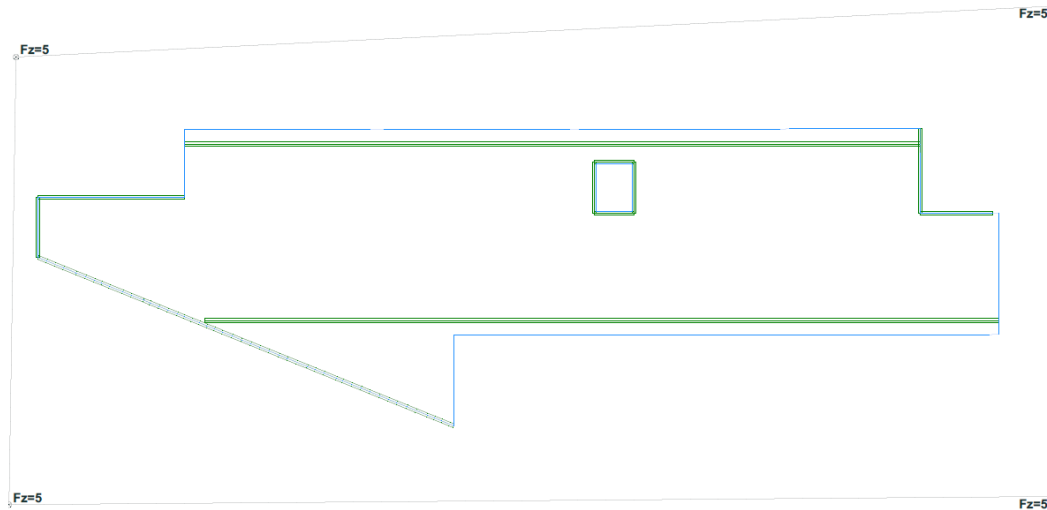
Superimposed Dead Loading: Point Loads; Point Load Icons; Point Load Values; Line Loads; Line Load Icons; Line Load Values; Area Loads; Area Load Hatching; Area Load Icons; A
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - SB bachelor plan 02.cpt - 07.05.2021

Live (CAT C or D) Loading: All Loads Plan

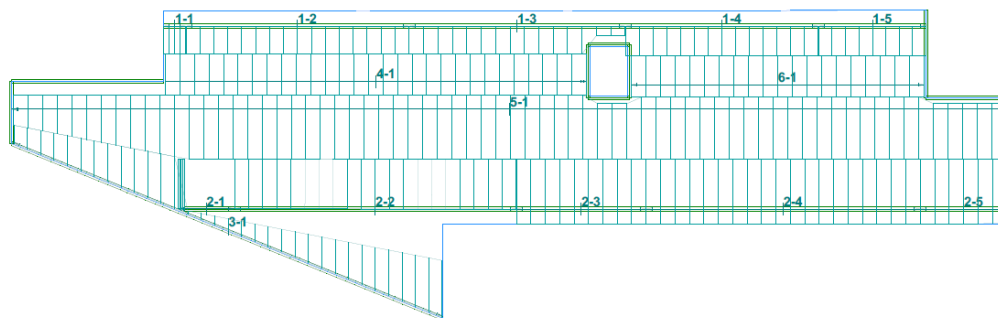
Live (CAT C or D) Loading: Point Loads; Point Load Icons; Point Load Values; Line Loads; Line Load Icons; Line Load Values; Area Loads; Area Load Icons; Area Load Values; User Notes; User Dimensions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Walls Above; Walls Below; Columns Above; Columns Below;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - SB bachelor plan 02.cpt - 07.05.2021

Design Strip: Latitude Design Spans Plan

Design Strip: Latitude SSSs; SS Numbers; Latitude SSSs; SSS Internal Sections;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Slab Areas; Walls Above; Walls Below; Columns Above; Columns Below; User Lines;
Element: Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



Design Strip: Longitude Design Spans Plan

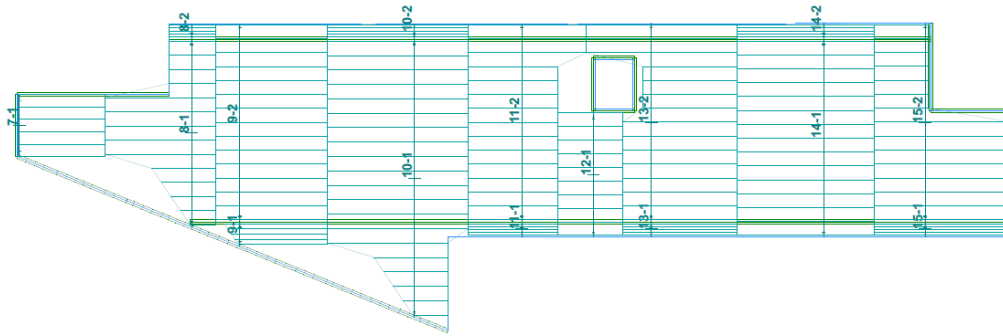
Design Strip: Longitude SSS; SS Numbers; Longitude SSSs; SSS Internal Sections;

Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;

Mesh Input: Slab Areas; Walls Below; Columns Below; User Lines;

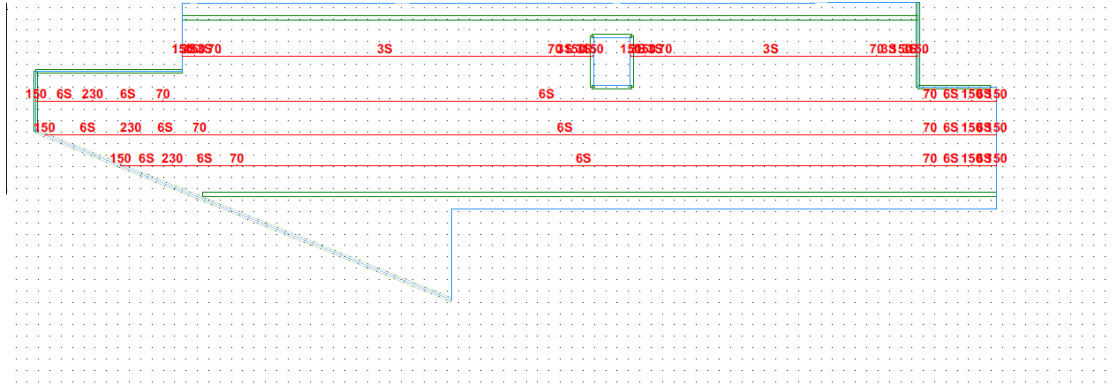
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;

