



Universitetet  
i Stavanger

**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**

## **MASTEROPPGAVE**

|  |   |
|--|---|
| Studieprogram/spesialisering:<br><br>Konstruksjoner og materialer,<br>fordypning byggkonstruksjoner  | Høstsemesteret, 2012<br><br>Åpen                                      |
| Forfatter:<br>Lene Breivik   | .....<br>(signatur forfatter)   |
| Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså<br><br>Veileder(e): Kjell Tore Fosså (intern veileder, UiS)<br>Otto Klippen (ekstern veileder, Dimensjon Rådgivning AS) |   |
| Tittel på masteroppgaven: Flatdekke med spennarmering<br><br>Engelsk tittel: Post-tensioned flat slab  |   |
| Studiepoeng:<br>30   |   |
| Emneord:<br>Flatdekke<br>Spennarmering<br>Etterspent flatdekke<br>ADAPT Floor Pro<br>ADAPT PT  | Sidetall: 90<br><br>+ vedlegg/annet: 152<br><br>Stavanger, 13.03.2013 |



## Sammendrag

Denne rapporten omhandler et flatdekke med spennarmering. Det aktuelle dekket er en del av en konstruksjon som er under utbygging i Sandnes. Dette stedstøpte og etterspente dekket skal brukes som parkeringsareal.

Rapporten inneholder teori for spennarmering og flatdekker, utførte håndberegninger for spennarmering, bruddgrensetilstand og bruksgrensetilstand samt analyse utført i ADAPT Floor Pro.

Målet med oppgaven har vært å sammenligne resultater fra håndberegningene og analysen for å finne hvor stor forskjell de ulike metodene gir. Håndberegningene og analysen er utført for et avgrenset område av dekket.

Sammenligningsgrunnlaget for spennarmeringsberegningene er antall spennkabler. For bruddgrenseberegningene vil resultatene fra gjennomlokkingskontroll sammenlignes, og for bruksgrensetilstand er det nedbøyningsberegningene som sammenlignes. Under forutsetning om at beregningene og analysen er utført korrekt, viser resultatene følgende forskjeller:

- Fra spennarmeringsberegningene:

Antall spennkabler som ble funnet nødvendig i håndberegningene ble totalt 144 spennkabler, mot 110 spennkabler i ADAPT. Denne forskjellen tilsvarer en reduksjon på 24% fra resultat i håndberegningene til resultat i programanalysen.

- Fra bruddgrenseberegningene:

Gjennomlokkingskontrollen i ADAPT viste at alle søylene for avgrenset område ikke trenger skjærarmering. Det motsatte er tilfellet for håndberegningene, hvor det ble funnet nødvendig med skjærarmering for alle gjeldende søyler.

- Fra bruksgrenseberegningene:

I håndberegningene ble nedbøyningen funnet til å være 3.198mm (langtidsandel). Samme nedbøyning fra analysen i ADAPT ga nedbøyning på 1.82mm. Ikke stor forskjell verdimesig, og begge verdiene ligger godt innenfor øvre grense som er tillatt nedbøyning på 30mm.

Resultatene fra sammenligningen var etter forventningene mer konservative for håndberegningene enn for analysen i ADAPT.



## Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på mastergraden i konstruksjonsteknikk og materialteknologi ved Universitetet i Stavanger.

Det å skrive en masteroppgave er utfordrende, og denne oppgaven er nok intet unntak. Det har til tider vært vanskelig, samtidig som det har vært en stor glede når problemer løser seg og når det går den rette veien. Oppgaven har vært spennende og svært lærerik, og har i tillegg gitt meg mersmak på å jobbe videre med spennarmert konstruksjon.

Jeg vil rette en stor takk til veilederen min ved Universitetet i Stavanger, Kjell Tore Fosså, for all veiledning, gode innspill, litteratur henvisninger, engasjement og støtte. Jeg vil også takke ekstern veileder, Otto Klippen, ved Dimensjon Rådgivning AS for oppgaven, veiledning og ikke minst for kurset jeg fikk delta på.

Takk til Øvstebø Eiendom AS for teknisk hjelp og utskrift av oppgaven.

Familie og venner takkes for god støtte gjennom hele oppgavetiden.

Tilslutt, men mest av alt, vil jeg rette en stor takk til min kjære samboer, for den ekstra innsatsen han har bidratt med når det gjelder hus, hjem og barn denne perioden.

Stavanger, 13.03.2013

Lene Breivik



# Innholdsfortegnelse

|  |      |
|--|------|
| Sammendrag .....                                     | I    |
| Forord .....   | III  |
| Figurliste.....                                      | VII  |
| Tabelliste .....                                     | VIII |
| 1 Innledning .....                                   | 9    |
| 1.1 Oppgavebeskrivelse.....                          | 9    |
| 1.2 Metode.....                                      | 9    |
| 1.3 Oversikt.....                                    | 10   |
| 2 Bakgrunnsinformasjon .....                         | 11   |
| 2.1 Spennarmering .....                              | 11   |
| 2.1.1 Metoder .....                                  | 11   |
| 2.1.1.1 Førøppspent betong.....                      | 11   |
| 2.1.1.2 Etterøppspent betong.....                    | 12   |
| 2.1.2 Virkemåte og lastbalansering .....             | 15   |
| 2.2 Flatdekker .....                                 | 17   |
| 2.2.1 Virkemåte .....                                | 18   |
| 2.2.2 Beregningsmetode.....                          | 19   |
| 2.2.3 Flatdekker med spennarmering .....             | 22   |
| 2.3 Samvirkeplate .....                              | 23   |
| 3 Dimensjonering av dekket.....                      | 25   |
| 3.1 Generelle beregninger og bestemmelser .....      | 25   |
| 3.2 Spennkraft og tap av spennkraft .....            | 33   |
| 3.2.1 Umiddelbare tap .....                          | 34   |
| 3.2.1.1 Låsetap.....                                 | 34   |
| 3.2.1.2 Friksjonstap.....                            | 35   |
| 3.2.1.3 Tap pga betongens elastiske deformasjon..... | 36   |
| 3.2.2 Tidsavhengige tap.....                         | 36   |
| 3.2.2.1 Kryp.....                                    | 36   |
| 3.2.2.2 Svinn .....                                  | 38   |
| 3.2.2.3 Relaksasjon .....                            | 40   |
| 3.2.2.4 Samlet virkning .....                        | 41   |
| 3.3 Bruksgrensetilstand .....                        | 42   |
| 3.3.1 Spenningsbegrensning.....                      | 42   |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.3.2 | Rissviddebegrensning.....                  | 44  |
| 3.3.3 | Nedbøyningsbegrensning.....                | 46  |
| 3.4   | Bruddgrensetilstand.....                   | 48  |
| 3.4.1 | Momentkapasitet.....                       | 49  |
| 3.4.2 | Skjærkraftkapasitet.....                   | 51  |
| 4     | Gjennomgang av utførte beregninger.....    | 57  |
| 4.1   | Generelle beregninger og bestemmelser..... | 57  |
| 4.2   | Spennarmeringsberegninger.....             | 61  |
| 4.3   | Bruddgrenseberegninger.....                | 64  |
| 4.3.1 | Momentkapasitet.....                       | 64  |
| 4.3.2 | Skjærkapasitet.....                        | 69  |
| 4.4   | Bruksgrenseberegninger.....                | 72  |
| 4.4.1 | Spenningsberegninger.....                  | 72  |
| 4.4.2 | Nedbøyningsberegninger.....                | 73  |
| 5     | Analysen i ADAPT.....                      | 75  |
| 5.1   | Introduksjon.....                          | 75  |
| 5.2   | Gjennomgang av utførte analyser.....       | 76  |
| 6     | Diskusjon.....                             | 79  |
| 7     | Konklusjon.....                            | 83  |
| 8     | Kilder og referanser.....                  | 85  |
|       |  |     |
|       | Vedlegg 1 – Illustrasjoner.....            | 89  |
|       | Vedlegg 2 – Laster.....                    | 99  |
|       | Vedlegg 3 – Spennarmeringsberegninger..... | 105 |
|       | Vedlegg 4 – Bruddgrenseberegninger.....    | 143 |
|       | Vedlegg 5 – Bruksgrenseberegninger.....    | 195 |
|       | Vedlegg 6 – ADAPT.....                     | 233 |



## Figurliste

|   |    |
|---|----|
| Figur 1 - Oversikt over oppgavens oppbygning .....                        | 10 |
| Figur 2 - Spennbenk [5].....  | 12 |
| Figur 3 - Spennkabel for uinjisert system [7].....                        | 13 |
| Figur 4 - Spennkabel for injisert system [7] .....                        | 14 |
| Figur 5 - Ulike spennkabler [17].....                                     | 14 |
| Figur 6 - Ulike aktive forankringer [17] .....                            | 14 |
| Figur 7 - Ulike passive forankringer [17].....                            | 15 |
| Figur 8 - Ekvivalente krefter [5] .....                                   | 16 |
| Figur 9 - Lastbalansering [5] .....                                       | 16 |
| Figur 10 - Flatdekke – med og uten kapitél og søyleforsterkning [7] ..... | 17 |
| Figur 11 - Andre dekketyper [7].....                                      | 18 |
| Figur 12 - Hovedmoment som opptrer i flatdekker [10].....                 | 18 |
| Figur 13 - Kurvatur spennarmering [10].....                               | 19 |
| Figur 14 - Inndeling i søyle- og feltstriper, etter [10] .....            | 20 |
| Figur 15 - Momentfordeling [10].....                                      | 21 |
| Figur 16 - Redusert konstruksjonshøyde [19].....                          | 22 |
| Figur 17 - Plassering av spennarmering [10].....                          | 23 |
| Figur 18 - Samvirkeplate [26].....  | 23 |
| Figur 19 - Spennings- og tøyningsskurve for armeringsstål [1].....        | 30 |
| Figur 20 - Spennings- og tøyningsskurve for spennstål [1] .....           | 31 |
| Figur 21 - Fordeling av skjærarmering [1].....                            | 32 |
| Figur 22 - Kontrollsnitt innvendige søyler [1] .....                      | 33 |
| Figur 23 - Kryp [5] .....   | 37 |
| Figur 24 - Svinn [5].....   | 38 |
| Figur 25 - Relaksasjonskurver for forskjellige typer stål [6].....        | 40 |
| Figur 26 - Riss og tøyninger i armert betong [5] .....                    | 45 |
| Figur 27 - Nedbøyning [10].....   | 48 |
| Figur 28 - Kontrollsnitt for beregning i bruddgrensetilstand [1].....     | 52 |
| Figur 29 - Kontrollsnitt for sirkulære og rektangulære søyler [1].....    | 53 |
| Figur 30 - Kontrollsnitt ved kant eller hjørne [1].....                   | 53 |
| Figur 31 - Verdier for $\beta$ [1].....                                   | 54 |
| Figur 32 - Samvirkeplate profil [28] .....                                | 59 |
| Figur 33 - Momentfordeling og tilhørende mål.....                         | 60 |
| Figur 34 - Momentfordeling x-retning .....                                | 60 |
| Figur 35 - Momentfordeling y-retning .....                                | 61 |
| Figur 36 - Eksentrisitet flerfeltsbjelke [7] .....                        | 62 |
| Figur 37 - Pilhøyde og eksentrisitet for endefelt [7] .....               | 62 |
| Figur 38 – Søyler for skjærdimensjonering .....                           | 69 |

## Tabelliste

|   |    |
|---|----|
| Tabell 1 - Veiledende dimensjonerende brukstid. Direkte fra tabell 2.1 i [2] .....              | 25 |
| Tabell 2 - Dimensjonerende verdier for laster etter NS-EN 1990 [2] .....                        | 27 |
| Tabell 3 - Materialkoeffisienter for bruddgrensetilstand. Direkte fra pkt 2.4.2.4(1) i [1]..... | 28 |
| Tabell 4 - Tillatte rissvidder [5] .....  | 44 |
| Tabell 5 - Verdi for $\alpha$ [5].....  | 49 |
| Tabell 6 - Verdi for K [5].....   | 50 |
| Tabell 7 - Verdi for $z/d$ [5] .....  | 50 |
| Tabell 8 - Verdi for c [5].....   | 50 |
| Tabell 9 - Antall spennkabler .....   | 62 |
| Tabell 10 - Umiddelbare tap.....  | 63 |
| Tabell 11 - Tidsavhengige tap.....  | 63 |
| Tabell 12 - Totalt spennkrafttap.....   | 64 |
| Tabell 13 - Spennkraft etter spennkrafttap .....  | 64 |
| Tabell 14 - Middelvei spennkraft.....   | 64 |
| Tabell 15 - Moment forårsaket av ekvivalente krefter.....                                       | 65 |
| Tabell 16 - Totale moment forårsaket av ekvivalente krefter.....                                | 65 |
| Tabell 17 - Momentfordeling.....  | 66 |
| Tabell 18 - Totalt moment for støtte og felt.....   | 66 |
| Tabell 19 - Dimensjonerende moment inkludert bidrag fra spennarmeringen .....                   | 66 |
| Tabell 20 - Totalt dimensjonerende moment for støtte og felt (inkl. bidrag fra spennarmering)   | 66 |
| Tabell 21 - Momentkapasitet, $M_{Rd,c}$ .....   | 67 |
| Tabell 22 - Momentbidrag fra spennarmering .....  | 67 |
| Tabell 23 - Totalt momentbidrag fra spennarmering.....  | 67 |
| Tabell 24 - Slakkarmeringsmengde (minimumsarmering).....  | 68 |
| Tabell 25 - Totalt tverrsnittsareal for minimum slakkarmering.....                              | 68 |
| Tabell 26 - Momentkapasitetsbidrag fra slakkarmering.....                                       | 68 |
| Tabell 27 - Momentkapasitetsbidrag fra både slakk- og spennarmering.....                        | 68 |
| Tabell 28 - Søyledimensjoner .....  | 69 |
| Tabell 29 - Opptredende skjærkrefter .....  | 70 |
| Tabell 30 - Dimensjonerende skjærkrefter inkludert bidrag fra spennarmering.....                | 70 |
| Tabell 31 - Dimensjonerende skjærspenning .....   | 70 |
| Tabell 32 - Dimensjonerende skjærspenning langs søylekant .....                                 | 71 |
| Tabell 33 - Plassering av skjærarmering.....  | 71 |
| Tabell 34 - Nødvendig skjærarmeringsmengde .....  | 71 |
| Tabell 35 - Totalt tverrsnittsareal skjærarmering .....   | 71 |
| Tabell 36 - Spenninger i tverrsnittet.....  | 72 |
| Tabell 37 - Antall spennkabler ADAPT.....   | 77 |
| Tabell 38 - Sammenligning antall spennkabler .....  | 79 |
| Tabell 39 - Nedbøyning fra håndberegninger og ADAPT .....                                       | 81 |

# 1 Innledning

Denne oppgaven er utarbeidet i samarbeid med Otto Klippen ved Dimensjon Rådgivning AS og veileder ved Universitetet i Stavanger, Kjell Tore Fosså.

## 1.1 Oppgavebeskrivelse

Oppgaven tar utgangspunkt i et dekke som er en del av en konstruksjon under utbygging i Sandnes. Det aktuelle dekket skal brukes som parkeringsareal i konstruksjonen, og det skal benyttes etterspent stedstøpt flatdekke. Det skal brukes stålplater/samvirkeplater i underkant av dekket. Disse platene blir en permanent del av dekket, og har som hensikt å forenkle forskalingsarbeidet. I oppgaven vil det ikke tas hensyn til eventuelle krefter som tas opp av stålplaten. Det eneste som har innvirkning i denne sammenheng er at profilen til stålplata vil påvirke hvordan spennarmeringen fordeles i konstruksjonsdelen.

Det skal gjennomgås beregninger for spennarmering, bruksgrensetilstand og bruddgrensetilstand.

I oppgaven skal det brukes et program fra ADAPT Software som baserer seg på elementmetoden, og som tar hensyn til spennarmering i konstruksjonsdelen.

Resultatene fra håndberegningene skal sammenlignes med analysen i ADAPT Floor Pro for å identifisere forskjellene i de to metodene.

## 1.2 Metode

For å utføre denne oppgaven ble arbeidet delt opp i forskjellige kategorier. Disse er hovedsakelig litteraturstudie, beregninger for hånd og analyser utført med ADAPT-Floor Pro. Det ble satt opp en fremdriftsplan med utgangspunkt i de grove trekkene av oppgaven, for å strukturere arbeidet på best mulig måte.

I første omgang ble tiden brukt på å tilegne mest mulig kunnskap om tema for oppgaven. Det ble utført litteratursøk og litteraturstudie. Det å lære et nytt program er svært tidkrevende, og dette ble derfor startet tidlig i prosessen som en del av litteraturstudie.

Etter dette ble modellering av konstruksjonsdelen startet i ADAPT-Floor Pro, samtidig som det ble utdypet hvilke beregninger som måtte gjennomføres. Eurokode 2 er brukt som beregningsgrunnlag, og eventuelt manglende informasjon er hentet fra andre kilder.

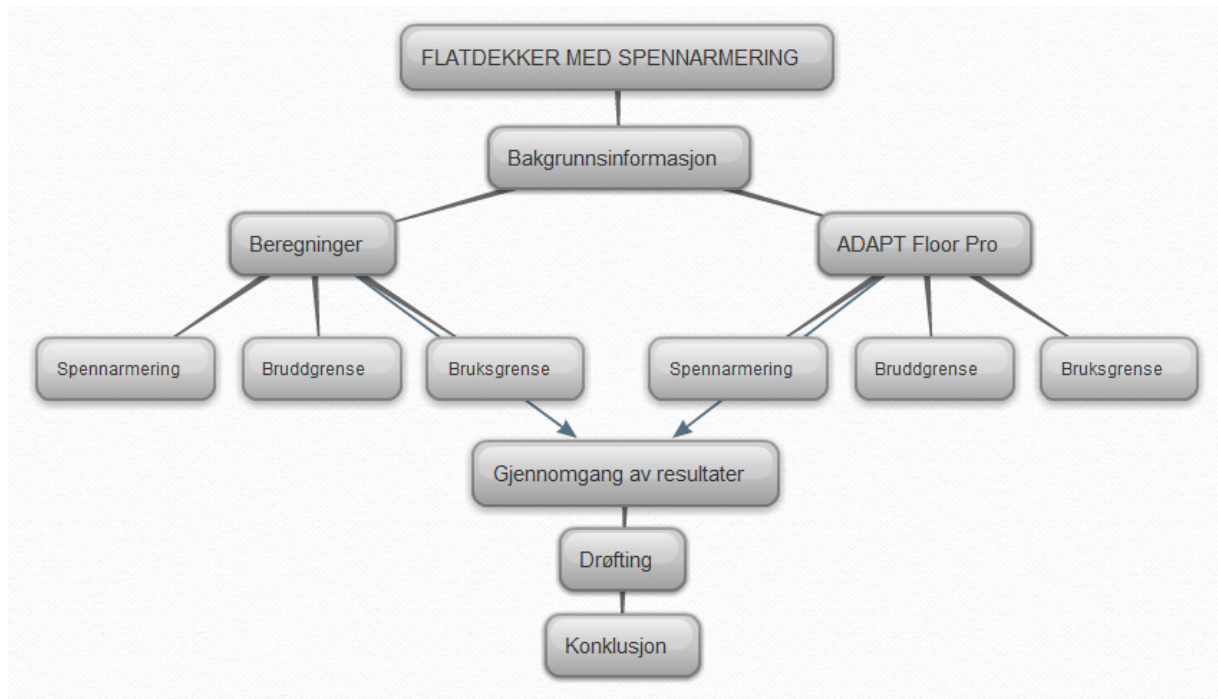
Håndberegningene for dekket er utført ved bruk av beregningsprogrammet MathCad.

Resultatene fra håndberegningene og analysene fra programmet ble til slutt sammenlignet og diskutert.

På grunn av dekkets størrelse og kompleksitet ble det satt en del begrensninger underveis for å redusere omfanget til en håndterbar mengde. Begrensningene beskrives underveis i oppgaven.

### 1.3 Oversikt

En oversikt over oppgavens oppbygning er vist i Figur 1.



Figur 1 - Oversikt over oppgavens oppbygning

## 2 Bakgrunnsinformasjon

Oppgaven er basert på et dekke som er en del av en konstruksjon under utbygging i Vågsgaten, Sandnes. Dette dekket er et flatdekke hvor det skal benyttes spennarmering. I den forbindelse vil det være naturlig å gå igjennom teori av de to forskjellige hovedaspektene; spennarmering og flatdekker.

### 2.1 Spennarmering

Kort fortalt er spennarmering en type armering som gis en tøyning, med den hensikt å overføre krefter fra tøyningen til betongen. [4]

Den første som lyktes med å bruke spennarmering i betong var franskmannen Eugene Freyssinet, som også blir kalt spennarmeringens far. I 1928 fant han ut at nøkkelen til suksess lå i å bruke høyfast stål sammen med betong med høy fasthet for å unngå virkningen av spennkrafttap. Det hadde tidligere blitt utført flere registrerte forsøk med bruk av spennarmering, så langt tilbake som i 1872, men hvor ingen hadde lyktes fullstendig.

Utenom Freyssinet, kan det nevnes flere personer som har bidratt med utviklingen av spennarmert betong. Mellom 1930 og 1960 utviklet og introduserte engelske P. W. Abeles konseptet om delvis spennarmering, som går ut på å kombinere spennarmering med slakkarmering. T.Y. Lin utviklet lastbalanseringsmetode for spennarmerte betongkonstruksjoner, som har forenklet beregningene betraktelig ved dimensjonering av disse. [7], [8]

#### 2.1.1 Metoder

Det finnes to måter å forspenne betongen på:

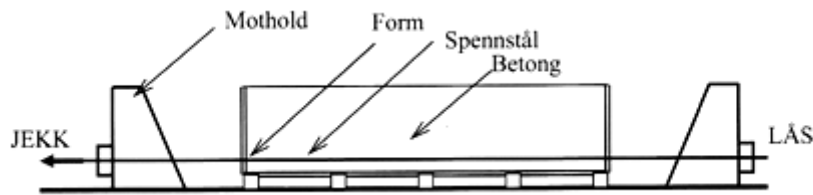
- Førroppspenning
- Etterroppspenning

Det som skiller de to typene er tidspunkt for spenning av armering, som er enten før eller etter støping og herding av betongen. Fellesbetegnelser for begge disse typene er forspent betong, spennarmert betong eller spennbetong. [5], [12]

##### 2.1.1.1 Førroppspent betong

Definisjon på førspent armering er hentet fra punkt 3.40.2 i NS 3473 [4]:

*”spennarmering hvor stålets kraft overføres til konstruksjonen ved heftspenninger alene”*



Figur 2 - Spennbenk [5]

Dette er en metode som er vanlig å bruke i elementfabrikker. Et generelt oppsett er vist i Figur 2. Elementet blir støpt rundt armering som allerede er oppspennt. Spenntauene er da festet mellom spennbukker i fabrikk. Etter at betongen er støpt og har fått tilstrekkelig fasthet, kappes spenntauene, og strekkraften fra disse overføres ved heft, som betongen får en trykkraft fra. Det er mest naturlig at spennarmeringen legges i den delen av tverrsnittet hvor betongelementet vil få strekk. [12], [13]

### 2.1.1.2 Etteroppspent betong

Etterspent armering defineres i punkt 3.40.1 i NS 3473 [4]:

*”spennarmering hvor stålets spennkraft overføres til konstruksjonen ved endeforankringer. Det kan benyttes:*

- *injiserte spennenheter, injisert med en sementbasert mørtel som kan overføre krefter til betongen;*
- *uinjiserte spennenheter, som ikke kan overføre krefter til betongen utenom endeforankringene eller ved retningsendringer”*

Det finnes altså etterspent betong med og uten injisering. I etterspent betong brukes spennkabler som spennarmering. Disse legges enten fritt i, eller i rør i konstruksjonen. Dersom de legges i rør/kanaler, kan spennkablene ligge ferdig montert i rørene eller tres gjennom etter utstøping av betongen. Etter at tilstrekkelig fasthet er oppnådd i betongen, strekkes kablene. Dette gjøres med en jekk, i det som kalles den aktive enden. Den passive enden har ofte innstøpt forankring i selve konstruksjonen. Dette kan også utføres med to aktive ender, da med oppspenning av armeringen med jekk på begge sider. Rørene kan, etter oppspenning av armeringen, injiseres med en sementbasert mørtel (se Figur 4). Dette gjøres for å oppnå bedre heft mellom spennarmering og betong. For oppspenning uten injisering, brukes plastrør rundt spennarmeringen, og fett på armeringen (se Figur 3). Fettet skal beskytte mot korrosjon av armeringen, samtidig som det også bidrar til lav friksjon. Den lave friksjonen gjør at det potensielle tap av spennkraft under oppspenningen reduseres. [5], [13]

Fordeler og ulemper med de forskjellige metodene for etterspent armering er flere. Nedenfor er de listet opp. [5], [17], [18], [20]

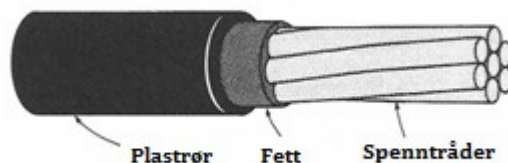
### Ved uinjisert system:

Fordeler:

- Enkle å håndtere og plassere
- Tillater maksimal eksentrisitet på grunn av minimal diameter
- Lav friksjon, som reduserer tap av effektiv spennkraft
- Unngår injiseringsarbeid
- Ferdig korrosjonsbeskyttet fra fabrikken
- Muligheter for å skifte ut enheter som er skadet
- Mer økonomisk tidsmessig

Ulemper:

- Lavere bruddkapasitet for moment
- Sikkerhetsmessig dårligere; da endeforankringene er det eneste festepunktet og en usikkerhet rundt fettfyllingen som må forhindre korrosjon
- Bidrar ikke til rissfordeling



Figur 3 - Spennkabel for uinjisert system [7]

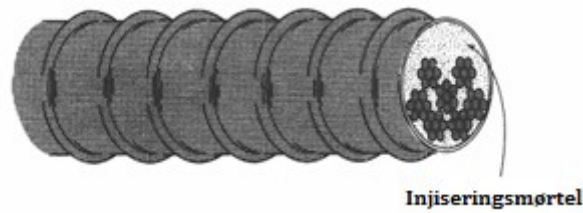
### Ved injisert system:

Fordeler:

- Heftforbindelse etableres mellom betong og spennstål
- Fyll utnyttelse av stålets flytegrense
- Forbedret rissutvikling
- Det trengs mindre slakkarmering for injisert system enn for uinjisert system
- Tynne spennkabler (se Figur 5; flat duct) tillater maksimal eksentrisitet i relativt tynne element
- Ved bruk av flere spennkabler (se Figur 5; multistrand system); evne til å overføre store krefter ved bruk av store spennkabelenheter
- Lokalt brudd på spennkabel har begrensede effekter (for eksempel ved en ulykkeslast)

Ulemper:

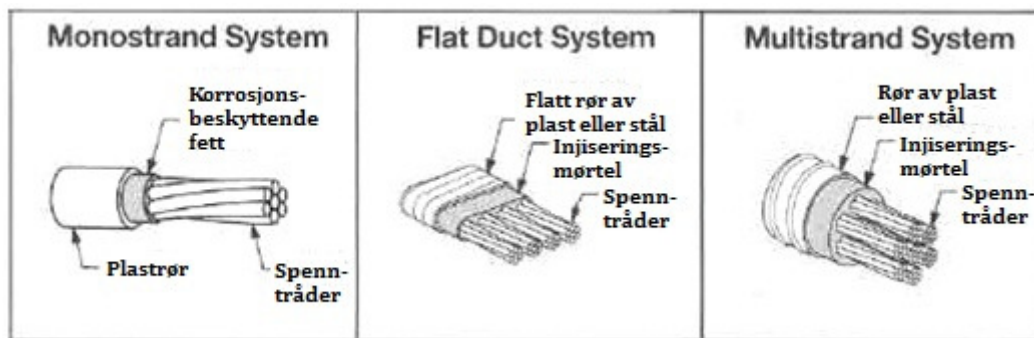
- Tidkrevende på grunn av injiseringen og dermed en mindre god økonomisk løsning



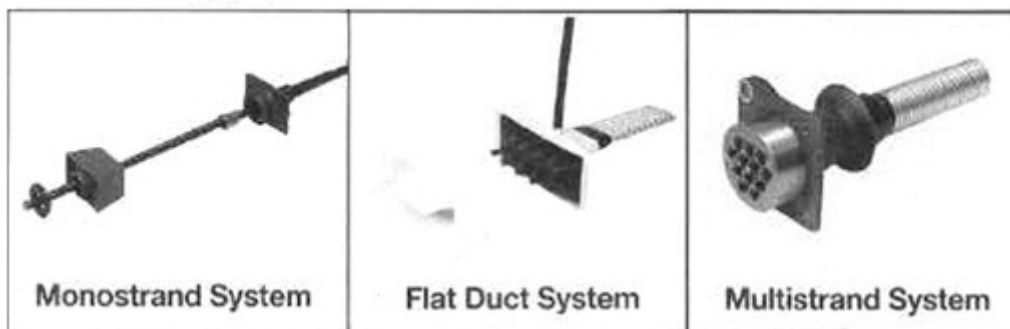
Figur 4 - Spennkabel for injisert system [7]

For å avgjøre om det skal brukes uinjisert eller injisert system er det nyttig å se på lastene konstruksjonen skal utsettes for. Dersom konstruksjonen er utsatt for ulykkeslast er det ikke uinjisert system som egner seg best da det kun overføres krefter ved endeforankringer. [17]

Sammenligning av spennkabler og forankringer for uinjisert (monostrand) og injisert (flat duct og multistrand) system vises i Figur 5, Figur 6 og Figur 7.

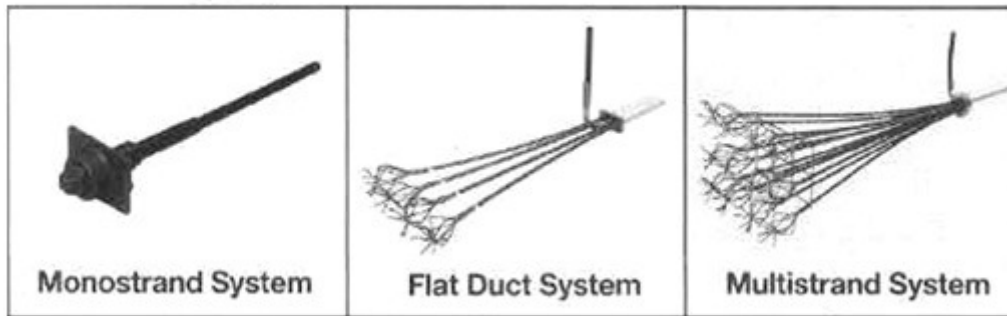


Figur 5 - Ulike spennkabler [17]



Figur 6 - Ulike aktive forankringer [17]





Figur 7 - Ulike passive forankringer [17]

Typiske bruksområder for etteroppspenning er bl.a. broer, plattformer og andre store stedstøpte konstruksjoner. [5]

### 2.1.2 Virkemåte og lastbalansering

Spennarmert betong defineres i punkt 3.40 i NS 3473 [4]:

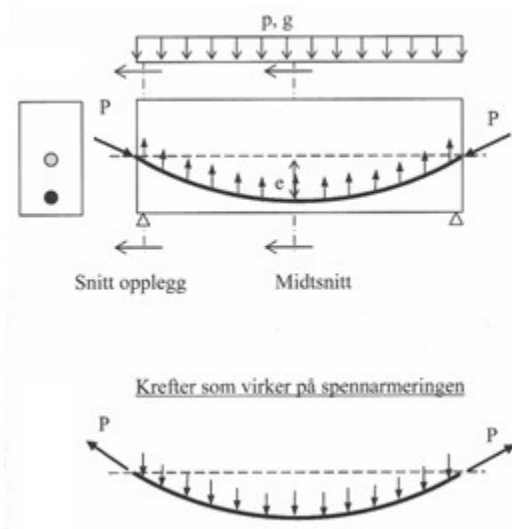
*”armert betong hvor armering ved oppspenning er gitt en tøyning i forhold til betongen, og hvor de krefter som svarer til denne tøyning i armeringen, blir overført til konstruksjonen”*

Betong har stor trykkfasthet, men liten strekkfasthet. Strekkfastheten kan måles til ca. 10% av trykkfastheten. Armert betong er derfor en god kombinasjon av stål og betong som effektivt utnytter materialenes forskjellige egenskaper. Trykkfasthet fra betong, og strekkfasthet fra stål. [14]

Forskjellen mellom slakkarmering og spennarmering er at ved slakkarmering legges armeringen i betongen og når betongen har herdnet virker armeringsstengene ”som de vil” sammen med betongen. Mens ved spennarmering, hvor armeringen er påført spennkraft, vil spennkraften overføres til betongen og de vil virke sammen på en aktiv måte. [9]

Initialtøyningen til spennarmeringen gir en strekkraft som overføres via heft eller endeforankringer, og gir betongen en trykkraft. Spennkraften kan antas å virke som en ytre last, og ved optimal størrelse og plassering av denne, kan strekk på undersiden av en konstruksjon unngås og tverrsnittet kan forbli uopprisset. Den mest optimale plasseringen er å legge spennarmeringen i kurve, mest mulig lik momentfordelingen som oppstår på grunn av ytre laster. Dette begrunnes med at når spennarmeringen påføres kraft for å strekkes, vil den forsøke å rette seg ut. Betongen vil motvirke dette og det vil oppstå tverrkrefter fra betongen som virker langs spennarmeringen (se Figur 8). Spennarmeringen vil gi motsatt rettede krefter på betongen og virker som en ”løftekraft”. Denne løftekraften vil gi en oppbøyning som bidrar til å begrense eller annullere strekkspenningene som konstruksjonen ellers ville fått, som og vil si redusert nedbøyning og begrensnig av riss. De vertikale kreftene som virker fra spennarmeringen på

betongen kalles også ekvivalente krefter. Ved en parabelformet spennarmeringsprofil, vil de ekvivalente kreftene være jevnt fordelt.

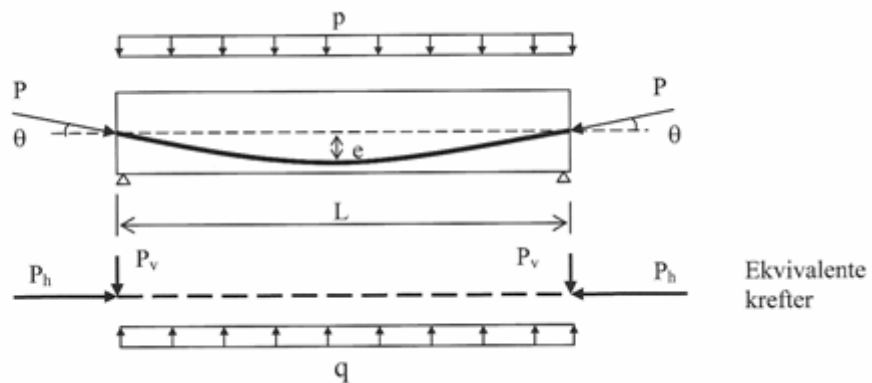


Figur 8 - Ekvivalente krefter [5]

I de tilfeller hvor spennarmeringen er lagt i en rett linje, vil det ikke oppstå tverrkrefter, men det vil likevel oppstå en oppbøyning forårsaket av endeforankringene.

Lastbalansering baserer seg på å utnytte de ekvivalente kreftene fra spennarmeringen til å motvirke ytre laster som egenlast og nyttelast. Ved full utnyttning, hvor de ekvivalente kreftene utligner de ytre kreftene, vil konstruksjonen være helt rett, med andre ord ingen nedbøyning. Det vil også være konstant trykkspenning over hele tverrsnittet i et slikt tilfelle. Dette kalles eksakt lastbalansering.

Eksempelvis for en fritt opplagt bjelke med jevnt fordelt last vil eksakt balanse oppnås slik som vist i Figur 9.



Figur 9 - Lastbalansering [5]

$$p = q = \frac{8Pe}{L^2}$$

$P$  = oppspenningskraft

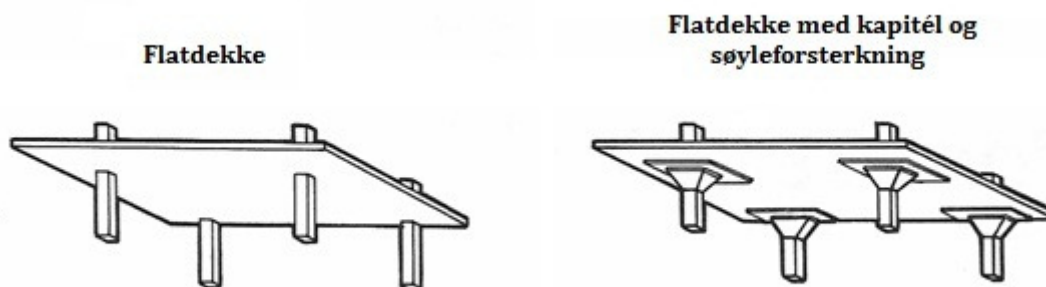
$e$  = eksentrisitet

For forenklet beregning kan det brukes en idealisert spennarmeringsprofil. Sammenlignet med en realistisk spennarmeringsprofil, vil den idealiserte ha en antatt knekk over støttene på en flerfeltsbjelke. I den realistiske profilen vil knekkpunktet byttes ut med en krumning på grunnlag av krav om maksimal krumning for spennarmeringen. [5]

## 2.2 Flatdekker

Flatdekker, som illustrert i Figur 10, beskrives slik i punkt 18.2.1 i NS 3473 [4]:

*"Flatdekker består av en plate med hovedarmering i to retninger og bærende søyler forbundet med platen. Søylens topp kan utvides til kapitél. Platen kan utføres med eller uten forsterkning over kapitélet."*

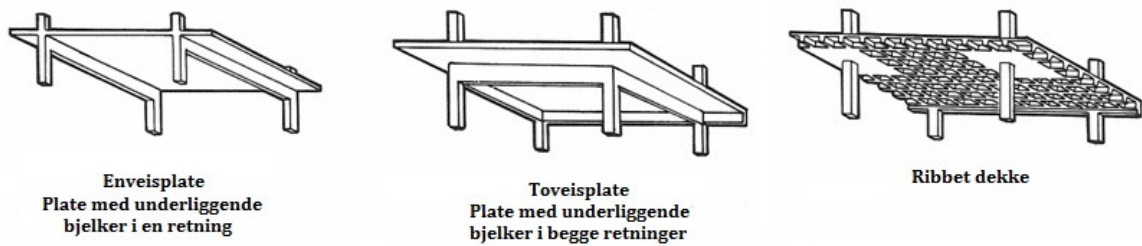


Figur 10 - Flatdekke - med og uten kapitél og søyleforsterkning [7]

Flatdekker med søyleforsterkning kan også bli kalt soppdekke eller pilsdekke. Stivheten øker, og deformasjonene blir mindre ved bruk av søyleforsterkning, samtidig som kapasiteten for bøyemoment og skjærkraft økes. Det som er avgjørende for om det skal brukes kapitél og eventuelt søyleforsterkning er lastene som virker, søylenes avstand, samt bruksformålet til dekket. [10]

Kapitélet vil bidra til å fordele kreftene fra søyla til dekket (motkrefter på grunn av lastene fra dekket som bæres av søylene) over et større område.

Til sammenligning med andre typer dekker, vises det forskjeller i Figur 11. Alle lastene som virker på et flatdekke vil virke fra platen og ned i søylene alene. Lastene som derimot virker på en toveisplate vil fordele seg og virke på kryssende bjelker og deretter videre til søylene. På grunn av denne forskjellen kan det forventes at nedbøyningen for et flatdekke er 20-40% større enn for tilsvarende toveisplate.

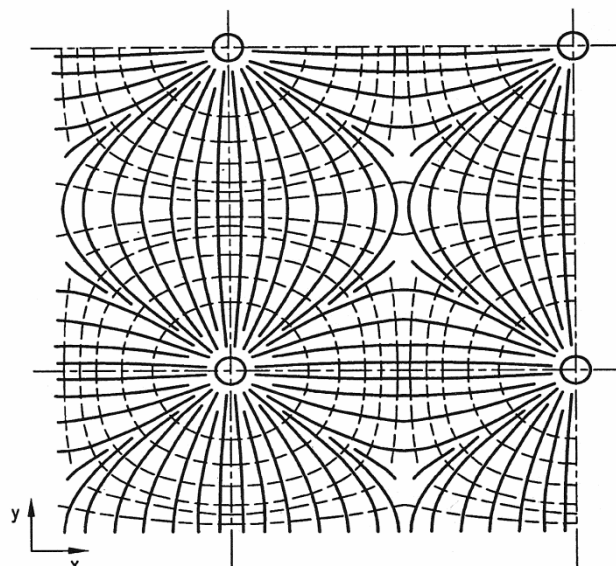


Figur 11 - Andre dekketyper [7]

Fordeler ved bruk av flatdekke som dekkekonstruksjon er mange. Det legges ofte vekt på at det er enkel forskaling, enkel armeringslegging og at det gir stor frihet for tekniske installasjoner som bl.a. ledninger, rør og ventilasjon. Ved behov for store åpne arealer i konstruksjonen vil det være gunstig med flatdekke som dekkekonstruksjon, fordi det gir muligheter for å endre innredningen i fremtiden ved behov. [10], [18]

### 2.2.1 Virkemåte

I Figur 12 vises en homogen isotrop plate utsatt for jevnt fordelt last. Det vises hvordan hovedmomentene opptrer mellom søylene som plata hviler på.

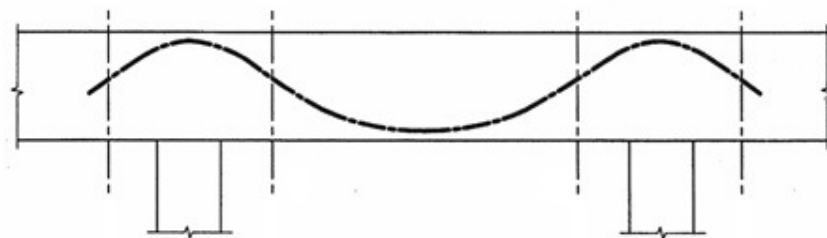


Figur 12 - Hovedmoment som opptrer i flatdekker [10]

Momentene er rotasjonssymmetriske om søylen, og det vil oppstå strekk på oversiden av søylene som resulterer i negative momenter i dette området.

Dekket blir vanligvis forbundet momentstivt med søylene. Dermed påføres søylene momenter fra rotasjonene som oppstår i dekket. De mest utsatte søylene er kant- og hjørnesøyler, samt 1.innersøyle. Momentene som blir påført på disse er så store at påvisning av kapasiteten er nødvendig.

Slakkarmering bør legges i et rettvinklet system i nærheten av hovedmomentene. Spennarmering derimot bør følge kurven til momentfordelingen, se Figur 13. [10]



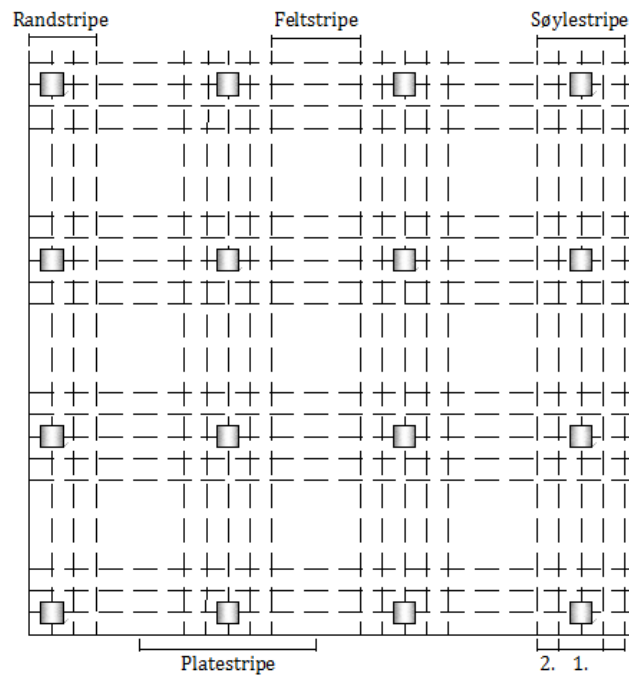
Figur 13 - Kurvatur spennarmering [10]

### 2.2.2 Beregningsmetode

I denne oppgaven vil metoden som er beskrevet i [10] brukes. Ved bruk av lineær elastisitetsteori forutsettes det at torsjonsmomenter ikke forekommer. Hele lasten antas og overføres alene av bøyningmomenter som  $m_x$  og  $m_y$ .

Forutsetning for å bruke den metoden som beskrives i [10], og som brukes i denne oppgaven er at forholdet mellom spennviddene er 0.7-1.4. Ved forekomst av ulike spennvidder skal middelverdien brukes som beregningsgrunnlag for støttemomentene, mens feltenes spennvidde brukes som beregningsgrunnlag for feltmomentene.

Figur 14 viser hvordan dekket deles inn i felt- og søylestriper. Søylestripene langs kanten av dekket kalles randstriper. Både 1. og 2. søylestripe har bredde på  $0.125 \cdot \text{spennvidden}$ , mens feltstripene har en bredde på  $0.5 \cdot \text{spennvidden}$ . Når det gjøres beregninger for en platestripe av dekket, ses det på bredden fra feltmidte til feltmidte.



Figur 14 - Inndeling i søyle- og feltstriper, etter [10]

I beregningsgangen for et flatdekke vil det være mest hensiktsmessig å starte med beregninger for bruddgrensetilstanden. Det finnes flere mulige beregningsmetoder. [10], [15]

Noen av disse er:

*Elastisitetsteori:*

I forenklet metode kan det i likevektbetingelsene ses bort fra torsjonsmomenter. Det kan også brukes elementmetode basert på elastisitetsteori, men da beregnes alle typer laster som virker i konstruksjonen/konstruksjonsdelen. Sistnevnte metode er mer nøyaktig og gir dermed ikke identiske resultat sammenlignet med den forenklete metoden.

*Plastisitetsteori:*

Også kjent som bruddlinje- eller flytlinjeteori. Basert på arbeidsbetraktningen indre arbeid = ytre arbeid. Bruddlinjeteori og rissmønsteret som dannes når platen nærmer seg brudd er nokså like. Denne metoden er uegnet for beregning av momentfordeling i bruksgrensetilstand.

*Empiriske momentkoeffisienter:*

Består av beregnede koeffisienter som er blitt justert etter virkelige verdier fra forsøk. Beregningene fra denne metoden vil bli som for en kontinuerlig bjelke med feltvis belastning. Metoden gir mindre momenter enn ved bruk av elastisitetsteori som grunnlag for beregningene.

Ved å bruke elastisitetsteori, kan det antas at momentberegningene gjelder for både brudd- og bruksgrensetilstand.

For å finne momentfordelingen i dekket multipliseres støttemoment og feltmoment med momentintensiteter. Disse verdiene gjenspeiler hvordan momentene fordeler seg i bredden for

en gitt platestripe. Sammen med de tilhørende breddene på stripene er det enkelt å kontrollere at det stemmer overens med totalmomentet. Momentintensitetene ved bruk av denne metoden er som følgende:

For støttemomenter:

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 1.søylestripe, $m_{SS}^1$ | 1.8 |
| 2.søylestripe, $m_{SS}^2$ | 1.2 |
| Feltstripe, $m_{SF}$      | 0.5 |

For feltmomenter

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Søylestripe, $m_{FS}$ | 1.2 |
| Feltstripe, $m_{FF}$  | 0.8 |

Forklaring på notasjoner:

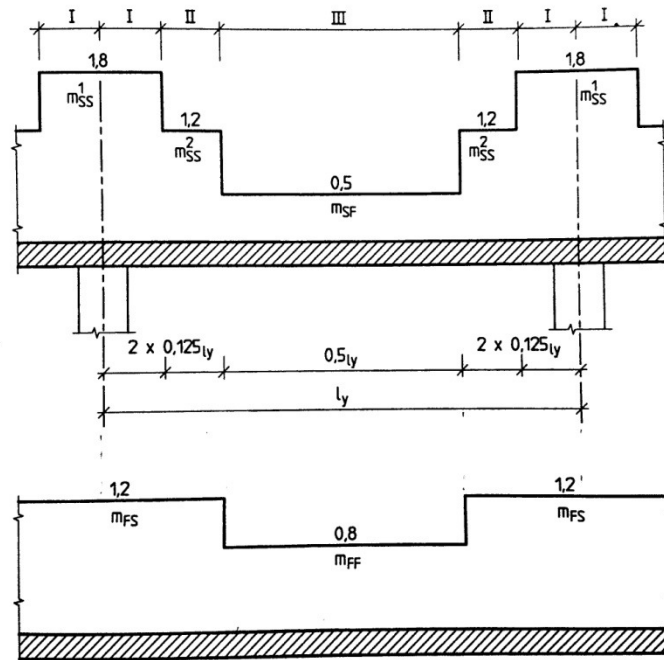
$m_{SS}$  = Støttemoment som befinner seg i søylestripen

$m_{SF}$  = Støttemoment som befinner seg i feltstripen

$m_{FS}$  = Feltmoment som befinner seg i søylestripen

$m_{FF}$  = Feltmoment som befinner seg i feltstripen

Momentfordelingen og momentintensitetene illustreres i Figur 15.

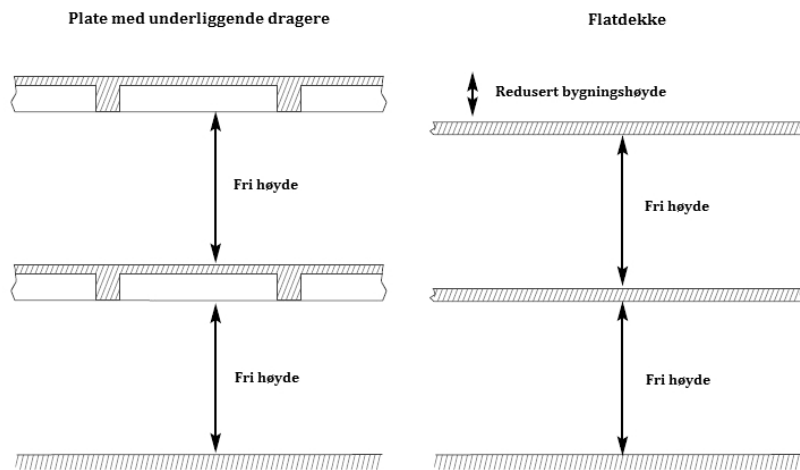


Figur 15 - Momentfordeling [10]

Dimensjonerende moment over søyler velges etter forbindelse mellom søyle og dekke. Ved stiv forbindelse velges moment ved søylekant, mens ved fritt opplegg velges moment som virker midt over søylen. [10]

### 2.2.3 Flatdekker med spennarmering

Flatdekke med spennarmering er gunstig med tanke på muligheten til å øke spennviddene mellom søylene og redusere tykkelsen på selve dekket. Denne type konstruksjon er også meget effektiv når det gjelder å redusere nedbøyningen til et minimum. [10] Flatdekke med spennarmering vil gi redusert konstruksjonshøyde sammenlignet med en slakkarmert plate med underliggende dragere. Se illustrasjon Figur 16.