Scale = 1:320



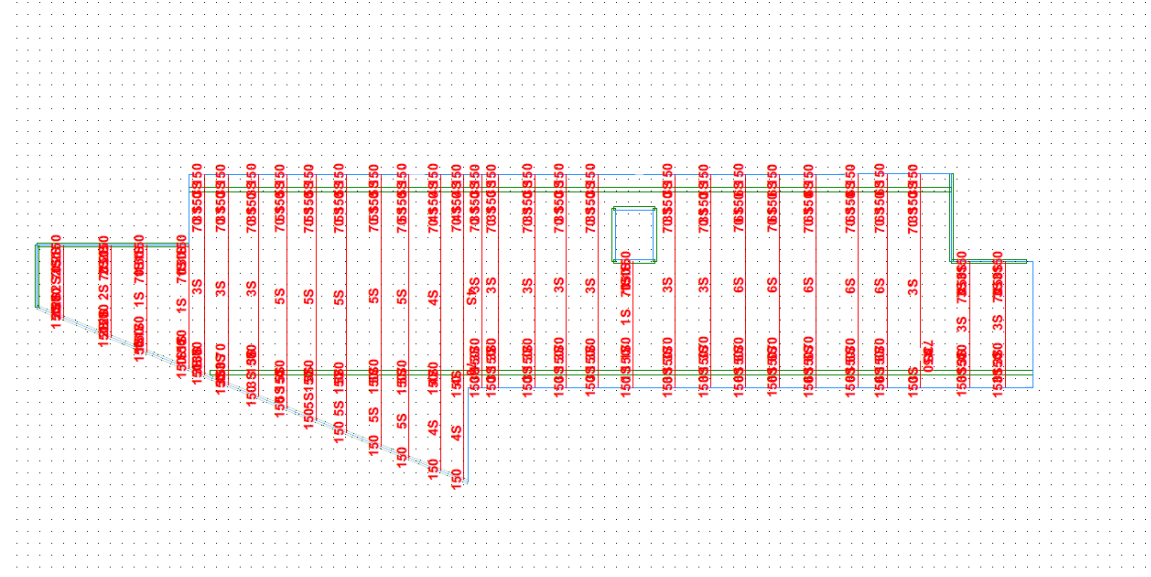
Manual Latitude Tendon: Standard Plan

Manual Latitude Tendon: Tendons: Num Strands; Tendon Inflection Ratio; Jacks; Tendon Points; Profile Values; User Dimensions;
 Drawing Import: User Notes; User Lines; User Dimensions;
 Mesh Input: Slab Areas; User Lines;
 Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
 Latitude Tendon Parameters: Banded Tendons; Banded Tendon Description; Distributed Tendon Quadrilateral; Distributed Tendon Description; Distributed Tendon Overlap Areas; Prof
 Scale = 1:320 Grid Spacing = (0.6 meters, 0.6 meters)



Manual Longitude Tendon: Standard Plan

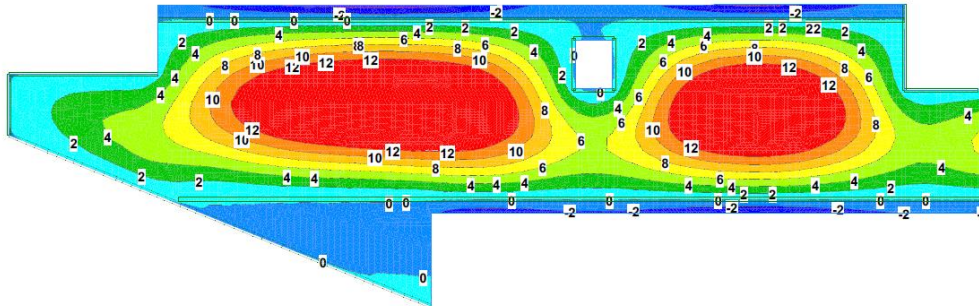
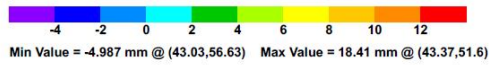
Manual Longitude Tendon: Tendons; Num Strands; Tendon Inflection Ratio; Jacks; Tendon Points; Profile Values;
 Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
 Mesh Input: Slab Areas; User Lines;
 Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
 Longitude Tendon Parameters: Banded Tendons; Banded Tendon Description; Distributed Tendon Quadrilateral; Jack Region; Distributed Tendon Description; Distributed Tendon Over
 Scale = 1:320 Grid Spacing = (0.6 meters, 0.6 meters)



LT Total Uncracked: Max Deflection Plan

LT Total Uncracked: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Element: Wall Elements Below; Wall Elements Above; Wall Element Outline Only; Column Elements Below; Column Elements Above; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320

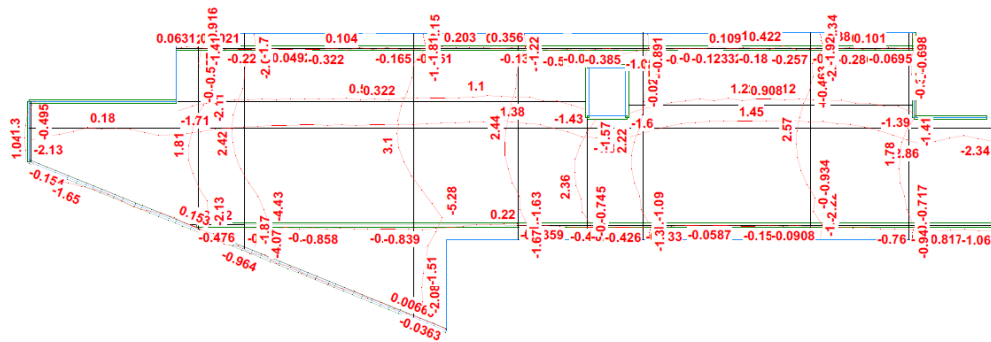
LT Total Uncracked - Vertical Deflection Plot (Maximum Values)



Characteristic Service Design: Bottom Stress Plan

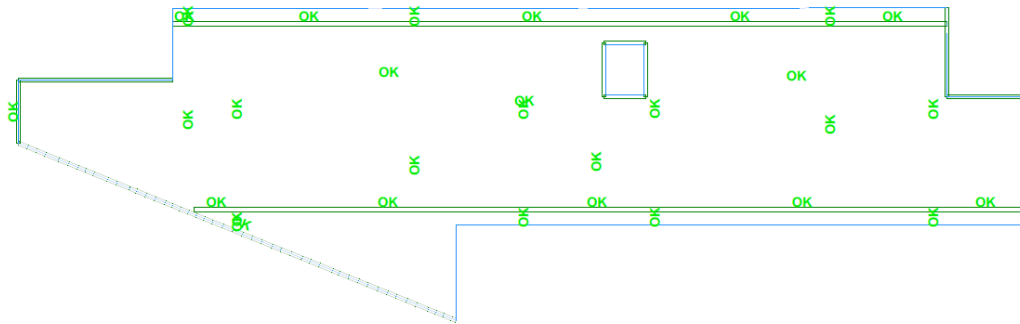
Characteristic Service Design: Latitude Span Designs; Longitude Span Designs; User Notes; User Lines; User Dimensions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320

Characteristic Service Design - Section Analysis Plot: (Gross Section Bottom Concrete Stress)(Context: Max Demand)



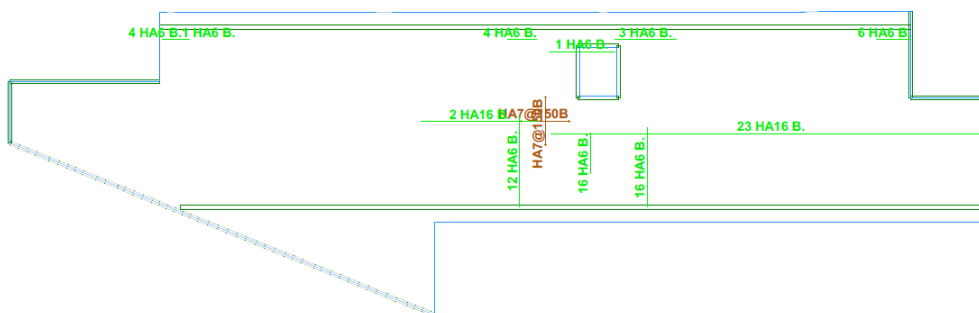
Design Status: Status Plan

Design Status: Latitude Span Designs; Longitude Span Designs; Span Design Status; DS Design Numbers; DS Design Status; PC Design Numbers; PC Design Status; User Notes; User Drawing Import; User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: User Lines;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:320