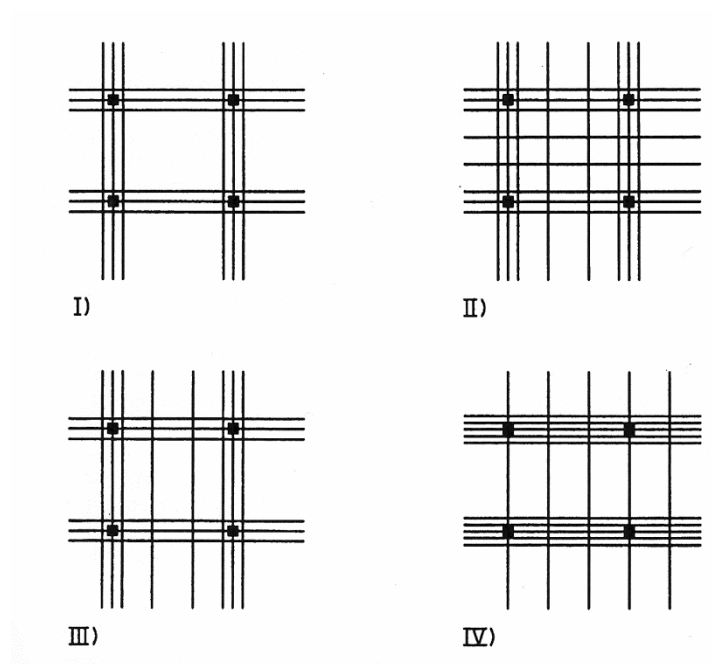
Figur 16 - Redusert konstruksjonshøyde [19]

Etterspente flatdekker er mest økonomisk når spennviddene er mellom 7 og 11 meter, egner seg best ved belastninger mellom 2 og 5 kN/m<sup>2</sup>, og blir ofte brukt i kontorbygninger og parkeringsanlegg. [7], [21]

Plassering av spennarmering (horisontalt i dekket) kan skje på ulike måter. Figur 17 viser forskjellige måter å legge spennarmeringen. Den enkleste måten er å legge spennarmeringen konsentrert over søylestripene, 1). Denne leggingen påvirker ikke forskyvningene som foregår i feltstripene. Den mest ideelle måten vises i 2), hvor spennarmeringen er lagt etter momentfordelingen mellom søyle- og feltstriper. På den andre siden er dette også den mest kompliserte måten å legge armeringen. En ulempe ved å ha jevnt fordelte spennkabler i begge retninger er at det kreves at de "veves" sammen. En litt forenklet måte fra den forrige er de som vises som 3) og 4). Disse er spesielt gunstige i de tilfellene hvor det er ulike spennvidder for x- og y-retning. I sistnevnte alternativ, 4), virker dekket som en enveisplate i retning med de jevnt fordelte spennkablene, og søylestripene med konsentrerte spennkabler virker støttende som de underliggende bjelkene gjør for en enveisplate. En stor fordel med å legge spennkablene



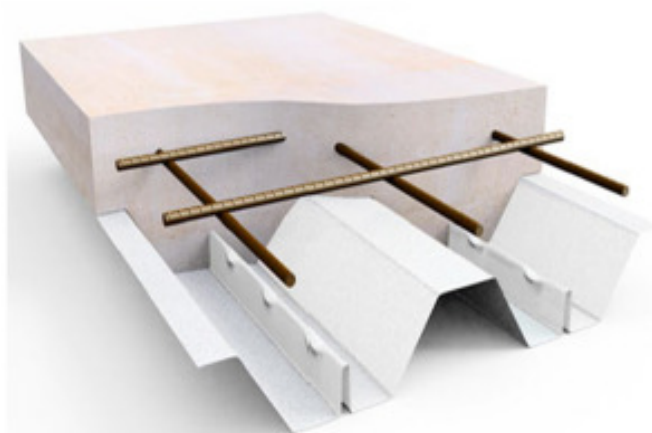
konsentrert over søylestripene er den motvirkende effekten det har på gjennomløkking. I alle tilfeller bør det brukes slakkarmering i tillegg til spennarmering. [5], [7]



Figur 17 - Plassering av spennarmering [10]

### 2.3 Samvirkeplate

Det skal brukes samvirkeplate i dette dekket, se Figur 18. Denne har som hensikt å forenkle forskalingsarbeidet. Den er ypperlig til trange arbeidsplasser da den bidrar til at det blir mindre utstyr liggende på byggeplassen. Platen vil bli en permanent del av dekket.



Figur 18 - Samvirkeplate [26]

Fordel ved bruk av samvirkeplater er besparelse av betong, og på grunn av at den både reduserer betongmengde og bidrar med å ta opp krefter vil den også være besparende på armeringsmengden. Den er rask å legge og forenkler arbeidet med tekniske installasjoner i etterkant. [27], [29]

Som tidligere nevnt vil det bare tas hensyn til den geometriske utformingen til plata i forhold til hvordan den påvirker fordelingen av spennkabler i denne oppgaven.

### 3 Dimensjonering av dekket

NS-EN 1992-1-1, også kjent som Eurokode 2, vil i hovedsak bli brukt til beregninger som gjelder både for bruksgrensetilstand og bruddgrensetilstand. Foruten Eurokoden<sup>1</sup> er det brukt annen litteratur for å få tilfredsstillende utfylling av formler for beregning. I dette kapittelet vises det hvilke beregninger som må utføres for flatdekke med spennarmering.

Alle beregningene som er utført for det aktuelle dekket står i sin helhet i vedleggene.

#### 3.1 Generelle beregninger og bestemmelser

##### Bestandighet:

Sitatet under er hentet fra punkt 4.1(1) i Eurokode 2 [1]:

*”En bestandig konstruksjon skal oppfylle krav til brukbarhet, styrke og stabilitet gjennom konstruksjonens dimensjonerende brukstid, uten at det oppstår vesentlig reduksjon av bruksverdi eller behov for omfattende uforutsett levetid.”*

Konstruksjonens dimensjonerende brukstid bestemmes ut fra hva slags type konstruksjon som skal bygges. I NS-EN 1990:2002+NA2008 vises en oversikt over veiledende brukstid for ulike typer konstruksjoner. Disse er gjengitt her i Tabell 1.

Tabell 1 - Veiledende dimensjonerende brukstid. Direkte fra tabell 2.1 i [2]

| Dimensjonerende brukstidskategori | Veiledende dimensjonerende brukstid (år) | Eksempler  |
|-----------------------------------|--|--|
| 1                                 | 10                                       | Midlertidige konstruksjoner  |
| 2                                 | 10 til 25                                | Utskiftbare konstruksjonsdeler, f.eks. kranbjelker, lagere osv.          |
| 3                                 | 15 til 30                                | Landbruksbygninger og lignende konstruksjoner                            |
| 4                                 | 50                                       | Bygningskonstruksjoner og andre vanlige konstruksjoner                   |
| 5                                 | 100                                      | Monumentale bygningskonstruksjoner, bruer og andre anleggskonstruksjoner |

Det skal også tas hensyn til miljøpåkjenninger fra området konstruksjonen skal befinne seg i, og hva konstruksjonen skal utsettes for. Tabell 4.1 i Eurokoden viser eksponeringsklassene. [1] Disse er delt inn etter forskjellige former for nedbrytingsmekanismer som karbonatisering, klorider og andre påvirkninger fra miljøet.

<sup>1</sup> Der det nevnes Eurokoden, menes Eurokode 2 (NS-EN 1992-1-1:2004+NA2008)

Etter at eksponeringsklasse er valgt for tilfellet som gjelder den aktuelle konstruksjonen, brukes denne informasjonen til å bestemme fasthetsklasse for betongen. Dette kan gjøres ved bruk av tabell E.1N i Eurokoden. [1] Fasthetsklassen angir sammensetningen i betongen, som skal på best mulig måte hindre korrosjon av armering og nedbryting av betongen i det aktuelle miljøet.

### **Overdekning:**

Avstand mellom armeringens overflate (nærmest betong overflaten) og betongens overflate.

Nominell overdekning:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$c_{min}$  = minste overdekning

$\Delta c_{dev}$  = tillatt avvik (absoluttverdi) = 10 mm

Den minste overdekningen skal sikre stålet mot korrosjon, sørge for overføring av krefter ved heft og bidra til brannmotstand. Verdien av  $c_{min}$  er:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$c_{min,b}$  = verdi finnes i EC 2 tabell 4.2 og er minste overdekning pga krav til heft

$c_{min,dur}$  = verdi finnes i EC 2 tabell 4.4N (for armeringsstål) og 4.5N (for spennstål), og er minste overdekning pga miljøpåvirkninger

$\Delta c_{dur,\gamma}$  = sikkerhetstillegg, anbefalt verdi er 0 mm

$\Delta c_{dur,st}$  = tar hensyn til bruk av rustfritt stål, anbefalt verdi er 0 mm

$\Delta c_{dur,add}$  = tar hensyn til bruk av tilleggsbeskyttelse, anbefalt verdi er 0 mm

### **Konstruksjonsregler for flatdekke:**

Et dekke som konstruksjonsdel må følge krav om at:

Minste sidekant > fem ganger dekketykkelsen

Effektiv spennvidde for dekke kan finnes på følgende måte:

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$$

$l_n$  = fri avstand mellom oppleggene, også kalt lysåpning

$a_1, a_2$  = bestemmes etter opplegg som brukes, se figur 5.4 i Eurokoden

### **Laster og lastfaktorer:**

Permanent last i dette tilfellet vil være egenlast, og variabel last vil være nyttelast. Egenlast regnes ut fra konstruksjonens egenvekt, mens nyttelasten finnes i NS-EN 1991. [3].

Andre permanente laster kan f.eks. være faste installasjoner. Variable laster kan foruten nyttelast også være bl.a. snølast og vindlast.

Ved dimensjonering benyttes det ulike lastfaktorer etter om det skal beregnes i bruks- eller bruddgrensetilstand. Se Tabell 2.

Tabell 2 - Dimensjonerende verdier for laster etter NS-EN 1990 [2]

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

$$\gamma_{Gj,sup} = 1.35$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1.0$$

$$\gamma_{Q,1} = 1.5 \text{ (hvis ugunstig) eller } 1.0 \text{ (hvis gunstig)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1.5 \text{ (hvis ugunstig) eller } 1.0 \text{ (hvis gunstig)}$$

$$\xi = 0.89$$

$$\psi = \text{finnes i tabell NA.A1.1 i NS-EN 1990:2002/NA:2008 (0.7 for dette tilfellet)}$$

$$G_k = \text{Permanent last}$$

$$Q_k = \text{Variabel last}$$

Kort oppsummert vil disse verdiene brukes som lastfaktorer:

|                      | Brukgrensetilstand | Bruddgrensetilstand I | Bruddgrensetilstand II |
|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Permanente laster    | 1.0                | 1.2                   | 1.35                   |
| Dom. variable laster | 1.0                | 1.5                   | 1.05                   |

Av de to bruddgrensetilstandene i tabellen over skal det brukes de verdiene som vil gi det ugunstigste utfallet.

### **Materialfaktorer:**

Ved dimensjonering vil det brukes materialfaktorer i beregningene. Materialfaktorene for henholdsvis betong, slakkarmering og spennarmering er vist i Tabell 3. Dette gjøres for å ta hensyn til usikkerheten i de beregnede kapasitetene.

Tabell 3 - Materialkoeffisienter for bruddgrensetilstand. Direkte fra pkt 2.4.2.4(1) i [1]

| Dimensjonerende situasjoner | $\gamma_c$ | $\gamma_s$ | $\gamma_s$ |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| Vedvarende og forbigående   | 1.5        | 1.15       | 1.15       |
| Ulykkessituasjon            | 1.2        | 1.0        | 1.0        |

**Betong:**

I konstruksjoner hvor det skal benyttes spennarmering er det vanlig å benytte betong med høyere fasthet enn i konstruksjoner med vanlig slakkarmering. Dette er fordi spennarmering forårsaker store trykkspenninger i betongen ved forspenning, og det kan oppstå store lokale trykkspenninger ved forankringspunktene til spennarmeringen. Sammensetning av betongens delmaterialer velges med tanke på å skape minst mulig svinn og kryp i betongen, som igjen har betydning for å opprettholde spennkraften. Lavt v/c (vann/semment) forhold i betongen er viktig for å gi egnet korrosjonsbeskyttelse til spennarmeringen. [5]

Trykkfastheten betegnes enten ved  $f_{ck}$  eller  $f_{ck,cube}$ , henholdsvis karakteristisk sylinderfasthet og karakteristisk terningfasthet, som er bestemt etter 28 døgn.

Ved forspenning av konstruksjoner vil det gjerne være nødvendig å beregne trykkfastheten tidligere enn 28 dager. For tidspunkt,  $t$ , vil trykkfastheten beregnes slik:

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8\text{MPa} \quad \text{for } 3 < t < 28 \text{ døgn}$$

$$f_{ck}(t) = f_{ck} \quad \text{for } t \geq 28 \text{ døgn}$$

$f_{cm}(t)$  = middelerdi av trykkfasthet ved en gitt alder,  $t$ , se formel nedenfor

Fasthetsverdier som baseres på prøvetaking av betongen, vil være mer nøyaktig enn ovennevnte formel. Denne metoden benyttes også dersom det ønskes fasthet for betong mindre enn 3 døgn.

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

$\beta_{cc}(t)$  = koeffisient avhengig av alder  $t$ , og sementtype  $s$

$f_{cm}$  = middelerdi av betongens trykkfasthet (se tabell 3.1 i EC 2)

$t$  = betongens alder, antall døgn

$$\beta_{cc} = \exp \left\{ s \cdot \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\}$$

$s$  = koeffisient avhengig av sementtype (se pkt. 3.1.2(6) for verdi)

Strekkfastheten utvikles over tid, hvor forholdene under herding og uttørkning, er av avgjørende karakter. Konstruksjonens tverrsnittsdimensjoner vil også ha en innvirkning på strekkfastheten.

$$f_{ctm}(t) = (\beta_{cc}(t))^{\alpha} \cdot f_{ctm}$$

$f_{ctm}$  = middelerverdi av betongens aksialtrekkfasthet

$\alpha = 1$  for  $t < 28$  døgn

$\alpha = 2/3$  for  $t \geq 28$  døgn

Betongens sammensetning (med mest vekt på tilslaget) er avgjørende for betongens elastiske deformasjon.  $E_{cm}$  kalles sekantverdien, og tilnærmede verdier for denne finnes i punkt 3.1.3(2) i EC 2. For variasjon over tid kan følgende uttrykk brukes:

$$E_{cm}(t) = \left( \frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right)^{0.3} \cdot E_{cm}$$

Dimensjonerende trykkfasthet

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c}$$

$\gamma_c$  = materialfaktor

$\alpha_{cc}$  = koeffisient som forholder seg til virkning av langtidslast, samt ugunstig virkning som følge av lastpåføringsmåten, ligger mellom 0.8 og 1.0, anbefalt verdi = 1.0

Dimensjonerende strekkfasthet

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk,0.05}}{\gamma_c}$$

$\alpha_{ct}$  = koeffisient som forholder seg til virkning av langtidslast, samt ugunstig virkning som følge av lastpåføringsmåten, anbefalt verdi = 1.0

### **Armeringsstål:**

For denne oppgaven benyttes det armeringsstål B500C. Flytegrensen,  $f_{yk} = 500$ MPa, er dermed innenfor Eurokodens krav for gyldighet angående anvendelse av gitte regler, som ligger mellom 400MPa og 600MPa. Fra punkt 3.2.2(3) i EC 2. [1]

For dimensjonering kan én av forutsetningene nedenfor velges som grunnlag. Figur 19 viser spenning- og tøyningkurven, både for idealisert og dimensjonerende tilfelle.

- Øvre del av kurve som er stigende:

$$\varepsilon_{ud} = 0.9\varepsilon_{uk}$$

$\varepsilon_{ud}$  = dimensjonerende tøyning i armering ved største last, settes som tøyningsgrense for gjeldende tilfelle

$\varepsilon_{uk}$  = karakteristisk tøyning ved største last

$$\sigma_{max} = \frac{k f_{yk}}{\gamma_s}$$

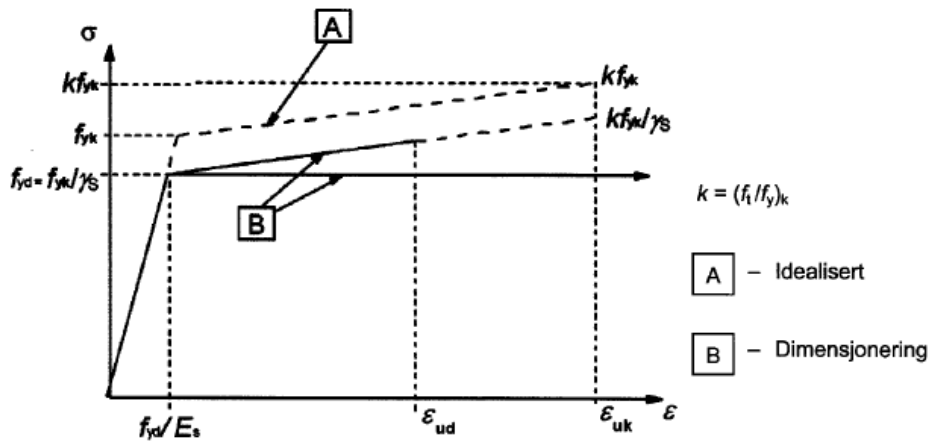
$\sigma_{max}$  = størst spenning ved karakteristisk tøyning ved største last,  $\varepsilon_{uk}$

$k = (f_t/f_y)_k \rightarrow$  verdi finnes i Eurokodens tillegg C

$f_{yk}$  = karakteristisk flytegrense for armeringen

$\gamma_s$  = materialfaktor for armeringen

- Øvre del av kurve som er horisontal, hvor grensetøyningen ikke er nødvendig å påvise



Figur 19 - Spennings- og tøyningkurve for armeringsstål [1]

Densiteten,  $\rho$ , kan antas å være 7850 kg/m<sup>3</sup>. Og armeringens E-modul,  $E_s$ , kan antas å være 200 GPa. (pkt 3.2.7, [1])

### Spennstål:

For spennstål bør det brukes stål med høy fasthet dersom det skal oppnås full forspenning. Dette kan begrunnes med at spennkraft tapet reduseres prosentvis ved bruk av stål med høy fasthet fremfor vanlig armeringsstål. [5]

Det kan brukes tråd, stenger og tau som spennarmering for dimensjonering etter regler i Eurokoden. (pkt 3.3.1(1), [1])

Aktuelle verdier for spennarmering er:

- strekkfasthet,  $f_{pk}$
- 0.1% strekkgrense,  $f_{p0.1k}$
- og tøyning ved største belastning,  $\epsilon_{uk}$

Alle disse verdiene er karakteristiske verdier. (pkt 3.3.1(5), [1]) Dimensjoneringen foretas med utgangspunkt i disse verdiene i tillegg til nominelt tverrsnittsareal for spennarmeringen. (pkt 3.3.6(1), [1])

Densiteten for spennarmering kan antas å være det samme som for slakkarmeringen, 7850 kg/m<sup>3</sup>. Spennarmeringens E-modul,  $E_p$ , kan antas å være 205 GPa for tråd og stenger, og 195 GPa



for tau. De egentlige verdiene for elastisitetsmodulen kan variere noe utenfor angitte verdier. (pkt 3.3.6(3) og pkt 3.3.6(4), [1])

For dimensjonering kan én av forutsetningene nedenfor velges som grunnlag. Spenning- og tøyningsskurve for både idealisert og dimensjonerende tilfelle er vist i Figur 20.

- Øvre del av kurve som er stigende:

Tøyningsgrense  $\epsilon_{ud}$  benyttes.

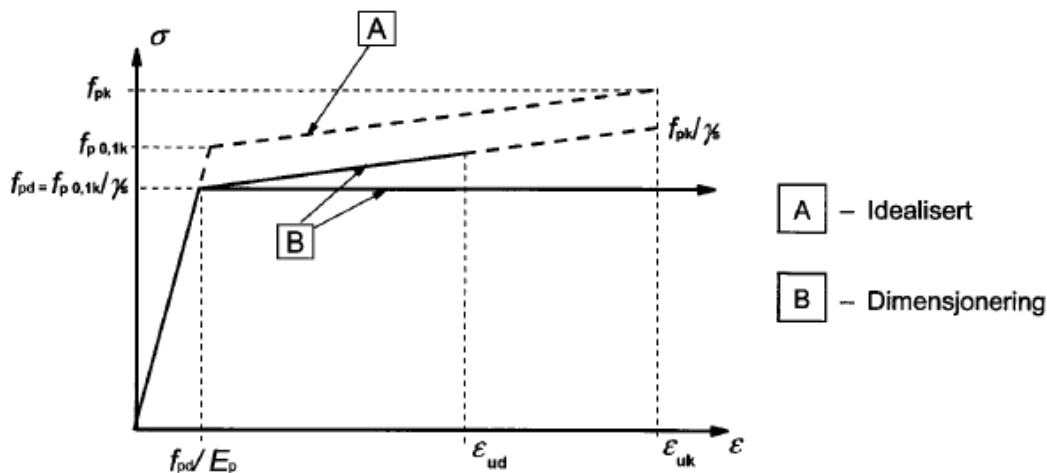
$$\epsilon_{ud} = 0.9\epsilon_{uk}$$

$\epsilon_{ud}$  = kan settes lik 0.02 dersom det ikke er kjennskap til mer nøyaktige verdier

$\frac{f_{p0.1k}}{f_{pk}}$  = kan settes lik 0.9 dersom det ikke er kjennskap til mer nøyaktige verdier

Hvis den faktiske spennings- og tøyningssammenhengen er kjent, kan dimensjoneringen baseres på denne med redusert spenning over den elastiske grensen.

- Øvre del av kurven som er horisontal. Tøyningsgrense benyttes ikke.



Figur 20 - Spennings- og tøyningsskurve for spennstål [1]

### **Minimumsarmering**

For å unngå store riss, sprø bruddformer og for å ta opp tvungne krefter settes det krav til minimumsarmering. (pkt 9.1(3), [1])

Minimumsarmering (pkt 9.2.1.1, [1]) i Eurokoden gir følgende formel for beregning:

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_w d \geq 0.0013 b_w d$$

$f_{ctm}$  = betongens strekkfasthet

$f_{yk}$  = karakteristisk flytegrense for armeringsstål

Brukes det mindre armering enn minimumskravet anses tverrsnittet som uarmert. (pkt 9.2.1.1(2), [1])

I spennarmerte konstruksjoner hvor det brukes spennarmering uten heft (uinjisert), bør påvisning av momentkapasiteten i bruddgrensetilstanden være større enn ved moment som gir opprissing. Moment for opprissing multiplisert med 1.15 er tilfredsstillende som momentkapasitet. (pkt 9.2.1.1(4), [1])

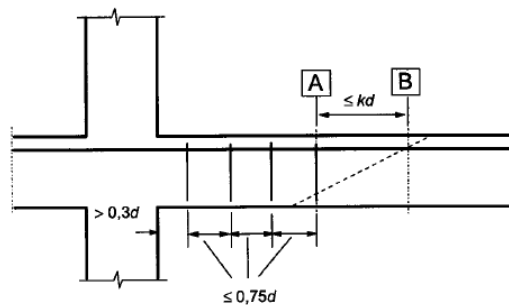
Ved behov for skjærarmering i flatdekker brukes følgende uttrykk for å bestemme minimumsarmeringen: (pkt 9.3.4(2), [1])

$$A_{sw,min} = \frac{1.5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha}{s_r \cdot s_t} \geq 0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$\alpha$  = vinkel mellom skjærarmering og hovedarmering

$s_r$  = senteravstand i radiell retning mellom bøylebein

$s_t$  = senteravstand i tangentiell retning mellom bøylebein

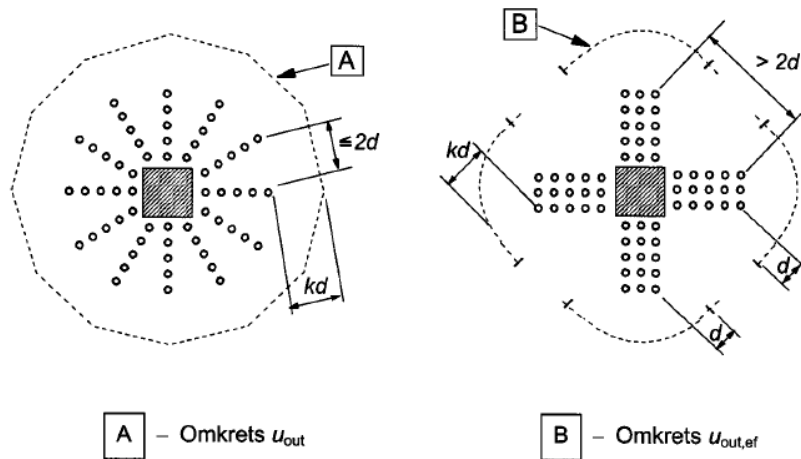


**A** – ytre kontrollsnitt der skjærarmering er nødvendig

**B** – første kontrollsnitt der skjærarmering ikke er nødvendig

Figur 21 - Fordeling av skjærarmering [1]

I de tilfeller der skjærarmering er nødvendig, plasseres skjærarmeringen som vist i Figur 21. Fordelingen av skjærarmering foregår i minst to rader av bøylebein, og radene bør ikke overskride lengden  $0.75d$ . Langs omkretsen av kontrollsnittet og innenfor, bør senteravstanden mellom bøylebein ikke overskride  $1.5d$ . Utenfor kontrollsnittet bør senteravstanden ikke overskride  $2d$ . (pkt 9.4.3(1), [1])



Figur 22 - Kontrollsnitt innvendige søyler [1]

Når det gjelder beregning av skjærkraftkapasiteten tas det kun hensyn til vertikale bidrag fra spennarmering som ligger innenfor  $0.5d$  fra søylekanten. (pkt 9.4.3(2), [1])

### 3.2 Spennkraft og tap av spennkraft

Den opprinnelige oppspenningen vil reduseres noe. Dette kommer av flere forskjellige årsaker, og kalles spennkrafttap. Spennkrafttap kan deles i primært 3 grupper:

- Tap av tøyningdifferanse
- Spenningsendring pga korttidslast
- Tidsavhengige tap

Den første kategorien gjelder for spennkrafttap i spennarmert betong hvor det ikke finnes heftforbindelse. Med andre ord gjelder dette for etteroppspent betong uten injisering eller for etteroppspent betong før injiseringen har funnet sted. I denne kategorien kan spennkrafttapet skyldes forhold ved låsetap, friksjonstap og temperaturtap.

Tap av spennkraft i neste kategori kan oppstå i førroppsente elementer i det øyeblikk spennarmeringen kappes og ikke lenger er fastholdt i motholdskonstruksjonen, eller i etterroppsente konstruksjoner som blir spent opp trinnvis (f.eks. bro).

Den siste kategorien skyldes opptredener som kryp, svinn og relaksasjon.

Eurokoden sier også at det må beregnes tap som skyldes betongens elastiske deformasjon som gir en umiddelbar virkning.

Nedenfor gjennomgås beregningene som må utføres for de forskjellige tapene. Temperaturtap og spenningsendring pga korttidslast vil ikke bli nærmere utdypet i denne rapporten da dette er mest aktuelt for førroppsente konstruksjoner. De forskjellige typene tap blir kategorisert her under umiddelbare tap eller tidsavhengige tap. [5]

### 3.2.1 Umiddelbare tap

#### 3.2.1.1 Låsetap

Umiddelbart etter påføring av oppspenningskraft vil det skje et såkalt låsetap. Dette er en forkortelse som oppstår når spennstålet blir før kilen har låst seg fast, og det skjer i den aktive enden hvor jekkraften påføres. [5]

Formel for forkortelsen:

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

$\Delta \varepsilon_{lås}$  = relativ forkortelse

$\Delta L_{lås}$  = glidning

$L$  = spennstålets lengde

Denne formelen uttrykker den konstante tøyingsreduksjonen som skjer over hele lengden av spennstålet, og er kun gyldig dersom det ikke finnes friksjon mellom spennstålet og spennarmeringsrøret. [5]

For spennstålet blir oppspenningstøyningen beregnet etter:

$$\varepsilon_{p,jekk} = \frac{P_{jekk}}{E_p A_p}$$

$\varepsilon_{p,jekk}$  = spennstålets oppspenningstøyning

$P_{jekk}$  = avlest jekkraft

$E_p$  = E-modul for spennstålet

$A_p$  = spennarmeringens tverrsnittareal

Låsetapet blir da:

$$L_{låsetap} = \frac{\Delta \varepsilon_{lås}}{\varepsilon_{p,jekk}}$$

Og spennkrafttapet blir:

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

Maksimal forspenningskraft er:

$$P_{max} = A_p \cdot \sigma_{p,max}$$

$\sigma_{p,max} = \min\{0.8 f_{pk}; 0.9 f_{p0.1k}\}$  = største spennkraft som påføres spennkabelen

Låsetap kan kompenseres for ved å overspenne kabelen og gi den en større initial tøying. Kriteriet for overspenning er at jekkraften må kunne presiseres med en nøyaktighet på  $\pm 5\%$ . Maksimal forspenningskraft ( $P_{max}$ ) kan da økes til  $0.95 \cdot f_{p0.1k} \cdot A_p$ . (pkt 5.10.2.1(2), [1])

Spennkraften etter låsing,  $P_{p0}$ :

$$\frac{\Delta P}{P_{p0}} = \frac{\Delta \varepsilon_{lås}}{\varepsilon_{p0}} = \frac{\Delta L_{lås}/L}{\varepsilon_{p0}}$$

Den nevnte tøyingen etter låsetap i formelen over er:

$$\varepsilon_{p0} = \frac{P_{p0}}{E_p A_p}$$

For spennkraften gjelder da:

$$P_{max} = P_{jekk} \leq 0.95 \cdot f_{p0.1k} \cdot A_p$$

$$P_{p0} \leq \min \begin{cases} 0.8 f_{pk} A_p \\ 0.9 f_{p0.1k} A_p \end{cases}$$

### 3.2.1.2 Friksjonstap

Oppstår pga friksjon mellom spennstålet og røret det ligger i. Friksjonskreftene som oppstår vil motvirke glidningen mellom spennarmeringen og spennarmeringsrøret. Dette kan skyldes normaltrykk som oppstår i kurvaturen langs spennarmeringen (ved f.eks. parabelformet kabelprofil), og blir kalt kurvatureffekten. Det kan også skyldes tilleggskrumninger grunnet punktvisse armeringsstoler som holder armeringen på plass (ved f.eks. rettlinjet kabelprofil) og avhenger da av spennstålets lengde. Sistnevnte blir omtalt som lengdeeffekten. [5]

Formel for beregning av friksjonstapet:

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

$\mu$  = friksjonskoeffisient mellom spennarmering og spennarmeringsrøret

$\theta$  = sum av vinkelendringer over avstanden  $x$ , uavhengig av retning/fortegn

$k$  = utilsiktet vinkelendring for innvendige spennkabler, per lengdeenhet

$x$  = avstand fra aktiv ende til punktet hvor forspenningskraften er  $P_{max}$

Verdien for  $k$  vil ligge i intervallet  $0.005 < k < 0.01$  (pr. meter). (pkt 5.10.5.2(3), [1])

Denne verdien avhenger av flere faktorer. Avgjørende for bestemmelse av verdien til  $k$  er arbeidets kvalitet, vibrering av betong under utstøping, avstanden mellom spennkabelens understøttelser og hvilken type spennarmeringsrør som blir brukt.

Verdien for  $\mu$  avhenger av profil og forlengelse av spennkabelen, forekomst av rust og overflateegenskapene til spennarmeringen og spennarmeringsrøret. Tabell 5.1 i EC 2 kan brukes for å angi verdien til  $\mu$  dersom ikke annet er oppgitt. (pkt 5.10.5.2, [1])

Reduksjon av friksjonstapet kan oppnås ved følgende [5]:

- Redusere krumningen til spennkabelen slik at verdien for vinkelendringen  $\theta$  reduseres.
- Påføre jekkraft i begge ender. Med andre ord to aktive ender i stedet for en, slik at det opprinnelige tilleggstapet fra midten til passiv ende kan unngås.
- Overoppspenning som etterslakkes. Dette gjøres for å oppnå ønsket spennkraft i midten av konstruksjonen ved overoppspenning, og vil skape motsatt rettet friksjonskraft i ønsket lengde fra endene ved etterslakkingen.

### 3.2.1.3 Tap pga betongens elastiske deformasjon

Spennkrafttap som følge av betongens elastiske deformasjon og med hensyn til rekkefølgen på oppspenning av spennkablene. Tapet beregnes som midlere tap i hver spennkabel. (pkt 5.10.2.1, [1])

Formel for å beregne tapet er:

$$\Delta P_{el} = A_p \cdot E_p \cdot \Sigma \left[ \frac{j \cdot \Delta \sigma_c(t)}{E_{cm}(t)} \right]$$

$A_p$  = Spennarmeringens tverrsnittsareal

$E_p$  = Spennarmeringens E-modul

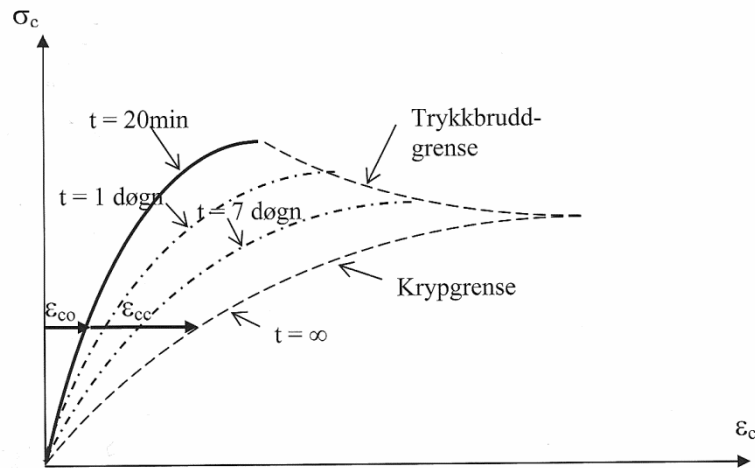
$\Delta \sigma_{cm}(t)$  = endring i spenning ved tp for spennkabel ved tidspunkt  $t$

$j$  = faktor tilsvarende  $[(n - 1)/2n]$  hvor  $n$  er antall identiske spennkabler som blir spent opp etter hverandre, og tilnærmet verdi kan settes lik 0.5. Eller settes den lik 1 for endringer som skyldes permanent påvirkning etter oppspenningskraften er påført.

## 3.2.2 Tidsavhengige tap

### 3.2.2.1 Kryp

Betong som blir utsatt for last over lang tid vil oppleve kryptøyning,  $\epsilon_{cc}$ . Se Figur 23. Slike langtidsvirkninger kan komme av f.eks. egenlast, spennkraft og nyttelast (langtidsandel). For å beregne dette spennkrafttapet må det finnes verdier for langtids E-modul for de forskjellige lastvirkningene.



Figur 23 - Kryp [5]

Formel for langtids E-modul:

$$E_{cL} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi}$$

$E_{cm}$  = E-modul for betong

$\varphi$  = kryptall

Kryptallet,  $\varphi$ , finnes i det nasjonale tillegget B i Eurokoden. Denne faktoren avhenger av temperatur og relativ fuktighet, sammensetningen til betongen og dimensjoner av konstruksjonsdelene. [5]

For enkelhets skyld, kan det regnes en midlere langtids E-modul, som tar hensyn til alle lastvirkningene samtidig.

Betongspenning ved spennarmeringens tyngdepunkt er:

$$\sigma_c^t = \frac{N}{A_t} + \frac{M_t}{I_t / (y - y_t)}$$

$N$  = Aksialkraft i det armerte tverrsnittet

$A_t$  = Transformert<sup>2</sup> tverrsnittsareal

$M_t$  = Moment som virker i det transformerte tverrsnittet

$I_t$  = Tregghetsmoment for transformert tverrsnitt

$y_t$  = Avstand fra betongens tyngdepunkt til tyngdepunktet ved det armerte tverrsnittet

$y$  =  $e$  i høyde med spennarmeringen

Generell tøyingsreduksjon:

$$\Delta \varepsilon_p = \left| \frac{\sigma_c^t}{E_{cm}} \right|$$

<sup>2</sup> Transformert tverrsnitt (beskrivelse hentet fra [5], s.238): "Hvor armeringstverrsnittet uttrykkes som et ekvivalent betongtverrsnitt"

Generell spenningsreduksjon:

$$\Delta\sigma_p = \Delta\varepsilon_p \cdot E_s$$

Tøyningsreduksjon, for henholdsvis korttids- og langtidslaster:

$$\varepsilon_{ck}^t = \Delta\varepsilon_{pk} = \frac{\sigma_c^t(korttid)}{E_{cm}}$$

$$\varepsilon_{cL}^t = \Delta\varepsilon_{pL} = \frac{\sigma_c^t(langtid)}{E_{cL}}$$

Spenningsreduksjon, for henholdsvis korttids- og langtidslaster:

$$\Delta\sigma_{pk} = \Delta\varepsilon_{pk} \cdot E_p$$

$$\Delta\sigma_{pL} = \Delta\varepsilon_{pL} \cdot E_s$$

Reduksjon av spenning pga kryp er dermed:

$$\Delta\sigma_{p,kryp} = \Delta\sigma_{pL} - \Delta\sigma_{pk}$$

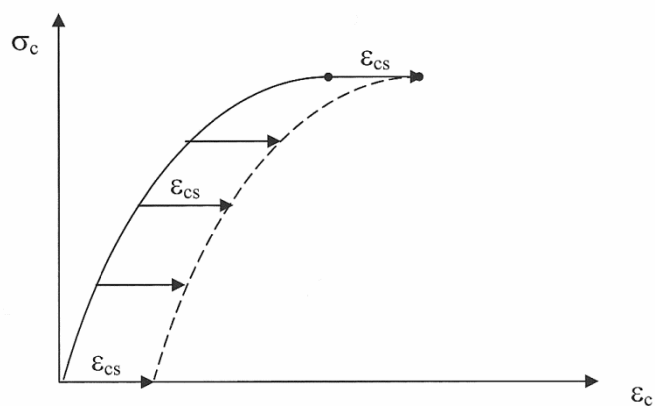
Spennkrafttapet blir da:

$$Tap\ pga\ kryp = \frac{\sigma_{p,kryp}}{\sigma_{p,max}}$$

### 3.2.2.2 Svinn

Når betongen tørker, krymper den, og det er dette som omtales som svinn.

Svinntøyningen,  $\varepsilon_{cs}$ , kommer fra to bidrag, uttørkingssvinn og autogent svinn, og er uavhengig av lastene som virker på konstruksjonen. Se Figur 24.



Figur 24 - Svinn [5]



Uttørkingssvinn,  $\varepsilon_{cd}$ , utvikles langsomt ettersom det er en forandrende verdi avhengig av fukttransporten gjennom herdnet betong.

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

$k_h$  = koeffisient, avhengig av effektiv tverrsnittstykkelse  $h_0$ , se tabell 3.3 i EC 2

$\varepsilon_{cd,0}$  = nominell verdi for uhindret uttørkingssvinn, se tabell 3.2 i EC 2

Autogent svinn,  $\varepsilon_{ca}$ , utvikles med betongens fasthetsutvikling, og derfor i størst grad på et tidlig stadium etter utstøping av betongen.

$$\varepsilon_{ca,\infty} = 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

$f_{ck}$  = betongens fasthet

Både uttørkingssvinn og autogent svinn kan beregnes mer nøyaktig med hensyn til betongens alder. Dette gjøres ved bruk av mer spesifikke formler angitt i EC 2 pkt 3.1.4, samt tillegg B.

Total svinntøyning er altså summen av uttørkingssvinn og autogent svinn:

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

Tøyningen som oppstår pga svinn er som følgende:

$$\Delta\varepsilon_{p,svinn} = \varepsilon_{cs} + \frac{N_s}{E_{middel} \cdot A_t} + \frac{N_s \cdot (e - y_t)^2}{E_{middel} \cdot I_t}$$

$\varepsilon_{cs}$  = fri svinntøyning for uarmert betong

$N_s$  = fiktiv kraft (armeringen får samme tøyning som svinntøyningen)

$E_{middel}$  = midlere E-modul

$A_t$  = Transformert tverrsnittsareal

$I_t$  = Treghetsmoment for transformert tverrsnitt

$y_t$  = Avstand fra betongens tyngdepunkt til tyngdepunktet ved det armerte tverrsnittet

$e$  = Avstand fra betongens tyngdepunkt til senter for armering

Den fiktive kraften nevnt ovenfor beregnes slik:

$$N_s = |\varepsilon_{cs}| \cdot E_p A_p$$

Denne gir armeringen samme tøyning som  $\varepsilon_{cs}$ .

Spennarmeringens spenningsendring pga svinn blir da:

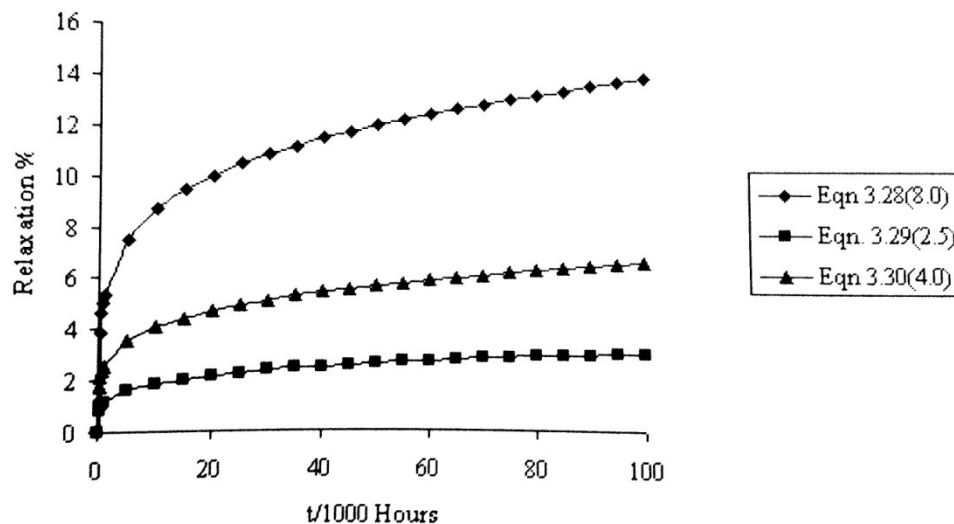
$$\Delta\sigma_{p,svinn} = \Delta\varepsilon_{p,svinn} \cdot E_p$$

### 3.2.2.3 Relaksasjon

Tap av spenning som oppstår når stålet blir utsatt for konstant tøyning over lang tid. Det er på samme måte som betong opplever tidsavhengig deformasjon pga kryp, bortsett fra at det er en endring i tøyning ved kryp og endring av spenning ved relaksasjon. [5], [6], [8]

Det finnes 3 kategorier for relaksasjon, og disse er definert på følgende måte:

- Klasse 1: for tråd eller tau – vanlig relaksasjon
- Klasse 2: for tråd eller tau – lav relaksasjon
- Klasse 3: for varmvalsede og bearbejdede stenger



Figur 25 - Relaksasjonskurver for forskjellige typer stål [6]

Ved beregning av relaksasjonstapet brukes verdien  $\rho_{1000}$ . Denne verdien er basert på prosentvis relaksasjonstap 1000 timer (ca 42 dager) etter oppspenning, og med en gjennomsnittstemperatur på 20°C. Se Figur 25.

Forutsatte verdier for de forskjellige relaksasjonsklassene er:

- Klasse 1:  $\rho_{1000} = 8\%$
- Klasse 2:  $\rho_{1000} = 2.5\%$
- Klasse 3:  $\rho_{1000} = 4\%$

Verdien av  $\rho_{1000}$  uttrykkes som en prosentandel av den initielle spenningen og bestemmes for en initiell spenning tilsvarende  $0.7f_{pk}$ .

Størrelsen av  $\rho_{1000}$  settes som en prosentandel av den initielle spenningen. Den bestemmes for en initiell spenning som tilsvarer 70% av den karakteristiske strekkfastheten til stålet  $\rightarrow 0.7f_{pk}$ . (pkt 3.3.2, [1])

Spennkrafttapet pga relaksasjon kan beregnes ved følgende formler (sortert etter relaksasjonsklasse):

- Klasse 1:

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 5.39 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{6.7\mu} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}$$

- Klasse 2:

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

- Klasse 3:

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 1.98 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{8\mu} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}$$

$\Delta\sigma_{pr}$  = verdi av relaksasjonstapet

$\sigma_{pi}$  = for etterspente konstruksjoner, absolutt verdi av initiell forspenning

for før oppspente konstruksjoner, største strekkpenning minus tap som følge av den elastiske deformasjonen

$t$  = antall timer etter oppspenning

$\mu = \sigma_{pi} / f_{pk}$

$f_{pk}$  = karakteristisk strekkfasthet for spennstålet

$\rho_{1000}$  = prosentvis relaksasjonstap 1000 timer etter oppspenning og med en gjennomsnittstemperatur på 20 °C

Langtidsverdiene for relaksasjonstapet beregnes ved å sette  $t$  lik en halv million timer, som tilsvarer approksimativt 57 år. [1]

Ved variabel spenning i spennarmeringen bør tillegg D i Eurokoden brukes for detaljert beregningsmetode.

Spenningsendring pga relaksasjon,  $\Delta\sigma_{pr}$ , påvirkes også av kryp og svinn i betongen. Dette kan tas hensyn til ved å multiplisere  $\Delta\sigma_{pr}$  med en reduksjonsfaktor lik 0.8. (pkt 5.10.6(1), [1])

### 3.2.2.4 Samlet virkning

Virkingen av kryp og svinn i betongen, og relaksasjonen i spennstålet, samles for å gi et totalt spennkrafttap. Dette kan gjøres ved å summere de enkeltes prosentvise verdi for tap av spennkraft. Ellers kan det benyttes denne forenklete beregningsmetoden som står i Eurokoden:

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \cdot \Delta\sigma_{c+s+r} = A_p \cdot \frac{\varepsilon_{cs} E_s + 0.8\Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2\right) [1 + 0.8\varphi(t, t_0)]}$$

$\Delta\sigma_{c+s+r}$  = samlet spenningsendring for kryp, svinn og relaksasjon

$\varepsilon_{cS}$  = beregnet svinntøyning

$E_p$  = E-modul for spennstål

$E_{cm}$  = E-modul for betong

$\Delta\sigma_{pr}$  = spenningsendring pga relaksasjon

$\varphi(t, t_0)$  = kryptall ved tidspunkt  $t$ , gått ut fra lastpåføring ved tidspunkt  $t_0$

$\sigma_{c,QP}$  = betongspenning ved spennkablene forårsaket av initiell forspenning og egenlast

$A_p$  = spennarmeringens tverrsnittsareal

$A_c$  = betongens tverrsnittsareal

$I_c$  = betongtverrsnittets treghetsmoment

$z_{cp}$  = avstand mellom betongtverrsnittets tyngepunkt og spennarmeringen

### 3.3 Bruksgrensetilstand

Bruksgrensetilstand er definert i punkt 1.5.2(14) i NS-EN 1990 [2]:

*"tilstander som danner grensen for når konstruksjonen eller konstruksjonsdelene ikke lenger oppfyller fastsatte krav ved normal bruk"*

Bruksgrensetilstand, eller SLS (Service Limit State), omfatter beregninger som spenningsbegrensning, rissviddebegrensning og nedbøyningsbegrensning. [1]

Tverrsnittet bør forutsettes å være uopprissede ved beregning av spenninger og nedbøyninger. Dette avhenger igjen av at bøyestrekkspenningen ikke overskrider  $f_{ct,eff}$ . Den nevnte verdien kan settes lik  $f_{ctm}$  eller  $f_{ctm,fl}$  med krav om at beregning av minimumsarmering er basert på samme verdi. (pkt 7.1(2), [1])

#### 3.3.1 Spenningsbegrensning

Spenning i betongen er som tidligere nevnt:

$$\sigma_c = \frac{N}{A_t} + \frac{M_t}{I_t/(y - y_t)}$$

Innsatt med disse:

$$N = -P_0$$

$$M_t = M - N \cdot y_t = -P_0(e - y_t)$$

Gir da en formel der betongspenninger på et hvilket som helst nivå kan regnes ut:

$$\sigma_c = -\frac{P_0}{A_t} - \frac{P_0(e - y_t)(y - y_t)}{I_t}$$

**Trykkspenning i betongen:**

For å unngå riss i lengderetningen, mikroriss eller kryptformasjoner som kan føre til uakseptable virkninger på konstruksjonen, skal trykkspenninger i betongen begrenses.

Dersom spenningsnivået for den gitte lastkombinasjonen overskrider kritisk verdi kan riss oppstå i lengderetningen. Dette kan gi en reduksjon i betongens bestandighet og derfor bør trykkspenningene begrenses til følgende for betong i miljøklasse XD, XF og XS:

$$\sigma_c \leq 0.6f_{ck}$$

Det kan antas lineær kryptøyning hvis betongspenningen under bortimot permanente laster er innenfor dette kravet:

$$\sigma_c \leq 0.45f_{ck}$$

Hvis ikke, bør det tas hensyn til ikke-linearitet for kryptøyningen. (pkt 7.2, [1])

Trykkspenning i betongkonstruksjonen, som følge av belastninger og forspenningskraft, har det samme kravet som for vanlig armert betong, bortsett fra at det i tillegg tas hensyn til betongens karakteristiske trykkfasthet ved tidpunktet,  $t$ , når spennkraften påføres:

$$\sigma_c \leq 0.6 f_{ck}(t)$$

$f_{ck}(t)$  = karakteristisk trykkfasthet ved tidspunkt  $t$ , når spennkraften påføres. (pkt 5.10.2.2(5), [1])

Det står også i Eurokoden at dersom trykkspenningen på permanent basis overskrider  $0.45f_{ck}(t)$  bør kryptets ikke-linearitet tas hensyn til. Med andre ord det samme som står ovenfor, men også her med hensyn til tidpunktet,  $t$ , for når spennkraften blir påført.

**Strekkspenning i armeringen:**

Strekkspenning i armering skal beregnes. Dette gjøres for å unngå in-elastisk tøyning, uakseptabel deformasjon eller opprissing. Kan antas unngått dersom følgende kriteriet er oppfylt for den karakteristiske lastkombinasjonen. (pkt 7.2, [1])

$$\sigma_s \leq 0.8f_{yk}$$

$f_{yk}$  = karakteristisk flytegrense for armeringen

Dersom spenningen er fremkalt av deformasjon, bør følgende kriteriet oppfylles:

$$\sigma_s \leq f_{yk}$$

Spenning i spennkabler (middelverdi) bør ikke overskride:

$$\sigma_p \leq 0.75f_{yk}$$

### 3.3.2 Rissviddebegrensning

Det må sjekkes at opprissing er begrenset slik at konstruksjonens funksjon og bestandighet ikke skades. Det skal også sjekkes i forhold til at konstruksjonen beholder et akseptabelt utseende. Opprissing er ikke uvanlig i armerte betongkonstruksjoner, og oppstår av flere årsaker. Disse kan være konstruksjonens ytre belastning, plastisk svinn eller kjemiske reaksjoner som oppstår i den herdede betongen. (pkt 7.3.1, [1])

Rissvidder ses i sammenheng med miljøpåkjenning. Nedenfor i Tabell 4 vises tillatte rissvidder sortert etter eksponeringsklasse:

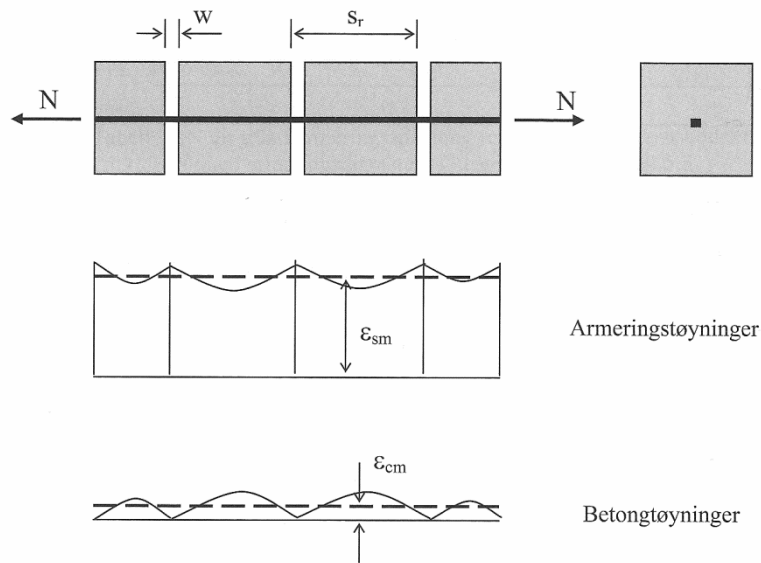
Tabell 4 - Tillatte rissvidder [5]

| Eksponerings-<br>klasse       | Armerte konstr.deler og forspente<br>konstr.deler uten kontinuerlig<br>samvirke |                    | Forspente konstruksjonsdeler med<br>spennarmering med kontinuerlig<br>samvirke |                    |
|-------------------------------|---|--------------------|--|--------------------|
|                               | Lastkombinasjon   | Grenseverdi        | Lastkombinasjon  | Grenseverdi        |
| <b>X0</b>                     | Tilnærmet permanent   | 0,40               | Ofte forekommende  | 0,30k <sub>c</sub> |
| <b>XC1, XC2,<br/>XC3, XC4</b> | Tilnærmet permanent   | 0,30k <sub>c</sub> | Ofte forekommende  | 0,20k <sub>c</sub> |
| <b>XD1, XD2,<br/>XS1, XS2</b> | Tilnærmet permanent   | 0,30k <sub>c</sub> | Ofte forekommende  | 0,20k <sub>c</sub> |
|                               |   |                    | Tilnærmet permanent  | Trykkavlastn.      |
| <b>XD3, XS3</b>               | Ofte forekommende   | 0,30k <sub>c</sub> | Tilnærmet permanent  | Trykkavlastn.      |
| <b>XSA</b>                    | Vurderes særskilt   |                    | Vurderes særskilt  |                    |

For å ta hensyn til virkning av større overdekning enn det som er krav med hensyn til bestandighet, brukes faktoren  $k_c$ . Denne bestemmes ut i fra:

$$k_c = \frac{c_{nom}}{c_{min,dur}} \leq 1.3$$

Rissvidder kan enten beregnes, eller den kan bestemmes ved kontroll av armeringsspenningen, hvor stangstørrelsen og/eller senteravstanden begrenses.



Figur 26 - Riss og tøyninger i armert betong [5]

I Figur 26 vises rissvidder ( $w$ ), rissviddeavstand ( $s_r$ ), midlere tøyning i betong og armering (hhv.  $\epsilon_{cm}$  og  $\epsilon_{sm}$ ). Betongens og armeringens deformasjon må være like, derfor vil:

$$w + s_r \epsilon_{cm} = s_r \epsilon_{sm}$$

Dermed kan rissvidder beregnes slik:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

$s_{r,max}$  = største rissavstand

$\epsilon_{cm}$  = midlere tøyning mellom riss i betongen

$\epsilon_{sm}$  = midlere tøyning i armeringen

Differansen mellom  $\epsilon_{sm}$  og  $\epsilon_{cm}$  kan beregnes slik (pkt 7.3.4, [1]):

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$\sigma_s$  = spenning i strekkarmeringen i et opprisset tverrsnitt =  $E_s \epsilon_s$

$k_t$  = faktor avhengig av lastens varighet

= 0.6 for kortvarig

= 0.4 for langvarig

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$

$f_{ct,eff}$  = middelverdi av strekkfasthet i betongen for det tidspunkt opprissing forventes å skje

$\rho_{p,eff} = (A_s + \xi_1^2 A'_p) / A_{c,eff}$

Ellers kreves det der hvor det er krav om rissbegrensning i områder hvor konstruksjonen kan oppleve strekk at det brukes minimumsarmering med heft for å begrense rissutvikling. (pkt 7.3.2, [1])

$$A_{s,min}\sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct}$$

$A_{s,min}$  = minimumsarmering i strekksonen

$\sigma_s$  = absoluttverdi av størst tillatt spenning, kan antas lik  $f_{yk}$ , armeringens flytegrense

$k_c$  = koeffisient som tar hensyn til den spenningsfordelingen som finnes for tverrsnittet umiddelbart før oppspenning og til endringen som skjer i den indre momentarmen

$k$  = koeffisient som tar hensyn til følgen av ujevn spenningsfordeling i tverrsnittet med indre likevekt

$f_{ct,eff}$  = middelværdi av betongens strekkfasthet =  $f_{ctm}$  eller  $f_{ctm}(t)$  alt etter når det forventes at opprissing fremtrer

$A_{ct}$  = betongens tverrsnittsareal i strekksonen, umiddelbart før riss dannes

For mer utfyllende formler og verdier, se punkt 7.3.2 som tar for seg minimumsarmering i Eurokoden.

Den forenklete metoden for rissviddeberegning gjennomgås i punkt 7.3.3 i EC 2. [1]

### 3.3.3 Nedbøyningsbegrensning

Deformasjon av konstruksjoner eller konstruksjonsdeler skal være slik at den ikke påvirker dens opprinnelige funksjon eller utseende på en uheldig måte.

Dersom nedbøyningen for en plate, bjelke eller utkrager overskrider *spennvidde/250*, hvor permanente laster er inkludert, vil konstruksjonens utseende og funksjon muligens være redusert.

For en ferdig konstruksjon er det satt en grenseverdi for nedbøyning, som kan skade tilstøtende deler, lik *spennvidde/500*.

Nedbøyning kan enten kontrolleres ved beregning eller ved å begrense forholdet mellom tverrsnittshøyde og spennvidde. (pkt 7.4, [1])

For å beregne nedbøyning på den mest nøyaktige måten vil det være aktuelt å beregne krumning i flere snitt og deretter beregne nedbøyning ved hjelp av numerisk integrasjon. Det vil i de fleste tilfeller være tilfredsstillende å beregne for de ytre grensene; uopprisset tilstand og fullstendig risset tilstand, for så å interpolere ved bruk av denne formelen:

$$\alpha = \zeta \alpha_{||} + (1 - \zeta) \alpha_{\perp}$$

$\alpha$  = deformasjonsparameter; tøyning, krumning eller nedbøyning

$\zeta$  = fordelingskoeffisient, tar hensyn til stivhetsøkning fra betong mellom riss

$\alpha_{\perp}, \alpha_{||}$  = parameter for urisset og fullstendig opprisset respektivt



$$\zeta = 1 - \beta \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2$$

$\zeta = 0$ , for urisset tilstand

$\beta$  = koeffisient som tar hensyn til virkning av varigheten til belastningen, eller virkning av gjentatt belastning

= 1.0 kortvarig og enkel belastning

= 0.5 langvarig eller gjentatt belastning

$\sigma_{sr}$  = spenning i strekkarmering som følge av lastforhold som årsak til første opprissing i et opprisset tverrsnitt

$\sigma_s$  = spenning i strekkarmering i et opprisset tverrsnitt

$\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}$  kan erstattes av  $\frac{M_{cr}}{M}$  eller  $\frac{N_{cr}}{N}$  for enten bøyning eller rent strekk, hvor  $M_{cr}$  er rissmoment og  $N_{cr}$  er aksial risskraft. (pkt 7.4.3, [1])

For å finne nedbøyning uten beregning vises det til Eurokoden punkt 7.4.2. [1] Dette vil ikke utdypes her, da det ikke er mulig å bruke for spennarmert betong.

Ved bruk av spennarmering i flatdekker, kan nedbøyningene begrenses i stor grad. Dette er nevnt tidligere som en av fordelene ved bruk av spennarmering generelt i en konstruksjon.

For flatdekker [10]:

Beregning for nedbøyning vil ikke kunne gi eksakte resultater. Dette skyldes i hovedsak to forhold:

- Den eksakte momentfordelingen som finnes ved hjelp av stripelastmetoden blir kun en tilnærming. Å finne nøyaktig momentfordeling som tar hensyn til rissdannelse er vanskelig uten å bruke en ikke-lineær analyse.
- Konstruksjonens stivhet avhenger i stor grad av rissdannelsen. Beregning av hvor riss fremtreder med utgangspunkt i antatt strekkfasthet er usikkert. Andre faktorer som kompliserer dette ytterligere er gjentatte og variable (bevegelige) laster som endrer fordelingen av momentet i konstruksjonen, og når det oppstår momentendringer vil det også oppstå endrede riss situasjoner.

Videre kompliseres beregningene på grunn av virkning i betongen mellom rissene, da dette reduserer armeringstøyningene. Det er ønskelig å se bort fra betongens virkning mellom riss, og det skal i utgangspunkt tas hensyn til svinntøyninger. Men her kan det med fordel ses bort fra svinntøyningene da disse er rettet motsatt av betongens virkning mellom riss. Dermed kan begge effekter neglisjeres, og forenkler beregningene samtidig.

Ved å bruke forenklete beregningsmetoder vil nedbøyningene bli større enn i virkeligheten.

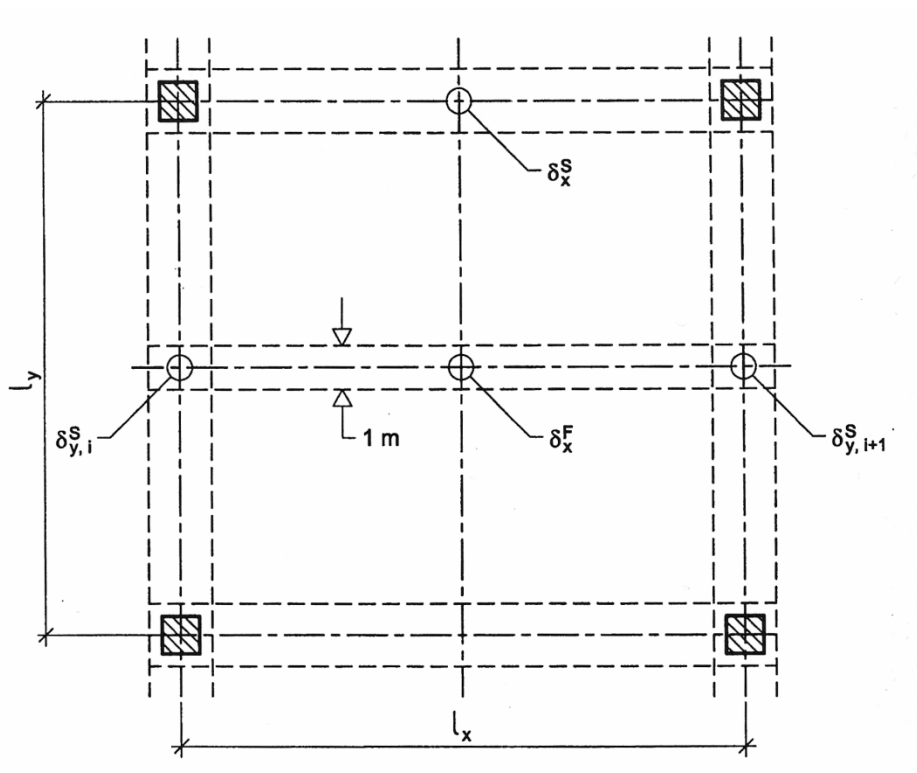
For å finne nedbøyningen i midten av platen, kan det forenklet beregnes som summen av nedbøyning i x-retningens søylestripe og y-retningens feltstripe, eller som summen av y-retningens søylestripe og x-retningens feltstripe. Se Figur 27 for illustrasjon.

$$\delta_1 = \delta_x^S + \delta_y^F$$

$$\delta_2 = \delta_y^S + \delta_x^F$$

For å oppnå et mer nøyaktig resultat vil det være naturlig å finne middelveiden av disse to, slik at nedbøyningen blir:

$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$



Figur 27 - Nedbøyning [10]

### 3.4 Bruddgrensetilstand

Bruddgrensetilstand defineres i punkt 1.5.2.13 i NS-EN 1990 [2]:

*"tilstander som er knyttet til sammenbrudd eller andre lignende former for konstruksjonssvikt. Merknad: Bruddgrensetilstanden tilsvarer vanligvis den maksimale bæreevnen til en konstruksjon eller en konstruksjonsdel."*

Bruddgrensetilstander, eller ULS (Ultimate Limit State), omfatter beregninger for momentkapasitet og skjærkraftkapasitet.

### 3.4.1 Momentkapasitet

Forutsetningene nedenfor gjelder når momentkapasiteten til en armert eller forspent konstruksjon skal bestemmes: [1]

- Plane tverrsnitt forblir plane
- Tøyningen er lik for armering/spennarmering med heft og betong
- Spennings- og tøyningssammenheng i punkt 3.1.7 gjelder for spenning i betong under trykk
- Figur 3.8 i punkt 3.2.7 og figur 3.10 i punkt 3.3.6 brukes for å finne spenning i armeringsstålet og spennstålet respektivt
- Ved bestemmelse av spenning i spennkablene, legges spennkablenes initielle tøyning til grunn
- Betongens strekkfasthet neglisjeres

For å beregne kapasitet for bøyning må det defineres når brudd inntreffer. Dette gjøres ved å velge bruddkriterium. Ved å velge bruddkriterier for tøyning oppnås det samsvar på grunn av de idealiserte kurvene. For en vilkårlig tøyning har både betong og armering kun en spenningsverdi.

Bruddkriterier:

- Brudd i betongen når:

$$\varepsilon_c = \begin{cases} \varepsilon_{cu} \\ \varepsilon_{cu2} \\ \varepsilon_{cu3} \end{cases}$$

Om det er  $\varepsilon_{cu}$ ,  $\varepsilon_{cu2}$  eller  $\varepsilon_{cu3}$  avhenger av spennings- og tøyningssammenheng som er lagt til grunn.

- Brudd i armeringen når

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{ud}$$

Verdi for  $\varepsilon_{ud}$  finnes i tabell NA.3.5(901) i EC 2.

Dimensjonerende momentkapasitet for betongens trykksone:

$$M_{Rd} = K \cdot f_{cd} b d^2$$

$f_{cd}$  = dimensjonerende betongtrykkfasthet

$b$  = tverrsnittets bredde

$d$  = avstand fra toppen av tverrsnittet ned til armeringens senter

$K = \lambda \eta \cdot (1 - 0.5 \lambda \alpha) \alpha$  (se Tabell 6)

$\lambda$  = faktor som definerer trykksoneens effektive høyde = 0.8 for fasthetsklasse  $\leq$  B50

$\eta$  = faktor som definerer effektiv trykkfasthet = 1.0 for fasthetsklasse  $\leq$  B50

$\alpha = x/d$  (se Tabell 5)

Tabell 5 - Verdi for  $\alpha$  [5]

| Fasthetsklasse | B20-B45 | B55   | B65   | B75   | B85-B95 |
|----------------|---------|-------|-------|-------|---------|
| $\alpha$       | 0.412   | 0.383 | 0.359 | 0.346 | 0.342   |

Tabell 6 - Verdi for K [5]

| Fasthetsklasse | B20-B45 | B55   | B65   | B75   | B85   | B95   |
|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>K</b>       | 0.275   | 0.250 | 0.219 | 0.195 | 0.177 | 0.161 |

Den vanligste verdien for å beregne momentkapasiteten er 0.275, dermed er momentkapasiteten:

$$M_{Rd} = 0.275 \cdot f_{cd} b d^2$$

Ved fullt utnyttet trykksone:

$$M_{Ed} = M_{Rd}$$

$$M_{Ed} = f_{yd} A_s \cdot z$$

Av denne likevektsbetraktningen kan nødvendig armering finnes:

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z}$$

$f_{yd}$  = armeringens dimensjonerende flytegrense

$z$  = indre momentarm (se Tabell 7) =  $(1 - 0.5\lambda\alpha)d$

Tabell 7 - Verdi for  $z/d$  [5]

| Fasthetsklasse          | B20-B45 | B55   | B65   | B75   | B85   | B95   |
|-------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b><math>z/d</math></b> | 0.835   | 0.849 | 0.863 | 0.872 | 0.878 | 0.882 |

Bruksgrensekraft for nedbøyninger og riss vil vanligvis være dimensjonerende for plater.

Dermed er det sjeldent at plater får fullt utnyttet trykksone. I de tilfellene der trykksonen bare er delvis utnyttet ( $M_{Ed} < M_{Rd}$ ) vil  $z$  (indre momentarm) være annerledes enn angitt ovenfor. Det kan da brukes denne tilnærmelsen for  $z$ :

$$z = \left(1 - c \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) d$$

$$c = 1 - \frac{z}{d} \text{ (se Tabell 8 for verdier)}$$

Tabell 8 - Verdi for  $c$  [5]

| Fasthetsklasse | B20-B45 | B55  | B65  | B75  | B85-B95 |
|----------------|---------|------|------|------|---------|
| <b>C</b>       | 0.17    | 0.15 | 0.14 | 0.13 | 0.12    |

Det kan også finnes situasjoner hvor  $M_{Ed} > M_{Rd}$ . Dette er et tilfelle hvor det dimensjoneres slik at betongen må ha trykkarmering for å tåle det ytre dimensjonerende momentet. For å beregne nødvendig armering for et slikt tilfelle, vil det først bestemmes strekkarmering ( $A_{s1}$ ) for  $M_{Rd}$ . Deretter vil det bestemmes tilleggsarmering for både strekk- og trykksiden for det resterende ytre momentet som vil være [5]:

$$\Delta M_{Ed} = M_{Ed} - M_{Rd}$$

Armering for det resterende momentet [5]:

$$A_{s2} = \frac{\Delta M_{Ed}}{f_{yd} h'}$$

$h'$  = avstand mellom senter for armering på strekk- og trykkside

Endelig armering på strekkside:  $A_{s1} + A_{s2}$

Endelig armering på trykkside:  $A_{s2}$

Ved dimensjonering for bøyemoment i en spennarmert konstruksjon, kan spennkraften ses på på to måter. Enten som en ytre last, eller som en indre motstand i konstruksjonen. Førstnevnte er vanlig å bruke for bruddgrenseberegninger, når spennarmeringen befinner seg på trykksiden. Da vil beregningene utføres ved hjelp av M-N diagrammer. Den andre metoden egner seg bedre når spennarmeringen befinner seg på strekksiden i tverrsnittet. Det vil som oftest forekomme når tverrsnittet belastes av momenter fra egenlast og nyttelast i tillegg til spennkraften.

For beregning av moment og armeringsmengde grunnet påvirkning av spennkraften:

$$M_p = f_{pd} \cdot A_p \cdot z_{cp}$$

$z_{cp}$  = avstand mellom betongens tyngdepunkt og spennarmeringen

$$A_s = \frac{M_{Ed} - M_p}{f_{yd} \cdot z}$$

$A_s$  blir her nødvendig slakkarmering i tillegg til spennarmeringen. Dersom denne verdien er mindre enn  $A_{s,min}$  skal det armeres etter  $A_{s,min}$ . [1]

### 3.4.2 Skjærkraftkapasitet

#### Generelt:

I tilfeller hvor dimensjonerende skjærkraft er mindre eller lik den dimensjonerende skjærkraftkapasiteten for en konstruksjonsdel uten skjærarmering vil det heller ikke være et beregningsmessig behov for skjærarmering (pkt 6.2.1, [1]):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

Hvis skjærkraftkapasiteten derimot overskrider verdien for dimensjonerende skjærkraft vil det være et beregningsmessig behov for skjærarmering (pkt 6.2.1, [1]):

$$V_{Ed} > V_{Rd,c}$$

Den dimensjonerende skjærkraften, som ikke tar hensyn til en eventuell reduksjonsfaktor ( $\beta$ ), må alltid oppfylle denne betingelsen (pkt 6.2.2(6), [1]):

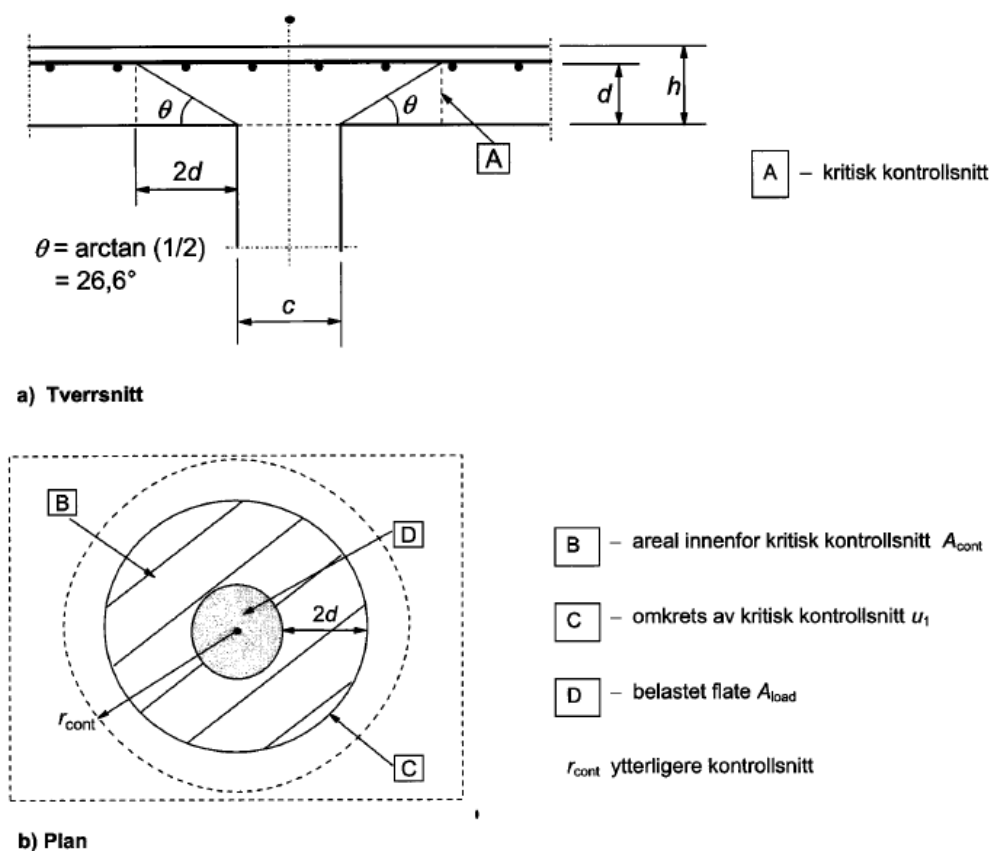
$$V_{Ed} \leq 0.5 b_w d v f_{cd}$$

$v$  = reduksjonsfaktor for betongfasthet opprisset på grunn av skjærkraft

$$v = 0.6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

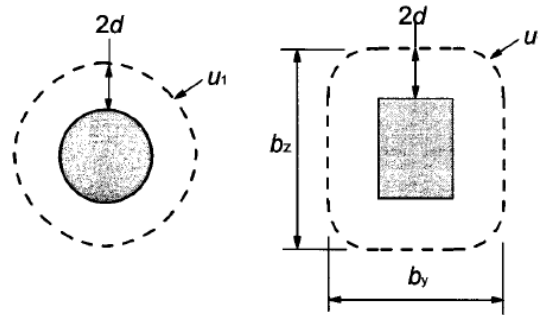
Det skal videre utdypes om skjærkraft fra konsentrerte laster. Flatdekker vil oppleve en konsentrert last der hvor søylene er. Lasten fra dekkets egenvekt samt nyttelast tas opp av søylene som dekket står på. Søylene har relativt lite areal i kontakt med dekket i forhold til lasten som virker på søylene, og det er i den forbindelse gjennomlokking nevnes som et mulig problem.

Beregningsmodell for skjærkraftkapasitet i Figur 28.



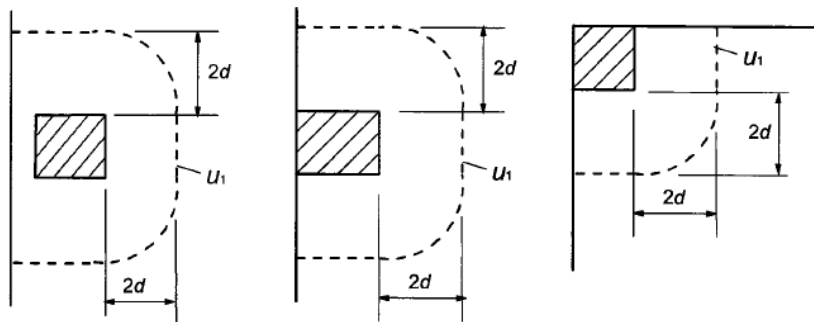
Figur 28 - Kontrollsnitt for beregning i bruddgrensetilstand [1]

Ved kontroll av skjærkraftkapasiteten ses det på skjærkraften som virker ved søylens kant og ved omkretsen til det kritiske snittet som blir kalt  $u_1$  på Figur 29. Denne omkretsen antas å være lik  $2d$  utenfor søylekant. Dersom det påvises behov for skjærarmering, må det også kontrolleres i et snitt utenfor det kritiske området for å bekrefte at det ikke trengs skjærarmering lenger. (pkt 6.4.1, [1])



Figur 29 - Kontrollsnitt for sirkulære og rektangulære søyler [1]

Ved belastning nær kant eller hjørne vil det kritiske kontrollsnittet antas som vist på Figur 30 under.



Figur 30 - Kontrollsnitt ved kant eller hjørne [1]

Dersom avstanden er mindre enn  $d$ , hvor belastningen befinner seg nær kant eller hjørne, skal det foretas spesiell sidekantarmoring i henhold til punkt 9.3.1.4 i Eurokoden. [1]

Langs kontrolltverrsnittet defineres dimensjonerende skjærspenninger på følgende måte:

$v_{Rd,c}$  = dimensjonerende skjærspenningskapasitet uten skjærarmoring for en plate med konsentrert last

$v_{Rd,cs}$  = dimensjonerende skjærspenningskapasitet med skjærarmoring for en plate med konsentrert last

$v_{Rd,max}$  = dimensjonerende maksimal skjærspenningskapasitet for konsentrert last

For skjærkrefter ved konsentrerte laster bør det utføres følgende kontroller:

- Ved kanten av søylen begrenses skjærspenningen til:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max}$$

- Det er ikke nødvendig med skjærarmoring når:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$$

- Skjærarmering legges som beskrevet i punkt 6.4.5 i Eurokoden dersom:

$$v_{Ed} > v_{Rd,c}$$

Største skjærspenning dersom opplagerreaksjonen er eksentrisk i forhold til kontrollverrsnitt:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i d}$$

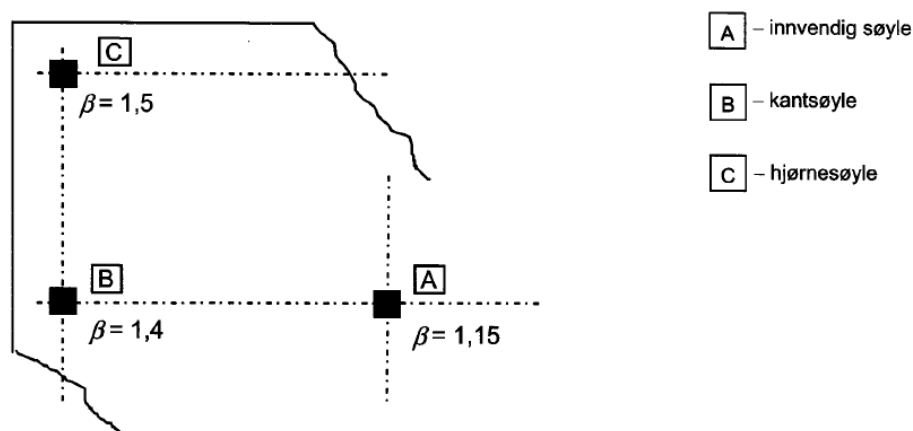
$d$  = middelverdi for effektiv tykkelse av plata

$u_i$  = lengde av omkretsen til det aktuelle kontrollsnittet

$\beta$  = forholdstall som tar hensyn til søylens utforming (sirkulær eller rektangulær) samt plassering av denne i forhold til lastens eksentrisitet

Tilnærmede verdier for  $\beta$ , kan hentes fra Figur 31 dersom følgende kriteriene blir oppfylt (pkt 6.4.3(6), [1]):

- konstruksjonens stabilitet i sideretning er ikke avhengig av rammevirkning mellom søylene og dekket
- tilstøtende felt avviker ikke mer enn 25 % i lengde



Figur 31 - Verdier for  $\beta$  [1]

Ved beregning av skjærkraft skal det også tas hensyn til skråstilte spennkabler som krysser det aktuelle kontrollverrsnittet. Vertikalkomponenten  $V_{pd}$  som gir gunstig virkning kan tas med. (pkt. 6.4.3(9), [1])

Det skal bare tas med bidrag fra de spennkablene som befinner seg innenfor  $0.5d$  fra søylekanten. (pkt. 9.4.3(2), [1])



**For plater og fundamenter uten skjærarmoring ved konsentrert last**

Dimensjonerende skjærspenningskapasitet kan beregnes slik (pkt. 6.4.4, [1]):

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})$$

$$C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0, \text{ hvor } d \text{ er i millimeter}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} + \rho_{lz}} \leq 0.02$$

$\rho_{ly}, \rho_{lz}$  = beregnes ut fra strekkarmoring med heft i henhold til de to retningene, og bør regnes etter middelværdier med hensyn til platebredden lik søylebredden pluss lengden  $3d$  til hver side

$$k_1 = 0.1$$

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2}, \text{ normalspenning i betongen hvor } \sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}} \text{ og } \sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}$$

$A_c$  = betongareal som tilhører kraften  $N_{Ed}$

$$v_{min} = 0.035 k^{2/3} f_{ck}^{1/2} \text{ (gitt ved uttrykk 6.3N)}$$

**For plater og fundamenter med skjærarmoring ved konsentrert last**

Ved behov for skjærarmoring, brukes følgende formel for skjærkraftkapasiteten:

$$v_{Rd,cs} = 0.75 v_{Rd,c} + 1.5 \left( \frac{d}{s_r} \right) A_{sw} f_{ywd,ef} \left( \frac{1}{u_1 d} \right) \sin \alpha$$

$s_r$  = radiell senteravstand mellom snitt med skjærarmoring

$A_{sw}$  = areal av skjærarmoring langs søylesnittets omkrets

$f_{ywd,ef}$  = dimensjonerende fasthet av skjærarmoring =  $250 + 0.25d \leq f_{ywd}$

$d$  = middelværdi av effektiv tykkelse i de to ortogonale retningene

$\alpha$  = vinkel mellom skjærarmoring og planet til plata

Ved søylekanten begrenses skjærkraftkapasiteten til:

$$v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max}$$

$u_0$  = for innvendig søyle: lengden av omkretsen til søyla

for kantsøyle:  $c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$

for hjørnesøyle:  $3d \leq c_1 + c_2$

$c_1, c_2$  = sidekanter på søylen

$$v = 0.6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

$\beta$  = som angitt i Figur 31



## 4 Gjennomgang av utførte beregninger

I denne gjennomgangen vil de viktigste resultatene vises og kommenteres dersom nødvendig. Relevant informasjon for beregningene vil også trekkes frem i dette kapittelet. Alle beregninger som angår spennkraft og spennkrafttap vises i sin helhet i vedlegg 3. Bruddgrenseberegningene vises i vedlegg 4 og bruksgrenseberegningene i vedlegg 5.

### 4.1 Generelle beregninger og bestemmelser

#### Miljø og bestandighet

Dette er et parkeringsdekke og plasseres dermed i eksponeringsklasse XD3. (tabell 4.1, [1])

Aktuell bestandighetsklasse blir M40, og fasthetsklasse B45 velges da høy fasthet er gunstig ved bruk av spennarmering. (tabell E.1N, [1])

Konstruksjonsklassen settes lik S2, da opprinnelig klasse S4 reduseres på grunn av høy fasthetsklasse og konstruksjonsdelens geometri. (tabell 4.3N, [1])

#### Materialegenskaper

Nedenfor gis en oversikt over de forskjellige materialparametrene som er brukt i beregningene.

##### Betong

Karakteristisk sylindrefasthet  $f_{ck} = 45MPa$

Dimensjonerende betongtrykkfasthet  $f_{cd} = 25.5MPa$

Elastisitetsmodul  $E_{cm} = 36000MPa$

Materialkoeffisient  $\gamma_c = 1.5$

##### Armeringsstål

Kvalitet B500C

Karakteristisk flytegrense  $f_{yk} = 500MPa$

Dimensjonerende flytegrense  $f_{yd} = 435MPa$

Elastisitetsmodul  $E_s = 200000MPa$

Materialkoeffisient  $\gamma_s = 1.15$

##### Spennstål [21]

0.62"

Tverrsnittsareal  $A_p = 150mm^2$

Karakteristisk strekkfasthet  $f_{pk} = 1860MPa$

Karakteristisk 0.1% strekkgrense  $f_{p0.1k} = 1670MPa$

Elastisitetsmodul  $E_p = 196000MPa$

Låsetap = 4mm

Materialkoeffisient  $\gamma_p = 1.15$

### **Overdekning**

Overdekningen bestemmes etter miljøpåvirkningen. Minste overdekning hentes fra tabell 4.5N i Eurokode 2 som tar høyde for konstruksjonsklasse og bruk av spennarmering. Denne settes lik 45mm og nominell overdekning blir da 55mm.

$$c_{nom} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$

### **Laster**

Laster som virker på denne konstruksjonsdelen er egenlast og nyttelast.

Betongens tetthet (armert) er  $25kN/m^3$ . (tabell A.1, [3])

Dekkets tykkelse er 300mm. Egenlasten blir dermed  $7.5kN/m^2$ . Nyttelasten er hentet fra tabell 6.8 i [3] og settes lik  $2.5kN/m^2$ .

$$g = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.3 \text{ m} = 7.5 \text{ kN/m}^2$$

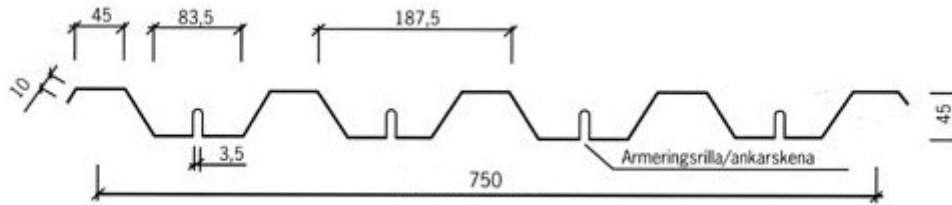
$$p = 2.5 \text{ kN/m}^2$$

### **Geometri og utførelse**

Dekket vises i sin helhet i vedlegg 1. I denne oppgaven har det opprinnelige dekket blitt redusert for å minske bruk av tid på modellering i ADAPT og for å redusere mengdeberegninger. Aktuelt utsnitt for modellering i ADAPT vises også i vedlegg 1.

Det er valgt ut to platestriper i y-retning og to i x-retning for spennarmeringsberegninger. Dette er også gjort for å redusere mengdeberegninger. I området hvor disse fire stripene krysses er det utført bruddgrense- og bruksgrenseberegninger.

Det skal som tidligere nevnt brukes en samvirkeplate av stål i bunn som en del av forskalingen. I denne oppgaven skal det ikke ses på krefter som blir tatt opp av denne platen. Eneste innvirkning platen har i denne sammenheng er geometriske begrensninger. Med dette menes at det skal kun tas hensyn til spennarmeringsføringen i forhold til platens utforming. Profil av stålplaten vises i Figur 32.



Figur 32 - Samvirkeplate profil [28]

### Momenter og skjærkrefter

For å finne opptredende krefter for de aktuelle platestripene som er valgt ble det brukt et beregningsprogram, G-prog. Dette programmet beregner kun en meter stripebredde, så i etterkant er det blitt benyttet forenklet beregningsmetode for å finne fram til den virkelige momentfordelingen. Resultater fra G-prog vises i vedlegg 2. Det er antatt at dekket er fritt opplagt på vegger og søyler. Denne antagelsen gjelder for håndberegningene og for modellen/analysen i ADAPT.

Beregningene er basert på elastisitetsteori og stripemetode for å komme frem til hvordan momentene fordeles i dekket. For å ta i bruk denne metoden finnes det betingelser som må oppfylles. Disse er som følgende [10]:

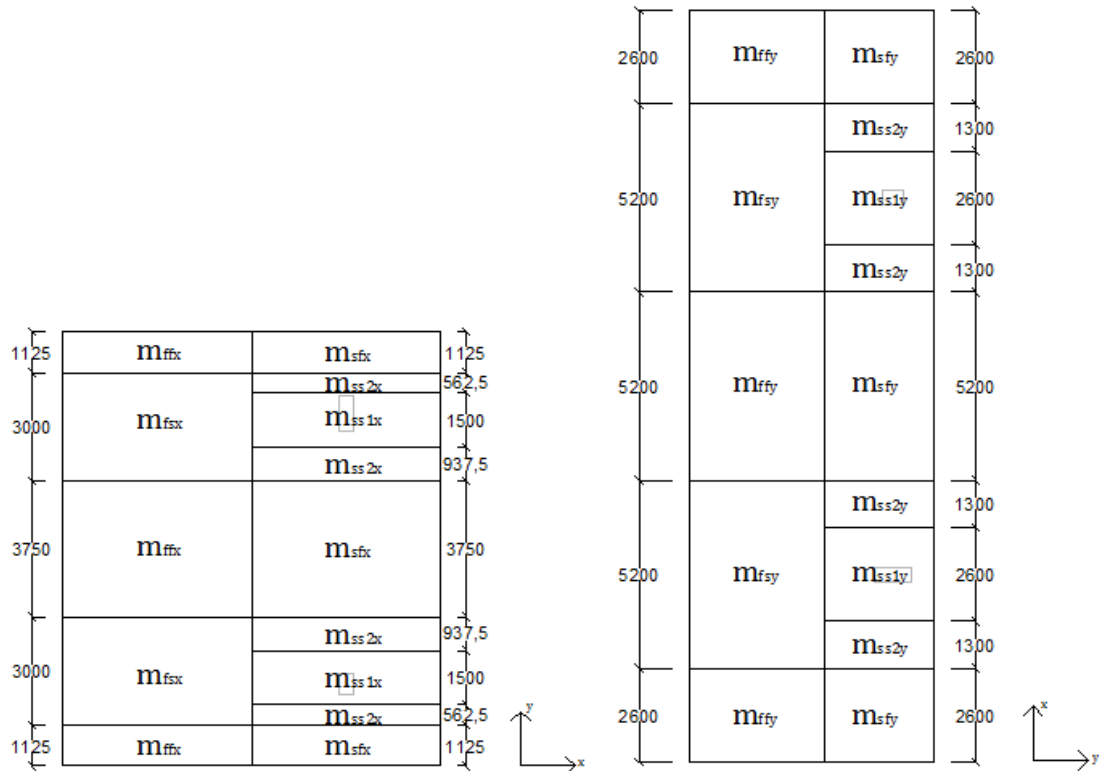
- Det må i begge retninger være minst tre felt
- Nabofelt må tilfredsstillte betingelsen om at  $l_{min} > 0.7 l_{max}$

I det uthevede området tilfredsstilles kravet:

$$\frac{l_{min}}{l_{maks}} > 0.7 \quad \rightarrow \quad \frac{7500}{10400} = 0.72 > 0.7 \quad \rightarrow \quad \text{OK!}$$

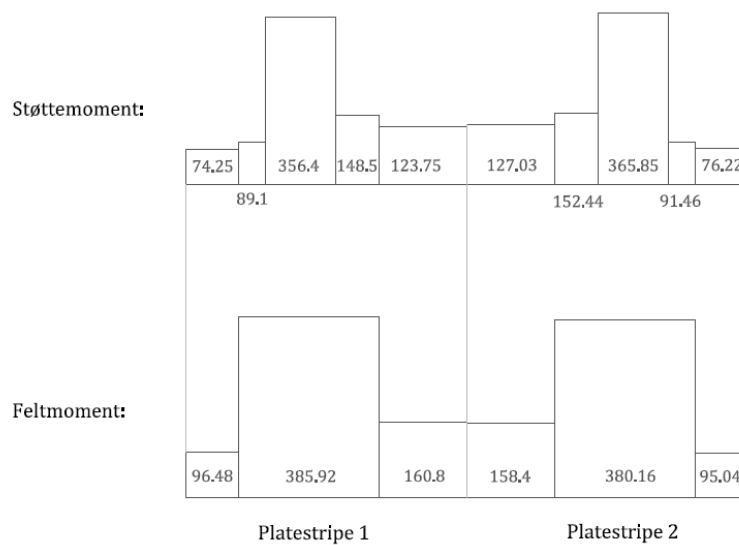
På grunn av mange ulike spennvidder i dette dekket er det ikke alle steder dette kravet tilfredsstilles. Det er funnet forskjellig forholdstall fra forskjellige kilder, hvor det mest ekstreme som tillates er forhold mellom spennviddene på 0.5. [8] Det antas gyldig for det utvalgte området i denne oppgaven.

Momentintensitetene er hentet fra [10]. Momentfordelingen vises i Figur 33.

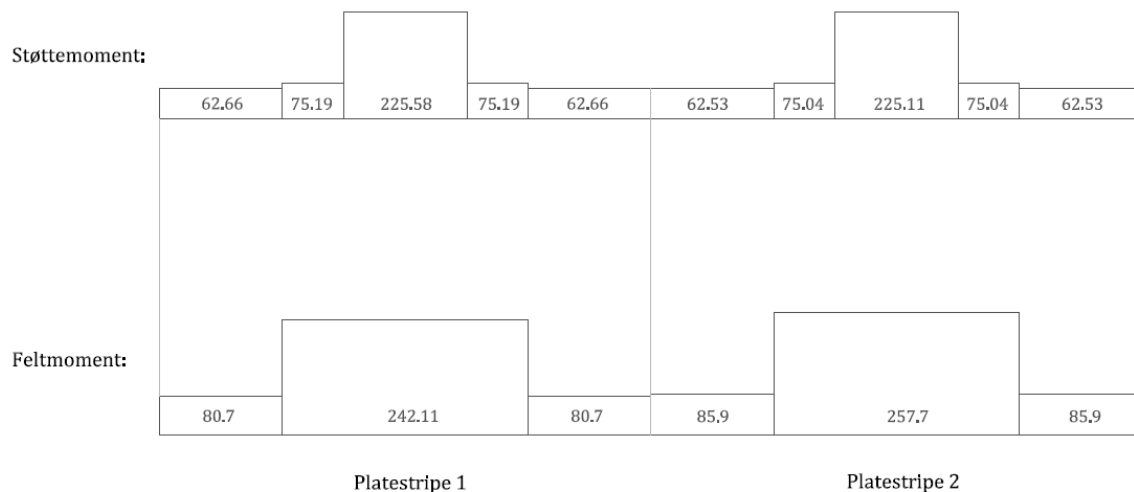


Figur 33 - Momentfordeling og tilhørende mål

Verdiene av momentene i henhold til intensitet og fordeling vises i Figur 34 for x-retning og Figur 35 for y-retning.



Figur 34 - Momentfordeling x-retning



Figur 35 - Momentfordeling y-retning

## 4.2 Spennarmeringsberegninger

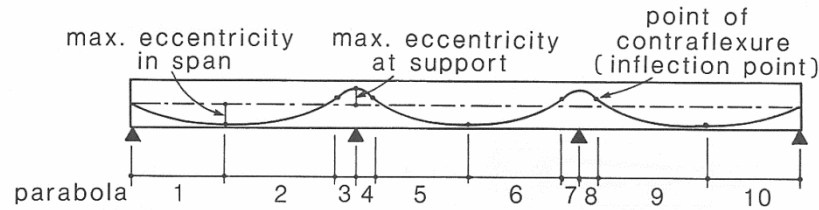
Alle beregninger for spennarmeringen<sup>3</sup> vises i vedlegg 3. Det vises også til vedlegg 1 der spennarmeringsføringen er vist for hver platestripe. Kablenes lengde er lik for begge platestripene i x-retning, mens de for y-retning har ulik lengde. Dette er på grunn av åpningen i dekket i platestripe 2 som gjør at spennkablene må legges i to omganger her. Det er kun beregnet for den delen som vil påvirke det uthevede område, da det er dette som blir grunnlaget for videre beregninger i brudd- og bruksgrensetilstand.

### Spennarmeringsføring

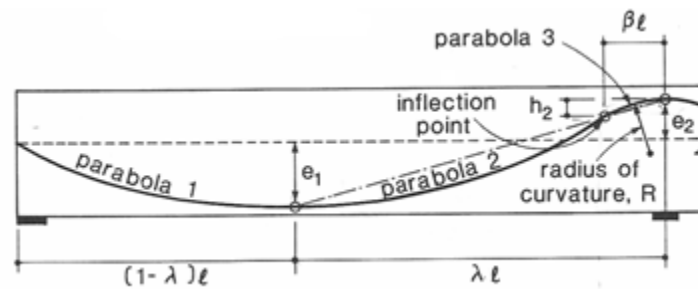
Spennarmeringsføringen er lagt etter momentkurven. Da med hensyn til maks-, min- og nullpunkter. Eksentrisitet i felt/over støtte er satt etter tykkelse på dekket, overdekning og diameter på spennkabelen.

Infleksjonspunktene er satt til  $0.1 \cdot L$ . Eksentrisitet for endefelt samt alle pilhøydene er funnet etter tegning av spennarmeringsføringen. Se illustrasjonen på Figur 36 og Figur 37. Alle verdier for eksentrisitet og pilhøyde er vist i vinkelberegningene, vedlegg 3.

<sup>3</sup> For spennarmeringsberegningene er følgende kilder benyttet: [1], [5], [6], [7], [8], [9]



Figur 36 - Eksentrisitet flerfeltsbjelke [7]



Figur 37 - Pilhøyde og eksentrisitet for endefelt [7]

Vinkelendringer langs spennkabelen er regnet ut for å finne friksjonstapet.

**Mengde og fordeling**

Fordeling av spennkabler blir i denne oppgaven satt som jevnt fordelt i begge retninger for enkelhets skyld. Optimalt skal spennarmeringen ligge konsentrert over søylene for minst en av retningene. [30]

I beregningene ble antall nødvendige spennkabler funnet annerledes enn det antall som er brukt videre i beregningene. Dette er gjort på grunn av begrensninger fra samvirkeplaten i x-retning. I y-retning er mengden justert for platestripe  $y_2$ . Dette ble gjort for å få samme fordeling for begge platestripen i y-retning. Antall spennkabler summeres opp i Tabell 9. Spennarmeringsmengde som er brukt videre i beregningene står i parentes.

Tabell 9 - Antall spennkabler

| Platetribe | Antall spennkabler |
|------------|--------------------|
| $Y_1$      | 35 (35)            |
| $Y_2$      | 34 (35)            |
| $X_1$      | 37 (32)            |
| $X_2$      | 38 (32)            |

Mengden spennkabler er beregnet med utgangspunkt i at 100% av egenlasten skal balanseres.



**Spennkrafttap**

En oppsummering av spennkrafttap for de forskjellige platestripene er vist i Tabell 10, Tabell 11 og Tabell 12.

Prosentvis spennkrafttap for umiddelbare tap vises i Tabell 10.

Tabell 10 - Umiddelbare tap

| Umiddelbare tap | Friksjonstap | Låsetap | Tap pga elastisk deformasjon |
|-----------------|--------------|---------|------------------------------|
| Y <sub>1</sub>  | 5.273%       | 1.026%  | 0.582%                       |
| Y <sub>2</sub>  | 3.396%       | 1.527%  | 0.595%                       |
| X <sub>1</sub>  | 4.741%       | 0.787%  | 0.633%                       |
| X <sub>2</sub>  | 4.998%       | 0.787%  | 0.617%                       |

Lavest friksjonstap finnes for platestripe y<sub>2</sub>. Dette er som forventet, da friksjonstapet styres etter vinkelendringen langs spennkabelen. Siden spennkabelen er tilnærmet lik i kurve, men betydelig mye kortere, er dette overensstemmende med forventet resultat.

Forskjellene ved låsetap er også basert på spennkabelens lengde. Spennkabelens lengde er lik for platestripene i x-retning, og igjen er det de korte spennkablene i platestripe y<sub>2</sub> som skiller seg ut.

Spennkrafttapet på grunn av elastisk deformasjon er nokså lik for alle platestripene. Dette er fordi beregningene baserer seg på egenskapene til betongen, samt spennarmeringsmengde og spennarmeringsareal som er noenlunde lik for platestripene.

Prosentvis spennkrafttap for tidsavhengige tap vises i Tabell 11.

Tabell 11 - Tidsavhengige tap

| Tidsavhengige tap | Kryp   | Svinn  | Relaksasjon |
|-------------------|--------|--------|-------------|
| Y <sub>1</sub>    | 2.09%  | 6.133% | 4.743%      |
| Y <sub>2</sub>    | 2.12%  | 6.097% | 4.71%       |
| X <sub>1</sub>    | 2.199% | 5.899% | 4.727%      |
| X <sub>2</sub>    | 2.149% | 5.89%  | 4.732%      |

Som det går frem av resultatene er det relativt likt resultat for alle platestripene. Dette var også forventet, da dette er spennkrafttap som går på materialenes egenskaper.

Tabell 12 oppsummerer totalt tap for umiddelbare og tidsavhengige tap, hvor umiddelbare tap vises for både aktiv og passiv ende.

Tap i aktiv ende av spennarmeringen vil være summen av låsetap og tap på grunn av elastisk deformasjon, mens det for passiv ende vil være summen av friksjonstap og tap på grunn av elastisk deformasjon.

Tabell 12 - Totalt spennkrafttap

| Totalt tap     | U.T. (aktiv ende) | U.T. (passiv ende) | T.T.    |
|----------------|-------------------|--------------------|---------|
| Y <sub>1</sub> | 1.608%            | 5.855%             | 12.966% |
| Y <sub>2</sub> | 2.122%            | 3.991%             | 12.927% |
| X <sub>1</sub> | 1.42%             | 5.374%             | 12.814% |
| X <sub>2</sub> | 1.404%            | 5.616%             | 12.771% |

### **Spennkraft**

Spennkraft etter spennkrafttap vises i Tabell 13.

Tabell 13 - Spennkraft etter spennkrafttap

| Platestripe    | Oppspenningskraft |
|----------------|-------------------|
| Y <sub>1</sub> | 185.93kN          |
| Y <sub>2</sub> | 187.525kN         |
| X <sub>1</sub> | 187.016kN         |
| X <sub>2</sub> | 186.86.kN         |

På grunn av svært like resultat, brukes gjennomsnittsverdien for hver av retningene. De gjeldende verdiene for videre beregninger er gitt i Tabell 14.