Design Status: Bottom Reinforcement Plan

Design Status: Latitude Span Designs; Longitude Span Designs; Span Design Bottom Bars; Span Design Bar Descriptions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Slab Areas;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Reinforcement: Latitude User Concentrated Reinf.; Longitude User Concentrated Reinf.; Bottom Face Concentrated Reinf.; Both Faces Concentrated Reinf.; Auto Face Concentrated R
Scale = 1:320



CCL ENGINEERING - SB bachelor plan 02.cpt - 07.05.2021

Estimate

Concrete Costs

Materials:	60 per m ³	x	152.9 m ³	=	9174
Labor:	30 per m ³	x	152.9 m ³	=	4587
Total:	90 per m ³	x	152.9 m ³	=	13760

Post-Tensioning Cost:

Materials:	3 per kg	x	2593 kg	=	7779
Labor:	1.2 per kg	x	2593 kg	=	3112
Total:	4.2 per kg	x	2593 kg	=	10890

Formwork Cost:

Materials:	20 per m ²	x	509.6 m ²	=	10190
Labor:	15 per m ²	x	509.6 m ²	=	7645
Total:	35 per m ²	x	509.6 m ²	=	17840

Mild Steel Reinforcing Cost

Materials:	500 per tonnes	x	3.253 tonnes	=	1627
Labor:	350 per tonnes	x	3.253 tonnes	=	1139
Total:	850 per tonnes	x	3.253 tonnes	=	2765

SSR Costs

Materials:	1 per stud	x	0 studs	=	0
Labor:	1 per stud	x	0 studs	=	0
Total:	2 per stud	x	0 studs	=	0

Total Costs

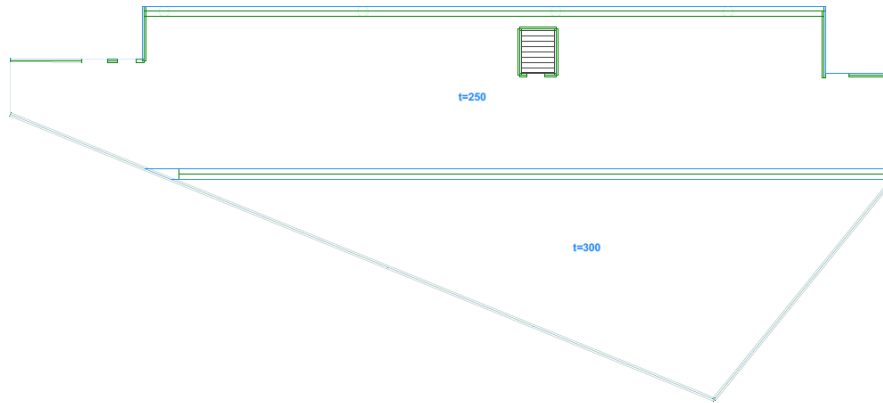
Materials:	56.45 per m ²	x	509.6 m ²	=	28770
Labor:	32.34 per m ²	x	509.6 m ²	=	16480
Total:	88.79 per m ²	x	509.6 m ²	=	45250

8.9. Dekke plan 3

CCL ENGINEERING - Do 2.cpt - 07.05.2021

Mesh Input: MESH INPUT Plan

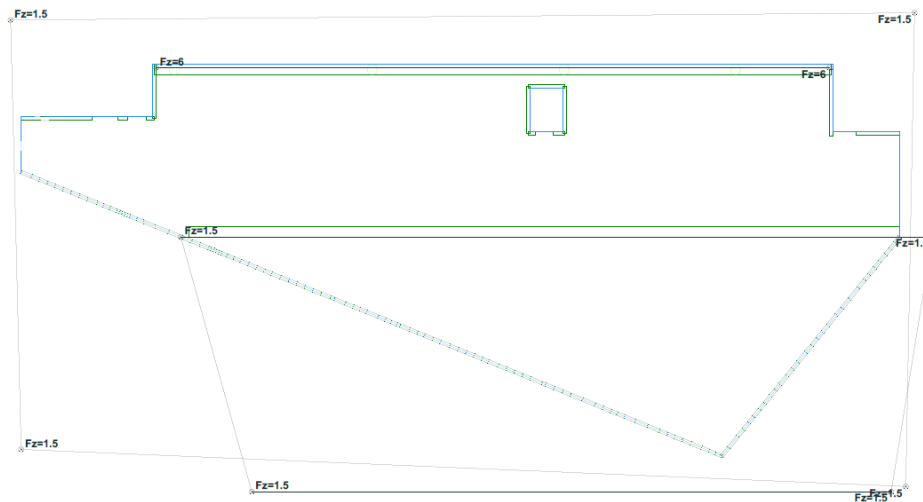
Mesh Input: Beams; Slab Areas; Slab Area Thicknesses; Slab Openings; Slab Opening Hatching; Line Supports; Line Support Icons; Walls Above; Walls Below; Columns Above; Columns Below;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Scale = 1:350



CCL ENGINEERING - Do 2.cpt - 07.05.2021

Superimposed Dead Loading: All Loads Plan

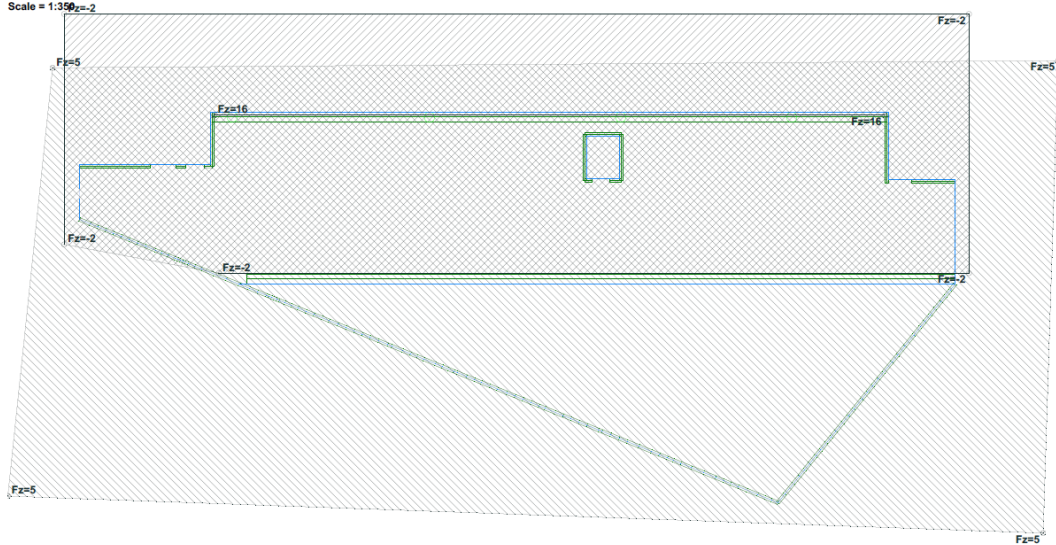
Superimposed Dead Loading: Point Loads; Point Load Icons; Point Load Values; Line Loads; Line Load Icons; Line Load Values; Area Loads; Area Load Icons; Area Load Values; User Notes; User Lines; User Dimensions
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:350