Tabell 14 - Middelverdi spennkraft

| Retning | Oppspenningskraft |
|---------|-------------------|
| Y       | 186.728kN         |
| X       | 186.938kN         |

## **4.3 Bruddgrenseberegninger**

Fullstendige beregninger for bruddgrensetilstanden<sup>4</sup> vises i sin helhet i vedlegg 4.

### **4.3.1 Momentkapasitet**

#### **Ekvivalente laster**

De ekvivalente kreftene fra spennarmeringen ble beregnet for å finne hvor store moment og skjærkrefter spennarmeringen bidrar med. Over infleksjonslengdene er de ekvivalente kreftene

---

<sup>4</sup> For bruddgrenseberegningene er følgende kilder brukt: [1], [5], [6], [7], [10], [11], [16]

rettet nedover, og mellom infleksjonspunktene er de rettet oppover. Videre finnes da de totale dimensjonerende momentene og skjærkreftene, som er resultatet av opptredende momenter og skjærkrefter med fradrag fra spennarmeringsbidraget (de ekvivalente kreftene).

I Tabell 15 vises momentene som oppstår på grunn av ekvivalente krefter fra spennarmeringen. Verdiene er den samlede effekten fra både oppover rettede og nedover rettede krefter.

Tabell 15 - Moment forårsaket av ekvivalente krefter

| Moment pga ekvivalente krefter [kNm] | SS1      | SS2      | SF       | FS       | FF       |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Y <sub>1</sub>                       | -82.652  | -63.752  | -82.652  | -146.404 | -82.652  |
| Y <sub>2</sub>                       | -105.666 | -82.055  | -105.666 | -187.721 | -105.666 |
| X <sub>1</sub>                       | -157.236 | -157.236 | -157.236 | -314.472 | -157.236 |
| X <sub>2</sub>                       | -157.612 | -157.612 | -157.612 | -315.224 | -157.612 |

Som forventet er verdiene i x-retning tilnærmet like, mens Y<sub>2</sub> skiller seg ut i y-retning på grunn av kortere lengde på spennkablene.

De totale momentene som oppstår på grunn av ekvivalente krefter er gitt i Tabell 16.

Tabell 16 - Totale moment forårsaket av ekvivalente krefter

| Totalt moment pga ekvivalente krefter [kNm] | Totalt støttemoment | Totalt feltmoment |
|---|---------------------|-------------------|
| Y <sub>1</sub>                              | -229.056            | -229.056          |
| Y <sub>2</sub>                              | -293.387            | -293.387          |
| X <sub>1</sub>                              | -471.707            | -471.707          |
| X <sub>2</sub>                              | -472.836            | -472.836          |

Som det viser av resultatene i tabellen er momentene like for både felt og støtte. Dette er en av de uheldige virkningene ved å ha jevnt fordelte kabler i begge retninger. Resultatet understreker hvorfor det er ønskelig med konsentrert spennarmering over søylestripene i minst en av retningene.

### **Opptredende moment**

Momentene er som nevnt funnet ved hjelp av beregningsprogrammet G-prog (se vedlegg 2). Disse gjelder for en meter platebredde. For å finne momentfordelingen i bredden på hver platestripe er metoden som er basert på elastisitetsteori brukt. Denne er beskrevet i kapittel 2.2.2. Se Tabell 17 og Tabell 18 for resultater.

Tabell 17 - Momentfordeling

| Moment [kNm]   | SS1     | SS2     | SF     | FS      | FF      |
|----------------|---------|---------|--------|---------|---------|
| Y <sub>1</sub> | 225.576 | 150.384 | 125.32 | 242.112 | 161.408 |
| Y <sub>2</sub> | 225.108 | 150.074 | 125.06 | 257.712 | 171.808 |
| X <sub>1</sub> | 356.4   | 237.6   | 198    | 385.92  | 257.28  |
| X <sub>2</sub> | 365.85  | 243.9   | 203.25 | 380.16  | 253.44  |

Tabell 18 - Totalt moment for støtte og felt

| Totalt moment [kNm] | Totalt støttemoment | Totalt feltmoment |
|---------------------|---------------------|-------------------|
| Y <sub>1</sub>      | 501.28              | 403.52            |
| Y <sub>2</sub>      | 500.24              | 429.59            |
| X <sub>1</sub>      | 792                 | 643.2             |
| X <sub>2</sub>      | 813                 | 633.6             |

### Dimensjonerende moment med spennarmeringsbidrag

Resultat av opprettede moment med fratrekk fra moment som blir tatt opp av spennarmeringen vises i Tabell 19 og Tabell 20.

Tabell 19 - Dimensjonerende moment inkludert bidrag fra spennarmeringen

| Dimensjonerende moment [kNm] | SS1     | SS2    | SF     | FS     | FF      |
|------------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|
| Y <sub>1</sub>               | 142.924 | 86.632 | 42.668 | 95.708 | 78.756  |
| Y <sub>2</sub>               | 119.442 | 68.017 | 19.394 | 69.991 | 66.142  |
| X <sub>1</sub>               | 199.164 | 80.364 | 40.764 | 71.448 | 100.044 |
| X <sub>2</sub>               | 208.238 | 86.288 | 45.638 | 64.936 | 95.828  |

Igjen viser resultatene tydelig at spennarmeringsfordelingen er ujevn i forhold til momentene som opptrer i denne konstruksjonsdelen. Størrelsen på momentene i søylestripe 1 sett i forhold til størrelsen på de andre momentene understreker den ugunstige fordelingen av spennarmeringen.

Tabell 20 - Totalt dimensjonerende moment for støtte og felt (inkl. bidrag fra spennarmering)

| Totalt dimensjonerende moment [kNm] | Totalt støttemoment | Totalt feltmoment |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Y <sub>1</sub>                      | 272.224             | 174.464           |
| Y <sub>2</sub>                      | 136.113             | 119.442           |
| X <sub>1</sub>                      | 320.293             | 171.493           |
| X <sub>2</sub>                      | 340.164             | 160.764           |

**Momentkapasitet**

Utregnet momentkapasitet for y-retning og x-retning vises i Tabell 21.

Tabell 21 - Momentkapasitet,  $M_{Rd,c}$ 

| <b>Y-retning</b> | <b>X-retning</b> |
|------------------|------------------|
| 2416kNm          | 1803kNm          |

Disse verdiene er brukt for å finne indre momentarm til spennarmeringen som igjen er tatt med i utregning av bidrag fra spennarmering. Se Tabell 22 og Tabell 23.

Tabell 22 - Momentbidrag fra spennarmering

| <b>Momentbidrag<br/>spennarmering<br/>[kNm]</b> | <b>SS1</b> | <b>SS2</b> | <b>SF</b> | <b>FS</b> | <b>FF</b> |
|---|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Y <sub>1</sub>                                  | 304.608    | 270.763    | 609.217   | 579.176   | 613.246   |
| Y <sub>2</sub>                                  | 304.63     | 270.782    | 609.26    | 578.164   | 612.174   |
| X <sub>1</sub>                                  | 295.298    | 295.298    | 590.596   | 598.921   | 598.921   |
| X <sub>2</sub>                                  | 294.711    | 294.711    | 589.421   | 599.458   | 599.458   |

Tabell 23 - Totalt momentbidrag fra spennarmering

| <b>Totalt momentbidrag<br/>[kNm]</b> | <b>For støtte</b> | <b>For felt</b> |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------|
| Y <sub>1</sub>                       | 1185              | 1192            |
| Y <sub>2</sub>                       | 1185              | 1190            |
| X <sub>1</sub>                       | 1181              | 1198            |
| X <sub>2</sub>                       | 1179              | 1199            |

Ved sammenligning av dimensjonerende moment med spennarmeringsbidrag og kapasiteten viser det at det ikke er behov for slakkarmering utenom minimum slakkarmeringsmengde. Ved første sammenligning med opptredende moment som dimensjonerende moment, viste det behov for slakkarmering i søylestripe 1 for x<sub>1</sub> og x<sub>2</sub>. Dette gjelder ikke etter fradrag fra spennarmeringsbidrag. Det er dermed kun behov for å regne ut minimum armeringsmengde. For minimumsarmering (strekkarmering) er det antatt Ø12. Armeringsmengden vises i Tabell 24 og Tabell 25.

Tabell 24 - Slakkarmeringsmengde (minimumsarmering)

| Armeringsmengde | SS1  | SS2  | SF    | FS    | FF    |
|-----------------|------|------|-------|-------|-------|
| Y <sub>1</sub>  | 9Ø12 | 9Ø12 | 17Ø12 | 17Ø12 | 17Ø12 |
| Y <sub>2</sub>  | 9Ø12 | 9Ø12 | 17Ø12 | 17Ø12 | 17Ø12 |
| X <sub>1</sub>  | 6Ø12 | 6Ø12 | 11Ø12 | 11Ø12 | 11Ø12 |
| X <sub>2</sub>  | 6Ø12 | 6Ø12 | 11Ø12 | 11Ø12 | 11Ø12 |

Tabell 25 - Totalt tverrsnittsareal for minimum slakkarmering

| Armeringsmengde [mm <sup>2</sup> ] | SS1  | SS2  | SF   | FS   | FF   |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Y <sub>1</sub>                     | 1018 | 1018 | 1923 | 1923 | 1923 |
| Y <sub>2</sub>                     | 1018 | 1018 | 1923 | 1923 | 1923 |
| X <sub>1</sub>                     | 679  | 679  | 1244 | 1244 | 1244 |
| X <sub>2</sub>                     | 679  | 679  | 1244 | 1244 | 1244 |

Videre er det beregnet kapasitetsbidrag fra minimumsarmeringen. Resultatene er gitt i Tabell 26.

Tabell 26 - Momentkapasitetsbidrag fra slakkarmering

| Bidrag fra slakkarmering [kNm] | SS1    | SS2    | SF      | FS      | FF      |
|--------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Y <sub>1</sub>                 | 74.249 | 74.249 | 140.247 | 141.263 | 141.263 |
| Y <sub>2</sub>                 | 74.254 | 74.254 | 140.258 | 140.993 | 140.993 |
| X <sub>1</sub>                 | 54.287 | 54.287 | 99.526  | 101.051 | 101.051 |
| X <sub>2</sub>                 | 54.169 | 54.169 | 99.31   | 101.149 | 101.149 |

Totalt momentkapasitetsbidrag fra armering er summen av bidrag fra både slakk- og spennarmering er vist i Tabell 27.

Tabell 27 - Momentkapasitetsbidrag fra både slakk- og spennarmering

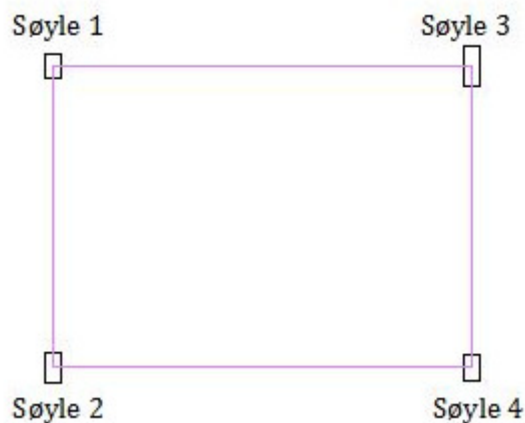
| Bidrag fra slakk- og spennarmering [kNm] | SS1     | SS2     | SF      | FS      | FF      |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Y <sub>1</sub>                           | 378.857 | 345.012 | 749.464 | 720.44  | 754.509 |
| Y <sub>2</sub>                           | 378.884 | 345.036 | 749.518 | 719.157 | 753.167 |
| X <sub>1</sub>                           | 349.585 | 349.585 | 690.122 | 699.971 | 699.971 |
| X <sub>2</sub>                           | 348.88  | 348.88  | 688.732 | 700.607 | 700.607 |

Som konsekvens av å sette lastbalanseringen til 100% av egenvekten vises det hvor store mengder armering det finnes i felt i forhold til opptredende krefter. I virkeligheten ville det vært mer realistisk å minske spennarmeringsmengden, og heller supplere med mer slakkarmering i

søylestripene om nødvendig. Dette anses som en uøkonomisk løsning, hvor det finnes for mye spennarmering i feltområdene. Det hadde også vært en fordel om spennarmeringen hadde blitt konsentrert over søylene i minst en av retningene i stedet for den jevne fordelingen som er antatt her. [7]

### 4.3.2 Skjærkapasitet

Det skal sjekkes for skjærkrefter ved konsentrert last for de fire søylene som er innenfor det avgrensede område, som vist i Figur 38 med tilhørende dimensjoner gitt i Tabell 28.



Figur 38 - Søylar for skjærdimensjonering

Tabell 28 - Søyledimensjoner

| Søyle | Dimensjoner [mm] |
|-------|------------------|
| 1     | 400x600          |
| 2     | 400x700          |
| 3     | 400x1000         |
| 4     | 400x600          |

### Opptredende skjærkrefter

Opptredende skjærkrefter er hentet fra resultatene fra G-prog som illustrert i vedlegg 2.

For å finne skjærkrefter som virker på hver søyle er det summert opp skjærkrefter fra de forskjellige retningene som påvirker hver enkelt søyle. For søyle 1 er det platestripe  $y_1$  og  $x_2$  som krysser. Tilsvarende for søyle 2 er det platestripe  $y_1$  og  $x_1$ . For søyle 3 krysser platestripe  $y_2$  og  $x_2$ . Og tilslutt for søyle 4 er det platestripe  $x_1$  og  $y_2$  som krysser.

Opptredende skjærkrefter for de forskjellige søylene blir da som vist i Tabell 29.

Tabell 29 - Opptredende skjærkrefter

| Søyle 1 | Søyle 2 | Søyle 3  | Søyle 4  |
|---------|---------|----------|----------|
| 840.4kN | 845.8kN | 826.88kN | 832.28kN |

For bidrag fra spennarmering tas det kun med bidrag fra ekvivalente krefter som gir en gunstig virkning (pkt 6.4.3(9), [1]). Tabell 30 viser dimensjonerende skjærkrefter med bidrag fra spennarmeringen.

Tabell 30 - Dimensjonerende skjærkrefter inkludert bidrag fra spennarmering

| Søyle 1   | Søyle 2   | Søyle 3   | Søyle 4   |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 708.143kN | 712.211kN | 700.459kN | 704.527kN |

### Skjærkapasitet

Dimensjonerende skjærspenningskapasitet  $v_{Rd,c}$ , er satt lik  $v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}$ , da denne verdien er større enn utregnet kapasitet (pkt 6.4.4(1), [1]).

$$v_{Rd,c} = 1 \text{ MPa}$$

Dersom dimensjonerende skjærspenning er mindre enn dimensjonerende skjærspenningskapasitet er det ikke nødvendig med skjærarmering. For å finne dimensjonerende skjærspenning for dette tilfellet, ble det nødvendig å regne ut faktoren  $\beta$ . Dette på grunn av at lengdene på tilstøtende felt avviker med mer enn 25% (pkt 6.4.3(6), [1]). Til vanlig kan denne faktoren finnes i figur 6.1N i Eurokoden. Verdier for dimensjonerende skjærspenning vises i Tabell 31.

Tabell 31 - Dimensjonerende skjærspenning

| Søyle 1  | Søyle 2  | Søyle 3  | Søyle 4  |
|----------|----------|----------|----------|
| 1.261MPa | 1.173MPa | 1.041MPa | 1.226MPa |

Det er behov for skjærarmering ved alle søyler. Resultatene viser som forventet at det vil være størst behov for skjærarmering ved de minste søylene (søyle 1 og 4), og minst behov for skjærarmering ved den største søylen (søyle 3).

Videre er det utført kontroll for skjærspenning ved søylekanten. Se Tabell 32 for dimensjonerende maksimal skjærspenningskapasitet.

$$v_{Rd,max} = 6.273 \text{ MPa}$$



Tabell 32 - Dimensjonerende skjærspenning langs søylekant

| Søyle 1  | Søyle 2  | Søyle 3  | Søyle 4  |
|----------|----------|----------|----------|
| 3.224MPa | 2.833MPa | 2.198MPa | 3.133MPa |

Dekketykkelsen er tilstrekkelig for alle søylene. Det viser igjen som forventet at det er størst spenning ved de minste søylene og minst spenning ved største søyle.

### Skjærarmering

Skjærarmering er plassert etter figur 9.10 i Eurokoden. [1] Se Tabell 33 for plassering av skjærarmering.

Tabell 33 - Plassering av skjærarmering

| Snitt | Søyle 1 | Søyle 2 | Søyle 3 | Søyle 4 |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| 1     | 95mm    | 95mm    | 95mm    | 95mm    |
| 2     | 202mm   | 223mm   | 169mm   | 193mm   |
| 3     | 309mm   | 351mm   | 243mm   | 291mm   |
| 4     | 416mm   | -       | -       | 389mm   |

Det er antatt  $\emptyset 8$  bøyler som skjærarmering. Selv om det i beregningene er vist at det kunne holdt med  $\emptyset 6$ , er det benyttet  $\emptyset 8$  da dette også er valgt for modellen i ADAPT. Armeringsmengde er vist i Tabell 34 og Tabell 35.

Tabell 34 - Nødvendig skjærarmeringsmengde

| Snitt | Søyle 1          | Søyle 2          | Søyle 3          | Søyle 4          |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1     | 9 $\emptyset 8$  | 10 $\emptyset 8$ | 13 $\emptyset 8$ | 9 $\emptyset 8$  |
| 2     | 11 $\emptyset 8$ | 13 $\emptyset 8$ | 15 $\emptyset 8$ | 11 $\emptyset 8$ |
| 3     | 14 $\emptyset 8$ | 16 $\emptyset 8$ | 16 $\emptyset 8$ | 13 $\emptyset 8$ |
| 4     | 16 $\emptyset 8$ | -                | -                | 15 $\emptyset 8$ |

Tabell 35 - Totalt tverrsnittsareal skjærarmering

| Snitt | Søyle 1            | Søyle 2            | Søyle 3            | Søyle 4            |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1     | 452mm <sup>2</sup> | 503mm <sup>2</sup> | 654mm <sup>2</sup> | 452mm <sup>2</sup> |
| 2     | 553mm <sup>2</sup> | 654mm <sup>2</sup> | 754mm <sup>2</sup> | 553mm <sup>2</sup> |
| 3     | 704mm <sup>2</sup> | 804mm <sup>2</sup> | 804mm <sup>2</sup> | 654mm <sup>2</sup> |
| 4     | 804mm <sup>2</sup> | -                  | -                  | 754mm <sup>2</sup> |

Nødvendig skjærarmeringsmengde er større enn minimum skjærarmeringsmengde for alle tilfeller.

## 4.4 Bruksgrenseberegninger

Det er gjennomført beregninger for spenninger og nedbøyning for det aktuelle område. Dekket er antatt å være opprisset. Fullstendige beregninger for bruksgrensetilstanden<sup>5</sup> vises i vedlegg 5.

### 4.4.1 Spenningsberegninger

Det er gjennomført spenningsberegninger for hver inndeling i hver platestripe. Inndelingene det er beregnet for er ss1, ss2, sf, fs og ff. For alle inndelingene er det beregnet spenninger ved spennarmeringshøyden, i overkant av tverrsnittet og i underkant av tverrsnittet.

Tabell 36 - Spenninger i tverrsnittet

| Inndeling | Spenninger [MPa] | Y <sub>1</sub> | Y <sub>2</sub> | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> |
|-----------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ss1       | Ved sp.arm.      | -0.729         | -0.729         | -1.467         | -1.467         |
|           | Overkant         | 1.143          | 1.143          | 0.935          | 0.935          |
|           | Underkant        | -6.201         | -6.201         | -7.542         | -7.542         |
| ss2       | Ved sp.arm.      | -0.646         | -0.646         | -1.467         | -1.467         |
|           | Overkant         | 1.021          | 1.021          | 0.935          | 0.935          |
|           | Underkant        | -5.518         | -5.518         | -7.542         | -7.542         |
| sf        | Ved sp.arm.      | -0.729         | -0.729         | -1.467         | -1.467         |
|           | Overkant         | 1.143          | 1.143          | 0.935          | 0.935          |
|           | Underkant        | -6.201         | -6.201         | -7.542         | -7.542         |
| fs        | Ved sp.arm.      | -1.245         | -1.15          | -2.063         | -2.157         |
|           | Overkant         | -5.228         | -5.344         | -6.773         | -6.636         |
|           | Underkant        | 0.459          | 0.574          | 0.18           | 0.045          |
| ff        | Ved sp.arm.      | -1.318         | -1.218         | -2.063         | -2.157         |
|           | Overkant         | -5.532         | -5.656         | -6.773         | -6.636         |
|           | Underkant        | 0.485          | 0.606          | 0.18           | 0.045          |

Som det viser av resultatene i Tabell 36 er det ingen verdier som overskrider maksimal trykkspenning:

$$0.6 \cdot f_{ck} = 27 \text{ MPa}$$

Det er heller ingen verdier som overskrider  $0.45 \cdot f_{ck} = 20.25 \text{ MPa}$

Dermed er det ikke nødvendig å ta hensyn til kryptets ikke-linearitet.

<sup>5</sup> For bruksgrenseberegningene er følgende kilder brukt: [1], [5], [10], [16]

#### 4.4.2 Nedbøyningsberegninger

Nedbøyningsberegninger for aktuelt område er utført etter fremgangsmetode fra [10]. Metoden er beskrevet i kapittel 3.3.3.

Det er funnet nedbøyning for alle platestriper på grunn av ytre laster og spennarmering. Disse er utført både med hensyn til korttidsvirkning og langtidsvirkning.

Ifølge utførte beregninger viser det at de største nedbøyningene finnes fra platestripe  $y_2$  og  $x_2$ . Den totale nedbøyningen er dermed funnet med verdier fra disse platestripene.

Siden feltet det ses på er midt i dekket er det foretatt et par antagelser for å få et gyldig sammenligningsgrunnlag. Disse beskrives nedenfor.

Lasten for feltet det ses på er justert med tanke på at en del av lasten utlignes av å virke utenfor det aktuelle feltet i platestripen. Momentberegninger fra G-prog (vedlegg 2, bruksgrense) er brukt for å finne aktuell last som virker på det aktuelle feltet i platestripene. Lasten er funnet ut fra formelen:

$$M = \frac{ql^2}{8} \text{ (moment for fritt opplagt bjelke, [16])}$$

Det er brukt formel for fritt opplagt bjelke siden platestripen er lagt inn som fritt opplagt i G-prog.

Den andre antagelsen er også basert på at feltet det ses på, vil i realiteten bli påvirket av nabofelt. På grunn av at vinkelendring av dekket over opplegg er tilnærmet lik 0, vil nedbøyning fra ytre laster ses på som om feltet er fast innspent. [5]

Gjennomsnittsverdi for summen av nedbøyning for søylestripe i x-retning og for feltstripe i y-retning, og motsatt, summen av nedbøyning for feltstripe i x-retning og for søylestripe i y-retning, er utført for platestripene  $y_2$  og  $x_2$ .

Resultat for total nedbøyning i midten av aktuelt utsnitt er dermed:

$$\delta_{k,tot} = 1.535 \text{ mm} \quad \text{for korttidslast}$$

$$\delta_{L,tot} = 3.198 \text{ mm} \quad \text{for langtidslast}$$

Disse resultatene tilfredsstiller kravet om tillatt nedbøyning på  $l/250$ . Minst spennvidde av aktuelle felt er 7.5m. Dette gir tillatt nedbøyning på:

$$\delta_{tillatt} = \frac{7500 \text{ mm}}{250} = 30 \text{ mm}$$



## 5 Analyser i ADAPT

### 5.1 Introduksjon

ADAPT Floor Pro er et tredimensjonalt analyse- og dimensjoneringsverktøy for betong- og spennarmerte konstruksjoner som baserer seg på elementmetoden (FEM). [25]

ADAPT PT er et analyse- og dimensjoneringsverktøy for spennarmerte betongbjelker og dekker som baserer seg på ekvivalent rammemetode/stripemetode. [25]

Analysen i denne oppgaven<sup>6</sup> er i hovedsak utført ved hjelp av ADAPT Floor Pro, med unntak av spennarmeringsberegningene. Disse ble utført i ADAPT PT for de fire aktuelle platestripene.

Resultatene fra spennarmeringen; mengde og kurve, ble satt inn i modellen i ADAPT Floor Pro, og er med videre i elementmetode analysen.

Spennarmeringsmengden tar utgangspunkt i oppspenningskraft og lastbalanseringsprinsippet. Lastbalanseringen er satt til å ta opp 80-100% av egenlasten (det må settes inn et intervall).

Siden det kun er utført spennarmeringsberegninger for de fire platestripene, vil det kun ses på nedbøyningene for området hvor disse krysses. Alt annet er irrelevant for denne oppgaven, da disse begrensningene også er satt for håndberegningene.

Programmet har en innstilling hvor det kan velges hvilken standard som skal være utgangspunkt for dimensjoneringen. Denne er satt til Eurokode 2, noe som styrker validiteten ved sammenligning av håndberegningene og programanalysen.

Analysene som er gjennomført med programvaren ADAPT Floor Pro, forventes å gi mer nøyaktige resultater enn håndberegningene på forhånd.

Det kan også tenkes at spennarmeringsmengden hadde vært redusert dersom FEM alternativet hadde blitt brukt her. Grunnen til dette er at ADAPT PT kun ser på en stripe om gangen, forskjellig fra ADAPT Floor Pro hvor de kryssende platestripene hadde blitt sett på som en helhet. I ADAPT PT blir da lasten fra egenvekten tatt opp to ganger i de kryssende områdene. ADAPT PT ble brukt til dette formålet på grunn av tekniske problemer som resulterte i at dette var den eneste løsningen.

Noe av modelleringen og fremgangsmetoden for utført analyse av programmene ADAPT Floor Pro og ADAPT PT vises i vedlegg 6.

---

<sup>6</sup> Modellering og analyse er utført etter beskrivelse i manualer for ADAPT; [22], [23], [24]

## 5.2 Gjennomgang av utførte analyser

### Input

Valg av verdier og annen input er satt med hensikt om å ligne tilsvarende verdier og valg gjort for håndberegningene.

Dekket ble modellert med de dimensjoner som er gitt på den originale plantegningen (vedlegg 1). Modellen består av dekke, søyler, vegger og åpninger i dekket. Der dekket er "kuttet" ble det satt inn en hel vegg i stedet for de små veggene som opprinnelig skal være der. Dette ble gjort for å unngå unødvendige spenninger i dette området. Tykkelse på dekket er satt til 300mm. Samvirkeplaten er ikke tatt med i modellen.

For hvert element i konstruksjonen kan det endres på egenskapene. Alle elementene er definert som betong med karakteristisk sylindrefasthet på 45MPa (B45). Elementene er angitt med nøyaktige dimensjoner ved bruk av koordinatsystemet programmet arbeider i.

Lastene er lagt inn som jevnt fordelt over hele flaten. Nyttelast på 2.5kN/m<sup>2</sup> og egenlast på 7.5kN/m<sup>2</sup>. Lastkombinasjonene ble definert for både FEM og stripemetoden, da standardinnstillingen ikke fulgte EC 2 som er valgt kode.

Materialparametre ble lagt inn for både FEM og stripemetode.

Materialparametre for betong:

$$f_{ck} = 45MPa$$

$$E_c = 37485MPa \quad \text{Denne beregner programmet ut etter karakteristisk sylindertykkfasthet.}$$

$$\text{Kryp koeffisient} = 2 \quad \text{Standardinnstilling (endring kun tillatt for stripemetode)}$$

$$\nu = 0 \quad \text{Poisson's tall, verdi for opprisset tilstand}$$

Materialparametre for slakkarmering:

$$f_y = 500MPa$$

$$E_s = 200000MPa$$

Materialparametre for spennarmering:

$$E_p = 196000MPa$$

$$A_p = 150mm^2$$

$$f_{pk} = 1860MPa$$

$$\sigma_{se} = 1300MPa \quad \text{"Long-term stress" (satt etter } \sigma_{KSR}, \text{ se beregninger i vedlegg 3)}$$

Spennsystem er satt til uinjisert.

I et eget vindu finnes alle kriteriene som kan endres. Blant annet:

- Kodevalg. Denne er satt til EC 2. Materialfaktorer for EC 2 dukker opp og kan endres om ønskelig. De er beholdt som 1.5 for betong og 1.15 for armeringsstål og spennstål.
- Overdekning er satt til 55mm både i bunn og i topp
- Slakkarmeringsstørrelse er satt til Ø12
- For skjærarmering er det valgt bøylar (stirrup), med størrelse Ø8.
- Opplager for vegg og søyle kan velges her. I dette tilfellet er det gjort på de forskjellige elementene i selve modellen. Disse ble satt som fritt opplagt.

For å analysere konstruksjonen, må det først gjennomgås noen steg for å komme frem til resultatene. I korte trekk er disse:

- Legge inn opplagringslinjer (support lines). Dette gjøres for å fortelle programmet hvilke understøttelser som påvirker i hvilken retning.
- Utføre platestripeinndeling (design strips). Programmet deler inn dekket i platestriper ut fra opplagringslinjene og forhåndsviser lastfordelingen for alle platestripene.
- Eksportere ønsket platestripe til programmet ADAPT PT for spennarmering.
- Importere resultater tilbake til ADAPT Floor Pro.
- Dele platestripene inn i seksjoner (design sections). Dette gjøres for å definere områder som programmet skal dimensjonere for. De bør være like store, og bør justeres dersom dette ikke skjer automatisk.
- FEM mesh, deler inn dekket for elementmetode analysen. Kan gjøres både automatisk og manuelt. Det er gjort automatisk i denne oppgaven.
- Analysere konstruksjonen. Etter fullført analyse kan resultatene åpnes i et nytt vindu.
- Utføre analyse for nødvendig slakkarmering. Programmet viser armeringsmengde i modellen.
- Utføre gjennomlokkingskontroll. Resultatene vil vise som "OK", "NA" (not applicable) eller "Reinforce".

### Output

Programmet kan hente ut utallige resultater. Det er kun presentert resultater som skal sammenlignes med håndberegningene. Skjermbilder av resultatene vises i vedlegg 6.

### **Spennarmering – Antall kabler**

Spennarmeringsberegningene er gjennomført i ADAPT PT, som baserer seg på stripemetoden. Antall spennkabler funnet i ADAPT PT er vist i Tabell 37.

Tabell 37 - Antall spennkabler ADAPT

| Platestripe    | Antall spennkabler |
|----------------|--------------------|
| Y <sub>1</sub> | 22                 |
| Y <sub>2</sub> | 24                 |
| X <sub>1</sub> | 31                 |
| X <sub>2</sub> | 33                 |

Spennkraften er satt til 185kN per kabel for alle spennkablene. Spennarmeringskurve for hver platestripe, samt antall kabler vises i vedlegg 6.

### **Bruddgrense – Gjennomlokkingskontroll**

Ved gjennomført gjennomlokkingskontroll i ADAPT vises det "OK" for de fire søylene som hører til det valgte området. Det er dermed ikke nødvendig med skjærarmering. Se vedlegg 6.

**Bruksgrense - Nedbøyning**

Maksimal nedbøyning er 1.82mm. Dette gjelder for området hvor de fire platestripene krysser. I vedlegg 6 vises bilde av nedbøyning for dekkekonstruksjonen.



## 6 Diskusjon

Håndberegningene og analysen utført i ADAPT skal som tidligere nevnt sammenlignes ved spennarmering-, bruddgrense- og bruksgrenseberegningene. I spennarmeringsberegningene er antall spennkabler sammenlignet. I bruddgrenseberegningene er gjennomlokkingskontroll sammenligningsgrunnlaget, og i bruksgrenseberegningene vil nedbøyningen fra håndberegninger og ADAPT sammenlignes.

### Spennarmering:

Sammenligning av antall spennkabler vises i Tabell 38.

Tabell 38 - Sammenligning antall spennkabler

| Platestripe    | Antall kabler håndberegning | Antall kabler ADAPT |
|----------------|-----------------------------|---------------------|
| Y <sub>1</sub> | 35 (35)                     | 22                  |
| Y <sub>2</sub> | 34 (35)                     | 24                  |
| X <sub>1</sub> | 37 (32)                     | 31                  |
| X <sub>2</sub> | 38 (32)                     | 33                  |

For sammenligning ses det på opprinnelig nødvendig spennarmeringsmengde fra håndberegningene. Verdiene i parentes er antall spennkabler som ble brukt videre i beregningene (se kapittel 4.2 for nærmere forklaring). Den største forskjellen mellom håndberegninger og ADAPT finnes for platestripene i y-retning.

Spennarmeringens fordeling i bredden (spennkablernes senteravstand) for hver platestripe i ADAPT finnes det ikke informasjon om. Dersom de ikke ligger jevnt fordelt slik som for håndberegningene, er dette en naturlig årsak for forskjellen som oppstår for antall spennkabler. Fordelingen er mest sannsynlig jevnt fordelt i platestripene for x-retning, mens det i y-retning er konsentrert fordeling over søylene. Det ville forklart den store forskjellen for spennarmeringsmengde i y-retning, sett i forhold til forskjellen for mengde spennarmering i x-retning. Det er rimelig å anta at programmet automatisk velger en slik optimal fordeling av spennkablene. Grunnen til at en slik fordeling ville vært mer ideell er at spennarmeringen som ligger konsentrert i y-retning ville fungert som en "bjelke" for x-retning. Dette gjør at toveisplaten oppfører seg mer som en enveisplate for de jevnt fordelte spennkablene i x-retning. [7]

En annen mulig årsak til forskjellen for antall spennkabler er spennarmeringsføringen. Spennarmeringsføringen for platestripene er noe forskjellig fra håndberegningene og ADAPT. Det viser tydelig fra spennarmeringskurvaturen i ADAPT at denne er etter momentkurven, hvor det tas hensyn til mindre momenter i de kortere spennene. Spennarmeringsføringen for håndberegningene er lagt med maks eksentrisitet etter maksimalt støtte- og feltmoment i platestripen. Mindre kurve i de korte spennene vil redusere vinkelendringen. Dette fører til mindre friksjonstap og større spennkraft. Utklipp (se vedlegg 6) av spennarmeringsføringen

viser (under søylene) hvor stor oppløftende kraft spennarmeringen bidrar med. Det skal ikke stor forskjell til på eksentrisiteten for å gjøre et betydelig utslag på oppløftende kraft fra spennarmeringen. Når spennarmeringen er lagt etter eksakt momentkurve, blir hver kabel utnyttet maksimalt, noe som gjerne resulterer i mindre antall spennkabler.

Ved lastfordeling i ADAPT er det ved hjelp av opplagringslinjene funnet optimal inndeling for platestriper (se vedlegg 6 for illustrasjon). I håndberegningene er bredden på platestripene konstant, og tar ikke hensyn til eventuelle utsparinger i dekket som gir mindre last. Dette gjelder kun for platestripe  $y_2$  av de aktuelle platestripene det ses på i oppgaven. Denne forskjellen påvirker ikke mye, og anses ikke som avgjørende for forskjellen av antall spennkabler for  $y_2$ .

Forskjellene som finnes i bruddgrenseberegningene og bruksgrenseberegningene vil også være påvirket av forskjellen i spennarmeringsberegningene.

### **Bruddgrense:**

Neste kontrollpunkt for sammenligning av ADAPT og håndberegningene er gjennomlokkingskontroll. Resultatene fra håndberegningene ga behov for skjærarmering ved alle søylene, i motsetning til resultatene fra ADAPT som viser OK for alle søyler, altså ikke behov for skjærarmering ved noen av søylene.

En mulig årsak til dette er den antatte ulike fordelingen av spennkabler. Dersom det er konsentrert fordeling av spennkabler over søylene i den ene retningen i ADAPT-modellen, vil dette styrke søyleområdet betraktelig.

I håndberegningene ble det nødvendig å regne faktoren  $\beta$  manuelt fremfor å bruke standardisert verdi. Utreignet verdi ble rundt 1.7 for de fleste søylene, mens den standardiserte verdien ligger på 1.15 for innvendige søyler. Antar at programmet også tar hensyn til nødvendig justering av denne faktoren. Siden utregning av faktoren er basert på forholdet mellom dimensjonerende momenter og skjærkrefter, er det mulig at programmet har en lavere verdi, som resulterer i at det ikke er behov for skjærarmering.

En stor forskjell for sammenligning av bruddgrenseberegninger i forhold til sammenligning for spennarmeringsberegninger er at analysene i programmet nå er basert på elementmetoden. Det ses ikke på en stripe om gangen, men helheten av dekket. Det forventes dermed mer konservative resultat fra håndberegningene.

En mulig kombinasjon av alle disse påvirkningene gjør det troverdig at det ikke er nødvendig med skjærarmering i henhold til modellen i ADAPT.

### **Bruksgrense:**

Ved beregning av nedbøyning ble det tatt et par antagelser for å få et gyldig beregningsgrunnlag (beskrevet i kapittel 4.4.2). Dette ble gjort for å kunne se på aktuelle felt totalt isolert fra resten av dekket.

Sammenligning av resultater for nedbøyning fra håndberegningene og analysen i ADAPT vises i Tabell 39.

Tabell 39 - Nedbøyning fra håndberegninger og ADAPT

| <b>Nedbøyning [mm]</b> | <b>Håndberegning</b> | <b>ADAPT</b> |
|------------------------|----------------------|--------------|
| Korttidsnedbøyning     | 1.535                | -            |
| Langtidsnedbøyning     | 3.198                | 1.82         |

Tillatt nedbøyning er funnet til å være:

$$\frac{l}{250} = \frac{7500mm}{250} = 30mm$$

Nedbøyningsresultat fra både håndberegning og ADAPT er langt innenfor øvre grense for nedbøyning i dette området.

Verdien for nedbøyning er så liten fordi lastbalanseringen er satt til 100% av egenlasten. Noe av formålet til en slik lastbalansering er å unngå nedbøyninger i konstruksjonen. [9]

Forskjellen for resultatet fra håndberegningene og ADAPT er liten og det var forventet at nedbøyningen fra håndberegningene skulle bli størst.

Sammenligningen av resultater fra håndberegninger og analyser utført i ADAPT preges av usikkerhet. Denne usikkerheten ligger i eventuelle beregningsfeil i håndberegningene og det faktum at det ikke går an å se hvordan programmet tenker til enhver tid. Det hadde styrket validiteten betraktelig med en tredjepartsverifikasjon.



## 7 Konklusjon

Sammenligning av resultatene fra håndberegningene og analysene i ADAPT viser som forventet at det er mer konservative resultater i håndberegningene. Dette vises igjen i spennarmeringsmengden, nedbøyningen og gjennomløkkingskontrollen.

Under forutsetning om at håndberegninger og analyser er utført korrekt, er det stor forskjell mellom resultatene. Dette vises spesielt for spennarmeringsmengden i Y-retning, hvor mengden spennkabler er redusert med 13 og 10 spennkabler for henholdsvis platestripe 1 og 2. Dette tilsvarer en reduksjon på 33% for spennarmeringsmengden i y-retning. Forskjellen for opprinnelig spennarmeringsmengde fra håndberegningene og analysen er 6 og 5 spennkabler for henholdsvis platestripe 1 og 2 i x-retning. Denne differansen tilsvarer en reduksjon på knappe 15%. Totalt sett vil differansen på opprinnelig mengde spennkabler for alle platestripene være redusert med 24%. Den samme differansen som gjelder for spennarmeringsmengden brukt videre i beregningene er 18%.

Det er også betydelig forskjell i resultatene for skjærarmeringen, hvor det i håndberegningene er nødvendig med skjærarmering, mens skjærarmering er ikke-eksisterende for analysen utført i ADAPT.

Forskjellen fra nedbøyningsresultatene er ikke verdimesig store, og begge resultat er godt innenfor verdien for tillatt nedbøyning. Nedbøyningen var som forventet størst i håndberegningene.

### Kommentar:

I ettertid er det innlysende at samvirkeplaten burde vært neglisjert fra begynnelsen av. Planen var å legge den samme platen inn i ADAPT, men det er ikke mulig i programmet. Mye av beregningene var allerede gjort da dette ble oppdaget, og på grunn av tidspress var det ikke mulig å gjøre det hele på nytt.



## 8 Kilder og referanser

- [1] Norsk Standard, NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008. *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.*
- [2] Norsk Standard, NS-EN 1990:2002+NA:2008. *Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.*
- [3] Norsk Standard, NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008. *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger.*
- [4] Norsk Standard. *NS 3473: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Beregnings- og konstruksjonsregler.*
- [5] Sørensen, Svein Ivar (2.opplag, 2012). *Betongkonstruksjoner: Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2.* Trondheim; Tapir Akademisk Forlag. [2010]
- [6] Bhatt, Prabhakara (2011). *Prestressed Concrete Design to Eurocodes.* Oxon; Routledge.
- [7] Collins, Michael P., Denis Mitchell (1991). *Prestressed Concrete Structures.* New Jersey; Prentice-Hall, Inc..
- [8] Nawy, Edward G. (fifth edition, 2006). *Prestressed Concrete; A Fundamental Approach.* New Jersey; Pearson Prentice Hall. [1989]
- [9] Lin, T. Y., Ned H. Burns, (third edition, 1982). *Design of Prestressed Concrete Structures.* New York: John Wiley & Sons, Inc.. [1955]
- [10] Norsk Betongforening (2004). *Flatdekker. Beregning og konstruktiv utforming. Publikasjon nummer 33.*
- [11] Norsk Betongforening (1978). *Skjærkraftkapasitet for plater med konsentrerte laster. Publikasjon nummer 6.*
- [12] Alexander, Sven, Arild Brekke, Jon Hopp, Leidulv Vinje, Siri Fause (2.opplag, 2006). *Betongelementboken bind C: Elementer og knutepunkter.* SB Grafisk. [1996]
- [13] Alexander, Sven m.fl. (2009). *Betongelementboken bind G: Transport og montasje.* Asker: SB Grafisk.
- [14] Sjøpler, Birger (2004). *Betong boka. 2.utgave.* Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS. [1995]
- [15] Mariero, Eilert (2005). *Betongkonstruksjoner.* Kompendium som er utarbeidet av Eilert Mariero (tidl. foreleser) til bruk i undervisningen i fagene Betongkonstruksjoner 1 og 2 ved UiS.
- [16] Larsen, Per K., Arild H. Clausen, Arne Aalberg (3.utgave, 2007) *Stålkonstruksjoner: Profiler og formler.* Trondheim: Tapir Akademisk Forlag. [1993]

- [17] VSL; Franz A. Zahn, Hans R. Ganz, (1992). *Post-Tensioned in Buildings*. VSL Report Series 4.1. VSL International Ltd.  
URL: [http://www.vsl.net/Portals/0/vsl\\_techreports/PT\\_Buildings.pdf](http://www.vsl.net/Portals/0/vsl_techreports/PT_Buildings.pdf) [Hentet 20.09.2012]
- [18] VSL; Dr. P. Ritz, P. Matt, Ch. Tellenbach, P. Schlub, H. U. Aeberhard (1985). *Post-Tensioned Slabs*. VSL Report Series 4.2. VSL International Ltd.  
URL: [http://www.vsl.net/Portals/0/vsl\\_techreports/PT\\_Slabs.pdf](http://www.vsl.net/Portals/0/vsl_techreports/PT_Slabs.pdf) [Hentet 20.09.2012]
- [19] VSL. *VSL Construction Systems*.  
URL: [http://vsl.net/portals/0/vsl\\_lit/VSL\\_construction\\_systems\\_US.pdf](http://vsl.net/portals/0/vsl_lit/VSL_construction_systems_US.pdf)  
[Hentet 26.12.2012]
- [20] Stevenson, Mark (1994). *Post-tensioned concrete floors in multi-storey buildings*. British Cement Association.  
URL: [http://www.ptsindia.net/images/download/POST\\_TENSIONED\\_CONCRETE\\_FLOORS\\_IN\\_MULTI\\_STOREY\\_BUILDINGS.pdf](http://www.ptsindia.net/images/download/POST_TENSIONED_CONCRETE_FLOORS_IN_MULTI_STOREY_BUILDINGS.pdf) [Hentet 27.09.2012]
- [21] KB Spenneteknikk AS. *BBR VT CONA Single spennsausystem*.  
URL: <http://www.spenneteknikk.no/brosjyrer/BBR-VT-CONA-Single-spenntausystem-24022011.pdf>  
[Hentet 27.09.2012]
- [22] ADAPT. *ADAPT-PT 2012 Getting Started Guide*.  
URL: [http://www.adaptsoft.com/manuals/ADAPT-PT\\_2012\\_Getting\\_Started\\_Guide.pdf](http://www.adaptsoft.com/manuals/ADAPT-PT_2012_Getting_Started_Guide.pdf)  
[Hentet 27.09.2012]
- [23] ADAPT. *ADAPT Floor Pro User Manual*.  
URL: [http://www.hearne.com.au/attachments/Floor\\_Pro\\_EX\\_v3.20\\_Manual.pdf](http://www.hearne.com.au/attachments/Floor_Pro_EX_v3.20_Manual.pdf)  
[Hentet 27.09.2012]
- [24] ADAPT. *ADAPT Modeler User Manual*.  
URL: [http://www.hearne.com.au/attachments/Modeler\\_EX\\_v3.20\\_Manual.pdf](http://www.hearne.com.au/attachments/Modeler_EX_v3.20_Manual.pdf)  
[Hentet 12.10.2012]
- [25] ADAPT Software's hjemmeside (produktinformasjon).  
URL: <http://adaptsoft.com/software.php>
- [26] Spinos, Dennis, Andreas Bure (2011). *Samvirkeplater i dekkekonstruksjoner*.  
URL:  
[http://www.fabeko.no/oslo/fabeko.nsf/Attachments/CDBAC0F8A20B0CADC1257834002E575E/\\$FILE/ArcelorMittal\\_Samvirkeplater\\_2011.pdf](http://www.fabeko.no/oslo/fabeko.nsf/Attachments/CDBAC0F8A20B0CADC1257834002E575E/$FILE/ArcelorMittal_Samvirkeplater_2011.pdf)  
[Hentet 04.01.2013]
- [27] URL: <http://www.produktfakta.no/norsk-stal-as-superfloor-77-38612/nyhet.html>  
[Besøkt 04.01.2013]



- [28] URL: [http://www.armat.no/prod\\_info.asp?submenu=3&subtop=1&prodid=30](http://www.armat.no/prod_info.asp?submenu=3&subtop=1&prodid=30)  
[Besøkt 04.01.2013]
- [29] Brå, Helge. *Generelt om plasstøpte dekker*.  
URL:  
[http://www.fabeko.no/oslo/fabeko.nsf/Attachments/B6037372A6BAFC31C12575A5002ED673/\\$FILE/Generelt+om+plasst%C3%B8pte+dekker+109.pdf](http://www.fabeko.no/oslo/fabeko.nsf/Attachments/B6037372A6BAFC31C12575A5002ED673/$FILE/Generelt+om+plasst%C3%B8pte+dekker+109.pdf)  
[Hentet 04.01.2013]
- [30] Kurs holdt ved Dimensjon AS. *Etterspente konstruksjoner*.  
Hynne, Per Martin og Tommy Lindstrøm (KB Spennteknikk AS)  
Mossone, Pietro Paolo (ADAPT Europe Ltd)  
[Kursdato 25.02.2013]
- [31] Dimensjon Rådgivning AS (Plantegning som vises i vedlegg 1)



## **Vedlegg 1 - Illustrasjoner**

Innhold:

Dekkets geometri (opprinnelig plantegning)

Aktuell del av dekket

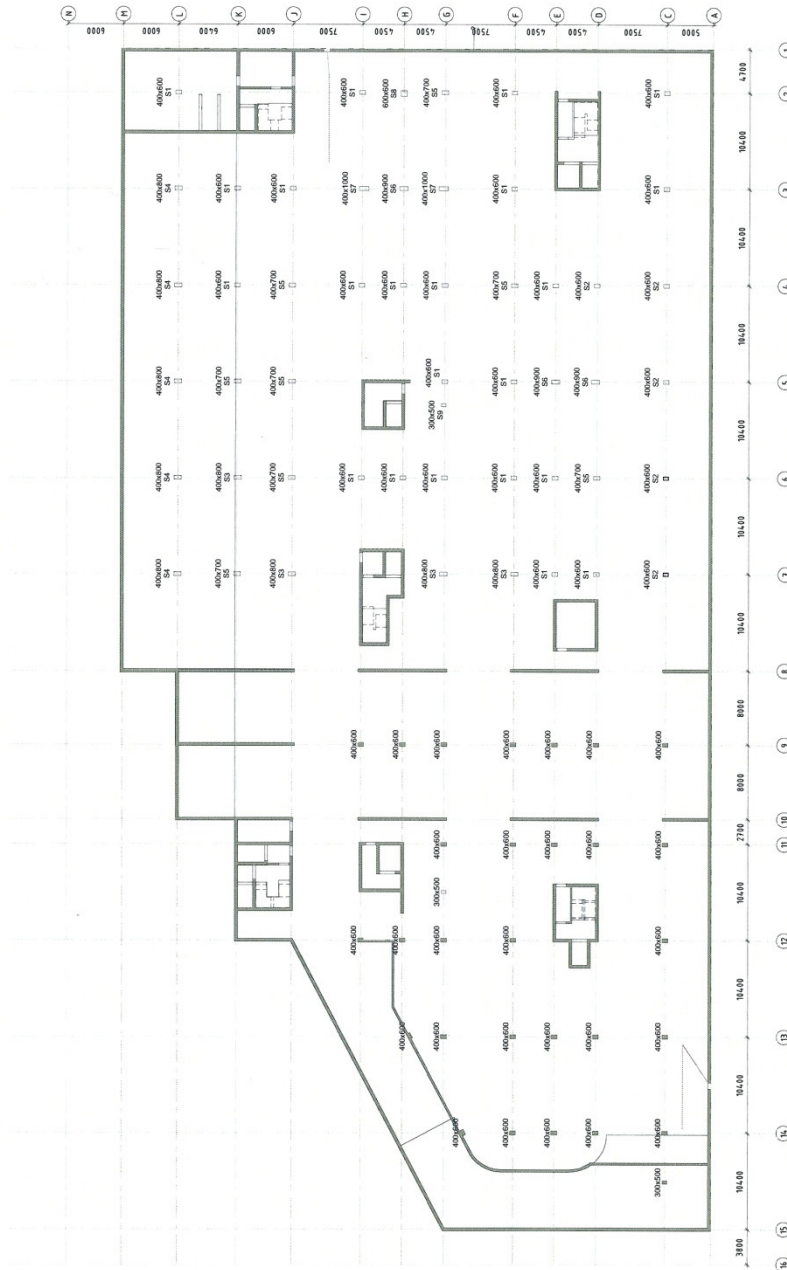
Utvalgte platestriper med spennarmeringsføring (etter hovedmomenter)

Snitt på tvers av platestriper (viser hvordan spennkablene ligger fordelt i tverrsnittet)



# Dekkets geometri

Hele dekket:



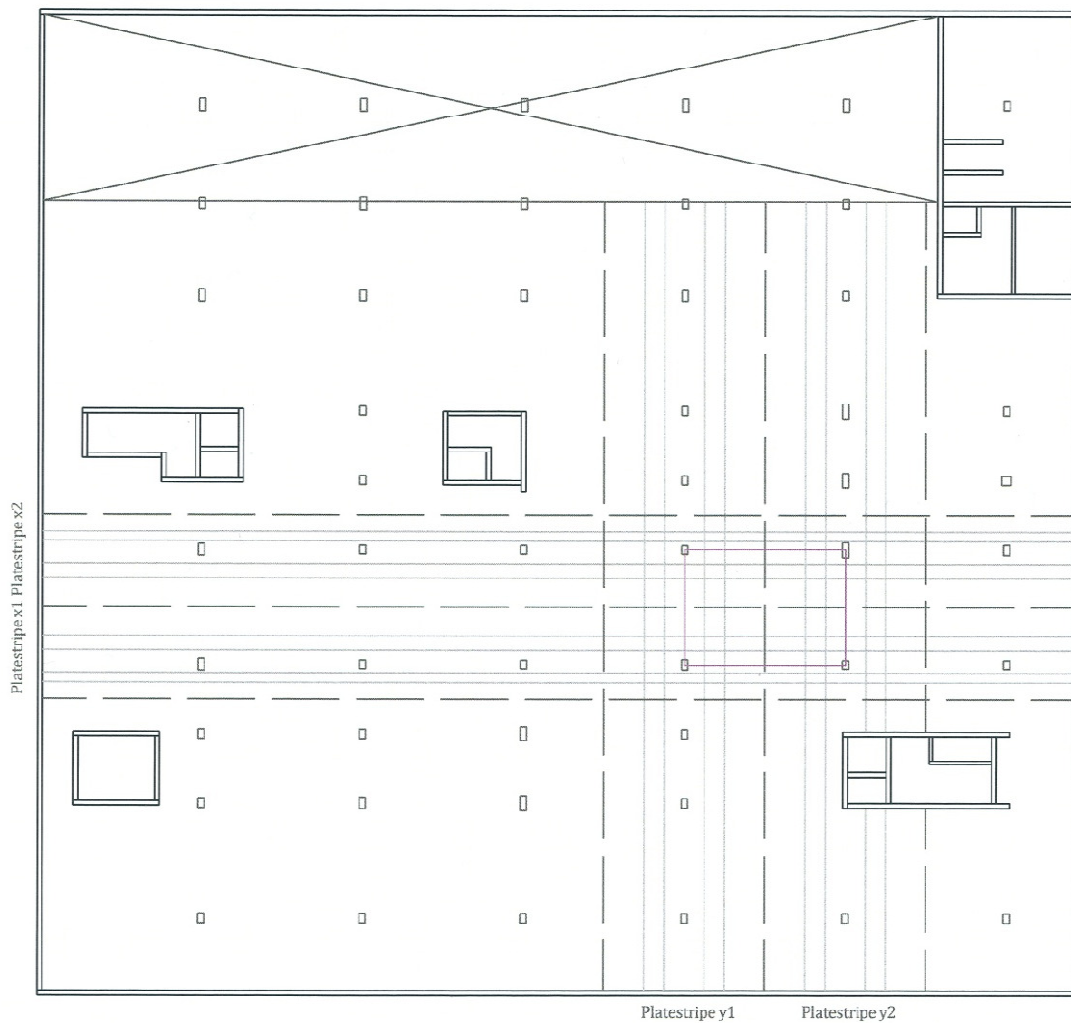
Plantegning over er fått fra [31]

## Aktuell del av dekket

Del av dekket som er blitt modellert i ADAPT.