CCL ENGINEERING - Do 2.cpt - 07.05.2021

Live (CAT C or D) Loading: All Loads Plan

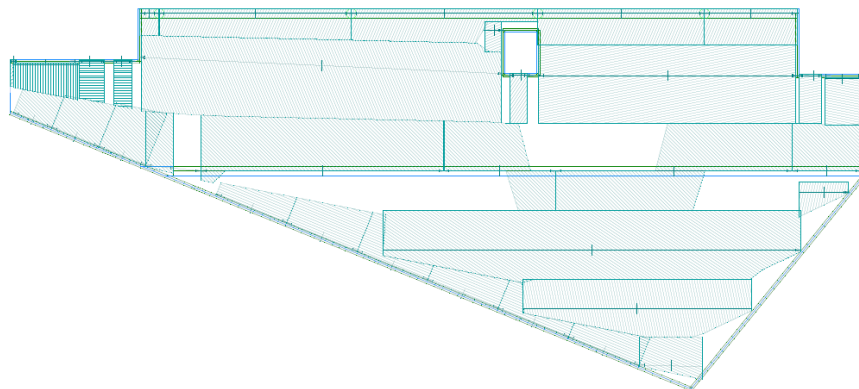
Live (CAT C or D) Loading: Point Loads; Point Load Icons; Point Load Values; Line Loads; Line Load Icons; Line Load Values; Area Loads; Area Load Hatching; Area Load Icons; Area Load Values; User Notes; User Lines;
Drawing Input: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Walls Above; Walls Below; Columns Above; Columns Below;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:350



CCL ENGINEERING - Do 2.cpt - 07.05.2021

Design Strip: Latitude Design Spans Plan

Design Strip: Latitude Span Boundaries; Latitude SSS; Latitude DSs; Latitude Strip Boundaries; Latitude SSSs; SSS Hatching; User Lines;
Drawing Input: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Slab Areas; Walls Above; Walls Below; Columns Above; Columns Below; User Lines;
Element: Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Scale = 1:350



Design Strip: Longitude Design Spans Plan

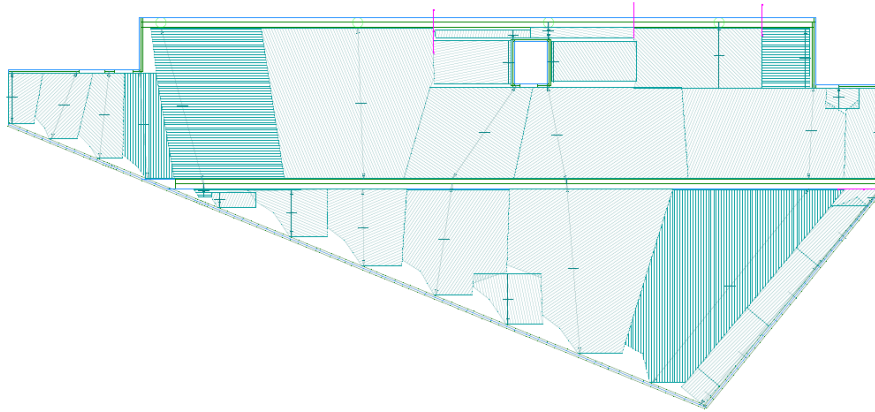
Design Strip: Longitude Span Boundaries; Longitude SSs; Longitude Strip Boundaries; Longitude SSSs; SSS Hatching;

Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;

Mesh Input: Slab Areas; Walls Below; Columns Below; User Lines;

Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;

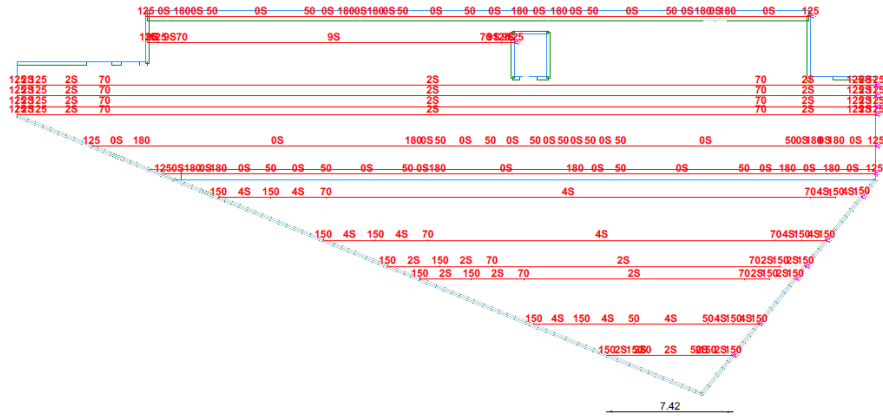
Scale = 1:350



CCL ENGINEERING - Do 2.cpt - 07.05.2021

Manual Latitude Tendon: Standard Plan

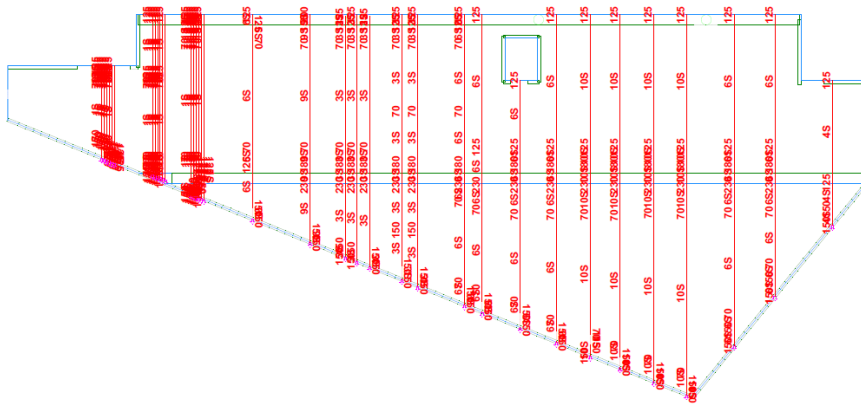
Manual Latitude Tendon: Tendons; Num Strands; Tendon Inflection Ratio; Jacks; Tendon Points; Profile Values; User Dimensions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Slab Areas; User Lines;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Latitude Tendon Parameters: Banded Tendons; Banded Tendon Description; Distributed Tendon Quadrilateral; Distributed Tendon Description; Distributed Tendon Overlap Areas; Profile Points; Profile Elevation Values; P
Scale = 1:350



CCL ENGINEERING - Do 2.cpt - 07.05.2021

Manual Longitude Tendon: Standard Plan

Manual Longitude Tendon: Tendons; Num Strands; Tendon Inflection Ratio; Jacks; Tendon Points; Profile Values; User Dimensions;
Drawing Import: User Lines; User Notes; User Dimensions;
Mesh Input: Slab Areas; User Lines;
Element: Wall Elements Above; Wall Elements Below; Wall Element Outline Only; Column Elements Above; Column Elements Below; Slab Elements; Slab Element Outline Only;
Longitude Tendon Parameters: Banded Tendons; Banded Tendon Description; Distributed Tendon Quadrilateral; Jack Region; Distributed Tendon Description; Distributed Tendon Overlap Areas; Profile Points; Profile Elevation Values; P
Scale = 1:350