Stiplede linjer viser de aktuelle platestripene. Det er disse spennarmeringsberegningene gjelder for. Grå streker viser inndeling i søyle- og feltstriper innenfor de aktuelle platestripene.

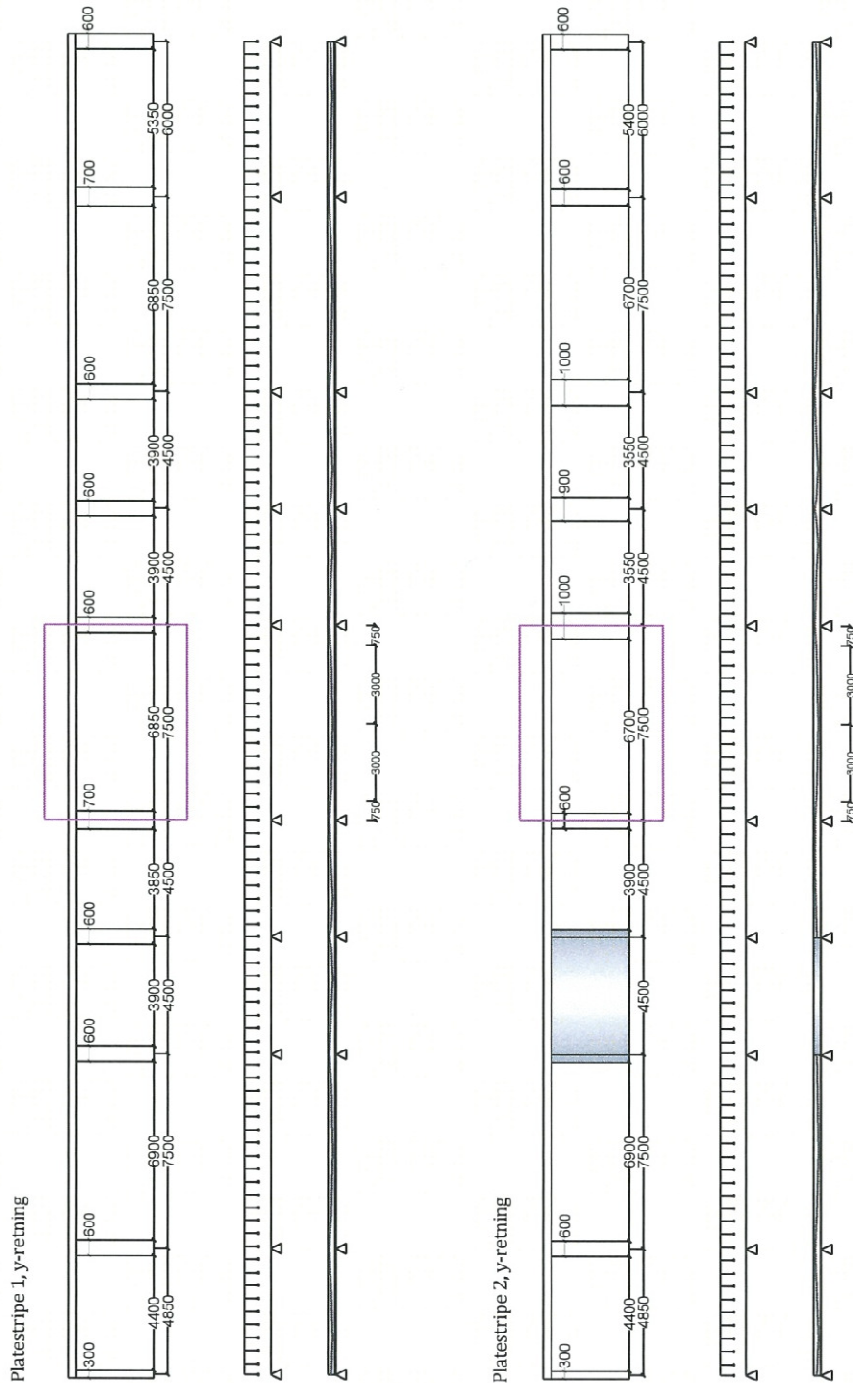
Uthevet område hvor platestripene krysses er det området brudd- og bruksgrenseberegningene gjelder for.



## Utvalgte platestriper med spennarmeringsføring

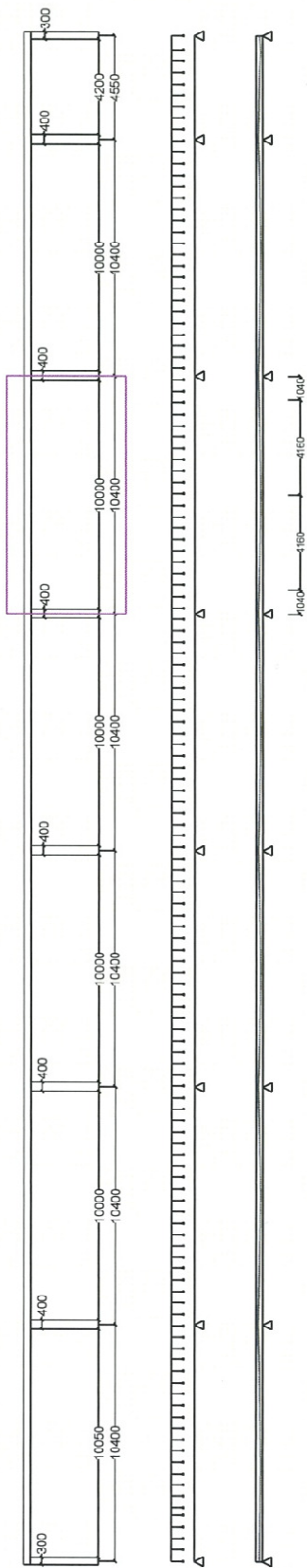
### For y-retning:

Platestriper i y-retning. Her vises spennarmeringsføringen for hele lengden, samt utringet område som gjelder for brudd- og bruksgrenseberegningene. Det vises også mål på søyler og aktuelle infleksjonslengder.

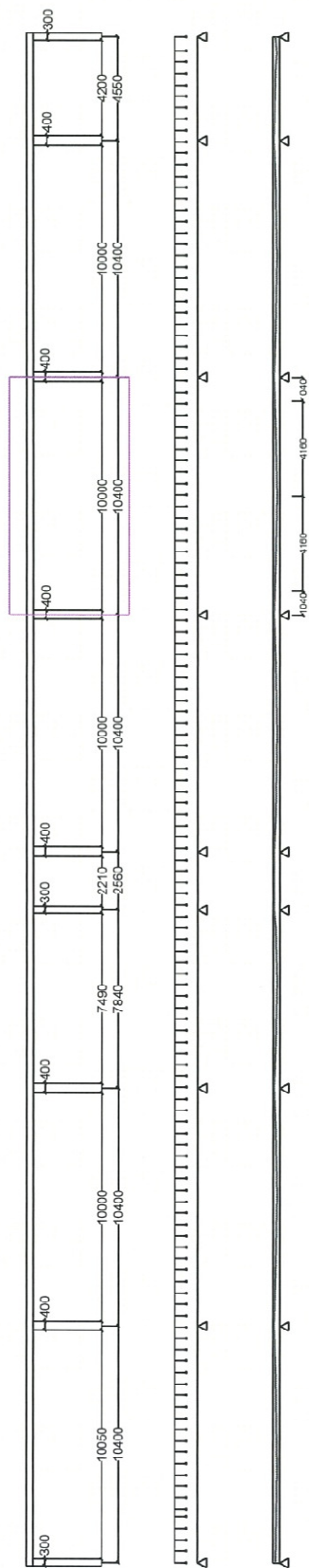


For x-retning:

Platstripe 1, i x-retning

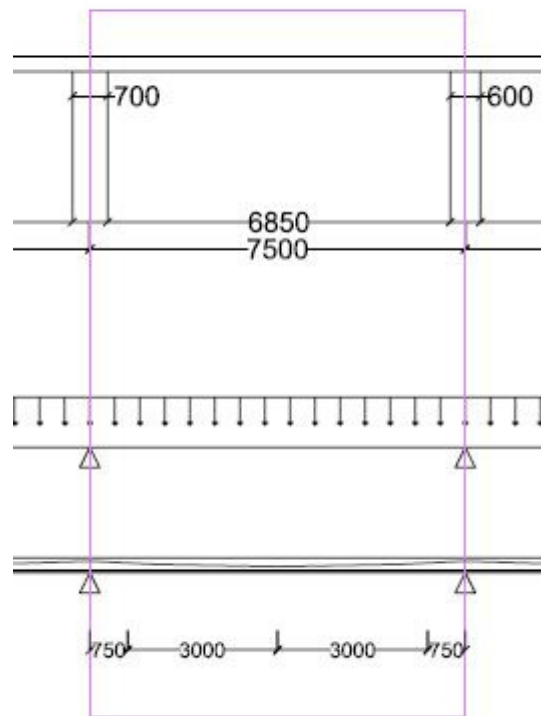


Platstripe 2, i x-retning

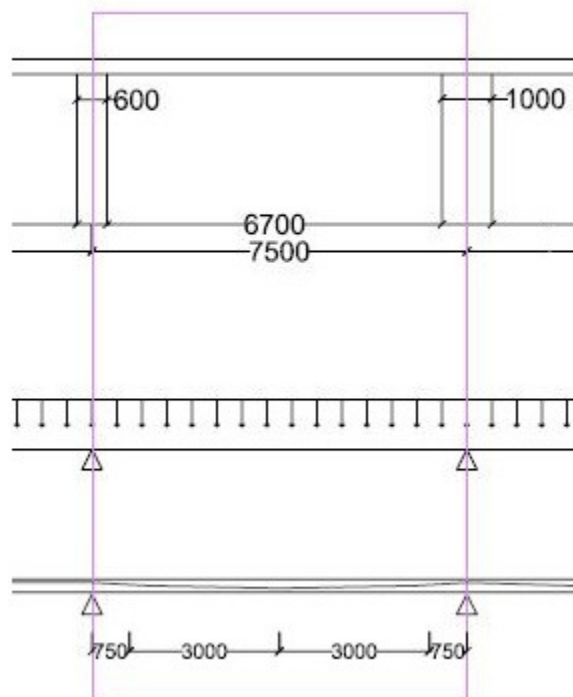




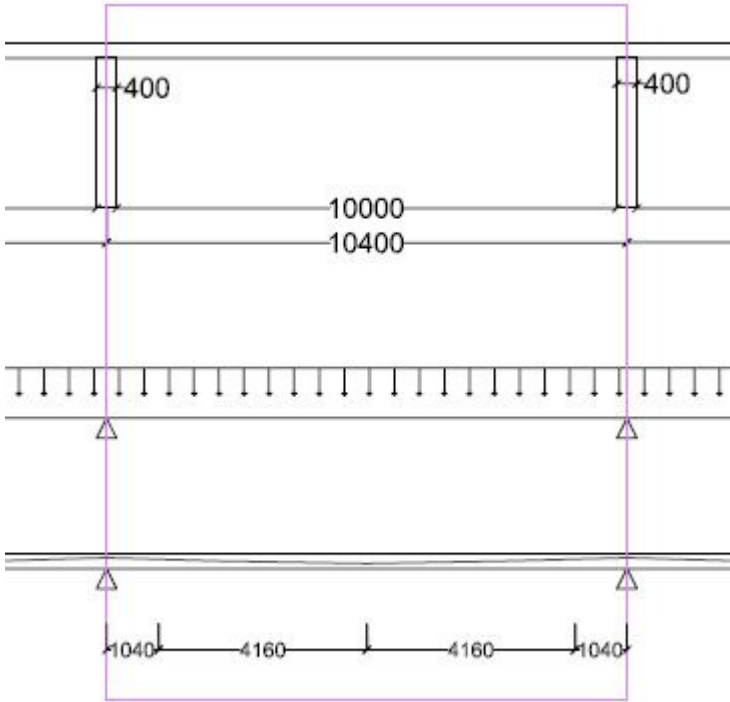
### Utsnitt platesstripe y1



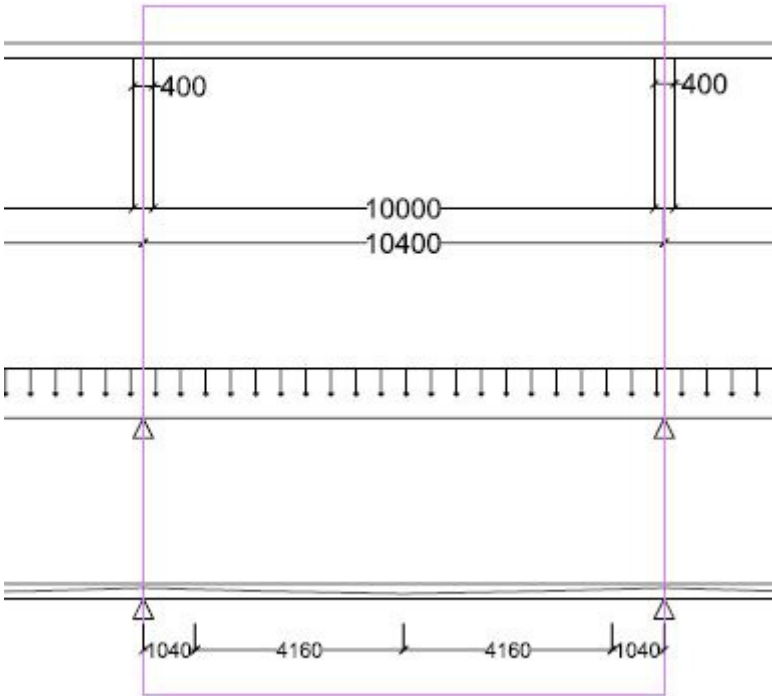
### Utsnitt platesstripe y2



Utsnitt platesstripe x1

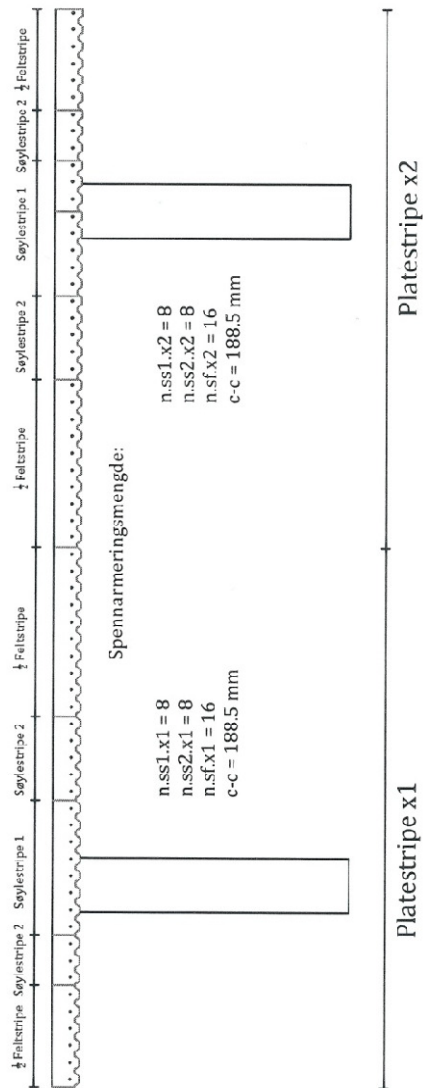


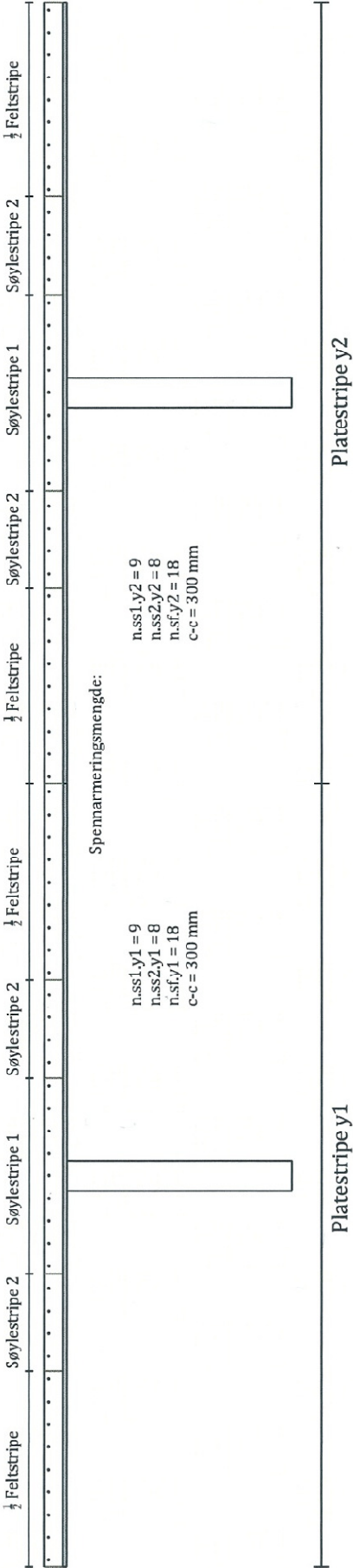
Utsnitt platesstripe x2



## Snitt på tvers av platestripene

Snitt på tvers av platestripene viser fordelingen av spennarmeringen i tverrsnittet.





## **Vedlegg 2 - Laster**

Innhold:

Laster

Moment

Skjærkrefter

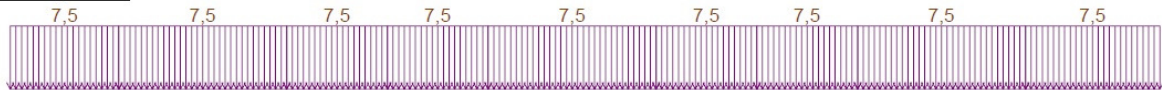


## Laster og statikkresultater fra G-Prog

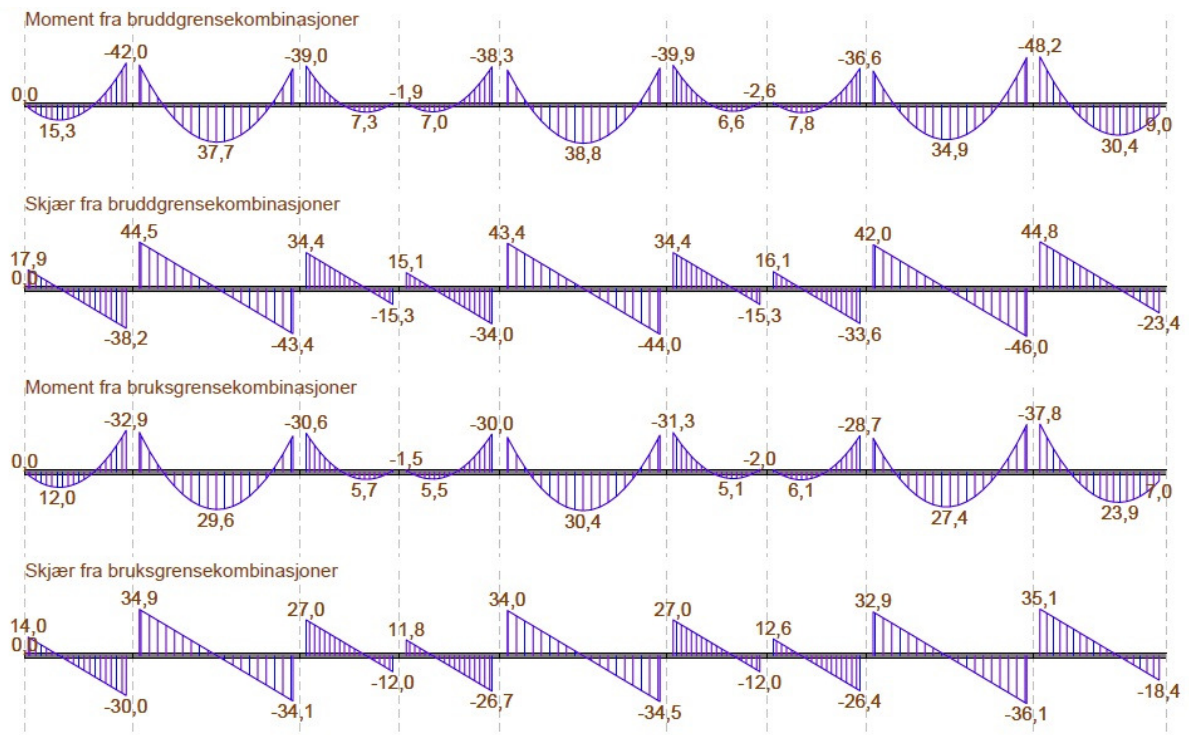
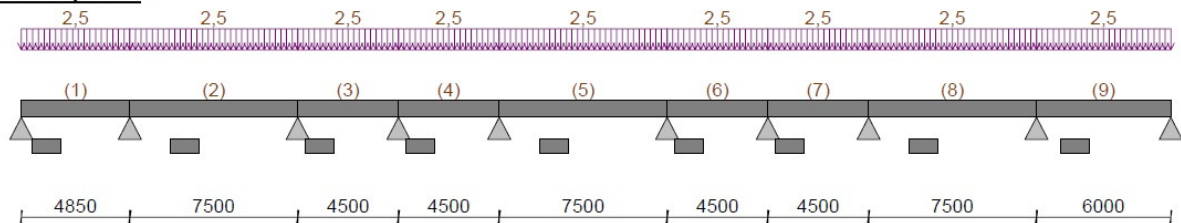
### For søylestripe y<sub>1</sub>:

#### 1.1 Lasttilfeller

##### 1.1.1 Egenlast



##### 1.1.2 Nyttelast



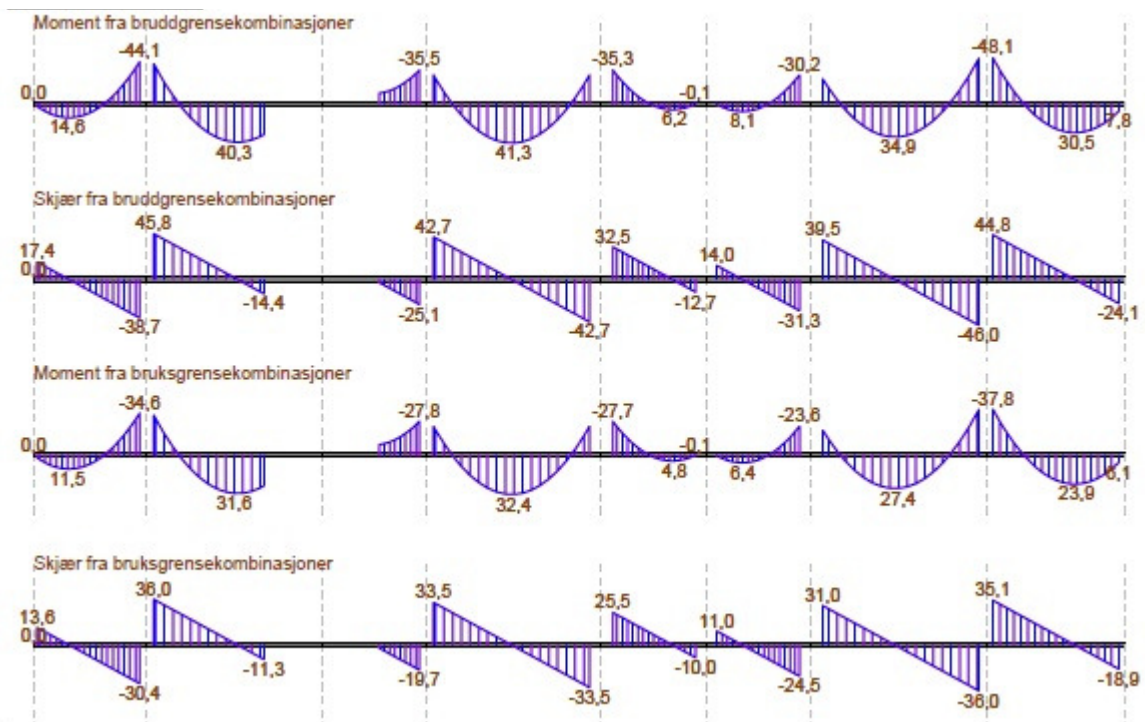
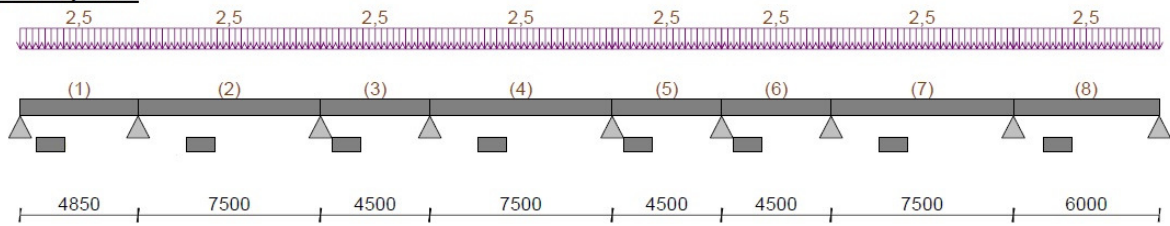
For søylestripe y<sub>2</sub>:

1.1 Lasttilfeller

1.1.1 Egenlast



1.1.2 Nyttelast





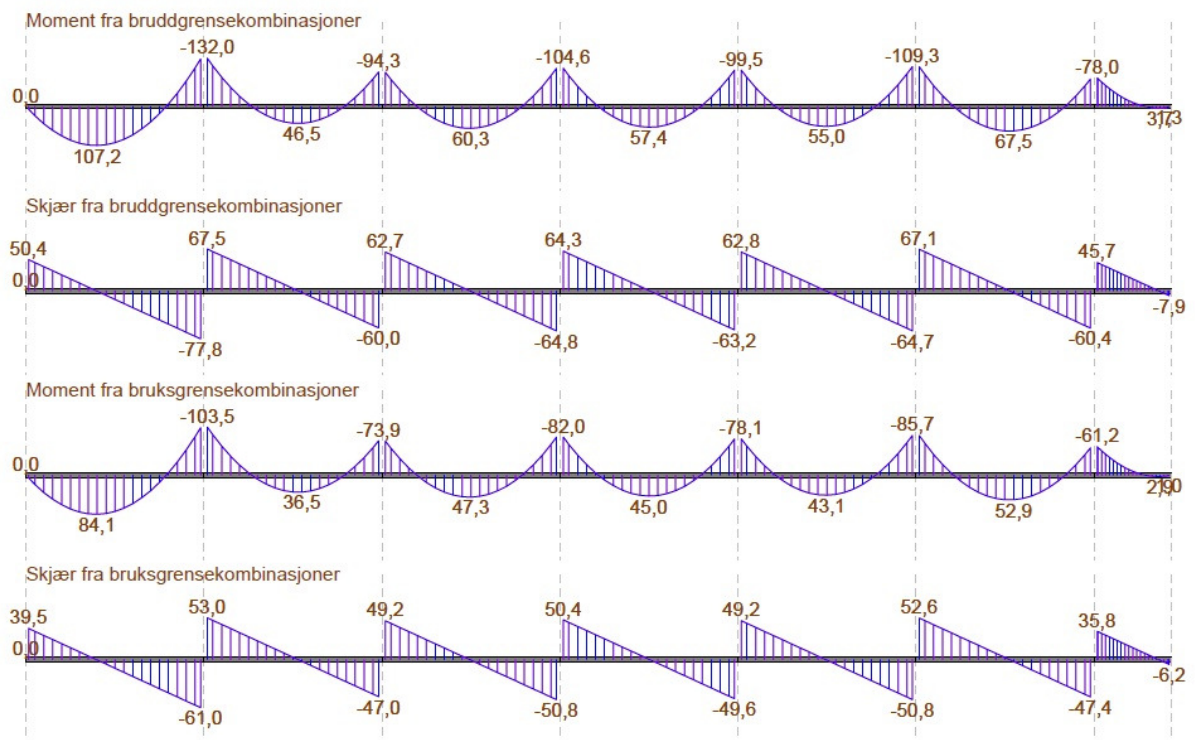
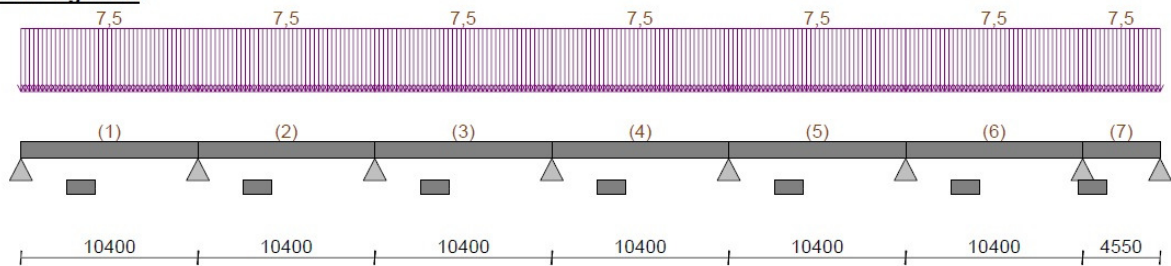
For søylestripe x<sub>1</sub>:

1.1 Lasttilfeller

1.1.1 Nyttelast



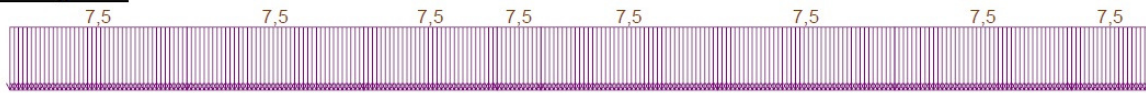
1.1.2 Egenlast



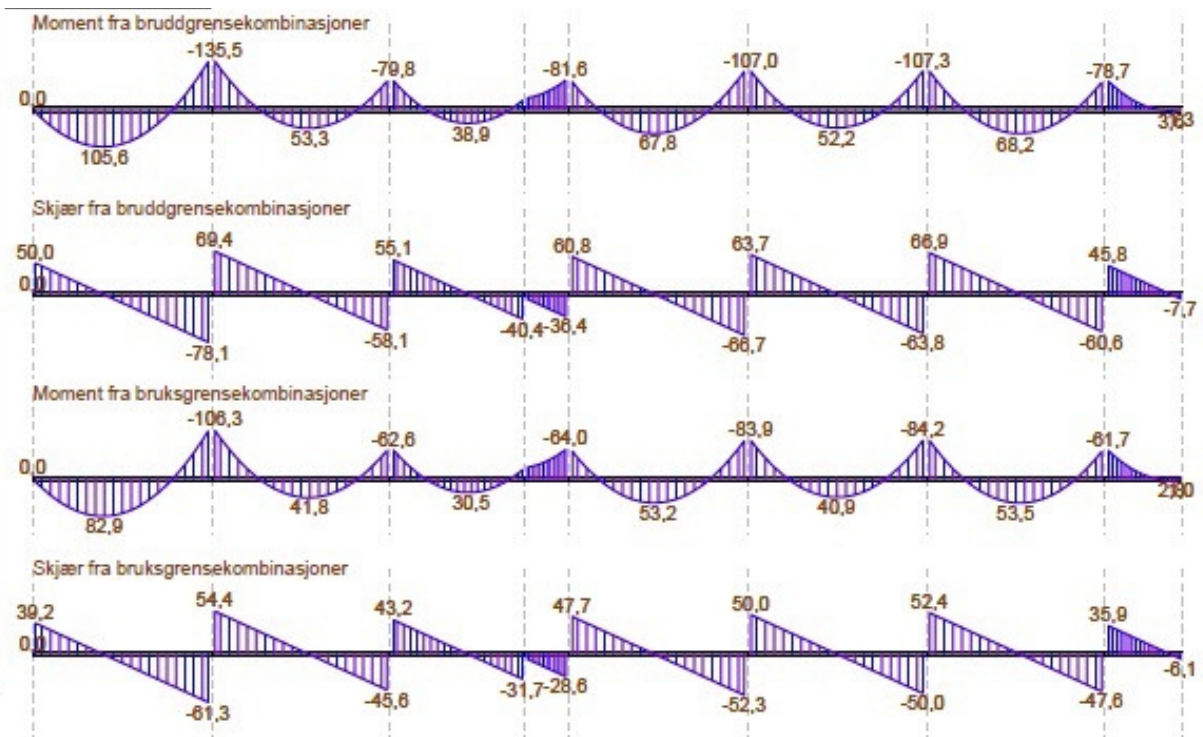
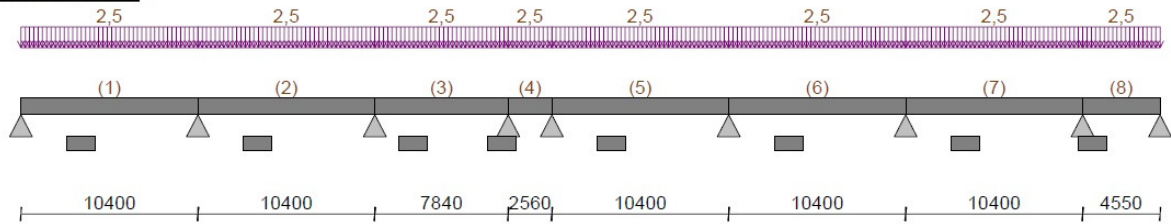
**For søylestripe x<sub>2</sub>:**

**1.1 Lasttilfeller**

**1.1.1 Egenlast**



**1.1.2 Nyttelast**



## Vedlegg 3 – Spennarmeringsberegninger

Innhold:

Beregning av vinkelendring langs spennkabelen

Fordeling og mengde

Umiddelbare tap

    Friksjonstap

    Låsetap

    Elastisk deformasjon

Tidsavhengige tap

    Kryp

    Svinn

    Relaksasjon

Totalt spennkrafttap

Oppspenningskraft



## Beregning av vinkelendringer langs spennkabel

Beregnes for å finne friksjonstapet i de forskjellige platestripene.

For platestripe  $y_1$ :

Eksentrisiteter:

$$e_{s,y1} := 62.5\text{mm}$$

$$e_{f1,y1} := 41.0\text{mm}$$

$$e_{f2,y1} := 51.1\text{mm}$$

$$e_{f3,y1} := 18.9\text{mm}$$

$$e_{f4,y1} := 17.2\text{mm}$$

$$e_{f5,y1} := 51.1\text{mm}$$

$$e_{f6,y1} := 16.7\text{mm}$$

$$e_{f7,y1} := 23.1\text{mm}$$

$$e_{f8,y1} := 51.1\text{mm}$$

$$e_{f9,y1} := 50.0\text{mm}$$

$$x_{a,y1} := 29.7\text{mm}$$

$$x_{b,y1} := 25.4\text{mm}$$

Pilhøyder:

$$h_{f1,y1} := e_{f1,y1} + x_{a,y1} = 70.7\text{mm}$$

$$h_{f2,y1} := e_{s,y1} + e_{f2,y1} = 113.6\text{mm}$$

$$h_{f3,y1} := e_{s,y1} + e_{f3,y1} = 81.4\text{mm}$$

$$h_{f4,y1} := e_{s,y1} + e_{f4,y1} = 79.7\text{mm}$$

$$h_{f5,y1} := e_{s,y1} + e_{f5,y1} = 113.6\text{mm}$$

$$h_{f6,y1} := e_{s,y1} + e_{f6,y1} = 79.2\text{mm}$$

$$h_{f7,y1} := e_{s,y1} + e_{f7,y1} = 85.6\text{mm}$$

$$h_{f8,y1} := e_{s,y1} + e_{f8,y1} = 113.6\text{mm}$$

$$h_{f9,y1} := e_{f9,y1} + x_{b,y1} = 75.4\text{mm}$$

Lengder:

$$L_{f1,y1} := 4850\text{mm}$$

$$L_{f2,y1} := 7500\text{mm}$$

$$L_{f3,y1} := 4500\text{mm}$$

$$L_{f4,y1} := 4500\text{mm}$$

$$L_{f5,y1} := 7500\text{mm}$$

$$L_{f6,y1} := 4500\text{mm}$$

$$L_{f7,y1} := 4500\text{mm}$$

$$L_{f8,y1} := 7500\text{mm}$$

$$L_{f9,y1} := 6000\text{mm}$$

Vinkelendring langs spennkabelen:

$$\theta_{1,y1} := \frac{h_{f1,y1}}{\left(\frac{0.9 \cdot L_{f1,y1}}{2}\right)} = 0.032$$

$$\theta_{2,y1} := \frac{e_{s,y1}}{\left(L_{f1,y1} - \frac{0.9 \cdot L_{f1,y1}}{2}\right)} = 0.023$$

$$\theta_{3,y1} := \frac{h_{f2,y1}}{\frac{L_{f2,y1}}{2}} = 0.03 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{4,y1} := \frac{h_{f3,y1}}{\frac{L_{f3,y1}}{2}} = 0.036 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{5,y1} := \frac{h_{f4,y1}}{\frac{L_{f4,y1}}{2}} = 0.035 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{6,y1} := \frac{h_{f5,y1}}{\frac{L_{f5,y1}}{2}} = 0.03 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{7,y1} := \frac{h_{f6,y1}}{\frac{L_{f6,y1}}{2}} = 0.035 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{8,y1} := \frac{h_{f7,y1}}{\frac{L_{f7,y1}}{2}} = 0.038 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{9,y1} := \frac{h_{f8,y1}}{\frac{L_{f8,y1}}{2}} = 0.03 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{10,y1} := \frac{e_{s,y1}}{L_{f9,y1} - \frac{0.9 \cdot L_{f9,y1}}{2}} = 0.019$$

$$\theta_{11,y1} := \frac{h_{f9,y1}}{\left(\frac{0.9 \cdot L_{f9,y1}}{2}\right)} = 0.028$$

Total vinkelending for spennkabel langs  $y_1$ :

$$\theta_{\text{tot},y1} := \theta_{1,y1} + \theta_{2,y1} + 2 \cdot (\theta_{3,y1} + \theta_{4,y1} + \theta_{5,y1} + \theta_{6,y1} + \theta_{7,y1} + \theta_{8,y1} + \theta_{9,y1}) + \theta_{10,y1} + \theta_{11,y1}$$

$$\theta_{\text{tot},y1} = 0.574 \quad (\text{alle vinkler summert opp})$$

Lengde på spennkabel for  $y_1$  er 51.35m

**For platestripe  $y_2$ :**

Eksentrisiteter:

$$e_{s,y2} := 62.5\text{mm}$$

Denne stripa har en vegg i "felt 3". Det vil dermed finnes spennkabler som går over de to første feltene, og spennkabler som går over de 6 siste feltene. Beregninger gjøres kun for de 6 siste feltene, da det er denne delen som vil ha innflytelse på det området det ses på i denne oppgaven.

$$e_{f3,y2} := 37.8\text{mm}$$

$$e_{f4,y2} := 53.2\text{mm}$$

$$e_{f5,y2} := 11.8\text{mm}$$

$$e_{f6,y2} := 24.4\text{mm}$$

$$e_{f7,y2} := 53.2\text{mm}$$

$$e_{f8,y2} := 51.7\text{mm}$$

$$x_{a,y2} := 24.7\text{mm}$$

$$x_{b,y2} := 25.4\text{mm}$$

Pilhøyder:

$$h_{f3,y2} := e_{f3,y2} - x_{a,y2} = 13.1\text{mm}$$

$$h_{f4,y2} := e_{s,y2} + e_{f4,y2} = 115.7\text{mm}$$

$$h_{f5,y2} := e_{s,y2} + e_{f5,y2} = 74.3\text{mm}$$

$$h_{f6,y2} := e_{s,y2} + e_{f6,y2} = 86.9\text{mm}$$

$$h_{f7,y2} := e_{s,y2} + e_{f7,y2} = 115.7\text{mm}$$

$$h_{f8,y2} := e_{f8,y2} + x_{b,y2} = 77.1\text{mm}$$

Lengder:

$$L_{f3,y2} := 4500\text{mm}$$

$$L_{f4,y2} := 7500\text{mm}$$

$$L_{f5,y2} := 4500\text{mm}$$

$$L_{f6,y2} := 4500\text{mm}$$

$$L_{f7,y2} := 7500\text{mm}$$

$$L_{f8,y2} := 6000\text{mm}$$

Vinkelendring langs spennkabelen:

$$\theta_{1,y2} := \frac{h_{f3,y2}}{\left(\frac{0.9 \cdot L_{f3,y2}}{2}\right)} = 6.469 \times 10^{-3}$$

$$\theta_{2,y2} := \frac{e_{s,y2}}{\left(L_{f3,y2} - \frac{0.9 \cdot L_{f3,y2}}{2}\right)} = 0.025$$

$$\theta_{3,y2} := \frac{h_{f4,y2}}{\frac{L_{f4,y2}}{2}} = 0.031 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{4,y2} := \frac{h_{f5,y2}}{\frac{L_{f5,y2}}{2}} = 0.033 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{5,y2} := \frac{\frac{h_{f6,y2}}{L_{f6,y2}}}{2} = 0.039 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{6,y2} := \frac{\frac{h_{f7,y2}}{L_{f7,y2}}}{2} = 0.031 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{7,y2} := \frac{e_{s,y2}}{L_{f8,y2} - \frac{0.9 \cdot L_{f8,y2}}{2}} = 0.019$$

$$\theta_{8,y2} := \frac{\frac{h_{f8,y2}}{\left(\frac{0.9 \cdot L_{f8,y2}}{2}\right)}}{2} = 0.029$$

Total vinkelending for spennkabel langs  $y_2$ :

$$\theta_{\text{tot},y2} := \theta_{1,y2} + \theta_{2,y2} + 2 \cdot (\theta_{3,y2} + \theta_{4,y2} + \theta_{5,y2} + \theta_{6,y2}) + \theta_{7,y2} + \theta_{8,y2}$$

$$\theta_{\text{tot},y2} = 0.346$$

Lengde på spennkabel for  $y_2$  er 34.5m

**For platestripe  $x_1$ :**

Eksentrisiteter:

$$e_{s,x1} := 65\text{mm}$$

$$e_{f1,x1} := 54.2\text{mm}$$

$$e_{f2,x1} := 52.0\text{mm}$$

$$e_{f3,x1} := 53.2\text{mm}$$

$$e_{f4,x1} := 53.2\text{mm}$$

$$e_{f5,x1} := 53.2\text{mm}$$

$$e_{f6,x1} := 53.2\text{mm}$$

$$e_{f7,x1} := 38.9\text{mm}$$

$$x_{a,x1} := 21\text{mm}$$

$$x_{b,x1} := 0.7\text{mm}$$

Pilhøyder:

$$h_{f1,x1} := e_{f1,x1} + x_{a,x1} = 75.2 \cdot \text{mm}$$

$$h_{f2,x1} := e_{s,x1} + e_{f2,x1} = 117 \cdot \text{mm}$$

$$h_{f3,x1} := e_{s,x1} + e_{f3,x1} = 118.2 \cdot \text{mm}$$

Lengder:

$$L_{f1,x1} := 10400\text{mm}$$

$$L_{f2,x1} := 10400\text{mm}$$

$$L_{f3,x1} := 10400\text{mm}$$



$$\begin{aligned} h_{f4.x1} &:= e_{s.x1} + e_{f4.x1} = 118.2 \cdot \text{mm} & L_{f4.x1} &:= 10400 \text{mm} \\ h_{f5.x1} &:= e_{s.x1} + e_{f5.x1} = 118.2 \cdot \text{mm} & L_{f5.x1} &:= 10400 \text{mm} \\ h_{f6.x1} &:= e_{s.x1} + e_{f6.x1} = 118.2 \cdot \text{mm} & L_{f6.x1} &:= 10400 \text{mm} \\ h_{f7.x1} &:= e_{f7.x1} - x_{b.x1} = 38.2 \cdot \text{mm} & L_{f7.x1} &:= 4550 \text{mm} \end{aligned}$$

Vinkelendring langs spennkabelen:

$$\theta_{1.x1} := \frac{h_{f1.x1}}{\left(\frac{0.9 \cdot L_{f1.x1}}{2}\right)} = 0.016$$

$$\theta_{2.x1} := \frac{e_{s.x1}}{\left(L_{f1.x1} - \frac{0.9 \cdot L_{f1.x1}}{2}\right)} = 0.011$$

$$\theta_{3.x1} := \frac{h_{f2.x1}}{\frac{L_{f2.x1}}{2}} = 0.023 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{4.x1} := \frac{h_{f3.x1}}{\frac{L_{f3.x1}}{2}} = 0.023 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{5.x1} := \frac{h_{f4.x1}}{\frac{L_{f4.x1}}{2}} = 0.023 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{6.x1} := \frac{h_{f5.x1}}{\frac{L_{f5.x1}}{2}} = 0.023 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{7.x1} := \frac{h_{f6.x1}}{\frac{L_{f6.x1}}{2}} = 0.023 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{8.x1} := \frac{e_{s.x1}}{L_{f7.x1} - \frac{0.9 \cdot L_{f7.x1}}{2}} = 0.026$$

$$\theta_{9.x1} := \frac{h_{f7.x1}}{\left(\frac{0.9 \cdot L_{f7.x1}}{2}\right)} = 0.019$$

Total vinkelendring for spennkabel langs  $x_1$ :

$$\theta_{\text{tot}.x1} := \theta_{1.x1} + \theta_{2.x1} + 2 \cdot (\theta_{3.x1} + \theta_{4.x1} + \theta_{5.x1} + \theta_{6.x1} + \theta_{7.x1}) + \theta_{8.x1} + \theta_{9.x1} = 0.299$$

$$\theta_{\text{tot},x1} = 0.299$$

Lengde på spennkabel for  $x_1$  er 66.95m

**For platestripe  $x_2$ :**

Eksentrisiteter:

$$e_{s,x2} := 65\text{mm}$$

$$e_{f1,x2} := 52.1\text{mm}$$

$$e_{f2,x2} := 48.8\text{mm}$$

$$e_{f3,x2} := 44.8\text{mm}$$

$$e_{f4,x2} := 97.5\text{mm}$$

$$e_{f5,x2} := 51.1\text{mm}$$

$$e_{f6,x2} := 51.1\text{mm}$$

$$e_{f7,x2} := 51.1\text{mm}$$

$$e_{f8,x2} := 39.6\text{mm}$$

$$x_{a,x2} := 21.6\text{mm}$$

$$x_{b,x2} := 1.2\text{mm}$$

Pilhøyder:

$$h_{f1,x2} := e_{f1,x2} + x_{a,x2} = 73.7\text{mm}$$

$$h_{f2,x2} := e_{s,x2} + e_{f2,x2} = 113.8\text{mm}$$

$$h_{f3,x2} := e_{s,x2} + e_{f3,x2} = 109.8\text{mm}$$

$$h_{f4,x2} := e_{f4,x2} - e_{s,x2} = 32.5\text{mm}$$

$$h_{f5,x2} := e_{s,x2} + e_{f5,x2} = 116.1\text{mm}$$

$$h_{f6,x2} := e_{s,x2} + e_{f6,x2} = 116.1\text{mm}$$

$$h_{f7,x2} := e_{s,x2} + e_{f7,x2} = 116.1\text{mm}$$

$$h_{f8,x2} := e_{f8,x2} - x_{b,x2} = 38.4\text{mm}$$

Lengder:

$$L_{f1,x2} := 10400\text{mm}$$

$$L_{f2,x2} := 10400\text{mm}$$

$$L_{f3,x2} := 7840\text{mm}$$

$$L_{f4,x2} := 2560\text{mm}$$

$$L_{f5,x2} := 10400\text{mm}$$

$$L_{f6,x2} := 10400\text{mm}$$

$$L_{f7,x2} := 10400\text{mm}$$

$$L_{f8,x2} := 4550\text{mm}$$

Vinkelending langs spennkabelen:

$$\theta_{1,x2} := \frac{h_{f1,x2}}{\left(\frac{0.9 \cdot L_{f1,x2}}{2}\right)} = 0.016$$

$$\theta_{2,x2} := \frac{e_{s,x2}}{\left(L_{f1,x2} - \frac{0.9 \cdot L_{f1,x2}}{2}\right)} = 0.011$$

$$\theta_{3.x2} := \frac{h_{f2.x2}}{\frac{L_{f2.x2}}{2}} = 0.022 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{4.x2} := \frac{h_{f3.x2}}{\frac{L_{f3.x2}}{2}} = 0.028 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{5.x2} := \frac{h_{f4.x2}}{\frac{L_{f4.x2}}{2}} = 0.025 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{6.x2} := \frac{h_{f5.x2}}{\frac{L_{f5.x2}}{2}} = 0.022 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{7.x2} := \frac{h_{f6.x2}}{\frac{L_{f6.x2}}{2}} = 0.022 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{8.x2} := \frac{h_{f7.x2}}{\frac{L_{f7.x2}}{2}} = 0.022 \quad \text{Forekommer 2 ganger}$$

$$\theta_{9.x2} := \frac{\epsilon_{s.x2}}{L_{f8.x2} - \frac{0.9 \cdot L_{f8.x2}}{2}} = 0.026$$

$$\theta_{10.x2} := \frac{h_{f8.x2}}{\left(\frac{0.9 \cdot L_{f8.x2}}{2}\right)} = 0.019$$

Total vinkelending for spennkabel langs  $x_2$ :

$$\theta_{\text{tot}.x2} := \theta_{1.x2} + \theta_{2.x2} + 2 \cdot (\theta_{3.x2} + \theta_{4.x2} + \theta_{5.x2} + \theta_{6.x2} + \theta_{7.x2} + \theta_{8.x2}) + \theta_{9.x2} + \theta_{10.x2} = 0.356$$

$$\theta_{\text{tot}.x2} = 0.356$$

Lengde på spennkabel for  $x_2$  er 66.95m

## Spennkraft og spennkrafttap

Elastisitetsmodul for spennarmering

$$E_p := 196000 \text{ MPa}$$

Tverrsnittsareal for spennkabel

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

Spennstålets strekkfasthet og 0.1% grense

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

$$f_{p0.1k} := 1670 \text{ MPa}$$

Maksimal oppspenning

$$\sigma_{pmax} := \min(0.8 \cdot f_{pk}, 0.9 \cdot f_{p0.1k})$$

$$\sigma_{pmax} = 1.488 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

Maksimal oppspenningskraft per kabel

$$P_{max} := A_p \cdot \sigma_{pmax}$$

$$P_{max} = 223.2 \cdot \text{kN}$$

Initiell oppspenning

$$\sigma_{pm0} := \min(0.75 \cdot f_{pk}, 0.85 \cdot f_{p0.1k})$$

$$\sigma_{pm0} = 1.395 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

Initiell oppspenningskraft per kabel

$$P_{m0} := \sigma_{pm0} \cdot A_p$$

$$P_{m0} = 209.25 \cdot \text{kN}$$

For å finne spennkraften som virker per meter, må først antall spennkabler finnes. Antar at det totale spennkrafttapet er på 25%.

Det antas også at hele egenlasten skal balanseres.

$$P_{maximal} := 223.2 \text{ kN}$$

$$P_{p0. \text{antatt}} := 0.75 \cdot P_{maximal} = 167.4 \text{ kN}$$

$$q_{bal} := 1.2 \cdot 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

**For  $y_1$ :**

$L_{f5,y1} := 7.5\text{m}$  Lengde felt nummer 5

$h_{f5,y1} := 113.6\text{mm}$  Tilhørende pilhøyde

$$P_{y,1} := \frac{q_{\text{bal}} \cdot L_{f5,y1}^2}{8 \cdot h_{f5,y1}} = 557.053 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$b_y := 10400\text{mm}$

$n_{y,1} := \frac{P_{y,1} \cdot b_y}{P_{p0,\text{antatt}}} = 34.608$  Det trengs 35 spennkabler, jevnt fordelt over bredden på platestripa. Senteravstand for disse kablene blir 300mm.

$n_{y1} := 35$

$f_{ny1} := \frac{n_{y1}}{b_y} = 3.365 \frac{1}{\text{m}}$   $f_{n,y1} := 3.365$  Fordelingstall

$A_{p,\text{tot},y1} := A_p \cdot f_{n,y1} = 504.75 \cdot \text{mm}^2$  (per meter)

Spennkraft for platestripe  $y_1$ :

$P_{\text{max,tot},y1} := \sigma_{p\text{max}} \cdot A_{p,\text{tot},y1} = 751.068 \cdot \text{kN}$  (per meter)

$P_{m0,\text{tot},y1} := \sigma_{pm0} \cdot A_{p,\text{tot},y1} = 704.126 \cdot \text{kN}$  (per meter)

**For  $y_2$ :**

$L_{f5,y2} := 7.5\text{m}$  Lengde felt nummer 5

$h_{f5,y2} := 115.7\text{mm}$  Tilhørende pilhøyde

$$P_{y,2} := \frac{q_{\text{bal}} \cdot L_{f5,y2}^2}{8 \cdot h_{f5,y2}} = 546.943 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$n_{y,2} := \frac{P_{y,2} \cdot b_y}{P_{p0,\text{antatt}}} = 33.98$  Det trengs 34 spennkabler, jevnt fordelt over bredden på platestripa. Setter antall kabler til 35 (samme som for  $y_1$ ). Senteravstand for disse kablene blir 300mm.

$n_{y2} := 35$

$f_{ny2} := \frac{n_{y2}}{b_y} = 3.365 \frac{1}{\text{m}}$   $f_{n,y2} := 3.365$  Fordelingstall

$A_{p,\text{tot},y2} := A_p \cdot f_{n,y2} = 504.75 \cdot \text{mm}^2$  (per meter)

Spennkraft for platestripe  $y_2$  blir lik  $y_1$ :

$$P_{\max.\text{tot.}y_2} := \sigma_{p\max} \cdot A_{p.\text{tot.}y_2} = 751.068 \cdot \text{kN} \quad (\text{per meter})$$

$$P_{m0.\text{tot.}y_2} := \sigma_{pm0} \cdot A_{p.\text{tot.}y_2} = 704.126 \cdot \text{kN} \quad (\text{per meter})$$

**For  $x_1$ :**

$$L_{f5.x1} := 10.4\text{m}$$

$$h_{f5.x1} := 118.2\text{mm}$$

$$P_{x.1} := \frac{q_{\text{bal}} \cdot L_{f5.x1}^2}{8 \cdot h_{f5.x1}} = 1.029 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$b_x := 6\text{m}$$

$$n_{x.1} := \frac{P_{x.1} \cdot b_x}{P_{p0.\text{antatt}}} = 36.898$$

Ønskelig mengde med spennarmering i forhold til lastbalansering er 37 stk. Dette er ikke mulig, da samvirkeplaten i bunn setter begrensning på senteravstand til maks 188.5 (senteravstand i fordypningene i platen).

Maks antall spennkabler som er mulig blir da:

$$\frac{6\text{m}}{188.5\text{mm}} = 31.83 = 32 \text{ spennkabler}$$

$$n_{x1} := 32$$

$$f_{nx1} := \frac{n_{x1}}{b_x} = 5.333 \frac{1}{\text{m}}$$

$$f_{n.x.1} := \frac{n_{x1}}{b_x} = 5.333 \frac{1}{\text{m}} \quad f_{n.x1} := 5.333$$

$$A_{p.\text{tot.}x1} := A_p \cdot f_{n.x1} = 799.95 \cdot \text{mm}^2 \quad (\text{per meter})$$

Spennkraft for platestripe  $x_1$ :

$$P_{\max.\text{tot.}x1} := \sigma_{p\max} \cdot A_{p.\text{tot.}x1} = 1.19 \times 10^3 \cdot \text{kN} \quad (\text{per meter})$$

$$P_{m0.\text{tot.}x1} := \sigma_{pm0} \cdot A_{p.\text{tot.}x1} = 1.116 \times 10^3 \cdot \text{kN} \quad (\text{per meter})$$

**For  $x_2$ :**

$$L_{f5.x2} := 10.4\text{m}$$

$$h_{f5.x2} := 116.1\text{mm}$$

$$P_{x.2} := \frac{q_{\text{bal}} \cdot L_{f5.x2}^2}{8 \cdot h_{f5.x2}} = 1.048 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{x,2} := \frac{P_{x,2} \cdot b_x}{P_{p0} \cdot \text{antatt}} = 37.565$$

Ønskelig mengde med spennarmering i forhold til lastbalansering er 38 stk. Som for tilfelle til  $x_1$  er ikke mulig, da samvirkeplaten i bunn setter begrensning på senteravstand til maks 188.5mm. Maks antall spennkabler som er mulig blir da det samme som for  $x_1$ :

$$\frac{6\text{m}}{188.5\text{mm}} = 31.83 = 32 \text{ spennkabler}$$

$$n_{x2} := 32$$

$$f_{nx2} := \frac{n_{x2}}{b_x} = 5.333 \frac{1}{\text{m}}$$

$$f_{n.x,2} := \frac{n_{x2}}{b_x} = 5.333 \frac{1}{\text{m}} \quad f_{n.x2} := 5.333$$

$$A_{p,\text{tot}.x2} := A_p \cdot f_{n.x,2} = 799.95 \cdot \text{mm}^2 \quad (\text{per meter})$$

Spennkraft for platestripe  $x_2$  blir lik som for  $x_1$ :

$$P_{\text{max.tot}.x2} := \sigma_{p\text{max}} \cdot A_{p,\text{tot}.x2} = 1.19 \times 10^3 \cdot \text{kN} \quad (\text{per meter})$$

$$P_{m0,\text{tot}.x2} := \sigma_{pm0} \cdot A_{p,\text{tot}.x2} = 1.116 \times 10^3 \cdot \text{kN} \quad (\text{per meter})$$

## Umiddelbare tap

### Friksjonstap

$$k := 0.01\text{m}^{-1}$$

$$\mu := 0.05 \quad \text{friksjonskoeffisient}$$

For platestripe  $y_1$ :

$$\theta_{y1} := 0.57$$

$$x_{y1} := 51.35\text{m}$$

$$\Delta P_{\mu,y1} := P_{\text{max.tot}.y1} \cdot \left[ 1 - e^{-\mu \cdot (\theta_{y1} + k \cdot x_{y1})} \right]$$

$$\Delta P_{\mu,y1} = 39.607 \cdot \text{kN}$$

$$FT_{y1} := \frac{\Delta P_{\mu,y1}}{P_{\text{max.tot}.y1}}$$

$$FT_{y1} = 0.053$$

Friksjonstapet for  $y_1$

Friksjonstapet virker kun i passiv forankring

$$FT_{\%,y1} := FT_{y1} \cdot 100 = 5.273$$

Tap i prosent

**For platestripe  $y_2$ :**

Forventes mindre spennkrafttap her enn for  $y_1$ , da lengden på spennkabelen er mindre og dermed også mindre vinkelendring langs spennkabelen som gir friksjon.

$$\theta_{y2} := 0.346$$

$$x_{y2} := 34.5\text{m}$$

$$\Delta P_{\mu,y2} := P_{\text{max.tot},y2} \cdot \left[ 1 - e^{-\mu \cdot (\theta_{y2} + k \cdot x_{y2})} \right]$$

$$\Delta P_{\mu,y2} = 25.506 \cdot \text{kN}$$

$$FT_{y2} := \frac{\Delta P_{\mu,y2}}{P_{\text{max.tot},y2}} = 0.034$$

Friksjonstapet for  $y_2$

Friksjonstapet virker kun i passiv forankring

$$FT_{\%,y2} := FT_{y2} \cdot 100 = 3.396 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_1$ :**

$$\theta_{x1} := 0.302$$

$$x_{x1} := 66.95\text{m}$$

$$\Delta P_{\mu,x1} := P_{\text{max.tot},x1} \cdot \left[ 1 - e^{-\mu \cdot (\theta_{x1} + k \cdot x_{x1})} \right]$$

$$\Delta P_{\mu,x1} = 56.438 \cdot \text{kN}$$

$$FT_{x1} := \frac{\Delta P_{\mu,x1}}{P_{\text{max.tot},x1}} \quad FT_{x1} = 0.047$$

Friksjonstapet for  $x_1$

Friksjonstapet virker kun i passiv forankring

$$FT_{\%,x1} := FT_{x1} \cdot 100 = 4.741 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_2$ :**

Forventes nokså lik som for  $x_1$ .

$$\theta_{x2} := 0.356$$

$$x_{x2} := 66.95\text{m}$$

$$\Delta P_{\mu,x2} := P_{\text{max.tot},x2} \cdot \left[ 1 - e^{-\mu \cdot (\theta_{x2} + k \cdot x_{x2})} \right]$$

$$\Delta P_{\mu,x2} = 59.496 \cdot \text{kN}$$

$$FT_{x2} := \frac{\Delta P_{\mu,x2}}{P_{\text{max.tot},x2}} = 0.05$$

Friksjonstapet for  $x_2$

Friksjonstapet virker kun i passiv forankring

$$FT_{\%,x2} := FT_{x2} \cdot 100 = 4.998 \quad \text{Tap i prosent}$$



### Låsetap

$$\Delta L_{l\ddot{a}s} := 4\text{mm}$$

#### For platestripe $y_1$ :

$$P_{jekk.y1} := P_{max.tot.y1}$$

$$\epsilon_{p.jekk.y1} := \frac{P_{jekk.y1}}{E_p \cdot A_{p.tot.y1}}$$

$$\epsilon_{p.jekk.y1} = 7.592 \times 10^{-3}$$

$$p_{y1} := \frac{\Delta P_{\mu.y1}}{x_{y1}} \quad \text{Kontroll for \AA se hvor langt innover spennkabelen dette p\AA virker}$$

$$p_{y1} = 0.771 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$l_{l\ddot{a}st.y1} := \sqrt{\frac{\Delta L_{l\ddot{a}s} \cdot A_{p.tot.y1} \cdot E_p}{P_{y1}}}$$

$$l_{l\ddot{a}st.y1} = 22.651 \text{ m} \quad l_{l\ddot{a}st.y1} < L_{y1} \rightarrow \text{L\AA setap i passiv forankring} = 0$$

L\AA setap p\AA virker i dette tilfellet kun i aktiv forankring

$$L_{y1} := 51350\text{mm}$$

$$\Delta \epsilon_{l\ddot{a}s.y1} := \frac{\Delta L_{l\ddot{a}s}}{L_{y1}} \quad \Delta \epsilon_{l\ddot{a}s.y1} = 7.79 \times 10^{-5}$$

$$\Delta P_{l\ddot{a}s.y1} := \frac{\Delta \epsilon_{l\ddot{a}s.y1} \cdot P_{jekk.y1}}{\epsilon_{p.jekk.y1}} \quad \Delta P_{l\ddot{a}s.y1} = 7.706 \cdot \text{kN}$$

$$LT_{y1} := \frac{\Delta P_{l\ddot{a}s.y1}}{P_{max.tot.y1}} \quad LT_{y1} = 0.01 \quad \begin{array}{l} \text{L\AA setapet for } y_1 \\ \text{L\AA setapet virker kun i aktiv forankring} \end{array}$$

$$LT_{\%,y1} := LT_{y1} \cdot 100 = 1.026 \quad \text{Tap i prosent}$$

#### For platestripe $y_2$ :

$$P_{jekk.y2} := P_{max.tot.y2}$$

$$\epsilon_{p.jekk.y2} := \frac{P_{jekk.y2}}{E_p \cdot A_{p.tot.y2}}$$

$$\epsilon_{p.jekk.y2} = 7.592 \times 10^{-3}$$

$$p_{y2} := \frac{\Delta P_{\mu,y2}}{x_{y2}} \quad \text{Kontroll for å se hvor langt innover spennkabelen dette påvirker}$$

$$p_{y2} = 0.739 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$l_{\text{låst},y2} := \sqrt{\frac{\Delta L_{\text{lås}} \cdot A_{p,\text{tot},y2} \cdot E_p}{p_{y2}}}$$

$$l_{\text{låst},y2} = 23.136 \text{ m} \quad l_{\text{låst},y2} < L_{y2} \rightarrow \text{Låsetap i passiv forankring} = 0$$

Låsetap påvirker i dette tilfellet kun i aktiv forankring

$$L_{y2} := 34500 \text{ mm}$$

$$\Delta \epsilon_{\text{lås},y2} := \frac{\Delta L_{\text{lås}}}{L_{y2}} \quad \Delta \epsilon_{\text{lås},y2} = 1.159 \times 10^{-4}$$

$$\Delta P_{\text{lås},y2} := \frac{\Delta \epsilon_{\text{lås},y2} \cdot P_{\text{jekk},y2}}{\epsilon_{p,\text{jekk},y2}} \quad \Delta P_{\text{lås},y2} = 11.47 \cdot \text{kN}$$

$$LT_{y2} := \frac{\Delta P_{\text{lås},y2}}{P_{\text{max,tot},y2}} = 0.015 \quad \text{Låsetapet for } y_2. \text{ Låsetapet virker}$$

kun i aktiv forankring

$$LT_{\%,y2} := LT_{y2} \cdot 100 = 1.527 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_1$ :**

$$P_{\text{jekk},x1} := P_{\text{max,tot},x1}$$

$$\epsilon_{p,\text{jekk},x1} := \frac{P_{\text{jekk},x1}}{E_p \cdot A_{p,\text{tot},x1}}$$

$$\epsilon_{p,\text{jekk},x1} = 7.592 \times 10^{-3}$$

$$p_{x1} := \frac{\Delta P_{\mu,x1}}{x_{x1}} \quad \text{Kontroll for å se hvor langt innover spennkabelen dette påvirker}$$

$$p_{x1} = 0.843 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$l_{\text{låst},x1} := \sqrt{\frac{\Delta L_{\text{lås}} \cdot A_{p,\text{tot},x1} \cdot E_p}{p_{x1}}}$$

$$l_{\text{låst},x1} = 27.276 \text{ m} \quad l_{\text{låst},x1} < L_{x1} \rightarrow \text{Låsetap i passiv forankring} = 0$$

Låsetap påvirker i dette tilfellet kun i aktiv forankring

$$L_{x1} := 66950 \text{ mm}$$

$$\Delta\epsilon_{l\ddot{a}s.x1} := \frac{\Delta L_{l\ddot{a}s}}{L_{x1}} \quad \Delta\epsilon_{l\ddot{a}s.x1} = 5.975 \times 10^{-5}$$

$$\Delta P_{l\ddot{a}s.x1} := \frac{\Delta\epsilon_{l\ddot{a}s.x1} \cdot P_{jekk.x1}}{\epsilon_{p.jekk.x1}} \quad \Delta P_{l\ddot{a}s.x1} = 9.368 \cdot \text{kN}$$

$$LT_{x1} := \frac{\Delta P_{l\ddot{a}s.x1}}{P_{\text{max.tot.x1}}} \quad LT_{x1} = 7.87 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} \text{L\ddot{a}setapet for } x_1 \\ \text{L\ddot{a}setapet virker kun i aktiv forankring} \end{array}$$

$$LT_{\%x1} := LT_{x1} \cdot 100 = 0.787 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_2$ :**

$$P_{jekk.x2} := P_{\text{max.tot.x2}}$$

$$\epsilon_{p.jekk.x2} := \frac{P_{jekk.x2}}{E_p \cdot A_{p.tot.x2}}$$

$$\epsilon_{p.jekk.x2} = 7.592 \times 10^{-3}$$

$$p_{x2} := \frac{\Delta P_{\mu.x2}}{x_{x2}} \quad \text{Kontroll for \AA se hvor langt innover spennkabelen dette p\AA virker}$$

$$p_{x2} = 0.889 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$l_{l\ddot{a}st.x2} := \sqrt{\frac{\Delta L_{l\ddot{a}s} \cdot A_{p.tot.x2} \cdot E_p}{P_{x2}}}$$

$$l_{l\ddot{a}st.x2} = 26.566 \text{ m} \quad l_{l\ddot{a}st.x2} < L_{x2} \rightarrow \begin{array}{l} \text{L\ddot{a}setap i passiv forankring} = 0 \\ \text{L\ddot{a}setap p\AA virker i dette tilfellet kun i aktiv forankring} \end{array}$$

$$L_{x2} := 66950 \text{ mm}$$

$$\Delta\epsilon_{l\ddot{a}s.x2} := \frac{\Delta L_{l\ddot{a}s}}{L_{x2}} \quad \Delta\epsilon_{l\ddot{a}s.x2} = 5.975 \times 10^{-5}$$

$$\Delta P_{l\ddot{a}s.x2} := \frac{\Delta\epsilon_{l\ddot{a}s.x2} \cdot P_{jekk.x2}}{\epsilon_{p.jekk.x2}} \quad \Delta P_{l\ddot{a}s.x2} = 9.368 \cdot \text{kN}$$

$$LT_{x2} := \frac{\Delta P_{l\ddot{a}s.x2}}{P_{\text{max.tot.x2}}} = 7.87 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} \text{L\ddot{a}setapet for } x_2 \\ \text{L\ddot{a}setapet virker kun i aktiv forankring} \end{array}$$

$$LT_{\%x2} := LT_{x2} \cdot 100 = 0.787 \quad \text{Tap i prosent}$$

## Elastisk deformasjon

$b := 1000\text{mm}$  Ser på 1 meter platebredde

$h_y := 255\text{mm}$

$h_x := 300\text{mm}$

$E_{cm} := 36000\text{MPa}$  Fra tabell 3.1 i EC 2

$$\eta := \frac{E_p}{E_{cm}}$$

$$\eta = 5.444$$

$$\epsilon_{p0} := \frac{\sigma_{pmax}}{E_p}$$

For platestripene i y-retning:

$$P_{0,y1} := \epsilon_{p0} \cdot E_p \cdot A_{p,tot,y1} = 751.068 \cdot \text{kN}$$

$$P_{0,y2} := \epsilon_{p0} \cdot E_p \cdot A_{p,tot,y2} = 751.068 \cdot \text{kN}$$

$$A_{c,y} := b \cdot h_y$$

$$A_{c,y} = 2.55 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,tot,y1} := A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,tot,y1}$$

$$A_{t,tot,y1} = 2.572 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,tot,y2} := A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,tot,y2}$$

$$A_{t,tot,y2} = 2.572 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

For platestripene i x-retning:

$$P_{0,x1} := \epsilon_{p0} \cdot E_p \cdot A_{p,tot,x1} = 1.19 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$P_{0,x2} := \epsilon_{p0} \cdot E_p \cdot A_{p,tot,x2} = 1.19 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$A_{c,x} := b \cdot h_x$$

$$A_{c,x} = 3 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,tot,x1} := A_{c,x} + (\eta - 1) \cdot A_{p,tot,x1}$$

$$A_{t,tot,x1} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,tot,x2} := A_{c,x} + (\eta - 1) \cdot A_{p,tot,x2}$$

$$A_{t,tot,x2} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

For platestripe  $y_1$ :

$e_{y1} := 51.1\text{mm}$  Eksentrisitet i feltmidte

$$y_{t,y1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,tot,y1} \cdot e_{y1}}{A_{t,tot,y1}} \quad y_{t,y1} = 0.446 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,y1} := \left( \frac{b \cdot h_y^3}{12} \right) + y_{t,y1}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,tot,y1} \cdot (e_{y1} - y_{t,y1})^2$$

$$I_{t,y1} = 1.388 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{y1} := -P_{0,y1}$$

$$M_{y1} := -P_{0,y1} \cdot e_{y1}$$

$$M_{g,y1} := 28.35 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t,y1} := M_{y1} - N_{y1} \cdot y_{t,y1} + M_{g,y1}$$

$$M_{t,y1} := -P_{0,y1} \cdot (e_{y1} - y_{t,y1}) + M_{g,y1} \quad M_{t,y1} = -9.695 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{ct,y1} := \frac{N_{y1}}{A_{t,tot,y1}} + \left( \frac{M_{t,y1}}{I_{t,y1}} \right) \cdot (e_{y1} - y_{t,y1})$$

$$\sigma_{ct,y1} = -3.274 \cdot \text{MPa}$$

$n_y := 35$     antall identiske spennkabler som blir spent opp etter hverandre

$$j_y := \frac{(n_y - 1)}{2n_y} \quad j_y = 0.486$$

$$\Delta P_{el,y1} := A_{p,tot,y1} \cdot E_p \cdot \left| \frac{j_y \cdot \sigma_{ct,y1}}{E_{cm}} \right| \quad \Delta P_{el,y1} = 4.37 \cdot \text{kN}$$

$$ET_{y1} := \frac{\Delta P_{el,y1}}{P_{max,tot,y1}} = 5.818 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} \text{Tap pga elastisk deformasjon for } y_1 \\ \text{Virker både i aktiv og passiv ende} \end{array}$$

$$ET_{\%,y1} := ET_{y1} \cdot 100 = 0.582 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $y_2$ :**

$e_{y2} := 53.2 \text{ mm}$     Eksentrisitet i feltmidte

$$y_{t,y2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,tot,y2} \cdot e_{y2}}{A_{t,tot,y2}} \quad y_{t,y2} = 0.464 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,y2} := \left( \frac{b \cdot h_y^3}{12} \right) + y_{t,y2}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,tot,y2} \cdot (e_{y2} - y_{t,y2})^2$$

$$I_{t,y2} = 1.388 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{y2} := -P_{0,y2}$$

$$M_{y2} := -P_{0,y1} \cdot e_{y1}$$

$$M_{g,y2} := 28.35 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t,y2} := M_{y2} - N_{y2} \cdot y_{t,y2} + M_{g,y2}$$

$$M_{t,y2} := -P_{0,y2} \cdot (e_{y2} - y_{t,y2}) + M_{g,y2} \quad M_{t,y2} = -11.258 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{ct.y2} := \frac{N_{y2}}{A_{t.tot.y2}} + \left( \frac{M_{t.y2}}{I_{t.y2}} \right) \cdot (e_{y2} - y_{t.y2})$$

$$\sigma_{ct.y2} = -3.347 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{el.y2} := A_{p.tot.y2} \cdot E_p \cdot \left| \frac{j_y \cdot \sigma_{ct.y2}}{E_{cm}} \right| \quad \Delta P_{el.y2} = 4.468 \cdot \text{kN}$$

$$ET_{y2} := \frac{\Delta P_{el.y2}}{P_{max.tot.y2}} = 5.949 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} \text{Tap pga elastisk deformasjon for } y_2 \\ \text{Virker både i aktiv og passiv ende} \end{array}$$

$$ET_{\%,y2} := ET_{y2} \cdot 100 = 0.595 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_1$ :**

$$e_{x1} := 53.2 \text{mm} \quad \text{Eksentrisitet i feltmidte}$$

$$y_{t.x1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.tot.x1} \cdot e_{x1}}{A_{t.tot.x1}} \quad y_{t.x1} = 0.623 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.x1} := \left( \frac{b \cdot h_x^3}{12} \right) + y_{t.x1}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.tot.x1} \cdot (e_{x1} - y_{t.x1})^2$$

$$I_{t.x1} = 2.26 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{x1} := -P_{0.x1}$$

$$M_{x1} := -P_{0.x1} \cdot e_{x1}$$

$$M_{g.x1} := 77.625 \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t.x1} := M_{x1} - N_{x1} \cdot y_{t.x1} + M_{g.x1}$$

$$M_{t.x1} := -P_{0.x1} \cdot (e_{x1} - y_{t.x1}) + M_{g.x1} \quad M_{t.x1} = 15.041 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{ct.x1} := \frac{N_{x1}}{A_{t.tot.x1}} + \left( \frac{M_{t.x1}}{I_{t.x1}} \right) \cdot (e_{x1} - y_{t.x1})$$

$$\sigma_{ct.x1} = -3.571 \cdot \text{MPa}$$

$n_x := 32$  antall identiske spennkabler som blir spent opp etter hverandre

$$j_x := \frac{(n_x - 1)}{2n_x} \quad j_x = 0.484$$

$$\Delta P_{el.x1} := A_{p.tot.x1} \cdot E_p \cdot \left| \frac{j_x \cdot \sigma_{ct.x1}}{E_{cm}} \right| \quad \Delta P_{el.x1} = 7.534 \cdot \text{kN}$$

$$ET_{x1} := \frac{\Delta P_{el.x1}}{P_{max.tot.x1}} = 6.329 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} \text{Tap pga elastisk deformasjon for } x_1 \\ \text{Virker både i aktiv og passiv ende} \end{array}$$

$$ET_{\%x1} := ET_{x1} \cdot 100 = 0.633 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_2$ :**

$$e_{x2} := 51.1 \text{ mm} \quad \text{Eksentrisitet i feltmidte}$$

$$y_{t.x2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.tot.x2} \cdot e_{x2}}{A_{t.tot.x2}} \quad y_{t.x2} = 0.598 \text{ mm}$$

$$I_{t.x2} := \left( \frac{b \cdot h_x^3}{12} \right) + y_{t.x2}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.tot.x2} \cdot (e_{x2} - y_{t.x2})^2$$

$$I_{t.x2} = 2.259 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{x2} := -P_{0.x2}$$

$$M_{x2} := -P_{0.x2} \cdot e_{x2}$$

$$M_{g.x2} := 79.725 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{t.x2} := M_{x2} - N_{x2} \cdot y_{t.x2} + M_{g.x2}$$

$$M_{t.x2} := -P_{0.x2} \cdot (e_{x2} - y_{t.x2}) + M_{g.x2} \quad M_{t.x2} = 19.612 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{ct.x2} := \frac{N_{x2}}{A_{t.tot.x2}} + \left( \frac{M_{t.x2}}{I_{t.x2}} \right) \cdot (e_{x2} - y_{t.x2})$$

$$\sigma_{ct.x2} = -3.483 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{el.x2} := A_{p.tot.x2} \cdot E_p \cdot \left| \frac{j_x \cdot \sigma_{ct.x2}}{E_{cm}} \right| \quad \Delta P_{el.x2} = 7.347 \cdot \text{kN}$$

$$ET_{x2} := \frac{\Delta P_{el.x2}}{P_{max.tot.x2}} = 6.173 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} \text{Tap pga elastisk deformasjon for } x_2 \\ \text{Virker både i aktiv og passiv ende} \end{array}$$

$$ET_{\%x2} := ET_{x2} \cdot 100 = 0.617 \quad \text{Tap i prosent}$$

**Oppsummering umiddelbare tap for  $y_1$ :**

Friksjonstapet virker kun i passiv forankring  
Friksjonstapet i prosent for  $y_1$  er:

$$FT_{\%,y1} = 5.273$$

Låsetapet virker kun i aktiv forankring  
Låsetapet i prosent for  $y_1$  er:

$$LT_{\%,y1} = 1.026$$

Tap på grunn av elastisk deformasjon  
virker både i aktiv og passiv ende.  
Tapet i prosent for  $y_1$  er:

$$ET_{\%,y1} = 0.582$$

Totalt tap for aktiv ende blir da:

$$LT_{\%,y1} + ET_{\%,y1} = 1.608$$

Totalt tap for passiv ende blir:

$$FT_{\%,y1} + ET_{\%,y1} = 5.855$$

$$\Delta P_{\text{aktiv},y1} := P_{\text{max,tot},y1} \cdot (LT_{y1} + ET_{y1}) = 12.076 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{aktiv},y1} := P_{\text{max,tot},y1} - \Delta P_{\text{aktiv},y1} = 738.992 \cdot \text{kN}$$

$$\Delta \sigma_{\text{aktiv},y1} := \frac{\Delta P_{\text{aktiv},y1}}{A_{\text{p,tot},y1}} = 23.925 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{aktiv},y1} := \sigma_{\text{pmax}} - \Delta \sigma_{\text{aktiv},y1} = 1.464 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{passiv},y1} := P_{\text{max,tot},y1} \cdot (FT_{y1} + ET_{y1}) = 43.976 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{passiv},y1} := P_{\text{max,tot},y1} - \Delta P_{\text{passiv},y1} = 707.092 \cdot \text{kN}$$

$$\Delta \sigma_{\text{passiv},y1} := \frac{\Delta P_{\text{passiv},y1}}{A_{\text{p,tot},y1}} = 87.125 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{passiv},y1} := \sigma_{\text{pmax}} - \Delta \sigma_{\text{passiv},y1} = 1.401 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{FLE},y1} := \frac{\sigma_{\text{aktiv},y1} + \sigma_{\text{passiv},y1}}{2} = 1.432 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

**Oppsummering umiddelbare tap for  $y_2$ :**



Friksjonstapet virker kun i passiv forankring  
 Friksjonstapet i prosent for  $y_2$  er:

$$FT_{\%,y2} = 3.396$$

Låsetapet virker kun i aktiv forankring  
 Låsetapet i prosent for  $y_2$  er:

$$LT_{\%,y2} = 1.527$$

Tap på grunn av elastisk deformasjon  
 virker både i aktiv og passiv ende.  
 Tapet i prosent for  $y_2$  er:

$$ET_{\%,y2} = 0.595$$

Totalt tap for aktiv ende blir da:

$$LT_{\%,y2} + ET_{\%,y2} = 2.122$$

Totalt tap for passiv ende blir:

$$FT_{\%,y2} + ET_{\%,y2} = 3.991$$

$$\Delta P_{\text{aktiv},y2} := P_{\text{max,tot},y2} \cdot (LT_{y2} + ET_{y2}) = 15.938 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{aktiv},y2} := P_{\text{max,tot},y2} - \Delta P_{\text{aktiv},y2} = 735.13 \cdot \text{kN}$$

$$\Delta \sigma_{\text{aktiv},y2} := \frac{\Delta P_{\text{aktiv},y2}}{A_{\text{p,tot},y2}} = 31.577 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{aktiv},y2} := \sigma_{\text{pmax}} - \Delta \sigma_{\text{aktiv},y2} = 1.456 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{passiv},y2} := P_{\text{max,tot},y2} \cdot (FT_{y2} + ET_{y2}) = 29.974 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{passiv},y2} := P_{\text{max,tot},y2} - \Delta P_{\text{passiv},y2} = 721.094 \cdot \text{kN}$$

$$\Delta \sigma_{\text{passiv},y2} := \frac{\Delta P_{\text{passiv},y2}}{A_{\text{p,tot},y2}} = 59.384 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{passiv},y2} := \sigma_{\text{pmax}} - \Delta \sigma_{\text{passiv},y2} = 1.429 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{FLE},y2} := \frac{\sigma_{\text{aktiv},y2} + \sigma_{\text{passiv},y2}}{2} = 1.443 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

#### Oppsummering umiddelbare tap for $x_1$ :

Friksjonstapet virker kun i passiv forankring  
 Friksjonstapet i prosent for  $x_1$  er:

$$FT_{\%.x1} = 4.741$$

Låsetapet virker kun i aktiv forankring  
Låsetapet i prosent for  $x_1$  er:

$$LT_{\%.x1} = 0.787$$

Tap på grunn av elastisk deformasjon  
virker både i aktiv og passiv ende.  
Tapet i prosent for  $x_1$  er:

$$ET_{\%.x1} = 0.633$$

Totalt tap for aktiv ende blir da:

$$LT_{\%.x1} + ET_{\%.x1} = 1.42$$

Totalt tap for passiv ende blir:

$$FT_{\%.x1} + ET_{\%.x1} = 5.374$$

$$\Delta P_{\text{aktiv}.x1} := P_{\text{max.tot}.x1} \cdot (LT_{x1} + ET_{x1}) = 16.902 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{aktiv}.x1} := P_{\text{max.tot}.x1} - \Delta P_{\text{aktiv}.x1} = 1.173 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$\Delta \sigma_{\text{aktiv}.x1} := \frac{\Delta P_{\text{aktiv}.x1}}{A_{\text{p.tot}.x1}} = 21.128 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{aktiv}.x1} := \sigma_{\text{pmax}} - \Delta \sigma_{\text{aktiv}.x1} = 1.467 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{passiv}.x1} := P_{\text{max.tot}.x1} \cdot (FT_{x1} + ET_{x1}) = 63.972 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{passiv}.x1} := P_{\text{max.tot}.x1} - \Delta P_{\text{passiv}.x1} = 1.126 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$\Delta \sigma_{\text{passiv}.x1} := \frac{\Delta P_{\text{passiv}.x1}}{A_{\text{p.tot}.x1}} = 79.97 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{passiv}.x1} := \sigma_{\text{pmax}} - \Delta \sigma_{\text{passiv}.x1} = 1.408 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{FLE}.x1} := \frac{\sigma_{\text{aktiv}.x1} + \sigma_{\text{passiv}.x1}}{2} = 1.437 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

### Oppsummering umiddelbare tap for $x_2$ :

Friksjonstapet virker kun i passiv forankring  
Friksjonstapet i prosent for  $x_2$  er:

$$FT_{\%.x2} = 4.998$$

Låsetapet virker kun i aktiv forankring

Låsetapet i prosent for  $x_2$  er:

$$LT_{\%,x_2} = 0.787$$

Tap på grunn av elastisk deformasjon

virker både i aktiv og passiv ende.

Tapet i prosent for  $x_2$  er:

$$ET_{\%,x_2} = 0.617$$

Totalt tap for aktiv ende blir da:

$$LT_{\%,x_2} + ET_{\%,x_2} = 1.404$$

Totalt tap for passiv ende blir:

$$FT_{\%,x_2} + ET_{\%,x_2} = 5.616$$

$$\Delta P_{\text{aktiv},x_2} := P_{\text{max.tot},x_2} \cdot (LT_{x_2} + ET_{x_2}) = 16.715 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{aktiv},x_2} := P_{\text{max.tot},x_2} - \Delta P_{\text{aktiv},x_2} = 1.174 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$\Delta \sigma_{\text{aktiv},x_2} := \frac{\Delta P_{\text{aktiv},x_2}}{A_{p,\text{tot},x_2}} = 20.895 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{aktiv},x_2} := \sigma_{p\text{max}} - \Delta \sigma_{\text{aktiv},x_2} = 1.467 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{\text{passiv},x_2} := P_{\text{max.tot},x_2} \cdot (FT_{x_2} + ET_{x_2}) = 66.843 \cdot \text{kN}$$

$$P_{\text{passiv},x_2} := P_{\text{max.tot},x_2} - \Delta P_{\text{passiv},x_2} = 1.123 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$\Delta \sigma_{\text{passiv},x_2} := \frac{\Delta P_{\text{passiv},x_2}}{A_{p,\text{tot},x_2}} = 83.559 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{passiv},x_2} := \sigma_{p\text{max}} - \Delta \sigma_{\text{passiv},x_2} = 1.404 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{FLE},x_2} := \frac{\sigma_{\text{aktiv},x_2} + \sigma_{\text{passiv},x_2}}{2} = 1.436 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

## Tidsavhengige tap

### Kryp

Kryptall regnet etter tillegg B i Eurokoden

$$f_{cm} := 53 \quad t_0 := 28 \quad t_0 \text{ er betongens alder ved oppspenning i døgn}$$

$$RH := 40 \quad t := 18250 \quad \text{Antall døgn for 50år}$$

$$\alpha_1 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} \quad \alpha_1 = 0.748$$

$$\alpha_2 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2} \quad \alpha_2 = 0.92$$

$$\alpha_3 := \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5} \quad \alpha_3 = 0.813$$

$$\beta_{f,cm} := \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad \beta_{f,cm} = 2.308$$

$$\beta_{t,0} := \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} \quad \beta_{t,0} = 0.488$$

$$b_0 := 1000$$

$$u := 2 \cdot b_0$$

$$A_{0c,y} := 255000$$

$$A_{0c,x} := 300000$$

$$h_{0,y} := 2 \frac{A_{0c,y}}{u} \quad h_{0,x} := 2 \frac{A_{0c,x}}{u}$$

$$h_{0,y} = 255 \quad h_{0,x} = 300 \quad h_0 \text{ er den effektive tverrsnittstykkelsen}$$

$$\varphi_{RH,y} := \left[ 1 + \frac{\left( 1 - \frac{RH}{100} \right) \cdot \alpha_1}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_{0,y}}} \right] \cdot \alpha_2 \quad \varphi_{RH,y} = 1.572$$

$$\varphi_{RH,x} := \left[ 1 + \frac{\left( 1 - \frac{RH}{100} \right) \cdot \alpha_1}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_{0,x}}} \right] \cdot \alpha_2 \quad \varphi_{RH,x} = 1.537$$

$$\varphi_{0,y} := \varphi_{RH,y} \cdot \beta_{f,cm} \cdot \beta_{t,0} \quad \varphi_{0,y} = 1.772$$

$$\varphi_{0,x} := \varphi_{RH,x} \cdot \beta_{f,cm} \cdot \beta_{t,0} \quad \varphi_{0,x} = 1.733$$

$$\beta_{H,y} := 1.5 \cdot \left[ 1 + (0.012RH)^{18} \right] \cdot h_{0,y} + 250 \cdot \alpha_3 \quad \beta_{H,y} = 585.66$$

$$\beta_{H,x} := 1.5 \cdot [1 + (0.012RH)^{18}] \cdot h_{0,x} + 250 \cdot \alpha_3 \quad \beta_{H,x} = 653.16$$

$$\beta_{c,y} := \left[ \frac{(t - t_0)}{\beta_{H,y} + t - t_0} \right]^{0.3} \quad \beta_{c,y} = 0.991$$

$$\beta_{c,x} := \left[ \frac{(t - t_0)}{\beta_{H,x} + t - t_0} \right]^{0.3} \quad \beta_{c,x} = 0.989$$

Kryptall:

$$\varphi_y := \varphi_{0,y} \cdot \beta_{c,y} \quad \varphi_y = 1.755$$

$$\varphi_x := \varphi_{0,x} \cdot \beta_{c,x} \quad \varphi_x = 1.715$$

Langtids E-moduler:

$$E_{cL,y} := \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_y} \quad E_{cL,y} = 1.307 \times 10^4 \cdot \text{MPa}$$

$$E_{cL,x} := \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_x} \quad E_{cL,x} = 1.326 \times 10^4 \cdot \text{MPa}$$

$$\eta_y := \frac{E_p}{E_{cL,y}} = 14.998 \quad \eta_x := \frac{E_p}{E_{cL,x}} = 14.78$$

**For platestripe  $y_1$ :**

$$y_{t,kryp,y1} := \frac{(\eta_y - 1) \cdot A_{p,tot,y1} \cdot e_{y1}}{A_{t,tot,y1}} \quad y_{t,kryp,y1} = 1.404 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,kryp,y1} := \left( \frac{b \cdot h_y^3}{12} \right) + y_{t,kryp,y1}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta_y - 1) \cdot A_{p,tot,y1} \cdot (e_{y1} - y_{t,kryp,y1})^2$$

$$I_{t,kryp,y1} = 1.4 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{t,kryp,y1} := A_{c,y} + (\eta_y - 1) \cdot A_{p,tot,y1}$$

$$A_{t,kryp,y1} = 2.621 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$M_{t,kryp,y1} := -P_{0,y1} \cdot (e_{y1} - y_{t,kryp,y1}) + M_{g,y1}$$

$$M_{t,kryp,y1} = -8.975 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{ct.kryp.y1} := \frac{N_{y1}}{A_{t.kryp.y1}} + \left( \frac{M_{t.kryp.y1}}{I_{t.kryp.y1}} \right) \cdot (e_{y1} - y_{t.kryp.y1})$$

$$\sigma_{ct.kryp.y1} = -3.185 \cdot \text{MPa}$$

$$\epsilon_{cLt.kryp.y1} := \frac{\sigma_{ct.kryp.y1}}{E_{cL,y}} \quad \epsilon_{cLt.kryp.y1} = -2.437 \times 10^{-4}$$

$$\Delta\sigma_{cL.y1} := \epsilon_{cLt.kryp.y1} \cdot E_p \quad \Delta\sigma_{cL.y1} = -47.764 \cdot \text{MPa}$$

$$\epsilon_{ckt.kryp.y1} := \frac{\sigma_{ct.y1}}{E_{cm}} \quad \epsilon_{ckt.kryp.y1} = -9.093 \times 10^{-5}$$

$$\Delta\sigma_{ck.y1} := \epsilon_{ckt.kryp.y1} \cdot E_p \quad \Delta\sigma_{ck.y1} = -17.823 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.kryp.y1} := \Delta\sigma_{cL.y1} - \Delta\sigma_{ck.y1} \quad \Delta\sigma_{p.kryp.y1} = -29.941 \cdot \text{MPa}$$

$$KT_{y1} := \frac{|\Delta\sigma_{p.kryp.y1}|}{\sigma_{FLE.y1}} = 0.021 \quad \text{Tap av spennkraft pga kryp for platestripe } y_1$$

$$KT_{\%,y1} := KT_{y1} \cdot 100 = 2.09 \quad \text{Tap pga kryp i prosent}$$

**For platestripe  $y_2$ :**

$$y_{t.kryp.y2} := \frac{(\eta_y - 1) \cdot A_{p.tot.y2} \cdot e_{y2}}{A_{t.tot.y2}} \quad y_{t.kryp.y2} = 1.461 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.kryp.y2} := \left( \frac{b \cdot h_y^3}{12} \right) + y_{t.kryp.y2}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta_y - 1) \cdot A_{p.tot.y2} \cdot (e_{y2} - y_{t.kryp.y2})^2$$

$$I_{t.kryp.y2} = 1.401 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{t.kryp.y2} := A_{c,y} + (\eta_y - 1) \cdot A_{p.tot.y2}$$

$$A_{t.kryp.y2} = 2.621 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$M_{t.kryp.y2} := -P_{0,y2} \cdot (e_{y2} - y_{t.kryp.y2}) + M_{g,y2} \quad M_{t.kryp.y2} = -10.509 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{ct.kryp.y2} := \frac{N_{y2}}{A_{t.kryp.y2}} + \left( \frac{M_{t.kryp.y2}}{I_{t.kryp.y2}} \right) \cdot (e_{y2} - y_{t.kryp.y2})$$

$$\sigma_{ct.kryp.y2} = -3.254 \cdot \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{cLt.kryp.y2} := \frac{\sigma_{ct.kryp.y2}}{E_{cL,y}} \quad \varepsilon_{cLt.kryp.y2} = -2.49 \times 10^{-4}$$

$$\Delta\sigma_{cL.y2} := \varepsilon_{cLt.kryp.y2} \cdot E_p \quad \Delta\sigma_{cL.y2} = -48.805 \cdot \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{ckt.kryp.y2} := \frac{\sigma_{ct.y2}}{E_{cm}} \quad \varepsilon_{ckt.kryp.y2} = -9.298 \times 10^{-5}$$

$$\Delta\sigma_{ck.y2} := \varepsilon_{ckt.kryp.y2} \cdot E_p \quad \Delta\sigma_{ck.y2} = -18.225 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.kryp.y2} := \Delta\sigma_{cL.y2} - \Delta\sigma_{ck.y2} \quad \Delta\sigma_{p.kryp.y2} = -30.58 \cdot \text{MPa}$$

$$KT_{y2} := \frac{|\Delta\sigma_{p.kryp.y2}|}{\sigma_{FLE.y2}} = 0.021 \quad \text{Tap av spennkraft pga kryp for platestripe } y_2$$

$$KT_{\%,y2} := KT_{y2} \cdot 100 = 2.12 \quad \text{Tap pga kryp i prosent}$$

**For platestripe  $x_1$ :**

$$y_{t.kryp.x1} := \frac{(\eta_x - 1) \cdot A_{p.tot.x1} \cdot e_{x1}}{A_{t.tot.x1}} \quad y_{t.kryp.x1} = 1.932 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.kryp.x1} := \left( \frac{b \cdot h_x^3}{12} \right) + y_{t.kryp.x1}^2 \cdot A_{c,x} + (\eta_x - 1) \cdot A_{p.tot.x1} \cdot (e_{x1} - y_{t.kryp.x1})^2$$

$$I_{t.kryp.x1} = 2.28 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{t.kryp.x1} := A_{c,x} + (\eta_x - 1) \cdot A_{p.tot.x1}$$

$$A_{t.kryp.x1} = 3.11 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$M_{t.kryp.x1} := -P_{0,x1} \cdot (e_{x1} - y_{t.kryp.x1}) + M_{g,x1} \quad M_{t.kryp.x1} = 16.599 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{ct.kryp.x1} := \frac{N_{x1}}{A_{t.kryp.x1}} + \left( \frac{M_{t.kryp.x1}}{I_{t.kryp.x1}} \right) \cdot (e_{x1} - y_{t.kryp.x1})$$

$$\sigma_{ct.kryp.x1} = -3.454 \cdot \text{MPa}$$

$$\epsilon_{cLt.kryp.x1} := \frac{\sigma_{ct.kryp.x1}}{E_{cL.x}} \quad \epsilon_{cLt.kryp.x1} = -2.604 \times 10^{-4}$$

$$\Delta\sigma_{cL.x1} := \epsilon_{cLt.kryp.x1} \cdot E_p \quad \Delta\sigma_{cL.x1} = -51.047 \cdot \text{MPa}$$

$$\epsilon_{ckt.kryp.x1} := \frac{\sigma_{ct.x1}}{E_{cm}} \quad \epsilon_{ckt.kryp.x1} = -9.92 \times 10^{-5}$$

$$\Delta\sigma_{ck.x1} := \epsilon_{ckt.kryp.x1} \cdot E_p \quad \Delta\sigma_{ck.x1} = -19.444 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.kryp.x1} := \Delta\sigma_{cL.x1} - \Delta\sigma_{ck.x1} \quad \Delta\sigma_{p.kryp.x1} = -31.603 \cdot \text{MPa}$$

$$KT_{x1} := \frac{|\Delta\sigma_{p.kryp.x1}|}{\sigma_{FLE.x1}} = 0.022 \quad \text{Tap av spennkraft pga kryp for platestripe } x_1$$

$$KT_{\%x1} := KT_{x1} \cdot 100 = 2.199 \quad \text{Tap pga kryp i prosent}$$

**For platestripe  $x_2$ :**

$$y_{t.kryp.x2} := \frac{(\eta_x - 1) \cdot A_{p.tot.x2} \cdot e_{x2}}{A_{t.tot.x2}} \quad y_{t.kryp.x2} = 1.856 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.kryp.x2} := \left( \frac{b \cdot h_x^3}{12} \right) + y_{t.kryp.x2}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta_x - 1) \cdot A_{p.tot.x2} \cdot (e_{x2} - y_{t.kryp.x2})^2$$

$$I_{t.kryp.x2} = 2.278 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{t.kryp.x2} := A_{c.x} + (\eta_x - 1) \cdot A_{p.tot.x2}$$

$$A_{t.kryp.x2} = 3.11 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$M_{t.kryp.x2} := -P_{0.x2} \cdot (e_{x2} - y_{t.kryp.x2}) + M_{g.x2} \quad M_{t.kryp.x2} = 21.108 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{ct.kryp.x2} := \frac{N_{x2}}{A_{t.kryp.x2}} + \left( \frac{M_{t.kryp.x2}}{I_{t.kryp.x2}} \right) \cdot (e_{x2} - y_{t.kryp.x2})$$

$$\sigma_{ct.kryp.x2} = -3.371 \cdot \text{MPa}$$

$$\epsilon_{cLt.kryp.x2} := \frac{\sigma_{ct.kryp.x2}}{E_{cL.x}} \quad \epsilon_{cLt.kryp.x2} = -2.542 \times 10^{-4}$$



$$\Delta\sigma_{cL,x2} := \epsilon_{cLt.kryp.x2} \cdot E_p \quad \Delta\sigma_{cL,x2} = -49.819 \cdot \text{MPa}$$

$$\epsilon_{ckt.kryp.x2} := \frac{\sigma_{ct.x2}}{E_{cm}} \quad \epsilon_{ckt.kryp.x2} = -9.675 \times 10^{-5}$$

$$\Delta\sigma_{ck,x2} := \epsilon_{ckt.kryp.x2} \cdot E_p \quad \Delta\sigma_{ck,x2} = -18.962 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p.kryp.x2} := \Delta\sigma_{cL,x2} - \Delta\sigma_{ck,x2} \quad \Delta\sigma_{p.kryp.x2} = -30.856 \cdot \text{MPa}$$

$$KT_{x2} := \frac{|\Delta\sigma_{p.kryp.x2}|}{\sigma_{FLE.x2}} = 0.021 \quad \text{Tap av spennkraft pga kryp for platestripe } x_2$$

$$KT_{\%x2} := KT_{x2} \cdot 100 = 2.149 \quad \text{Tap pga kryp i prosent}$$

## Svinn

$$f_{ck} := 45$$

$$f_{cm0} := 10$$

$$k_{h,y} := 0.795 \quad \text{Verdi funnet ved bruk av lineær interpolasjon}$$

$$k_{h,x} := 0.75 \quad \text{Verdi hentet fra tabell 3.3 EC 2}$$

$$RH_0 := 100$$

$$\beta_{RH} := 1.55 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] \quad \beta_{RH} = 1.451$$

$$\alpha_{ds1} := 4 \quad \text{Verdier for sementklasse N hentet fra EC 2, nasjonalt tillegg B.}$$

$$\alpha_{ds2} := 0.12$$

$$\epsilon_{cd0} := 0.85 \cdot \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{\left( -\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right)} \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \quad \epsilon_{cd0} = 4.309 \times 10^{-4}$$