Estimate

Concrete Costs

Materials:	60 per m ³	x	188.6 m ³	=	11320
Labor:	30 per m ³	x	188.6 m ³	=	5658
Total:	90 per m³	x	188.6 m³	=	16970

Post-Tensioning Cost:

Materials:	3 per kg	x	3664 kg	=	10990
Labor:	1.2 per kg	x	3664 kg	=	4396
Total:	4.2 per kg	x	3664 kg	=	15390

Formwork Cost:

Materials:	20 per m ²	x	702.4 m ²	=	14050
Labor:	15 per m ²	x	702.4 m ²	=	10540
Total:	35 per m²	x	702.4 m²	=	24580

Mild Steel Reinforcing Cost

Materials:	500 per tonnes	x	3.211 tonnes	=	1606
Labor:	350 per tonnes	x	3.211 tonnes	=	1124
Total:	850 per tonnes	x	3.211 tonnes	=	2729

SSR Costs

Materials:	1 per stud	x	0 studs	=	0
Labor:	1 per stud	x	0 studs	=	0
Total:	2 per stud	x	0 studs	=	0

Total Costs

Materials:	54.05 per m ²	x	702.4 m ²	=	37960
Labor:	30.92 per m ²	x	702.4 m ²	=	21710
Total:	84.96 per m²	x	702.4 m²	=	59670

8.10. Forprosjektsrapport

FORPROSJEKT - RAPPORT FOR BACHELOROPPGAVE



TITTEL:

Alternativt bæresystem for Sundebygget NTNU Ålesund

KANDIDATNUMMER(E):

10010, 10016, 10046

DATO:	EMNEKODE: *	EMNE:	DOKUMENT TILGANG:
18.01.2021	IB303312	Bacheloroppgave (Bygg)	- Åpen
STUDIUM:		ANT SIDER/VEDLEGG:	BIBL. NR:
BYGG- KONSTRUKSJON		/	- Ikke i bruk -

OPPDRAGSGIVER(E)/VEILEDER(E):

Consto Midt-Norge AS

Anders Magne Flemmen

NTNU Ålesund

Torodd Skjerve Nord

Postadresse
NTNU i Ålesund
Postboks 1517
N-6025 Ålesund

Besøksadresse
Larsgårdsvegen 2
Internett
www.ntnu.no

Telefon
70 16 12 00
Epostadresse
postmottak@ntnu.no

Telefax
70 16 13 00

Bankkonto
7694 05 00636
Foretaksregisteret
NO 947 767 880

OPPGAVE/SAMMENDRAG:

I denne forrapporten vil vi komme frem til en plan for gjennomføring av bacheloroppgaven, som vi kan få bruk for i det videre arbeidet med oppgaven. I all hovedsak går denne planen ut på å skaffe en oversikt over arbeidsoppgaver og en forhåndsbestemt metode for håndtering av oppgavene. Dette skal gjøre det enklere og mer effektivt å løse de utfordringene som vi vil møte på gjennom arbeidet. Et eksempel på dette er at man kan finne frem i denne forrapporten når man er ferdig med en deloppgave, for å vite det neste man skal begynne å jobbe med. Ved behov kan også bestemmelser i planen justeres, gjennom framdriftsrapporter.

Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av student(er) ved NTNU i Ålesund.

INNHOOLD

INNHOOLD	3
1 INNLEDNING	4
2 BEGREPER	4
3 PROSJEKTORGANISASJON.....	5
3.1 PROSJEKTGRUPPE	5
3.1.1 Oppgaver for prosjektgruppen – organisering	5
3.1.2 Oppgaver for medlemmer	5
3.2 STYRINGSGRUPPE (VEILEDER OG KONTAKTPERSON OPPDRAGSGIVER)	5
4 AVTALER.....	6
4.1 AVTALE MED OPPDRAGSGIVER	6
4.2 ARBEIDSSTED OG RESSURSER	6
4.3 GRUPPENORMER – SAMARBEIDSREGLER – HOLDNINGER	7
5 PROSJEKTBESKRIVELSE	8
5.1 PROBLEMSTILLING - MÅLSETTING – HENSIKT	8
5.2 KRAV TIL LØSNING ELLER PROSJEKTRESULTAT – SPESIFIKASJON	8
5.3 PLANLAGT FRAMGANGSMÅTE(R) FOR UTVIKLINGSARBEIDET – METODE(R)	8
5.4 INFORMASJONSINNSAMLING – UTFØRT OG PLANLAGT	9
5.5 VURDERING – ANALYSE AV RISIKO	9
5.6 HOVEDAKTIVITETER I VIDERE ARBEID	10
5.7 FRAMDRIFTSPLAN – STYRING AV PROSJEKTET	10
5.7.1 Hovedplan	10
5.7.2 Styringshjelpemidler	11
5.7.3 Utviklingshjelpemidler	11
5.7.4 Intern kontroll – evaluering	12
5.8 BESLUTNINGER – BESLUTNINGSPROSESS	12
6 DOKUMENTASJON	12
6.1 RAPPORTER OG TEKNISKE DOKUMENTER.....	12
7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER.....	12
7.1 MØTER	12
7.1.1 Møter med styringsgruppen	12
7.1.2 Milepæler.....	13
8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING	13
9 UTSTYRSBEHOV/FORUTSETNINGER FOR GJENNOMFØRING.....	14
10 REFERANSER	14
VEDLEGG	14

1 INNLEDNING

Sundebygget blir det nye studenthuset på campus i Ålesund der Consto Midt-Norge er totalentreprenør. Bygget har to hoveddeler der det blir en flerbruksdel på 2000kvm og på toppen av dette kommer det 84 studenthybler. Consto er nå i detaljprosjekterings stadiet og grunnarbeid er igangsatt. Oppgaven er i store hovedtrekk en konstruksjonsoppgave der vi skal beregne et alternativt bæresystem. Ferdig resultat sammenlignes med tiltenkt bæresystem (hulldekke) der vi kan analysere de opp mot hverandre.

Gruppen ønsket å fordype seg innen konstruksjon og dermed ble denne oppgaven interessant. Samtidig ønsket oppdragsgiver å finne ut mer om mulighetene til et alternativt bæresystem (etterspent betong) for prosjektet. Etterspent betong er helt nytt for oss, så vi ser frem til å lære mye om dette.

2 BEGREPER

- Etterspent betong

Etterspent betong vil si at armeringen spennes opp etter betongen har herdet.

- Bæresystem

De komponentene i konstruksjonen som tar opp krefter fra laster, vind, snø og eventuelt jordskjelv.

3 PROSJEKTORGANISASJON

3.1 Prosjektgruppe

Tabell 1: Prosjektgruppe

Studentnummer	Navn	Mobiltelefon	e-post
489920	Erik Lilleås Sandal	97601036	eriklsan@stud.ntnu.no
489900	Stig Ove Sætre	90225100	sosaetre@stud.ntnu.no
498797	Andre Ekroll	98691947	andreekr@stud.ntnu.no

3.1.1 Oppgaver for prosjektgruppen – organisering

Prosjektgruppen har i oppgave å hente inn nødvendig informasjon og utføre avtalte prosjektoppgaver. Gjennom god kommunikasjon skal fremdrift og aktuelle problemstillinger kunne bli diskutert og løst. Målsetninger og tidsfrister skal bli oppnådd med samarbeid og selvstendig arbeid som er av god kvalitet.