## Uttøringsvinn

For y-retning:

$$\epsilon_{cd,y,\infty} := k_{h,y} \cdot \epsilon_{cd0}$$

$$\epsilon_{cd,y,\infty} = 3.426 \times 10^{-4}$$

For x-retning:

$$\epsilon_{cd,x,\infty} := k_{h,x} \cdot \epsilon_{cd0}$$

$$\epsilon_{cd,x,\infty} = 3.232 \times 10^{-4}$$

## Autogent svinn

$$\epsilon_{ca,\infty} := 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

$$\epsilon_{ca,\infty} = 8.75 \times 10^{-5}$$

Total svinntøyning:

For y-retning:

$$\epsilon_{cs,y} := \epsilon_{cd,y,\infty} + \epsilon_{ca,\infty}$$

$$\epsilon_{cs,y} = 4.301 \times 10^{-4}$$

For x-retning:

$$\epsilon_{cs,x} := \epsilon_{cd,x,\infty} + \epsilon_{ca,\infty}$$

$$\epsilon_{cs,x} = 4.107 \times 10^{-4}$$

**For platestripe  $y_1$ :**

$$N_{s,y1} := |\epsilon_{cs,y}| \cdot E_p \cdot A_{p,tot,y1}$$

$$N_{s,y1} = 42.545 \cdot \text{kN}$$

$$E_{middel,y} := E_{cL,y}$$

$$A_{t,svinn,y1} := A_{t,kryp,y1}$$

$$y_{t,svinn,y1} := y_{t,kryp,y1}$$

$$I_{t,svinn,y1} := I_{t,kryp,y1}$$

$$\Delta\epsilon_{p,svinn,y1} := \epsilon_{cs,y} + \frac{N_{s,y1}}{E_{middel,y} \cdot A_{t,svinn,y1}} + \frac{N_{s,y1} \cdot (\epsilon_{y1} - y_{t,svinn,y1})^2}{E_{middel,y} \cdot I_{t,svinn,y1}} = 4.482 \times 10^{-4}$$

$$\Delta\sigma_{p,svinn,y1} := \Delta\epsilon_{p,svinn,y1} \cdot E_p$$

$$\Delta\sigma_{p,svinn,y1} = 87.851 \cdot \text{MPa}$$

$$ST_{y1} := \frac{\Delta\sigma_{p,svinn,y1}}{\sigma_{FLE,y1}} = 0.061 \quad \text{Svinntap for } y_1$$

$$ST_{\%,y1} := ST_{y1} \cdot 100 = 6.133 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $y_2$ :**

$$N_{s,y2} := |\epsilon_{cs,y}| \cdot E_p \cdot A_{p,tot,y2}$$

$$N_{s,y2} = 42.545 \cdot \text{kN}$$

$$A_{t,svinn,y2} := A_{t,kryp,y2}$$

$$y_{t,svinn,y2} := y_{t,kryp,y2}$$

$$I_{t,svinn,y2} := I_{t,kryp,y2}$$

$$\Delta\epsilon_{p,svinn,y2} := \epsilon_{cs,y} + \frac{N_{s,y2}}{E_{middel,y} \cdot A_{t,svinn,y2}} + \frac{N_{s,y2} \cdot (e_{y2} - y_{t,svinn,y2})^2}{E_{middel,y} \cdot I_{t,svinn,y2}} = 4.487 \times 10^{-4}$$

$$\Delta\sigma_{p,svinn,y2} := \Delta\epsilon_{p,svinn,y2} \cdot E_p$$

$$\Delta\sigma_{p,svinn,y2} = 87.944 \cdot \text{MPa}$$

$$ST_{y2} := \frac{\Delta\sigma_{p,svinn,y2}}{\sigma_{FLE,y2}} = 0.061 \quad \text{Svinntap for } y_2$$

$$ST_{\%,y2} := ST_{y2} \cdot 100 = 6.097 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_1$ :**

$$N_{s,x1} := |\epsilon_{cs,x}| \cdot E_p \cdot A_{p,tot,x1} \quad N_{s,x1} = 64.388 \cdot \text{kN}$$

$$E_{middel,x} := E_{cL,x}$$

$$A_{t,svinn,x1} := A_{t,kryp,x1}$$

$$y_{t,svinn,x1} := y_{t,kryp,x1}$$

$$I_{t,svinn,x1} := I_{t,kryp,x1}$$

$$\Delta\epsilon_{p,svinn,x1} := \epsilon_{cs,x} + \frac{N_{s,x1}}{E_{middel,x} \cdot A_{t,svinn,x1}} + \frac{N_{s,x1} \cdot (e_{x1} - y_{t,svinn,x1})^2}{E_{middel,x} \cdot I_{t,svinn,x1}} = 4.319 \times 10^{-4}$$

$$\Delta\sigma_{p,svinn,x1} := \Delta\epsilon_{p,svinn,x1} \cdot E_p$$

$$\Delta\sigma_{p,svinn,x1} = 84.646 \cdot \text{MPa}$$

$$ST_{x1} := \frac{\Delta\sigma_{p,svinn,x1}}{\sigma_{FLE,x1}} = 0.059 \quad \text{Svinntap for } x_1$$

$$ST_{\%,x1} := ST_{x1} \cdot 100 = 5.889 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_2$ :**

$$N_{s,x2} := |\epsilon_{cs,x}| \cdot E_p \cdot A_{p,tot,x2} \quad N_{s,x2} = 64.388 \cdot \text{kN}$$

$$A_{t,svinn,x2} := A_{t,kryp,x2}$$

$$y_{t,svinn,x2} := y_{t,kryp,x2}$$

$$I_{t,svinn,x2} := I_{t,kryp,x2}$$

$$\Delta \varepsilon_{p,svinn.x2} := \varepsilon_{cs.x} + \frac{N_{s.x2}}{E_{middel.x} \cdot A_{t,svinn.x2}} + \frac{N_{s.x2} \cdot (e_{x2} - y_{t,svinn.x2})^2}{E_{middel.x} \cdot I_{t,svinn.x2}} = 4.314 \times 10^{-4}$$

$$\Delta \sigma_{p,svinn.x2} := \Delta \varepsilon_{p,svinn.x2} \cdot E_p$$

$$\Delta \sigma_{p,svinn.x2} = 84.563 \cdot \text{MPa}$$

$$ST_{x2} := \frac{\Delta \sigma_{p,svinn.x2}}{\sigma_{FLE.x2}} = 0.059 \quad \text{Svinntap for } x_2$$

$$ST_{\%.x2} := ST_{x2} \cdot 100 = 5.89 \quad \text{Tap i prosent}$$

## Relaksasjon

Antar relaksasjonsklasse 2, på grunnlag av relaksasjonskurver gitt i datablad til Spennteknikk [21].

$$\rho_{1000} := 2.5 \quad \text{EC 2, pkt. 3.3.2 (7)}$$

$$\sigma_{pi} := \sigma_{pm0}$$

$$\mu_r := \frac{\sigma_{pi}}{f_{pk}}$$

$$t_r := 500000$$

$$\Delta \sigma_{pr} := 0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9.1 \mu_r} \cdot \left( \frac{t_r}{1000} \right)^{0.75(1-\mu_r)} \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{pi}$$

$$\Delta \sigma_{pr} = 67.948 \cdot \text{MPa}$$

**For platestripe  $y_1$ :**

$$RT_{y1} := \frac{\Delta \sigma_{pr}}{\sigma_{FLE.y1}} = 0.047 \quad \text{Relaksasjonstap for platestripe } y_1$$

$$RT_{\%.y1} := RT_{y1} \cdot 100 = 4.743 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $y_2$ :**

$$RT_{y2} := \frac{\Delta \sigma_{pr}}{\sigma_{FLE.y2}} = 0.047 \quad \text{Relaksasjonstap for platestripe } y_2$$

$$RT_{\%.y2} := RT_{y2} \cdot 100 = 4.71 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_1$ :**

$$RT_{x1} := \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{FLE.x1}} = 0.047 \quad \text{Relaksasjonstap for platestripe } x_1$$

$$RT_{\%.x1} := RT_{x1} \cdot 100 = 4.727 \quad \text{Tap i prosent}$$

**For platestripe  $x_2$ :**

$$RT_{x2} := \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{FLE.x2}} = 0.047 \quad \text{Relaksasjonstap for platestripe } x_2$$

$$RT_{\%.x2} := RT_{x2} \cdot 100 = 4.732 \quad \text{Tap i prosent}$$

**Oppsummering tidsavhengige tap for  $y_1$ :**

Spennkrafttap på grunn av kryp i prosent for  $y_1$  er:

$$KT_{\%.y1} = 2.09$$

Spennkrafttap på grunn av svinn i prosent for  $y_1$  er:

$$ST_{\%.y1} = 6.133$$

Spennkrafttap på grunn av relaksasjon i prosent for  $y_1$  er:

$$RT_{\%.y1} = 4.743$$

Totalt spennkrafttap på grunn av tidsavhengige tap i prosent for  $y_1$  er:

$$TT_{KSR.\%.y1} := KT_{\%.y1} + ST_{\%.y1} + RT_{\%.y1} = 12.966$$

$$TT_{KSR.y1} := KT_{y1} + ST_{y1} + RT_{y1} = 0.13$$

$$\sigma_{KSR.y1} := \sigma_{FLE.y1} - \Delta\sigma_{p.kryp.y1} - \Delta\sigma_{p.svinn.y1} - \Delta\sigma_{pr} = 1.307 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{KSR.y1} := \sigma_{pmax} - \sigma_{KSR.y1} = 181.382 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{KSR.y1} := P_{max.tot.y1} \cdot TT_{KSR.y1} = 97.386 \cdot \text{kN}$$

$$P_{ettertap.y1} := \frac{P_{aktiv.y1} + P_{passiv.y1}}{2} - \Delta P_{KSR.y1} = 625.656 \cdot \text{kN}$$

**Oppsummering tidsavhengige tap for  $y_2$ :**

Spennkrafttap på grunn av kryp i prosent for  $y_2$  er:

$$KT_{\%.y2} = 2.12$$

Spennkrafttap på grunn av svinn i prosent for  $y_2$  er:

$$ST_{\%.y2} = 6.097$$

Spennkrafttap på grunn av relaksasjon i prosent for  $y_2$  er:

$$RT_{\%,y_2} = 4.71$$

Totalt spennkrafttap på grunn av tidsavhengige tap i prosent for  $y_2$  er:

$$TT_{KSR,\%,y_2} := KT_{\%,y_2} + ST_{\%,y_2} + RT_{\%,y_2} = 12.927$$

$$TT_{KSR,y_2} := KT_{y_2} + ST_{y_2} + RT_{y_2} = 0.129$$

$$\sigma_{KSR,y_2} := \sigma_{FLE,y_2} - \Delta\sigma_{p,kryp,y_2} - \Delta\sigma_{p,svinn,y_2} - \Delta\sigma_{pr} = 1.317 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{KSR,y_2} := \sigma_{pmax} - \sigma_{KSR,y_2} = 170.792 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{KSR,y_2} := P_{max,tot,y_2} \cdot TT_{KSR,y_2} = 97.089 \cdot \text{kN}$$

$$P_{ettertap,y_2} := \frac{P_{aktiv,y_2} + P_{passiv,y_2}}{2} - \Delta P_{KSR,y_2} = 631.023 \cdot \text{kN}$$

#### Oppsummering tidsavhengige tap for $x_1$ :

Spennkrafttap på grunn av kryp i prosent for  $x_1$  er:

$$KT_{\%,x_1} = 2.199$$

Spennkrafttap på grunn av svinn i prosent for  $x_1$  er:

$$ST_{\%,x_1} = 5.889$$

Spennkrafttap på grunn av relaksasjon i prosent for  $x_1$  er:

$$RT_{\%,x_1} = 4.727$$

Totalt spennkrafttap på grunn av tidsavhengige tap i prosent for  $x_1$  er:

$$TT_{KSR,\%,x_1} := KT_{\%,x_1} + ST_{\%,x_1} + RT_{\%,x_1} = 12.814$$

$$TT_{KSR,x_1} := KT_{x_1} + ST_{x_1} + RT_{x_1} = 0.128$$

$$\sigma_{KSR,x_1} := \sigma_{FLE,x_1} - \Delta\sigma_{p,kryp,x_1} - \Delta\sigma_{p,svinn,x_1} - \Delta\sigma_{pr} = 1.316 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{KSR,x_1} := \sigma_{pmax} - \sigma_{KSR,x_1} = 171.54 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{KSR,x_1} := P_{max,tot,x_1} \cdot TT_{KSR,x_1} = 152.53 \cdot \text{kN}$$

$$P_{ettertap,x_1} := \frac{P_{aktiv,x_1} + P_{passiv,x_1}}{2} - \Delta P_{KSR,x_1} = 997.358 \cdot \text{kN}$$

#### Oppsummering tidsavhengige tap for $x_2$ :

Spennkrafttap på grunn av kryp i prosent for  $x_2$  er:

$$KT_{\%.x2} = 2.149$$

Spennkrafttap på grunn av svinn i prosent for  $x_2$  er:

$$ST_{\%.x2} = 5.89$$

Spennkrafttap på grunn av relaksasjon i prosent for  $x_2$  er:

$$RT_{\%.x2} = 4.732$$

Totalt spennkrafttap på grunn av tidsavhengige tap i prosent for  $x_2$  er:

$$TT_{KSR.\%.x2} := KT_{\%.x2} + ST_{\%.x2} + RT_{\%.x2} = 12.771$$

$$TT_{KSR.x2} := KT_{x2} + ST_{x2} + RT_{x2} = 0.128$$

$$\sigma_{KSR.x2} := \sigma_{FLE.x2} - \Delta\sigma_{p.kryp.x2} - \Delta\sigma_{p.svinn.x2} - \Delta\sigma_{pr} = 1.314 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{KSR.x2} := \sigma_{pmax} - \sigma_{KSR.x2} = 173.881 \cdot \text{MPa}$$

$$\Delta P_{KSR.x2} := P_{max.tot.x2} \cdot TT_{KSR.x2} = 152.02 \cdot \text{kN}$$

$$P_{ettertap.x2} := \frac{P_{aktiv.x2} + P_{passiv.x2}}{2} - \Delta P_{KSR.x2} = 996.527 \cdot \text{kN}$$

### Oppspenningskraft

Oppspenningskraft per kabel etter spennkrafttap fra både umiddelbare og tidsavhengige tap blir som følgende:

For  $y_1$ :

$$F_{p0.y1} := \frac{P_{ettertap.y1}}{f_{n.y1}} = 185.93 \cdot \text{kN}$$

For  $y_2$ :

$$F_{p0.y2} := \frac{P_{ettertap.y2}}{f_{n.y2}} = 187.525 \cdot \text{kN}$$

Gjennomsnitt for  $y$ -retning:

$$F_{p0.y} := \frac{F_{p0.y1} + F_{p0.y2}}{2} = 186.728 \cdot \text{kN}$$

For  $x_1$ :

$$F_{p0.x1} := \frac{P_{\text{tettertap.x1}}}{f_{n.x1}} = 187.016 \cdot \text{kN}$$

**For  $x_2$ :**

$$F_{p0.x2} := \frac{P_{\text{tettertap.x2}}}{f_{n.x2}} = 186.86 \cdot \text{kN}$$

**Gjennomsnitt for x-retning:**

$$F_{p0.x} := \frac{F_{p0.x1} + F_{p0.x2}}{2} = 186.938 \cdot \text{kN}$$



## Vedlegg 4 – Bruddgrenseberegninger

Innhold:

Ekvivalente krefter

Dimensjonering for moment

    Dimensjonerende moment

    Momentkapasitet

    Minimumsarmering

Skjærdimensjonering

    Dimensjonerende skjærkrefter

    Skjærkapasitet

    Skjærarmering



## Bruddgrenseberegninger

Bruddgrenseberegningene vil kun utføres for et begrenset område av flatdekke. Området det ses på er der hvor de fire platestripene krysser hverandre. Se vedlegg 1 for illustrasjon.

Dekkets geometri

For y-retning:

$$t_y := 255\text{mm}$$

$$b_y := 10.4\text{m}$$

For x-retning:

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

$$b_x := 6\text{m}$$

Tykkelse på dekket

Bredden på platestripene

Laster

Egenlast

$$g_{\text{last}} := 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Nyttelast

$$p_{\text{last}} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_1 := 1.2 \cdot g_{\text{last}} + 1.5 \cdot p_{\text{last}} = 12.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := 1.35 \cdot g_{\text{last}} + 1.05 \cdot p_{\text{last}} = 12.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Last som skal balanseres: 100% av egenlasten

$$q_{\text{bal}} := 1.2 \cdot g_{\text{last}} = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastfaktorer for spennarmering: EC 2, NA2.4.2.2(1)

$$\gamma_{p1} := 1.1$$

$$\gamma_{p2} := 0.9$$

Bruker den faktoren som gir det mest ugunstige tilfellet for konstruksjonen

For spennarmering:

Elastisitetsmodul

$$E_p := 196000\text{MPa}$$

Tverrsnittsareal for spennkabel

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

Spennstålets strekkfasthet og 0.1% grense

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

$$f_{p0.1k} := 1670\text{MPa}$$

Materialfaktor for spennarmering

$$\gamma_p := 1.15$$

Maksimal oppspenning

$$\sigma_{pmax} := \min(0.8 \cdot f_{pk}, 0.9 \cdot f_{p0.1k})$$

$$\sigma_{pmax} = 1.488 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

Maksimal oppspenningskraft per kabel

$$P_{max} := A_p \cdot \sigma_{pmax}$$

$$P_{max} = 223.2 \cdot \text{kN}$$

Initiell oppspenning

$$\sigma_{pm0} := \min(0.75 \cdot f_{pk}, 0.85 \cdot f_{p0.1k})$$

$$\sigma_{pm0} = 1.395 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

Initiell oppspenningskraft per kabel

$$P_{m0} := \sigma_{pm0} \cdot A_p$$

$$P_{m0} = 209.25 \cdot \text{kN}$$

Oppspenningskraft for de forskjellige retningene:

$$F_{p0.y} := 186.728 \text{ kN}$$

$$F_{p0.x} := 186.938 \text{ kN}$$

Platebredde:

$$L_x := 10.4 \text{ m}$$

$$L_y := 6 \text{ m}$$

**Antall kabler:**

y retning har 35 spennkabler, med c-c 300mm

x retning har 32 spennkabler, med c-c 188.5

$$f_{n.y} := \frac{35}{10.4} = 3.365$$

$$f_{n.x} := \frac{32}{6} = 5.333$$

Det er antatt at det skal være jevn fordeling av spennkabler i begge retninger. For å få riktig fordelingstall (antall spennkabler per meter) i de forskjellige søyle- og feltstripene er det tatt utgangspunkt i senteravstanden til kablene, og deretter funnet fordelingstall ut i fra antall kabler som befinner seg i det spesifikke området (se også tegning som viser fordeling av spennkabler i vedlegg 1).

**For y-retning:**

Fordelingstall for søylestripe 1, søylestripe 2 og feltstripe

$$f_{n.ss1.y} := \frac{9}{2.6} = 3.462 \quad (\text{per meter})$$

$$f_{n.ss2.y} := \frac{8}{2.6} = 3.077$$

$$f_{n.sf.y} := \frac{18}{5.2} = 3.462$$

$$A_{p.ss1.y} := A_p \cdot f_{n.ss1.y} = 519.231 \cdot \text{mm}^2 \quad (\text{per meter})$$

$$A_{p.ss2.y} := A_p \cdot f_{n.ss2.y} = 461.538 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{p.sf.y} := A_p \cdot f_{n.sf.y} = 519.231 \cdot \text{mm}^2$$

**Spennkraft:**

$$P_{ss1.y} := F_{p0.y} \cdot f_{n.ss1.y} = 646.366 \cdot \text{kN} \quad (\text{per meter})$$

$$P_{ss2.y} := F_{p0.y} \cdot f_{n.ss2.y} = 574.548 \cdot \text{kN}$$

$$P_{sf.y} := F_{p0.y} \cdot f_{n.sf.y} = 646.366 \cdot \text{kN}$$

**For x-retning:**

Fordelingstall for søylestripe 1, søylestripe 2 og feltstripe

$$f_{n.ss1.x} := \frac{8}{1.5} = 5.333 \quad (\text{per meter})$$

$$f_{n.ss2.x} := \frac{8}{1.5} = 5.333$$

$$f_{n.sf.x} := \frac{16}{3} = 5.333$$

$$A_{p.ss1.x} := A_p \cdot f_{n.ss1.x} = 800 \cdot \text{mm}^2 \quad (\text{per meter})$$

$$A_{p.ss2.x} := A_p \cdot f_{n.ss2.x} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{p.sf.x} := A_p \cdot f_{n.sf.x} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

**Spennkraft:**

$$P_{ss1.x} := F_{p0.x} \cdot f_{n.ss1.x} = 997.003 \cdot \text{kN} \quad (\text{per meter})$$

$$P_{ss2.x} := F_{p0.x} \cdot f_{n.ss2.x} = 997.003 \cdot \text{kN}$$

$$P_{sf.x} := F_{p0.x} \cdot f_{n.sf.x} = 997.003 \cdot \text{kN}$$

## Ekvivalente krefter

Ved utregning av ekvivalente krefter, vises det til vedlegg 1 hvor det vises lengder på infleksjonspunkter for de forskjellige platestripene.

Ved lengder, eksentrisiteter og infleksjonspunkt refereres det til det feltnummeret som det er i platestripen.

Aktuelle pilhøyder:

$$h_{f5.y1} := 113.6\text{mm}$$

$$h_{f5.y2} := 115.7\text{mm}$$

$$h_{f5.x1} := 118.2\text{mm}$$

$$h_{f5.x2} := 116.1\text{mm}$$

For platestripe  $y_1$ :

| Lengde på felt               | Infleksjonslengde  | Eksentrisitet infleksjonspunkt  |
|------------------------------|--|---------------------------------|
| $L_{f5.y1} := 7500\text{mm}$ | $L_{i.f5.y1} := 0.1 \cdot L_{f5.y1} = 750 \cdot \text{mm}$ | $e_{i.f5.y1} := 36.34\text{mm}$ |

Ekvivalente krefter ved infleksjonslengdene (virker nedover):

$$q_{oi.f5.y1} := \frac{8 \cdot F_{p0.y} \cdot e_{i.f5.y1}}{(2 \cdot L_{i.f5.y1})^2} = 24.127 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{per kabel})$$

$$q_{oi.ss1.f5.y1} := \frac{8 \cdot P_{ss1.y} \cdot e_{i.f5.y1}}{(2 \cdot L_{i.f5.y1})^2} = 83.516 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$q_{oi.ss2.f5.y1} := \frac{8 \cdot P_{ss2.y} \cdot e_{i.f5.y1}}{(2 \cdot L_{i.f5.y1})^2} = 74.237 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{oi.sf.f5.y1} := \frac{8 \cdot P_{sf.y} \cdot e_{i.f5.y1}}{(2 \cdot L_{i.f5.y1})^2} = 83.516 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

(oi = over infleksjonslengder)

Ekvivalente krefter mellom infleksjonspunktene (virker oppover):

$$L_{mi.f5.y1} := L_{f5.y1} - (2 \cdot L_{i.f5.y1}) = 6 \cdot \text{m}$$

$$e_{mi.f5.y1} := h_{f5.y1} - e_{i.f5.y1} = 77.26 \cdot \text{mm}$$

(mi = mellom infleksjonspunkt)

$$q_{mi.f5.y1} := \frac{8 \cdot F_{p0.y} \cdot e_{mi.f5.y1}}{(2 \cdot L_{mi.f5.y1})^2} = 0.801 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{per kabel})$$

$$q_{mi.ss1.f5.y1} := \frac{8 \cdot P_{ss1.y} \cdot e_{mi.f5.y1}}{(2 \cdot L_{mi.f5.y1})^2} = 2.774 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$q_{mi.ss2.f5.y1} := \frac{8 \cdot P_{ss2.y} \cdot e_{mi.f5.y1}}{(2 \cdot L_{mi.f5.y1})^2} = 2.466 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{mi.sf.f5.y1} := \frac{8 \cdot P_{sf.y} \cdot e_{mi.f5.y1}}{(2 \cdot L_{mi.f5.y1})^2} = 2.774 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**For platestripe  $y_2$ :**

| Lengde på felt               | Infleksjonslengde  | Eksentrisitet infleksjonspunkt   |
|------------------------------|--|----------------------------------|
| $L_{f5.y2} := 7500\text{mm}$ | $L_{i.f5.y2} := 0.1 \cdot L_{f5.y1} = 750 \cdot \text{mm}$ | $e_{i.f5.y2} := 44.393\text{mm}$ |

Ekvivalente krefter ved infleksjonslengdene (virker nedover):

$$q_{oi.f5.y2} := \frac{8 \cdot F_{p0.y} \cdot e_{i.f5.y2}}{(2 \cdot L_{i.f5.y2})^2} = 29.473 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{per kabel})$$

$$q_{oi.ss1.f5.y2} := \frac{8 \cdot P_{ss1.y} \cdot e_{i.f5.y2}}{(2 \cdot L_{i.f5.y2})^2} = 102.024 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$q_{oi.ss2.f5.y2} := \frac{8 \cdot P_{ss2.y} \cdot e_{i.f5.y2}}{(2 \cdot L_{i.f5.y2})^2} = 90.688 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{oi.sf.f5.y2} := \frac{8 \cdot P_{sf.y} \cdot e_{i.f5.y2}}{(2 \cdot L_{i.f5.y2})^2} = 102.024 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

(oi = over infleksjonslengder)

Ekvivalente krefter mellom infleksjonspunktene (virker oppover):

$$L_{mi.f5.y2} := L_{f5.y2} - (2 \cdot L_{i.f5.y2}) = 6 \cdot \text{m}$$

$$e_{mi.f5.y2} := h_{f5.y2} - e_{i.f5.y2} = 71.307 \cdot \text{mm}$$

(mi = mellom infleksjonspunkt)

$$q_{mi.f5.y2} := \frac{8 \cdot F_{p0.y} \cdot e_{mi.f5.y2}}{(2 \cdot L_{mi.f5.y2})^2} = 0.74 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{per kabel})$$

$$q_{mi.ss1.f5.y2} := \frac{8 \cdot P_{ss1.y} \cdot e_{mi.f5.y2}}{(2 \cdot L_{mi.f5.y2})^2} = 2.561 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$q_{mi.ss2.f5.y2} := \frac{8 \cdot P_{ss2.y} \cdot e_{mi.f5.y2}}{(2 \cdot L_{mi.f5.y2})^2} = 2.276 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{mi.sf.f5.y2} := \frac{8 \cdot P_{sf.y} \cdot e_{mi.f5.y2}}{(2 \cdot L_{mi.f5.y2})^2} = 2.561 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**For platestripe  $x_1$ :**

|                               |  |                                  |
|-------------------------------|--|----------------------------------|
| Lengde på felt                | Infleksjonslengde  | Eksentrisitet infleksjonspunkt   |
| $L_{f5.x1} := 10400\text{mm}$ | $L_{i.f5.x1} := 0.1 \cdot L_{f5.x1} = 1.04 \cdot \text{m}$ | $e_{i.f5.x1} := 28.802\text{mm}$ |

Ekvivalente krefter ved infleksjonslengdene (virker nedover):

$$q_{oi.f5.x1} := \frac{8 \cdot F_{p0.x} \cdot e_{i.f5.x1}}{(2 \cdot L_{i.f5.x1})^2} = 9.956 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{per kabel})$$

$$q_{oi.ss1.f5.x1} := \frac{8 \cdot P_{ss1.x} \cdot e_{i.f5.x1}}{(2 \cdot L_{i.f5.x1})^2} = 53.099 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$q_{oi.ss2.f5.x1} := \frac{8 \cdot P_{ss2.x} \cdot e_{i.f5.x1}}{(2 \cdot L_{i.f5.x1})^2} = 53.099 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{oi.sf.f5.x1} := \frac{8 \cdot P_{sf.x} \cdot e_{i.f5.x1}}{(2 \cdot L_{i.f5.x1})^2} = 53.099 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

(oi = over infleksjonslengder)

Ekvivalente krefter mellom infleksjonspunktene (virker oppover):

$$L_{mi.f5.x1} := L_{f5.x1} - (2 \cdot L_{i.f5.x1}) = 8.32 \cdot \text{m}$$

$$e_{mi.f5.x1} := h_{f5.x1} - e_{i.f5.x1} = 89.398 \cdot \text{mm}$$

(mi = mellom infleksjonspunkt)



$$q_{mi.f5.x1} := \frac{8 \cdot F_{p0.x} \cdot e_{mi.f5.x1}}{(2 \cdot L_{mi.f5.x1})^2} = 0.483 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{per kabel})$$

$$q_{mi.ss1.f5.x1} := \frac{8 \cdot P_{ss1.x} \cdot e_{mi.f5.x1}}{(2 \cdot L_{mi.f5.x1})^2} = 2.575 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$q_{mi.ss2.f5.x1} := \frac{8 \cdot P_{ss2.x} \cdot e_{mi.f5.x1}}{(2 \cdot L_{mi.f5.x1})^2} = 2.575 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{mi.sf.f5.x1} := \frac{8 \cdot P_{sf.x} \cdot e_{mi.f5.x1}}{(2 \cdot L_{mi.f5.x1})^2} = 2.575 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**For platestripe  $x_2$ :**

| Lengde på felt                | Infleksjonslengde  | Eksentrisitet infleksjonspunkt  |
|-------------------------------|--|---------------------------------|
| $L_{f5.x2} := 10400\text{mm}$ | $L_{i.f5.x2} := 0.1 \cdot L_{f5.x2} = 1.04 \cdot \text{m}$ | $e_{i.f5.x2} := 28.76\text{mm}$ |

Ekvivalente krefter ved infleksjonslengdene (virker nedover):

$$q_{oi.f5.x2} := \frac{8 \cdot F_{p0.x} \cdot e_{i.f5.x2}}{(2 \cdot L_{i.f5.x2})^2} = 9.941 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{per kabel})$$

$$q_{oi.ss1.f5.x2} := \frac{8 \cdot P_{ss1.x} \cdot e_{i.f5.x2}}{(2 \cdot L_{i.f5.x2})^2} = 53.021 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$q_{oi.ss2.f5.x2} := \frac{8 \cdot P_{ss2.x} \cdot e_{i.f5.x2}}{(2 \cdot L_{i.f5.x2})^2} = 53.021 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{oi.sf.f5.x2} := \frac{8 \cdot P_{sf.x} \cdot e_{i.f5.x2}}{(2 \cdot L_{i.f5.x2})^2} = 53.021 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

(oi = over infleksjonslengder)

Ekvivalente krefter mellom infleksjonspunktene (virker oppover):

$$L_{mi.f5.x2} := L_{f5.x2} - (2 \cdot L_{i.f5.x2}) = 8.32 \cdot \text{m}$$

$$e_{mi.f5.x2} := h_{f5.x2} - e_{i.f5.x2} = 87.34 \cdot \text{mm}$$

(mi = mellom infleksjonspunkt)

$$q_{mi.f5.x2} := \frac{8 \cdot F_{p0.x} \cdot e_{mi.f5.x2}}{(2 \cdot L_{mi.f5.x2})^2} = 0.472 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{per kabel})$$

$$q_{mi.ss1.f5.x2} := \frac{8 \cdot P_{ss1.x} \cdot e_{mi.f5.x2}}{(2 \cdot L_{mi.f5.x2})^2} = 2.516 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$q_{mi.ss2.f5.x2} := \frac{8 \cdot P_{ss2.x} \cdot e_{mi.f5.x2}}{(2 \cdot L_{mi.f5.x2})^2} = 2.516 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{mi.sf.f5.x2} := \frac{8 \cdot P_{sf.x} \cdot e_{mi.f5.x2}}{(2 \cdot L_{mi.f5.x2})^2} = 2.516 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Beregning av moment bidrag fra spennarmering.

Først for ekvivalente krefter rettet nedover og deretter for ekvivalente krefter rettet oppover.

#### For platestripe $y_1$ :

Over infleksjonslengder:

Skjærkrefter:

$$V_{iv.f5.y1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1}}{L_{f5.y1}} \cdot \left( L_{f5.y1} - \frac{L_{i.f5.y1}}{2} \right) = 18.909 \cdot \text{kN} \quad (\text{per kabel})$$

$$V_{ih.f5.y1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1}^2}{2 \cdot L_{f5.y1}} = 0.995 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.f5.y1} := V_{iv.f5.y1} + V_{ih.f5.y1} = 19.905 \cdot \text{kN}$$

Etter spennarmeringsfordeling

$$V_{iv.ss1.f5.y1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss1.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1}}{L_{f5.y1}} \cdot \left( L_{f5.y1} - \frac{L_{i.f5.y1}}{2} \right) = 65.456 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih.ss1.f5.y1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss1.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1}^2}{2 \cdot L_{f5.y1}} = 3.445 \cdot \text{kN}$$

$$V_{iv.ss2.f5.y1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss2.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1}}{L_{f5.y1}} \cdot \left( L_{f5.y1} - \frac{L_{i.f5.y1}}{2} \right) = 58.183 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih.ss2.f5.y1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss2.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1}^2}{2 \cdot L_{f5.y1}} = 3.062 \cdot \text{kN}$$

$$V_{iv.sf.f5.y1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.sf.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1}}{L_{f5.y1}} \cdot \left( L_{f5.y1} - \frac{L_{i.f5.y1}}{2} \right) = 65.456 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih.sf.f5.y1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.sf.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1}^2}{2 \cdot L_{f5.y1}} = 3.445 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.ss1.f5.y1} := V_{iv.ss1.f5.y1} + V_{ih.ss1.f5.y1} = 68.901 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.ss2.f5.y1} := V_{iv.ss2.f5.y1} + V_{ih.ss2.f5.y1} = 61.245 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.sf.f5.y1} := V_{iv.sf.f5.y1} + V_{ih.sf.f5.y1} = 68.901 \cdot \text{kN}$$

Moment:

$$M_{i.f5.y1} := \frac{V_{i.f5.y1}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.y1}} = 8.211 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{i.ss1.f5.y1} := \frac{V_{i.ss1.f5.y1}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.y1}} = 98.383 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{i.ss2.f5.y1} := \frac{V_{i.ss2.f5.y1}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.y1}} = 77.734 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.sf.f5.y1} := \frac{V_{i.sf.f5.y1}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.y1}} = 98.383 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Mellom infleksjonspunkt:

Skjærkrefter:

$$V_{f5.y1} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.f5.y1} \cdot L_{f5.y1} \cdot L_{mi.f5.y1}}{2 \cdot L_{f5.y1}} = 2.164 \cdot \text{kN} \quad (\text{per kabel})$$

$$V_{ss1.f5.y1} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.ss1.f5.y1} \cdot L_{f5.y1} \cdot L_{mi.f5.y1}}{2 \cdot L_{f5.y1}} = 7.491 \cdot \text{kN} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$V_{ss2.f5.y1} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.ss2.f5.y1} \cdot L_{f5.y1} \cdot L_{mi.f5.y1}}{2 \cdot L_{f5.y1}} = 6.658 \cdot \text{kN}$$

$$V_{sf.f5.y1} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.sf.f5.y1} \cdot L_{f5.y1} \cdot L_{mi.f5.y1}}{2 \cdot L_{f5.y1}} = 7.491 \cdot \text{kN}$$

Maks moment:

$$M_{f5.y1} := \frac{V_{f5.y1}^2}{2 \cdot q_{mi.f5.y1}} + V_{f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1} = 4.544 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{ss1.f5.y1} := \frac{V_{ss1.f5.y1}^2}{2 \cdot q_{mi.ss1.f5.y1}} + V_{ss1.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1} = 15.731 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{ss2.f5.y1} := \frac{V_{ss2.f5.y1}^2}{2 \cdot q_{mi.ss2.f5.y1}} + V_{ss2.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1} = 13.983 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sf.f5.y1} := \frac{V_{sf.f5.y1}^2}{2 \cdot q_{mi.ssf.f5.y1}} + V_{sf.f5.y1} \cdot L_{i.f5.y1} = 15.731 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

**For platestripe  $y_2$ :**

Over infleksjonslengder:

Skjærkrefter:

$$V_{iv.f5.y2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.f5.y2} \cdot L_{i.f5.y2}}{L_{f5.y2}} \cdot \left( L_{f5.y2} - \frac{L_{i.f5.y2}}{2} \right) = 23.1 \cdot \text{kN} \quad (\text{per kabel})$$

$$V_{ih.f5.y2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.f5.y2} \cdot L_{i.f5.y2}^2}{2 \cdot L_{f5.y2}} = 1.216 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.f5.y2} := V_{iv.f5.y2} + V_{ih.f5.y2} = 24.316 \cdot \text{kN}$$

Etter spennarmeringsfordeling

$$V_{iv.ss1.f5.y2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss1.f5.y2} \cdot L_{i.f5.y2}}{L_{f5.y2}} \cdot \left( L_{f5.y2} - \frac{L_{i.f5.y2}}{2} \right) = 79.961 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih.ss1.f5.y2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss1.f5.y2} \cdot L_{i.f5.y2}^2}{2 \cdot L_{f5.y2}} = 4.208 \cdot \text{kN}$$

$$V_{iv.ss2.f5.y2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss2.f5.y2} \cdot L_{i.f5.y2}}{L_{f5.y2}} \cdot \left( L_{f5.y2} - \frac{L_{i.f5.y2}}{2} \right) = 71.076 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih.ss2.f5.y2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss2.f5.y2} \cdot L_{i.f5.y2}^2}{2 \cdot L_{f5.y2}} = 3.741 \cdot \text{kN}$$

$$V_{iv.sf.f5.y2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.sf.f5.y2} \cdot L_{i.f5.y2}}{L_{f5.y2}} \cdot \left( L_{f5.y2} - \frac{L_{i.f5.y2}}{2} \right) = 79.961 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih.sf.f5.y2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.sf.f5.y2} \cdot L_{i.f5.y2}^2}{2 \cdot L_{f5.y2}} = 4.208 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.ss1.f5.y2} := V_{iv.ss1.f5.y2} + V_{ih.ss1.f5.y2} = 84.169 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.ss2.f5.y2} := V_{iv.ss2.f5.y2} + V_{ih.ss2.f5.y2} = 74.817 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.sf.f5.y2} := V_{iv.sf.f5.y2} + V_{ih.sf.f5.y2} = 84.169 \cdot \text{kN}$$

Moment:

$$M_{i.f5.y2} := \frac{V_{i.f5.y2}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.y2}} = 10.03 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{i.ss1.f5.y2} := \frac{V_{i.ss1.f5.y2}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.y2}} = 120.184 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{i.ss2.f5.y2} := \frac{V_{i.ss2.f5.y2}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.y2}} = 94.96 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.sf.f5.y2} := \frac{V_{i.sf.f5.y2}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.y2}} = 120.184 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Mellom infleksjonspunkt:

Skjærkrefter:

$$V_{f5.y2} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.f5.y2} \cdot L_{f5.y2} \cdot L_{mi.f5.y2}}{2 \cdot L_{f5.y2}} = 1.997 \cdot \text{kN} \quad (\text{per kabel})$$

$$V_{ss1.f5.y2} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.ss1.f5.y2} \cdot L_{f5.y2} \cdot L_{mi.f5.y2}}{2 \cdot L_{f5.y2}} = 6.914 \cdot \text{kN} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$V_{ss2.f5.y2} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.ss2.f5.y2} \cdot L_{f5.y2} \cdot L_{mi.f5.y2}}{2 \cdot L_{f5.y2}} = 6.145 \cdot \text{kN}$$

$$V_{sf.f5.y2} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.sf.f5.y2} \cdot L_{f5.y2} \cdot L_{mi.f5.y2}}{2 \cdot L_{f5.y2}} = 6.914 \cdot \text{kN}$$

Maks moment:

$$M_{f5,y2} := \frac{V_{f5,y2}^2}{2 \cdot q_{mi,f5,y2}} + V_{f5,y2} \cdot L_{i,f5,y2} = 4.194 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{ss1,f5,y2} := \frac{V_{ss1,f5,y2}^2}{2 \cdot q_{mi,ss1,f5,y2}} + V_{ss1,f5,y2} \cdot L_{i,f5,y2} = 14.518 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{ss2,f5,y2} := \frac{V_{ss2,f5,y2}^2}{2 \cdot q_{mi,ss2,f5,y2}} + V_{ss2,f5,y2} \cdot L_{i,f5,y2} = 12.905 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sf,f5,y2} := \frac{V_{sf,f5,y2}^2}{2 \cdot q_{mi,sf,f5,y2}} + V_{sf,f5,y2} \cdot L_{i,f5,y2} = 14.518 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

For platestripe  $x_1$ :

Over infleksjonslengder:

Skjærkrefter:

$$V_{iv,f5,x1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi,f5,x1} \cdot L_{i,f5,x1}}{L_{f5,x1}} \cdot \left( L_{f5,x1} - \frac{L_{i,f5,x1}}{2} \right) = 10.82 \cdot \text{kN} \quad (\text{per kabel})$$

$$V_{ih,f5,x1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi,f5,x1} \cdot L_{i,f5,x1}^2}{2 \cdot L_{f5,x1}} = 0.569 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i,f5,x1} := V_{iv,f5,x1} + V_{ih,f5,x1} = 11.39 \cdot \text{kN}$$

Etter spennarmeringsfordeling

$$V_{iv,ss1,f5,x1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi,ss1,f5,x1} \cdot L_{i,f5,x1}}{L_{f5,x1}} \cdot \left( L_{f5,x1} - \frac{L_{i,f5,x1}}{2} \right) = 57.707 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih,ss1,f5,x1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi,ss1,f5,x1} \cdot L_{i,f5,x1}^2}{2 \cdot L_{f5,x1}} = 3.037 \cdot \text{kN}$$

$$V_{iv,ss2,f5,x1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi,ss2,f5,x1} \cdot L_{i,f5,x1}}{L_{f5,x1}} \cdot \left( L_{f5,x1} - \frac{L_{i,f5,x1}}{2} \right) = 57.707 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih,ss2,f5,x1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi,ss2,f5,x1} \cdot L_{i,f5,x1}^2}{2 \cdot L_{f5,x1}} = 3.037 \cdot \text{kN}$$

$$V_{iv.sf.f5.x1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.sf.f5.x1} \cdot L_{i.f5.x1}}{L_{f5.x1}} \cdot \left( L_{f5.x1} - \frac{L_{i.f5.x1}}{2} \right) = 57.707 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih.sf.f5.x1} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.sf.f5.x1} \cdot L_{i.f5.x1}^2}{2 \cdot L_{f5.x1}} = 3.037 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.ss1.f5.x1} := V_{iv.ss1.f5.x1} + V_{ih.ss1.f5.x1} = 60.745 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.ss2.f5.x1} := V_{iv.ss2.f5.x1} + V_{ih.ss2.f5.x1} = 60.745 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.sf.f5.x1} := V_{iv.sf.f5.x1} + V_{ih.sf.f5.x1} = 60.745 \cdot \text{kN}$$

Moment:

$$M_{i.f5.x1} := \frac{V_{i.f5.x1}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.x1}} = 6.515 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{i.ss1.f5.x1} := \frac{V_{i.ss1.f5.x1}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.x1}} = 185.312 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{i.ss2.f5.x1} := \frac{V_{i.ss2.f5.x1}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.x1}} = 185.312 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.sf.f5.x1} := \frac{V_{i.sf.f5.x1}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.x1}} = 185.312 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Mellom infleksjonspunkt:

Skjærkrefter:

$$V_{f5.x1} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.f5.x1} \cdot L_{f5.x1} \cdot L_{mi.f5.x1}}{2 \cdot L_{f5.x1}} = 1.808 \cdot \text{kN} \quad (\text{per kabel})$$

$$V_{ss1.f5.x1} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.ss1.f5.x1} \cdot L_{f5.x1} \cdot L_{mi.f5.x1}}{2 \cdot L_{f5.x1}} = 9.641 \cdot \text{kN} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$V_{ss2.f5.x1} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.ss2.f5.x1} \cdot L_{f5.x1} \cdot L_{mi.f5.x1}}{2 \cdot L_{f5.x1}} = 9.641 \cdot \text{kN}$$

$$V_{sf.f5.x1} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.sf.f5.x1} \cdot L_{f5.x1} \cdot L_{mi.f5.x1}}{2 \cdot L_{f5.x1}} = 9.641 \cdot \text{kN}$$

Maks moment:

$$M_{f5.x1} := \frac{V_{f5.x1}^2}{2 \cdot q_{mi.f5.x1}} + V_{f5.x1} \cdot L_{i.f5.x1} = 5.264 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{ss1.f5.x1} := \frac{V_{ss1.f5.x1}^2}{2 \cdot q_{mi.ss1.f5.x1}} + V_{ss1.f5.x1} \cdot L_{i.f5.x1} = 28.076 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{ss2.f5.x1} := \frac{V_{ss2.f5.x1}^2}{2 \cdot q_{mi.ss2.f5.x1}} + V_{ss2.f5.x1} \cdot L_{i.f5.x1} = 28.076 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sf.f5.x1} := \frac{V_{sf.f5.x1}^2}{2 \cdot q_{mi.ssf5.x1}} + V_{sf.f5.x1} \cdot L_{i.f5.x1} = 28.076 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### For platestripe $x_2$ :

Over infleksjonslengder:

Skjærkrefter:

$$V_{iv.f5.x2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2}}{L_{f5.x2}} \cdot \left( L_{f5.x2} - \frac{L_{i.f5.x2}}{2} \right) = 10.804 \cdot \text{kN} \quad (\text{per kabel})$$

$$V_{ih.f5.x2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2}^2}{2 \cdot L_{f5.x2}} = 0.569 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.f5.x2} := V_{iv.f5.x2} + V_{ih.f5.x2} = 11.373 \cdot \text{kN}$$

Etter spennarmeringsfordeling

$$V_{iv.ss1.f5.x2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss1.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2}}{L_{f5.x2}} \cdot \left( L_{f5.x2} - \frac{L_{i.f5.x2}}{2} \right) = 57.623 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih.ss1.f5.x2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss1.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2}^2}{2 \cdot L_{f5.x2}} = 3.033 \cdot \text{kN}$$

$$V_{iv.ss2.f5.x2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss2.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2}}{L_{f5.x2}} \cdot \left( L_{f5.x2} - \frac{L_{i.f5.x2}}{2} \right) = 57.623 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ih.ss2.f5.x2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ss2.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2}^2}{2 \cdot L_{f5.x2}} = 3.033 \cdot \text{kN}$$

$$V_{iv.ssf5.x2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.ssf5.x2} \cdot L_{i.f5.x2}}{L_{f5.x2}} \cdot \left( L_{f5.x2} - \frac{L_{i.f5.x2}}{2} \right) = 57.623 \cdot \text{kN}$$



$$V_{ih.sf.f5.x2} := \frac{\gamma_{p1} \cdot q_{oi.sf.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2}^2}{2 \cdot L_{f5.x2}} = 3.033 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.ss1.f5.x2} := V_{iv.ss1.f5.x2} + V_{ih.ss1.f5.x2} = 60.656 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.ss2.f5.x2} := V_{iv.ss2.f5.x2} + V_{ih.ss2.f5.x2} = 60.656 \cdot \text{kN}$$

$$V_{i.sf.f5.x2} := V_{iv.sf.f5.x2} + V_{ih.sf.f5.x2} = 60.656 \cdot \text{kN}$$

Moment:

$$M_{i.f5.x2} := \frac{V_{i.f5.x2}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.x2}} = 6.505 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{i.ss1.f5.x2} := \frac{V_{i.ss1.f5.x2}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.x2}} = 185.042 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{i.ss2.f5.x2} := \frac{V_{i.ss2.f5.x2}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.x2}} = 185.042 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{i.sf.f5.x2} := \frac{V_{i.sf.f5.x2}^2}{2 \cdot q_{oi.f5.x2}} = 185.042 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Mellom infleksjonspunkt:

Skjærkrefter:

$$V_{f5.x2} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.f5.x2} \cdot L_{f5.x2} \cdot L_{mi.f5.x2}}{2 \cdot L_{f5.x2}} = 1.766 \cdot \text{kN} \quad (\text{per kabel})$$

$$V_{ss1.f5.x2} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.ss1.f5.x2} \cdot L_{f5.x2} \cdot L_{mi.f5.x2}}{2 \cdot L_{f5.x2}} = 9.42 \cdot \text{kN} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$V_{ss2.f5.x2} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.ss2.f5.x2} \cdot L_{f5.x2} \cdot L_{mi.f5.x2}}{2 \cdot L_{f5.x2}} = 9.42 \cdot \text{kN}$$

$$V_{sf.f5.x2} := \frac{\gamma_{p2} \cdot q_{mi.sf.f5.x2} \cdot L_{f5.x2} \cdot L_{mi.f5.x2}}{2 \cdot L_{f5.x2}} = 9.42 \cdot \text{kN}$$

Maks moment:

$$M_{f5.x2} := \frac{V_{f5.x2}^2}{2 \cdot q_{mi.f5.x2}} + V_{f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2} = 5.143 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{ss1.f5.x2} := \frac{V_{ss1.f5.x2}^2}{2 \cdot q_{mi.ss1.f5.x2}} + V_{ss1.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2} = 27.43 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{ss2.f5.x2} := \frac{V_{ss2.f5.x2}^2}{2 \cdot q_{mi.ss2.f5.x2}} + V_{ss2.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2} = 27.43 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sf.f5.x2} := \frac{V_{sf.f5.x2}^2}{2 \cdot q_{mi.ssf.f5.x2}} + V_{sf.f5.x2} \cdot L_{i.f5.x2} = 27.43 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