3.1.2 Oppgaver for medlemmer

Fordeling av ansvar og oppgaver skal være rettferdig og oppnåelig. Faste oppgaver og ansvar blir fordelt og utført etter avtalt tid mellom prosjektmedlemmer slik at fremdriften er god. Det vil være en del selvstendig arbeid, men det kreves også mye samarbeid til enkelte oppgaver.

3.2 Styringsgruppe (veileder og kontaktperson oppdragsgiver)

Styringsgruppen som vises i tabell 2 skal bidra med nødvendige beslutninger og oppfølging av disse. I tillegg bistå med deres fagkunnskap som kan løse aktuelle problemstillinger.

Tabell 2: Styringsgruppe

Navn	Rolle	Organisasjon	Epost	Telefon
Torodd Skjerve Nord	Veileder	NTNU Ålesund	Torodd.nord@ntnu.no	73595207
Anders Magne Flemmen	Veileder	Consto Midt-Norge AS	Anders.magne.flemmen@consto.no	45869200
Erik Lilleås Sandal	Medlem	Prosjektgruppe	eriklsan@stud.ntnu.no	97601036
Stig Ove Sætre	Medlem	Prosjektgruppe	sosaetre@stud.ntnu.no	90225100
André Ekroll	Medlem	Prosjektgruppe	andreekr@stud.ntnu.no	98691947

4 AVTALER

4.1 Avtale med oppdragsgiver

Oppdragsgiver har kommet med forslag til oppgave som vi har takket ja til. Vi vil gjennom regelmessig kontakt oppdatere oppdragsgiver på hvordan det går. Gjennom møter og annen kommunikasjon skal vi sørge for at prosjektet blir fullført på en måte som tilfredsstillende rammer som er satt.

4.2 Arbeidssted og ressurser

Arbeidsplasser:

- NTNU Campus romreservering/lesesal

Ressurser:

- Consto Midt-Norge AS
- NTNU Ålesund
- Pensumbøker og andre relevante bøker
- Befaringer/videomøter
- Fagstoff fra nett
- Revit

- Word
- Excel
- Teams
- Eurocode Express
- FEM design. Hvis det er egnet for etterspent betong
- Skal forhøre oss om anbefalte beregningsprogrammer

Personer:

- Anders Flemmen (veileder Consto Midt-Norge AS)
- Ole Jørgen Dahle (konstruktør Consto Midt-Norge AS)
- Torodd (veileder NTNU Ålesund)

Avtalt rapportering:

- Hver 14. Dag til NTNU Ålesund
- Veiledning med Torodd hver onsdag 14.00

4.3 Gruppenormer – samarbeidsregler – holdninger

- Gjøre ferdig de mål man setter seg innen planlagt tid.
- Om noen skulle stå fast ved noe: sett i gang med neste oppgave og spør de andre medlemmene om hjelp ved neste anledning.
- Om man er ferdig med sitt ansvarstema, gå over på noen andres tema og bistå der
- Varsle avvik fra planlagt arbeid.
- Åpne for diskusjon. Ved uenighet bestemmer flertallet.
- Møtes regelmessig gjennom teams og meldinger, og fysiske møter ved mulighet.
- Komme fram til et sluttprodukt som alle er tilfredsstillt med.

5 PROSJEKTBEKRIVELSE

5.1 Problemstilling - målsetting – hensikt

Som tidligere nevnt vil vi vurdere et alternativt bæresystem (etterspent betong) for dette prosjektet, hvor målet er å se om det ene alternativet er bedre eller dårligere enn det opprinnelige.

Vi ønsker at Consto skal kunne dra nytte av resultatet i fremtidige prosjekter. I vår rolle som student i denne oppgaven ønsker vi å lære mer innen de aktuelle temaene, komme i kontakt med bransjen, og utvikle oss på området.

5.2 Krav til løsning eller prosjektresultat – spesifisering

En forutsetning for løsningen vi kommer med er at den har minst like stor bærekapasitet som den opprinnelige løsningen. For å nevne noen andre parameter så vil det være økonomisk ramme og tidsbruk, og deretter se på lyd- og varmeisolering. Når vi vurderer disse parameterne, får vi svar på om dette vil være fordelaktig eller ikke.

En tilstrekkelig utgreiing av løsning på problemstilling i form av en fullstendig rapport vil være å anse som fullføring av prosjektet. Det vil blant annet si at vi har kommet frem til en best mulig løsning, basert på innhentet teori og erfaringer fra forskjellige kilder og ved bruk av anerkjente metoder. I tillegg til det har vi diskutert og vurdert fordelene og ulempene med valget på løsning.

5.3 Planlagt framgangsmåte for utviklingsarbeidet – metode

Etter at vi har fått oppgitt nødvendig informasjon/data (laster, fysiske mål), vil vi starte med å jobbe frem et utkast til resultat for prosjektet. Deretter går vi over på nødvendig informasjonsinnhenting, mens vi vurderer resultat mot dette. Samtidig som dette vil vi ta utgangspunkt i Ganttdiagrammet hvor hver av oss har et ansvarsområde, og ta fatt på gjeldende oppgave.

Ved å få oversikt over resultat tidlig i skrivingen vil vi mer effektivt finne frem relevant teori til prosjektet for å fortsette videre drøfting.

5.4 Informasjonsinnsamling – utført og planlagt

Informasjon vi har:

Vi har gjennom studiet opparbeidet oss grunnleggende kunnskap om egenskapene til betong. I hovedsak gjelder det dimensjonering av søyler og plater/bjelker med slakkarmering. Vi har også grunnleggende kunnskap når det gjelder beregning av dimensjonerende krefter og moment i bygninger.

Informasjon vi tilegner oss fra:

Tegninger der vi får sett hvilke mål og dimensjoner vi må forholde oss til.

Bruke Constos egne erfaringer av etterspent betong.

Litteratur fra internettsøk der man finner for eksempel forskningsartikler, detaljer, produktbeskrivelser, leverandører og rapporter.

Beregningsmetoder fra Consto, veileder og tidligere pensum.

Møte med CCL Norway som kan gi oss nyttig informasjon om temaet etterspent betong.

5.5 Vurdering – analyse av risiko

I starten av prosjektet(skrivingen) vil det være knyttet noe usikkerhet til hvor omfattende oppgaven blir. Det kan være aktuelt å justere arbeidsmengden etter hvert som man får oversikt over omfanget. Dette avhenger av god kommunikasjon mellom medlemmer i prosjektet, hvor man bevisstgjør hverandre på arbeidsmengden og sørger for at alle holder seg til problemstillingen vi har kommet frem til. De største utfordringene vi står ovenfor er først og fremst å forstå oppgaven riktig, for deretter å lære oss programvare/teori tidsnok til at vi kan bruke den videre i oppgaven. Det bør også lagres en backup av filen jevnlig med tanke på uforutsette dataproblem.

5.6 Hovedaktiviteter i videre arbeid

Tabell 3: Oversikt over hovedaktiviteter

Nr	Hovedaktivitet	Ansvar	Tid/omfang
1	Forprosjektrapport	Alle	Frem til februar
2	Innhente data	Alle	Etter 25.januar
3	Innhente informasjon	Alle	Februar
4	Rammebetingelser	Alle	25. januar
5	Metoder	Alle	Februar
6	Ordne befaring	Alle	Mellom 25. Jan og 1. feb
7	Se på forventet resultat	Alle	1. feb
8	Ordne programvare	Alle	Begynner etter 25. jan
9	Dimensjonering	Alle	Februar/mars
10	Mengderapport	Alle	Februar/mars
11	Tegning av bygg/løsninger	Alle	Mars
12	Diskusjon av resultat	Alle	April
13	Ferdigstilling	Alle	Mai

5.7 Framdriftsplan – styring av prosjektet

5.7.1 Hovedplan

Utgreiing av aktiviteter fra tabell 3:

- Definere problemstilling
 - Legge plan for oppgaven (forrapport)
- Innhente data fra opprinnelig bygg
 - Se på last, snø, vind, nyttelast og mål
 - Undersøke deres(Consto) leverandører, med mengder og pris
- Innhente informasjon
 - Teori, hovedsakelig knyttet til etterspent betong
 - Finne relevante bøker som omhandler temaet vi har om
 - Sintef, betongboka fra pensum, norsk standard og biblioteket
- Rammebetingelser
 - De ytre forhold som skal sette grenser for prosjektet. Som for eksempel kostnad, tidsbruk, osv.
- Befaring
 - CCL Norway Ålesund, se på produksjon, stille spørsmål, utfordringer, fordeler/ulempes med etterspent, erfaring, undersøke tidsbruk og risiko til utførelse?
 - Byggeplasser som bruker etterspent betong
- Orienter seg på hvilke resultat man kan forvente,
 - Se på utforming og dimensjoner
- Dimensjonere
- Vurdere og justere underveis
- Rapportere inn fremgangen til veileder NTNU Ålesund

5.7.2 Styringshjelpemidler

Framdriftsrapportene vil være sentralt da vi får et overblikk på hvordan vi ligger an i forhold til framdriftsplanen. Ganttdiagrammet vil være et godt redskap til å se om vi er i rute.

5.7.3 Utviklingshjelpemidler

- Litteratur om etterspent betong
- Dimensjonerings- /lastberegningsprogram
- Program til å visualisere resultatet

5.7.4 Intern kontroll – evaluering

Det skal leveres framdriftsrapport for hver 14. dag gjennom semesteret. Vi vil da gå gjennom arbeidet som er utført i perioden ved å se på tidsbruk og mengde stoff som er produsert. Kjennetegn på at delmål er nådd er at gruppe medlemmene er tilfredsstillt med stoffet som er produsert og at man kan bygge videre på prosjektet med dette.

5.8 Beslutninger – beslutningsprosess

Beslutninger oppnås best ved at en eller flere kommer opp med et forslag til løsning og så velger flertallet den løsningen som passer best. Dette er også slik vi har løst tidligere problemer.

6 DOKUMENTASJON

6.1 Rapporter og tekniske dokumenter

Ved et hvert sted i teksten hvor en kilde har blitt brukt skal dette oppgis med etternavn og årstall i en parentes før punktum. Et eksempel på dette er å skrive slik på slutten av en setning: (Normann, 2010). I tillegg til dette skal vi ha med tittel og oppslag under kapittelet for kilder. For at løsningen vi kommer frem til skal kunne brukes, må den dokumenteres fra utregninger og standarder som forteller at de er brukbare. Ellers skal løsningen være preakseptert og i henhold til regelverket.

7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER

7.1 Møter

7.1.1 Møter med styringsgruppen

Møte en gang i uken til midten av mars. Vurdere å møtes annenhver uke etter dette.

Moteplanen blir dermed slik som tabell 4 viser:

Tabell 4: Moteplan med styringsgruppen

Tidspunkt
01.02
08.02
15.02
22.02
01.03
08.03
22.03
05.04
19.04

7.1.2 Milepæler

- Definere problemstilling
- Forrapport
- Ferdig dimensjonert
- Ferdig illustrert/tegnet
- Ferdig levert bachelor rapport

8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING

- Om vi ligger bak skjema: Finne ut hvor mye vi ligger bak, og jobbe ekstra i en periode for å komme i rute igjen.

- Om det kommer store uforutsette problemstillinger: Diskutere snarest mulig i gruppen om alternativ for å løse problemet. Dersom avviket er av en art som har stor innvirkning på resultatet, burde det rådføres med styringsgruppen.
- Alle avvik fra plan skal loggføres i en avviksrapport som forklarer valg av ny endring.

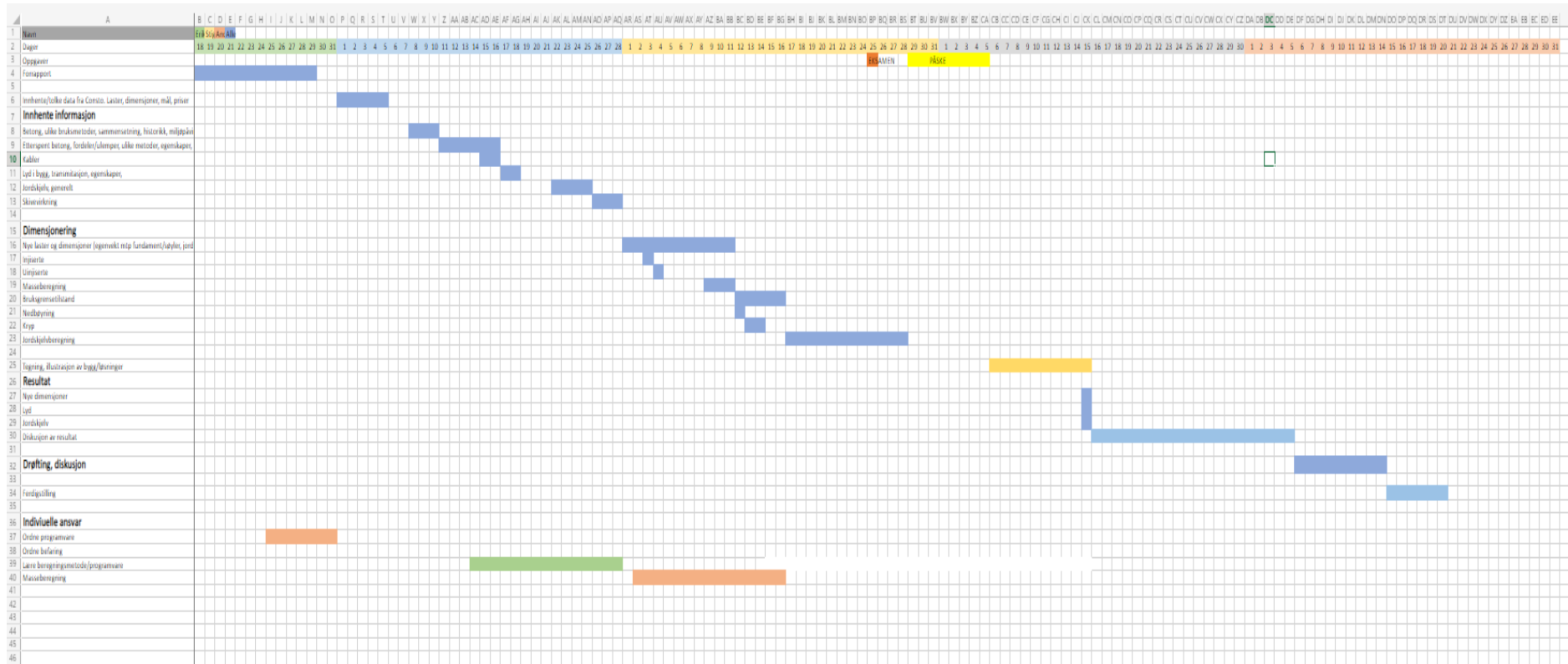
9 UTSTYRSBEHOV/FORUTSETNINGER FOR GJENNOMFØRING

For å gjennomføre prosjektet på en grundig måte er det en forutsetning at vi har tilgang til beregningsprogram. Det vil for oss være nye beregningsmetoder å forholde seg til, og til dette vil det være nødvendig å ha tilgang på instruksjoner. Hvor vi finner dette avhenger av om vi får noen til å lære oss det, eller om vi finner det selv. I tillegg til dette har vi fra før tilgang til tegneprogram, og det er nødvendig for prosjektets gjennomføring å fortsatt ha dette. Gjennom arbeidet med prosjektet trenger vi også tilgang til dokumenter om det opprinnelige prosjekteringen av bygget.

10 REFERANSER

VEDLEGG

GANT DIAGRAMM (FREMDRIFTSPLAN)



8.11. Loggføring

Periode	André	Stig Ove	Erik	Totalt
Januar	120	120	120	
Februar	120	120	120	
Mars	114	114	114	
April	108	108	108	
Mai	160	160	160	
Sum	622	622	622	1866

8.12. Avtale med bedrift

Bacheloroppgave 2021

I forbindelse med utførelse av Bacheloroppgave i bedrift.

Avtale mellom oppdragsgiver (bedrift), student og NTNU i Ålesund

Generelt om bacheloroppgaven:

Bacheloroppgaven gjennomføres fortrinnsvis i samarbeid med næringslivet, men kan også utformes i tilknytning til forskningsprosjekt skolens forskningsmiljø er involvert i. Oppgaveperioden deles i en forprosjektfase med egen innlevering og en prosjektfase som avsluttes med en offentlig framføring og rapport. Bacheloroppgaven kan også gjennomføres i bedrift. Oppgaven gjøres i grupper fortrinnsvis med 3 studenter og følges opp av oppnevnte veiledere. Bacheloroppgaven er på 20 studiepoeng som tilsvarer 2/3 av et semester i arbeidsmengde for studenten.

Denne avtale er inngått mellom:

Bedrift: CONSTO - MIDT NORGE AS.

NTNU i Ålesund: Institutt IHB, Fagseksjon Bygg,
Veileder Torodd S.W

Studenter: _____
ANDRE EKROLL
ERIK L SANDAL
ITLÅ OVE SÆTRÅ

Forpliktelser NTNU i Ålesund:

- Fagseksjonen skal stille med ansvarlig veileder.
- Fagseksjon Bygg ved veileder skal godkjenne oppgaven etter beskrivelse gitt i studiehandboken.
- Veileder har ansvar for oppfølging og kontroll av fremdrift i bacheloroppgaven.

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

- NTNU i Ålesund ved veileder har ansvar for at vurdering av bacheloroppgaven blir utført i henhold til vedtatte retningslinjer.

Forpliktelser til studentene (studentgruppen(e)):

- Beskrive bacheloroppgaven gjennom forprosjekt og fremdriftsplan
- Levere rapportskjema til veileder hver 14. dag
- Levere og presentere bacheloroppgaven etter oppsatt mal og fremdriftsplan.

Forpliktelser oppdragsgiver (bedrift):

- Støtte studenten i utvelgelse og utforming/beskrivelse av bacheloroppgaven.
- Navngitt person, fra oppdragsgiver/firma, som kontaktperson/veileder for studentgruppen.
- Dekke alle nødvendige utgifter (ikke lønn) som reise, evt. kontorhold, kopiering, spesielle programvare etc.
- Forsikre studentene som om de var tilsatt i firmaet. (Spesielt ulykkesforsikring når studentene er ute på anlegg).

Generelt:

Bacheloroppgaven er NTNUs eiendom, men oppdragsgiver (firma) har rett til å benytte seg av resultatene i oppgaven. Er resultatene i bacheloroppgaven konfidensielle og må beskyttes, gjøres dette ved egen avtale mellom NTNU i Ålesund og oppdragsgiver (bedrift)

Dato: 4/12-20

Jens O. S. Ø

NTNU i Ålesund

Anders M. Ø

Oppdragsgiver (bedrift)

CONSTO

Consto Midt-Norge AS
Org.nr. NO 913 268 830 MVA

Eirik L Sandal
Andri Eleroli
Stig Ove Sætre

Student(ene)

8.13. *Møtereferat*

Merk: Veiledningstime hver 7. dag gjennom Zoom.

Møtereferat 25.01

- Presentasjon av vår forståelse av problemstillingen
- Beregne i første omgang fra 3.etasje og nedover.
- Futura i Kristiansund har etterspent betong som er synlig fra innendørs
- Ved hulldekke er tilskjæring en utfordring og kostbart der hvor man har trekantformer.
- Bedre lydisolering ved etterspent, mer massivt. Jevnere underside på etterspent.
- Bedre på jordskjelv, skiveegenskaper ved etterspent.
- 265 hulldekke 11m spenn - 250 etterspent ca det samme
- Først finne mengder på materialer, og deretter regne ut priser internt.

Fremover:

Anders ordner befaring, kontakter Tryggstad. Gir oss tilgang til dalux-mappe, hvor vi kan se mer utfyllende tegninger og beregninger. Forhører seg med Ole Jørgen (prosjektering) om videre møter.

Vi ferdigstiller rapporten til torsdag og oversender denne til Anders, som gir oss kommentarer på denne til fredag. Lager en plan for videre møter.

Møtereferat 01.02.21

- Møte med Tryggstad onsdag 3.februar. Har forsket mye på etterspent betong hvor man bruker fiberarmering. Får en presentasjon og mulighet til å stille spørsmål
- Eksempel på hvor en oljeplattform har brukt etterspent betong (stavanger)
- Får gjennomgang av Dalux på torsdag.

Oss:

- Vi starter å se gjennom litteratur på etterspent betong og så vidt på beregningsmetoder frem til onsdag.

Møtereferat CCL 03.02

CCL startet møte med å presentere en intro om bedriften. De driver med etterspent betong, hvor dette innebærer produksjon, prosjektering, opplæring, utvikling og vedlikehold. Skanskekaia, fri sikt, borgundvegen 151, bybadet var noen av prosjektene de hadde bidratt på, hvor de brukte etterspent betong. Noen av de fremste fordelene med etterspent betong er fleksibiliteten, med tanke på plassering av søyle, redusert antall søyler, skivevirkning ved seismisk dimensjonering, lavere bygg/flere etasjer, fleksibelt ved at man kan rive skallet, råbygget bærer innenfra. Fjerning av søyler gjør at totaltrykket på grunnen blir mindre (mindre vekt). Mulighet for buede former. En løsning på utkraget dekke kan være takbjelke med stålsøyler, som gir lik bevegelse på alle dekk.

I Norge er det vanligst å bruke uinjisert løsning på etterspent betong, da dette er enklest å utføre.

Utføring av flere etasjer er at man støper først en etasje, deretter forsterker denne og setter forskaling over.

Ulemper kan være at man trenger flere spenn for å legge armeringen i en parabel over søyle. Bør planlegge for utsparring/områder for utsparring. Mulighet for sprinkleranlegg i dekket.

Ellers fikk vi mulighet til å være på kontoret ved CCL, hvor vi fikk bruke programvare.