**Resulterende momentbidrag fra spennarmering for  $y_1$ :**

$$M_{p.y1} := M_{f5.y1} - M_{i.f5.y1} = -3.666 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{p.ss1.y1} := M_{ss1.f5.y1} - M_{i.ss1.f5.y1} = -82.652 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{p.ss2.y1} := M_{ss2.f5.y1} - M_{i.ss2.f5.y1} = -63.752 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.sf.y1} := M_{sf.f5.y1} - M_{i.ssf.f5.y1} = -82.652 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.fs.y1} := M_{p.ss1.y1} + M_{p.ss2.y1} = -146.404 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.ff.y1} := M_{p.sf.y1} = -82.652 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.tot.st\oette.y1} := M_{p.ss1.y1} + M_{p.ss2.y1} + M_{p.sf.y1} = -229.056 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.tot.felt.y1} := M_{p.fs.y1} + M_{p.ff.y1} = -229.056 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

**Resulterende momentbidrag fra spennarmering for  $y_2$ :**

$$M_{p.y2} := M_{f5.y2} - M_{i.f5.y2} = -5.836 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{p.ss1.y2} := M_{ss1.f5.y2} - M_{i.ss1.f5.y2} = -105.666 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{p.ss2.y2} := M_{ss2.f5.y2} - M_{i.ss2.f5.y2} = -82.055 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.sf.y2} := M_{sf.f5.y2} - M_{i.ssf.f5.y2} = -105.666 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.fs.y2} := M_{p.ss1.y2} + M_{p.ss2.y2} = -187.721 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.ff.y2} := M_{p.sf.y2} = -105.666 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.tot.st\oette.y2} := M_{p.ss1.y2} + M_{p.ss2.y2} + M_{p.sf.y2} = -293.387 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p.tot.felt.y2} := M_{p.fs.y2} + M_{p.ff.y2} = -293.387 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

**Resulterende momentbidrag fra spennarmering for  $x_1$ :**

$$M_{p,x1} := M_{f5,x1} - M_{i,f5,x1} = -1.251 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{p,ss1,x1} := M_{ss1,f5,x1} - M_{i,ss1,f5,x1} = -157.236 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{p,ss2,x1} := M_{ss2,f5,x1} - M_{i,ss2,f5,x1} = -157.236 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,sf,x1} := M_{sf,f5,x1} - M_{i,sf,f5,x1} = -157.236 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,fs,x1} := M_{p,ss1,x1} + M_{p,ss2,x1} = -314.472 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,ff,x1} := M_{p,sf,x1} = -157.236 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,tot.st\ddot{o}tte,x1} := M_{p,ss1,x1} + M_{p,ss2,x1} + M_{p,sf,x1} = -471.707 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,tot.felt,x1} := M_{p,fs,x1} + M_{p,ff,x1} = -471.707 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### Resulterende momentbidrag fra spennarmering for $x_2$ :

$$M_{p,x2} := M_{f5,x2} - M_{i,f5,x2} = -1.362 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad (\text{per kabel})$$

$$M_{p,ss1,x2} := M_{ss1,f5,x2} - M_{i,ss1,f5,x2} = -157.612 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Etter spennarmeringsfordeling}$$

$$M_{p,ss2,x2} := M_{ss2,f5,x2} - M_{i,ss2,f5,x2} = -157.612 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,sf,x2} := M_{sf,f5,x2} - M_{i,sf,f5,x2} = -157.612 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,fs,x2} := M_{p,ss1,x2} + M_{p,ss2,x2} = -315.224 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,ff,x2} := M_{p,sf,x2} = -157.612 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,tot.st\ddot{o}tte,x2} := M_{p,ss1,x2} + M_{p,ss2,x2} + M_{p,sf,x2} = -472.836 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{p,tot.felt,x2} := M_{p,fs,x2} + M_{p,ff,x2} = -472.836 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

## Opptredende momenter og momentfordeling

### Y-retning, platestripe 1:

Største støttemoment som opptrer:

$$M_{st\ddot{o}tte,y1} := 48.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Med momentintensiteter gir dette:

$$m_{ss1,y1} := 1.8 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{st\ddot{o}tte,y1} = 86.76 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{m}$$

$$m_{ss2,y1} := 1.2 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{st\ddot{o}tte,y1} = 57.84 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{m}$$

$$m_{sf,y1} := 0.5 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{st\ddot{o}tte,y1} = 24.1 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{m}$$

Bredde:

$$L_{ss1,y1} := 2 \cdot 0.125 \cdot L_x$$

$$L_{ss2,y1} := 2 \cdot 0.125 \cdot L_x$$

$$L_{sf,y1} := 0.5 \cdot L_x$$

Største feltmoment som opptrer:

$$M_{\text{felt},y1} := 38.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Med momentintensiteter gir dette:

$$m_{\text{fs},y1} := 1.2 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{felt},y1} = 46.56 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad L_{\text{fs},y1} := 0.5 \cdot L_x$$

$$m_{\text{ff},y1} := 0.8 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{felt},y1} = 31.04 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad L_{\text{ff},y1} := 0.5 L_x$$

Totalt moment som opptrer for de aktuelle inndelingene i platestripa:

$$M_{\text{ss1},y1} := m_{\text{ss1},y1} \cdot L_{\text{ss1},y1} = 225.576 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{ss2},y1} := m_{\text{ss2},y1} \cdot L_{\text{ss2},y1} = 150.384 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{sf},y1} := m_{\text{sf},y1} \cdot L_{\text{sf},y1} = 125.32 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{fs},y1} := m_{\text{fs},y1} \cdot L_{\text{fs},y1} = 242.112 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{ff},y1} := m_{\text{ff},y1} \cdot L_{\text{ff},y1} = 161.408 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

Summert opp gir dette totalmoment:

$$M_{\text{tot.støtte},y1} := M_{\text{ss1},y1} + M_{\text{ss2},y1} + M_{\text{sf},y1} = 501.28 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{tot.felt},y1} := M_{\text{fs},y1} + M_{\text{ff},y1} = 403.52 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

Kontroll for å påvise at det stemmer:

$$M_{\text{tot.støtte},y1} := M_{\text{støtte},y1} \cdot L_x = 501.28 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{tot.felt},y1} := M_{\text{felt},y1} \cdot L_x = 403.52 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

### Y-retning, platestripe 2:

Største støttemoment som opptrer:

$$M_{\text{støtte},y2} := 48.1 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Med momentintensiteter gir dette:

$$m_{\text{ss1},y2} := 1.8 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{støtte},y2} = 86.58 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad \text{Bredde: } L_{\text{ss1},y2} := 2 \cdot 0.125 \cdot L_x$$

$$m_{\text{ss2},y2} := 1.2 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{støtte},y2} = 57.72 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad L_{\text{ss2},y2} := 2 \cdot 0.125 \cdot L_x$$

$$m_{\text{sf},y2} := 0.5 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{støtte},y2} = 24.05 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad L_{\text{sf},y2} := 0.5 \cdot L_x$$

Største feltmoment som opptrer:

$$M_{\text{felt},y2} := 41.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Med momentintensiteter gir dette:

$$m_{\text{fs},y2} := 1.2 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{felt},y2} = 49.56 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad L_{\text{fs},y2} := 0.5 \cdot L_x$$

$$m_{\text{ff},y2} := 0.8 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{felt},y2} = 33.04 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad L_{\text{ff},y2} := 0.5 L_x$$

Totalt moment som opptrer for de aktuelle inndelingene i platestripa:

$$M_{\text{ss1},y2} := m_{\text{ss1},y2} \cdot L_{\text{ss1},y2} = 225.108 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{ss2},y2} := m_{\text{ss2},y2} \cdot L_{\text{ss2},y2} = 150.072 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{sf},y2} := m_{\text{sf},y2} \cdot L_{\text{sf},y2} = 125.06 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{fs},y2} := m_{\text{fs},y2} \cdot L_{\text{fs},y2} = 257.712 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{ff},y2} := m_{\text{ff},y2} \cdot L_{\text{ff},y2} = 171.808 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

Summert opp gir dette totalmoment:

$$M_{\text{tot.støtte},y2} := M_{\text{ss1},y2} + M_{\text{ss2},y2} + M_{\text{sf},y2} = 500.24 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{tot.felt},y2} := M_{\text{fs},y2} + M_{\text{ff},y2} = 429.52 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

Kontroll for å påvise at det stemmer:

$$M_{\text{tot.støtte},y2} := M_{\text{støtte},y2} \cdot L_x = 500.24 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{tot.felt},y2} := M_{\text{felt},y2} \cdot L_x = 429.52 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

### X-retning, platestripe 1:

Største støttemoment som opptrer:

$$M_{\text{støtte},x1} := 132 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Med momentintensiteter gir dette:

Bredde:  $L_{y_v} := 4500 \text{ mm}$

$$L_{y_h} := 7500 \text{ mm}$$

$$L_{y_m} := \frac{L_{y_v} + L_{y_h}}{2} = 6 \text{ m}$$

$$m_{ss1.x1} := 1.8 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{st\ddot{o}tte.x1} = 237.6 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$L_{v.ss1.x1} := 0.5 \cdot 2 \cdot 0.125 \cdot L_{yv}$$

$$L_{h.ss1.x1} := 0.5 \cdot 2 \cdot 0.125 \cdot L_{yh}$$

$$L_{ss1.x1} := L_{v.ss1.x1} + L_{h.ss1.x1}$$

$$m_{ss2.x1} := 1.2 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{st\ddot{o}tte.x1} = 158.4 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$L_{v.ss2.x1} := 0.5 \cdot 2 \cdot 0.125 \cdot L_{yv}$$

$$L_{h.ss2.x1} := 0.5 \cdot 2 \cdot 0.125 \cdot L_{yh}$$

$$L_{ss2.x1} := L_{v.ss2.x1} + L_{h.ss2.x1}$$

$$m_{sf.x1} := 0.5 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{st\ddot{o}tte.x1} = 66 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$L_{v.sf.x1} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yv}$$

$$L_{h.sf.x1} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yh}$$

$$L_{sf.x1} := L_{v.sf.x1} + L_{h.sf.x1}$$

Største feltmoment som opptrer:

$$M_{felt.x1} := 107.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Med momentintensiteter gir dette:

$$m_{fs.x1} := 1.2 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{felt.x1} = 128.64 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$L_{v.fs.x1} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yv}$$

$$L_{h.fs.x1} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yh}$$

$$L_{fs.x1} := L_{v.fs.x1} + L_{h.fs.x1}$$

$$m_{ff.x1} := 0.8 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{felt.x1} = 85.76 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$L_{v.ff.x1} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yv}$$

$$L_{h.ff.x1} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yh}$$

$$L_{ff.x1} := L_{v.ff.x1} + L_{h.ff.x1}$$

Totalt moment som opptrer for de aktuelle inndelingene i platestripa:

$$M_{v.ss1.x1} := m_{ss1.x1} \cdot L_{v.ss1.x1} = 133.65 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{h.ss1.x1} := m_{ss1.x1} \cdot L_{h.ss1.x1} = 222.75 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ss1.x1} := M_{v.ss1.x1} + M_{h.ss1.x1} = 356.4 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v.ss2.x1} := m_{ss2.x1} \cdot L_{v.ss2.x1} = 89.1 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{h.ss2.x1} := m_{ss2.x1} \cdot L_{h.ss2.x1} = 148.5 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ss2.x1} := M_{v.ss2.x1} + M_{h.ss2.x1} = 237.6 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v.sf.x1} := m_{sf.x1} \cdot L_{v.sf.x1} = 74.25 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{h.sf.x1} := m_{sf.x1} \cdot L_{h.sf.x1} = 123.75 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{sf.x1} := M_{v.sf.x1} + M_{h.sf.x1} = 198 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v.fs.x1} := m_{fs.x1} \cdot L_{v.fs.x1} = 144.72 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{h.fs.x1} := m_{fs.x1} \cdot L_{h.fs.x1} = 241.2 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{fs.x1} := M_{v.fs.x1} + M_{h.fs.x1} = 385.92 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{v.ff.x1} := m_{ff.x1} \cdot L_{v.ff.x1} = 96.48 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{h,ff,x1} := m_{ff,x1} \cdot L_{h,ff,x1} = 160.8 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ff,x1} := M_{v,ff,x1} + M_{h,ff,x1} = 257.28 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Summert opp gir dette totalmoment:

$$M_{\text{tot.støtte},x1} := M_{ss1,x1} + M_{ss2,x1} + M_{sf,x1} = 792 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{tot.felt},x1} := M_{fs,x1} + M_{ff,x1} = 643.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Kontroll for å påvise at det stemmer:

$$M_{\text{tot.støtte},x1} := M_{\text{støtte},x1} \cdot L_{ym} = 792 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{tot.felt},x1} := M_{\text{felt},x1} \cdot L_{ym} = 643.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### X-retning, platestripe 2:

Største støttemoment som opptrer:

$$M_{\text{støtte},x2} := 135.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Med momentintensiteter gir dette:

$$m_{ss1,x2} := 1.8 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{støtte},x2} = 243.9 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

$$m_{ss2,x2} := 1.2 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{støtte},x2} = 162.6 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

$$m_{sf,x2} := 0.5 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{støtte},x2} = 67.75 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

Bredde:

$$L_{v,ss1,x2} := 0.5 \cdot 2 \cdot 0.125 \cdot L_{yh}$$

$$L_{h,ss1,x2} := 0.5 \cdot 2 \cdot 0.125 \cdot L_{yv}$$

$$L_{ss1,x2} := L_{v,ss1,x2} + L_{h,ss1,x2}$$

$$L_{v,ss2,x2} := 0.5 \cdot 2 \cdot 0.125 \cdot L_{yh}$$

$$L_{h,ss2,x2} := 0.5 \cdot 2 \cdot 0.125 \cdot L_{yv}$$

$$L_{ss2,x2} := L_{v,ss2,x2} + L_{h,ss2,x2}$$

$$L_{v,sf,x2} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yh}$$

$$L_{h,sf,x2} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yv}$$

$$L_{sf,x2} := L_{v,sf,x2} + L_{h,sf,x2}$$

Største feltmoment som opptrer:

$$M_{\text{felt},x2} := 105.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Med momentintensiteter gir dette:

$$m_{fs,x2} := 1.2 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{\text{felt},x2} = 126.72 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

$$L_{v,fs,x2} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yh}$$

$$L_{h,fs,x2} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yv}$$

$$L_{fs,x2} := L_{v,fs,x2} + L_{h,fs,x2}$$

$$m_{ff,x2} := 0.8 \cdot \frac{1}{m} \cdot M_{felt,x2} = 84.48 \cdot \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$L_{v,ff,x2} := 0.5 \cdot 0.5 L_{yh}$$

$$L_{h,ff,x2} := 0.5 \cdot 0.5 \cdot L_{yv}$$

$$L_{ff,x2} := L_{v,ff,x2} + L_{h,ff,x2}$$

Totalt moment som opptrer for de aktuelle inndelingene i platestripa:

$$M_{v,ss1,x2} := m_{ss1,x2} \cdot L_{v,ss1,x2} = 228.656 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{h,ss1,x2} := m_{ss1,x2} \cdot L_{h,ss1,x2} = 137.194 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{ss1,x2} := M_{v,ss1,x2} + M_{h,ss1,x2} = 365.85 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{v,ss2,x2} := m_{ss2,x2} \cdot L_{v,ss2,x2} = 152.438 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{h,ss2,x2} := m_{ss2,x2} \cdot L_{h,ss2,x2} = 91.463 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{ss2,x2} := M_{v,ss2,x2} + M_{h,ss2,x2} = 243.9 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{v,sf,x2} := m_{sf,x2} \cdot L_{v,sf,x2} = 127.031 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{h,sf,x2} := m_{sf,x2} \cdot L_{h,sf,x2} = 76.219 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{sf,x2} := M_{v,sf,x2} + M_{h,sf,x2} = 203.25 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{v,fs,x2} := m_{fs,x2} \cdot L_{v,fs,x2} = 237.6 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{h,fs,x2} := m_{fs,x2} \cdot L_{h,fs,x2} = 142.56 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{fs,x2} := M_{v,fs,x2} + M_{h,fs,x2} = 380.16 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{v,ff,x2} := m_{ff,x2} \cdot L_{v,ff,x2} = 158.4 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{h,ff,x2} := m_{ff,x2} \cdot L_{h,ff,x2} = 95.04 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{ff,x2} := M_{v,ff,x2} + M_{h,ff,x2} = 253.44 \cdot kN \cdot m$$

Summert opp gir dette totalmoment:

$$M_{tot.st\oette,x2} := M_{ss1,x2} + M_{ss2,x2} + M_{sf,x2} = 813 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{tot.felt,x2} := M_{fs,x2} + M_{ff,x2} = 633.6 \cdot kN \cdot m$$

Kontroll for å påvise at det stemmer:

$$M_{tot.st\oette,x2} := M_{st\oette,x2} \cdot L_{ym} = 813 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{tot.felt,x2} := M_{felt,x2} \cdot L_{ym} = 633.6 \cdot kN \cdot m$$

## Momentkapasitet

Verdier for å beregne momenkapasiteten:

For betong:

$$f_{ck} := 45 \text{MPa} \quad \mathbf{B45}$$

$$\alpha_{cc} := 0.85$$



$$\gamma_c := 1.5$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 25.5 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{ctm} := 3.8 \text{MPa} \quad (\text{Tabell 3.1, EC 2})$$

For armeringsstål:

$$f_{yk} := 500 \text{MPa} \quad \mathbf{B500C}$$

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa}$$

Antar strekkarmering  $\varnothing 12$

$$A_{s,\varnothing 12} := 113.1 \text{mm}^2$$

d = avstand fra strekkarmeringens tyngdepunkt til trykkant

Siden det finnes to typer strekkarmering, både spenn- og slakkarmering, brukes en gjennomsnittsverdi av disse.

$$d_{p,y} := 255 \text{mm} - 65 \text{mm} = 190 \cdot \text{mm}$$

$$d_{p,x} := 300 \text{mm} - 85 \text{mm} = 215 \cdot \text{mm}$$

$$d_{s,y} := 255 \text{mm} - 55 \text{mm} - 20 \text{mm} - \frac{12 \text{mm}}{2} = 174 \cdot \text{mm}$$

$$d_{s,x} := 300 \text{mm} - 55 \text{mm} - 20 \text{mm} - 20 \text{mm} - \frac{12 \text{mm}}{2} = 199 \cdot \text{mm}$$

$$d_y := \frac{d_{p,y} + d_{s,y}}{2} = 182 \cdot \text{mm}$$

$$d_x := \frac{d_{p,x} + d_{s,x}}{2} = 207 \cdot \text{mm}$$

### Momentkapasitet $M_{Rd}$ :

For y-retning:

$$M_{Rd,y} := 0.275 \cdot f_{cd} \cdot b_y \cdot d_y^2 = 2.416 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

For x-retning:

$$M_{Rd,x} := 0.275 \cdot f_{cd} \cdot b_x \cdot d_x^2 = 1.803 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Platestripe  $y_1$ :

Over støtte:

$$M_{\text{Ed.støtte.y1}} := M_{\text{tot.støtte.y1}} = 501.28 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.støtte.y1}} < M_{\text{Rd.y}} \quad U_{\text{F}_{s,y1}} := \frac{M_{\text{Ed.støtte.y1}}}{M_{\text{Rd.y}}} = 0.208$$

$$c := 1 - 0.835 = 0.165$$

$$z_{\text{p.s.y1}} := d_{\text{p.y}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.støtte.y1}}}{M_{\text{Rd.y}}} \right) \cdot d_{\text{y}} = 183.769 \cdot \text{mm}$$

$$z_{\text{s.s.y1}} := d_{\text{s.y}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.støtte.y1}}}{M_{\text{Rd.y}}} \right) \cdot d_{\text{y}} = 167.769 \cdot \text{mm}$$

I felt:

$$M_{\text{Ed.felt.y1}} := M_{\text{tot.felt.y1}} = 403.52 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.felt.y1}} < M_{\text{Rd.y}} \quad U_{\text{F}_{f,y1}} := \frac{M_{\text{Ed.felt.y1}}}{M_{\text{Rd.y}}} = 0.167$$

$$z_{\text{p.f.y1}} := d_{\text{p.y}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.felt.y1}}}{M_{\text{Rd.y}}} \right) \cdot d_{\text{y}} = 184.984 \cdot \text{mm}$$

$$z_{\text{s.f.y1}} := d_{\text{s.y}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.felt.y1}}}{M_{\text{Rd.y}}} \right) \cdot d_{\text{y}} = 168.984 \cdot \text{mm}$$

Platstripe  $y_2$ :

Over støtte:

$$M_{\text{Ed.støtte.y2}} := M_{\text{tot.støtte.y2}} = 500.24 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.støtte.y2}} < M_{\text{Rd.y}} \quad U_{\text{F}_{s,y2}} := \frac{M_{\text{Ed.støtte.y2}}}{M_{\text{Rd.y}}} = 0.207$$

$$z_{\text{p.s.y2}} := d_{\text{p.y}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.støtte.y2}}}{M_{\text{Rd.y}}} \right) \cdot d_{\text{y}} = 183.782 \cdot \text{mm}$$

$$z_{\text{s.s.y2}} := d_{\text{s.y}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.støtte.y2}}}{M_{\text{Rd.y}}} \right) \cdot d_{\text{y}} = 167.782 \cdot \text{mm}$$

I felt:

$$M_{\text{Ed.felt.y2}} := M_{\text{tot.felt.y2}} = 429.52 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.felt.y1}} < M_{\text{Rd.y}} \quad U_{\text{f.y2}} := \frac{M_{\text{Ed.felt.y2}}}{M_{\text{Rd.y}}} = 0.178$$

$$z_{\text{p.f.y2}} := d_{\text{p.y}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.felt.y2}}}{M_{\text{Rd.y}}} \right) \cdot d_{\text{y}} = 184.661 \cdot \text{mm}$$

$$z_{\text{s.f.y2}} := d_{\text{s.y}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.felt.y2}}}{M_{\text{Rd.y}}} \right) \cdot d_{\text{y}} = 168.661 \cdot \text{mm}$$

Platstripe  $x_1$ :

Over støtte:

$$M_{\text{Ed.støtte.x1}} := M_{\text{tot.støtte.x1}} = 792 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.støtte.x1}} < M_{\text{Rd.x}} \quad U_{\text{f.s.x1}} := \frac{M_{\text{Ed.støtte.x1}}}{M_{\text{Rd.x}}} = 0.439$$

$$z_{\text{p.s.x1}} := d_{\text{p.x}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.støtte.x1}}}{M_{\text{Rd.x}}} \right) \cdot d_{\text{x}} = 199.996 \cdot \text{mm}$$

$$z_{\text{s.s.x1}} := d_{\text{s.x}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.støtte.x1}}}{M_{\text{Rd.x}}} \right) \cdot d_{\text{x}} = 183.996 \cdot \text{mm}$$

I felt:

$$M_{\text{Ed.felt.x1}} := M_{\text{tot.felt.x1}} = 643.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.felt.x1}} < M_{\text{Rd.x}} \quad U_{\text{f.f.x1}} := \frac{M_{\text{Ed.felt.x1}}}{M_{\text{Rd.x}}} = 0.357$$

$$z_{\text{p.f.x1}} := d_{\text{p.x}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.felt.x1}}}{M_{\text{Rd.x}}} \right) \cdot d_{\text{x}} = 202.815 \cdot \text{mm}$$

$$z_{\text{s.f.x1}} := d_{\text{s.x}} - \left( c \cdot \frac{M_{\text{Ed.felt.x1}}}{M_{\text{Rd.x}}} \right) \cdot d_{\text{x}} = 186.815 \cdot \text{mm}$$

Platstripe  $x_2$ :

Over støtte:

$$M_{\text{Ed.støtte.x2}} := M_{\text{tot.støtte.x2}} = 813 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.støtte.x2}} < M_{\text{Rd.x}} \quad U_{\text{f.s.x2}} := \frac{M_{\text{Ed.støtte.x2}}}{M_{\text{Rd.x}}} = 0.451$$

$$z_{p.s.x2} := d_{p.x} - \left( c \cdot \frac{M_{Ed.st\ddot{o}tte.x2}}{M_{Rd.x}} \right) \cdot d_x = 199.598 \cdot \text{mm}$$

$$z_{s.s.x2} := d_{s.x} - \left( c \cdot \frac{M_{Ed.st\ddot{o}tte.x2}}{M_{Rd.x}} \right) \cdot d_x = 183.598 \cdot \text{mm}$$

I felt:

$$M_{Ed.felt.x2} := M_{tot.felt.x2} = 633.6 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.felt.x2} < M_{Rd.x} \quad UF_{f.x2} := \frac{M_{Ed.felt.x1}}{M_{Rd.x}} = 0.357$$

$$z_{p.f.x2} := d_{p.x} - \left( c \cdot \frac{M_{Ed.felt.x2}}{M_{Rd.x}} \right) \cdot d_x = 202.997 \cdot \text{mm}$$

$$z_{s.f.x2} := d_{s.x} - \left( c \cdot \frac{M_{Ed.felt.x2}}{M_{Rd.x}} \right) \cdot d_x = 186.997 \cdot \text{mm}$$

### Momentbidrag fra valgt spennarmering

$$M_{pd} = f_{pd} \cdot A_p \cdot z_p$$

Dimensjonerende bruddspenning

$$\Delta\sigma_{p,ULS} := 100 \text{MPa}$$

$$\sigma_{KSR.y1} := 1307 \text{MPa} \quad \sigma_{KSR.y2} := 1317 \text{MPa} \quad \sigma_{KSR.y} := 1312 \text{MPa}$$

$$\sigma_{KSR.x1} := 1316 \text{MPa} \quad \sigma_{KSR.x2} := 1314 \text{MPa} \quad \sigma_{KSR.x} := 1315 \text{MPa}$$

$$f_{pdy} := \frac{\sigma_{KSR.y} + \Delta\sigma_{p,ULS}}{\gamma_p} = 1.228 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{pdx} := \frac{\sigma_{KSR.x} + \Delta\sigma_{p,ULS}}{\gamma_p} = 1.23 \times 10^3 \cdot \text{MPa}$$

For platestripe  $y_1$ :

$$M_{pd.st\ddot{o}tte.y1} := 35 f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.s.y1} = 1.185 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{tot.st\ddot{o}tte.y1}$$

$$M_{pd.ss1.y1} := 9 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.s.y1} = 304.608 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ss1.y1}$$

$$M_{pd.ss2.y1} := 8 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.s.y1} = 270.763 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ss2.y1}$$

$$M_{pd.sf.y1} := 18 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.s.y1} = 609.217 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{sf.y1}$$

$$M_{pd.felt.y1} := 35 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.f.y1} = 1.192 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{tot.felt.y1}$$

$$M_{pd.fs.y1} := 17 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.f.y1} = 579.176 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{fs.y1}$$

$$M_{pd.ffi.y1} := 18 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.f.y1} = 613.246 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ffi.y1}$$

For platestripe  $y_2$ :

$$M_{pd.støtte.y2} := 35 f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.s.y2} = 1.185 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{tot.støtte.y2}$$

$$M_{pd.ss1.y2} := 9 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.s.y2} = 304.63 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ss1.y2}$$

$$M_{pd.ss2.y2} := 8 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.s.y2} = 270.782 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ss2.y2}$$

$$M_{pd.sf.y2} := 18 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.s.y2} = 609.26 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{sf.y2}$$

$$M_{pd.felt.y2} := 35 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.f.y2} = 1.19 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{tot.felt.y2}$$

$$M_{pd.fs.y2} := 17 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.f.y2} = 578.164 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{fs.y2}$$

$$M_{pd.ffi.y2} := 18 \cdot f_{pdy} \cdot A_p \cdot z_{p.f.y2} = 612.174 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ffi.y2}$$

For platestripe  $x_1$ :

$$M_{pd.støtte.x1} := 32 f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.s.x1} = 1.181 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{tot.støtte.x1}$$

$$M_{pd.ss1.x1} := 8 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.s.x1} = 295.298 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} < M_{ss1.x1}$$

$$M_{pd.ss2.x1} := 8 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.s.x1} = 295.298 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ss2.x1}$$

$$M_{pd.sf.x1} := 16 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.s.x1} = 590.596 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{sf.x1}$$

$$M_{pd.felt.x1} := 32 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.f.x1} = 1.198 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{tot.felt.x1}$$

$$M_{pd.fs.x1} := 16 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.f.x1} = 598.921 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{fs.x1}$$

$$M_{pd.ffi.x1} := 16 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.f.x1} = 598.921 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ffi.x1}$$

For platestripe  $x_2$ :

$$M_{pd.støtte.x2} := 32 f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.s.x2} = 1.179 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{tot.støtte.x2}$$

$$M_{pd.ss1.x2} := 8 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.s.x2} = 294.711 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} < M_{ss1.x2}$$

$$M_{pd.ss2.x2} := 8 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.s.x2} = 294.711 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ss2.x2}$$

$$M_{pd.sf.x2} := 16 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.s.x2} = 589.421 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{sf.x2}$$

$$M_{pd.felt.x2} := 32 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.f.x2} = 1.199 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{tot.felt.x2}$$

$$M_{pd.fs.x2} := 16 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.f.x2} = 599.458 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{fs.x2}$$

$$M_{pd.ff.x2} := 16 \cdot f_{pdx} \cdot A_p \cdot z_{p.f.x2} = 599.458 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} > M_{ff.x2}$$

Alle støtte/felt områder OK, med unntak av ss1 for x1 og x2.

Det trengs ikke tilleggsarmering utover minimum slakkarmeringsmengde der  $M_{Ed} < M_{pd}$ .

De dimensjonerende momentene som det er sammenlignet med her, er i realiteten mindre på grunn av kreftene som tas opp av spennarmeringen. Bidrag fra spennarmeringen (de ekvivalente kreftene) medregnet vises nedenfor.

#### Dimensjonerende moment inkludert reduksjon pga spennarmeringsbidrag:

$M_{Ed.p}$  = dimensjonerende moment etter fratrukk fra spennarmeringsbidrag

Y-retning:

$$M_{Ed.p.støtte.y1} := M_{tot.støtte.y1} + M_{p.tot.støtte.y1} = 272.224 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.felt.y1} := M_{tot.felt.y1} + M_{p.tot.felt.y1} = 174.464 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.ss1.y1} := M_{ss1.y1} + M_{p.ss1.y1} = 142.924 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.ss2.y1} := M_{ss2.y1} + M_{p.ss2.y1} = 86.632 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.sf.y1} := M_{sf.y1} + M_{p.sf.y1} = 42.668 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.fs.y1} := M_{fs.y1} + M_{p.fs.y1} = 95.708 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.ff.y1} := M_{ff.y1} + M_{p.ff.y1} = 78.756 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.støtte.y2} := M_{tot.støtte.y2} + M_{p.tot.støtte.y2} = 206.853 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.felt.y2} := M_{tot.felt.y2} + M_{p.tot.felt.y2} = 136.133 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.ss1.y2} := M_{ss1.y2} + M_{p.ss1.y2} = 119.442 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.ss2.y2}} := M_{\text{ss2.y2}} + M_{\text{p.ss2.y2}} = 68.017 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.sf.y2}} := M_{\text{sf.y2}} + M_{\text{p.sf.y2}} = 19.394 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.fs.y2}} := M_{\text{fs.y2}} + M_{\text{p.fs.y2}} = 69.991 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.ff.y2}} := M_{\text{ff.y2}} + M_{\text{p.ff.y2}} = 66.142 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

X-retning:

$$M_{\text{Ed.p.støtte.x1}} := M_{\text{tot.støtte.x1}} + M_{\text{p.tot.støtte.x1}} = 320.293 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.felt.x1}} := M_{\text{tot.felt.x1}} + M_{\text{p.tot.felt.x1}} = 171.493 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.ss1.x1}} := M_{\text{ss1.x1}} + M_{\text{p.ss1.x1}} = 199.164 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad M_{\text{Ed.p.ss1.x1}} < M_{\text{pd.ss1.x1}} \quad \text{Ok}$$

$$M_{\text{Ed.p.ss2.x1}} := M_{\text{ss2.x1}} + M_{\text{p.ss2.x1}} = 80.364 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.sf.x1}} := M_{\text{sf.x1}} + M_{\text{p.sf.x1}} = 40.764 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.fs.x1}} := M_{\text{fs.x1}} + M_{\text{p.fs.x1}} = 71.448 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.ff.x1}} := M_{\text{ff.x1}} + M_{\text{p.ff.x1}} = 100.044 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.støtte.x2}} := M_{\text{tot.støtte.x2}} + M_{\text{p.tot.støtte.x2}} = 340.164 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.felt.x2}} := M_{\text{tot.felt.x2}} + M_{\text{p.tot.felt.x2}} = 160.764 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.ss1.x2}} := M_{\text{ss1.x2}} + M_{\text{p.ss1.x2}} = 208.238 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad M_{\text{Ed.p.ss1.x2}} < M_{\text{pd.ss1.x2}} \quad \text{Ok}$$

$$M_{\text{Ed.p.ss2.x2}} := M_{\text{ss2.x2}} + M_{\text{p.ss2.x2}} = 86.288 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.sf.x2}} := M_{\text{sf.x2}} + M_{\text{p.sf.x2}} = 45.638 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.fs.x2}} := M_{\text{fs.x2}} + M_{\text{p.fs.x2}} = 64.936 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{Ed.p.ff.x2}} := M_{\text{ff.x2}} + M_{\text{p.ff.x2}} = 95.828 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

**Minimumsarmering:**

$$b_w := 1000 \text{ mm}$$

Krav om at minimumsarmering er større enn  $0.0013b_w d$  er tilfredsstillt for alle tilfeller.

**For y-retning:**

$$A_{s,\text{min.y}} := 0.26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \cdot b_w \cdot d_y = 359.632 \cdot \text{mm}^2 \quad (\text{per meter})$$

$$\frac{A_{s,\min,y}}{A_{s,\emptyset 12}} = 3.18 \quad 4\emptyset 12 \text{ som gir} \quad 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 452.4 \cdot \text{mm}^2$$

**Minimumsarmering for platestripe  $y_1$  og  $y_2$**  (de har samme bredde på ss1, ss2.. etc.):

$$A_{s,\min,ss1,y} := A_{s,\min,y} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{ss1,y1} = 935.043 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{dvs. } 9\emptyset 12 = 1018 \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,ss2,y} := A_{s,\min,y} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{ss2,y1} = 935.043 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{dvs. } 9\emptyset 12 = 1018 \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,sf,y} := A_{s,\min,y} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{sf,y1} = 1.87 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{dvs. } 17\emptyset 12 = 1923 \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,fs,y} := A_{s,\min,y} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{fs,y1} = 1.87 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{dvs. } 17\emptyset 12 = 1923 \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,ff,y} := A_{s,\min,y} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{ff,y1} = 1.87 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{dvs. } 17\emptyset 12 = 1923 \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,ss1,y} := 9 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.018 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,ss2,y} := 9 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.018 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,sf,y} := 17 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.923 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,fs,y} := 17 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.923 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,ff,y} := 17 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.923 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

**For x-retning:**

$$A_{s,\min,x} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d_x = 409.032 \cdot \text{mm}^2 \quad (\text{per meter})$$

$$\frac{A_{s,\min,x}}{A_{s,\emptyset 12}} = 3.617 \quad 4\emptyset 12 \text{ som gir} \quad 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 452.4 \cdot \text{mm}^2$$

**Minimumsarmering for platestripe  $x_1$  og  $x_2$ :**

$$A_{s,\min,ss1,x} := A_{s,\min,x} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{ss1,x1} = 613.548 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{dvs. } 6\emptyset 12 = 679 \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,ss2,x} := A_{s,\min,x} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{ss2,x1} = 613.548 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{dvs. } 6\emptyset 12 = 679 \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,sf,x} := A_{s,\min,x} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{sf,x1} = 1.227 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{dvs. } 11\emptyset 12 = 1244 \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,fs,x} := A_{s,\min,x} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{fs,x1} = 1.227 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{dvs. } 11\emptyset 12 = 1244 \text{mm}^2$$



$$A_{s,\min,ff,x} := A_{s,\min,x} \cdot \frac{1}{m} \cdot L_{ff,x1} = 1.227 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$\text{dvs. } 11\text{Ø}12 = 1244\text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,ss1,x} := 6 \cdot A_{s,\text{Ø}12} = 678.6 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,ss2,x} := 6 \cdot A_{s,\text{Ø}12} = 678.6 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,sf,x} := 11 \cdot A_{s,\text{Ø}12} = 1.244 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,fs,x} := 11 \cdot A_{s,\text{Ø}12} = 1.244 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,ff,x} := 11 \cdot A_{s,\text{Ø}12} = 1.244 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

### Momentkapasitetsbidrag fra slakkarmering:

For  $y_1$ :

$$M_{sd,\text{støtte},y1} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,y} \cdot z_{s,s,y1} \cdot L_x \cdot \frac{1}{m} = 272.819 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,\text{felt},y1} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,y} \cdot z_{s,f,y1} \cdot L_x \cdot \frac{1}{m} = 274.795 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,ss1,y1} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,ss1,y} \cdot z_{s,s,y1} = 74.249 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,ss2,y1} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,ss2,y} \cdot z_{s,s,y1} = 74.249 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,sf,y1} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,sf,y} \cdot z_{s,s,y1} = 140.247 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,fs,y1} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,fs,y} \cdot z_{s,f,y1} = 141.263 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,ff,y1} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,ff,y} \cdot z_{s,f,y1} = 141.263 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

For  $y_2$ :

$$M_{sd,\text{støtte},y2} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,y} \cdot z_{s,s,y2} \cdot L_x \cdot \frac{1}{m} = 272.84 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,\text{felt},y2} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,y} \cdot z_{s,f,y2} \cdot L_x \cdot \frac{1}{m} = 274.27 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,ss1,y2} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,ss1,y} \cdot z_{s,s,y2} = 74.254 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,ss2,y2} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,ss2,y} \cdot z_{s,s,y2} = 74.254 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,sf,y2} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,sf,y} \cdot z_{s,s,y2} = 140.258 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,fs,y2} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,fs,y} \cdot z_{s,f,y2} = 140.993 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd,ff,y2} := f_{yd} \cdot A_{s,\min,ff,y} \cdot z_{s,f,y2} = 140.993 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

For  $x_1$ :

$$M_{sd.st\oette.x1} := f_{yd} \cdot A_{s,min.x} \cdot z_{s,s,x1} \cdot L_y \cdot \frac{1}{m} = 196.331 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.felt.x1} := f_{yd} \cdot A_{s,min.x} \cdot z_{s,f,x1} \cdot L_y \cdot \frac{1}{m} = 199.339 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.ss1.x1} := f_{yd} \cdot A_{smin.ss1.x} \cdot z_{s,s,x1} = 54.287 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.ss2.x1} := f_{yd} \cdot A_{smin.ss2.x} \cdot z_{s,s,x1} = 54.287 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.sf.x1} := f_{yd} \cdot A_{smin.sf.x} \cdot z_{s,s,x1} = 99.526 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.fs.x1} := f_{yd} \cdot A_{smin.fs.x} \cdot z_{s,f,x1} = 101.051 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.ff.x1} := f_{yd} \cdot A_{smin.ff.x} \cdot z_{s,f,x1} = 101.051 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

For  $x_2$ :

$$M_{sd.st\oette.x2} := f_{yd} \cdot A_{s,min.x} \cdot z_{s,s,x2} \cdot L_y \cdot \frac{1}{m} = 195.906 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.felt.x2} := f_{yd} \cdot A_{s,min.x} \cdot z_{s,f,x2} \cdot L_y \cdot \frac{1}{m} = 199.533 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.ss1.x2} := f_{yd} \cdot A_{smin.ss1.x} \cdot z_{s,s,x2} = 54.169 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.ss2.x2} := f_{yd} \cdot A_{smin.ss2.x} \cdot z_{s,s,x2} = 54.169 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.sf.x2} := f_{yd} \cdot A_{smin.sf.x} \cdot z_{s,s,x2} = 99.31 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.fs.x2} := f_{yd} \cdot A_{smin.fs.x} \cdot z_{s,f,x2} = 101.149 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{sd.ff.x2} := f_{yd} \cdot A_{smin.ff.x} \cdot z_{s,f,x2} = 101.149 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### Momentkapasitetsbidrag fra både slakk- og spennarmering:

For  $y_1$ :

$$M_{spd.st\oette.y1} := M_{pd.st\oette.y1} + M_{sd.st\oette.y1} = 1.457 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{spd.felt.y1} := M_{pd.felt.y1} + M_{sd.felt.y1} = 1.467 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{spd.ss1.y1} := M_{pd.ss1.y1} + M_{sd.ss1.y1} = 378.857 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{spd.ss2.y1} := M_{pd.ss2.y1} + M_{sd.ss2.y1} = 345.012 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{spd.sf.y1} := M_{pd.sf.y1} + M_{sd.sf.y1} = 749.464 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{spd.fs.y1} := M_{pd.fs.y1} + M_{sd.fs.y1} = 720.44 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{spd.ff.y1} := M_{pd.ff.y1} + M_{sd.ff.y1} = 754.509 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

For  $y_2$ :

$$M_{\text{spd.støtte.y2}} := M_{\text{pd.støtte.y2}} + M_{\text{sd.støtte.y2}} = 1.458 \times 10^3 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.felt.y2}} := M_{\text{pd.felt.y2}} + M_{\text{sd.felt.y2}} = 1.465 \times 10^3 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.ss1.y2}} := M_{\text{pd.ss1.y2}} + M_{\text{sd.ss1.y2}} = 378.884 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.ss2.y2}} := M_{\text{pd.ss2.y2}} + M_{\text{sd.ss2.y2}} = 345.036 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.sf.y2}} := M_{\text{pd.sf.y2}} + M_{\text{sd.sf.y2}} = 749.518 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.fs.y2}} := M_{\text{pd.fs.y2}} + M_{\text{sd.fs.y2}} = 719.157 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.ff.y2}} := M_{\text{pd.ff.y2}} + M_{\text{sd.ff.y2}} = 753.167 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

For  $x_1$ :

$$M_{\text{spd.støtte.x1}} := M_{\text{pd.støtte.x1}} + M_{\text{sd.støtte.x1}} = 1.378 \times 10^3 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.felt.x1}} := M_{\text{pd.felt.x1}} + M_{\text{sd.felt.x1}} = 1.397 \times 10^3 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.ss1.x1}} := M_{\text{pd.ss1.x1}} + M_{\text{sd.ss1.x1}} = 349.585 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.ss2.x1}} := M_{\text{pd.ss2.x1}} + M_{\text{sd.ss2.x1}} = 349.585 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.sf.x1}} := M_{\text{pd.sf.x1}} + M_{\text{sd.sf.x1}} = 690.122 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.fs.x1}} := M_{\text{pd.fs.x1}} + M_{\text{sd.fs.x1}} = 699.971 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.ff.x1}} := M_{\text{pd.ff.x1}} + M_{\text{sd.ff.x1}} = 699.971 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

For  $x_2$ :

$$M_{\text{spd.støtte.x2}} := M_{\text{pd.støtte.x2}} + M_{\text{sd.støtte.x2}} = 1.375 \times 10^3 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.felt.x2}} := M_{\text{pd.felt.x2}} + M_{\text{sd.felt.x2}} = 1.398 \times 10^3 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.ss1.x2}} := M_{\text{pd.ss1.x2}} + M_{\text{sd.ss1.x2}} = 348.88 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.ss2.x2}} := M_{\text{pd.ss2.x2}} + M_{\text{sd.ss2.x2}} = 348.88 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.sf.x2}} := M_{\text{pd.sf.x2}} + M_{\text{sd.sf.x2}} = 688.732 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.fs.x2}} := M_{\text{pd.fs.x2}} + M_{\text{sd.fs.x2}} = 700.607 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{spd.ff.x2}} := M_{\text{pd.ff.x2}} + M_{\text{sd.ff.x2}} = 700.607 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

## Skjærdimensjonering

Det skal sjekkes for skjærkraft ved konsentrert last. I dette tilfellet vil det ses på de søylene som befinner seg i det avgrensede området (se tegning i vedlegg 1). For søyle 1 (øverst til venstre i avgrenset område), er det platestripe  $y_1$  og  $x_2$  som krysser. For søyle 2 (nederst til venstre i avgrenset område) er det platestripe  $y_1$  og  $x_1$  som krysser. For søyle 3 (øverst til høyre i avgrenset område) er det platestripe  $y_2$  og  $x_2$  som krysser, og for søyle 4 (nederst til høyre i avgrenset område), er det platestripe  $x_1$  og  $y_2$  som krysser.

### Søyledimensjoner:

Søyle øverst til venstre (s1):

$$b_{x.s1} := 400\text{mm}$$

$$b_{y.s1} := 600\text{mm}$$

Søyle nederst til venstre (s2):

$$b_{x.s2} := 400\text{mm}$$

$$b_{y.s2} := 700\text{mm}$$

Søyle øverst til høyre (s3):

$$b_{x.s3} := 400\text{mm}$$

$$b_{y.s3} := 1000\text{mm}$$

Søyle nederst til høyre (s4):

$$b_{x.s4} := 400\text{mm}$$

$$b_{y.s4} := 600\text{mm}$$

## Opptredende skjærkrefter

Skjærkrefter hentet fra G-prog (se vedlegg 2)

For felt 5 i platestripe  $y_1$ :

$$V_{\text{Ed},y1} := 44\text{kN} \quad (\text{per meter})$$

$$V_{\text{Ed},y1} := 44\text{kN} \cdot L_x \cdot \frac{1}{\text{m}} = 457.6 \cdot \text{kN} \quad (\text{inkludert bredde på platestripe})$$

For felt 5 i platestripe  $y_2$ :

$$V_{\text{Ed},y2} := 42.7\text{kN} \quad (\text{per meter})$$

$$V_{\text{Ed},y2} := 42.7\text{kN} \cdot L_x \cdot \frac{1}{\text{m}} = 444.08 \cdot \text{kN} \quad (\text{inkludert bredde på platestripe})$$

For felt 5 i platestripe  $x_1$ :

$$V_{\text{Ed},x1} := 64.7\text{kN} \quad (\text{per meter})$$

$$V_{Ed.x1} := 64.7 \text{ kN} \cdot L_y \cdot \frac{1}{m} = 388.2 \cdot \text{kN} \quad (\text{inkludert bredde på platestripe})$$

For felt 5 i platestripe  $x_2$ :

$$V_{Ed.x2} := 63.8 \text{ kN} \quad (\text{per meter})$$

$$V_{Ed.x2} := 63.8 \text{ kN} \cdot L_y \cdot \frac{1}{m} = 382.8 \cdot \text{kN} \quad (\text{inkludert bredde på platestripe})$$

For søyle 1:

$$V_{Ed.s1} := V_{Ed.y1} + V_{Ed.x2} = 840.4 \cdot \text{kN}$$

For søyle 2:

$$V_{Ed.s2} := V_{Ed.y1} + V_{Ed.x1} = 845.8 \cdot \text{kN}$$

For søyle 3:

$$V_{Ed.s3} := V_{Ed.x2} + V_{Ed.y2} = 826.88 \cdot \text{kN}$$

For søyle 4:

$$V_{Ed.s4} := V_{Ed.x1} + V_{Ed.y2} = 832.28 \cdot \text{kN}$$

**Skjærkraftbidrag fra spennarmeringen:** EC 2; pkt 6.4.3 (9)

For  $y_1$ :

$$V_{p.y1} := V_{f5.y1} = 2.164 \cdot \text{kN} \quad (\text{per kabel})$$

For  $y_2$ :

$$V_{p.y2} := V_{f5.y2} = 1.997 \cdot \text{kN}$$

For  $x_1$ :

$$V_{p.x1} := V_{f5.x1} = 1.808 \cdot \text{kN}$$

For  $x_2$ :

$$V_{p.x2} := V_{f5.x2} = 1.766 \cdot \text{kN}$$

**Dimensjonerende skjærkrefter inkludert bidrag fra spennarmeringen:**

$$V_{Ed.p.y1} := V_{Ed.y1} - 35V_{p.y1} = 381.86 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed.p.y2} := V_{Ed.y2} - 35V_{p.y2} = 374.176 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed.p.x1} := V_{Ed.x1} - 32V_{p.x1} = 330.351 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed.p.x2} := V_{Ed.x2} - 32V_{p.x2} = 326.283 \cdot \text{kN}$$

For søyle 1:

$$V_{\text{Ed.p.s1}} := V_{\text{Ed.p.y1}} + V_{\text{Ed.p.x2}} = 708.143 \cdot \text{kN}$$

For søyle 2:

$$V_{\text{Ed.p.s2}} := V_{\text{Ed.p.y1}} + V_{\text{Ed.p.x1}} = 712.211 \cdot \text{kN}$$

For søyle 3:

$$V_{\text{Ed.p.s3}} := V_{\text{Ed.p.x2}} + V_{\text{Ed.p.y2}} = 700.459 \cdot \text{kN}$$

For søyle 4:

$$V_{\text{Ed.p.s4}} := V_{\text{Ed.p.x1}} + V_{\text{Ed.p.y2}} = 704.527 \cdot \text{kN}$$

### Skjærkraftkapasitet

$$V_{\text{Rd.c}} = C_{\text{Rd.c}} \cdot k \cdot (100 \rho_1 \cdot f_{\text{ck}})^{1/3} + v \cdot k_1 \cdot \sigma_{\text{cp}} > (v_{\text{min}} + k_1 \cdot \sigma_{\text{cp}})$$

$$C_{\text{Rd.c}} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12 \quad k_1 := 0.1 \quad d := \frac{d_y + d_x}{2} = 194.5 \cdot \text{mm}$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{mm}}{d}} = 2.014 > 2.0 \quad \text{Setter dermed} \quad k := 2.0$$

Søylebredde + 3d til hver side:

$$b_{\text{s1.3d.y}} := 400 \text{mm} + (2 \cdot 3 \cdot d) = 1.567 \text{m}$$

$$b_{\text{s1.3d.x}} := 600 \text{mm} + (2 \cdot 3 \cdot d) = 1.767 \text{m}$$

$$b_{\text{s2.3d.y}} := 400 \text{mm} + (2 \cdot 3 \cdot d) = 1.567 \text{m}$$

$$b_{\text{s2.3d.x}} := 700 \text{mm} + (2 \cdot 3 \cdot d) = 1.867 \text{m}$$

$$b_{\text{s3.3d.y}} := 400 \text{mm} + (2 \cdot 3 \cdot d) = 1.567 \text{m}$$

$$b_{\text{s3.3d.x}} := 1000 \text{mm} + (2 \cdot 3 \cdot d) = 2.167 \text{m}$$

$$b_{\text{s4.3d.y}} := 400 \text{mm} + (2 \cdot 3 \cdot d) = 1.567 \text{m}$$

$$b_{\text{s4.3d.x}} := 600 \text{mm} + (2 \cdot 3 \cdot d) = 1.767 \text{m}$$

### Minimumsarmering

For søyle 1:

$$A_{s,\min,s1,y} := 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} \cdot \frac{1}{m} \cdot b_{s1,3d,y} = 708.911 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,s1,x} := 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} \cdot \frac{1}{m} \cdot b_{s1,3d,x} = 799.391 \cdot \text{mm}^2$$

$$\rho_{l,s1,y} := \frac{A_{s,\min,s1,y}}{b_{s1,3d,y} \cdot d} = 2.326 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{l,s1,x} := \frac{A_{s,\min,s1,x}}{b_{s1,3d,x} \cdot d} = 2.326 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{l,s1} := \sqrt{\rho_{l,s1,y} \cdot \rho_{l,s1,x}} = 2.326 \times 10^{-3} < 0.02$$

For søyle 2:

$$A_{s,\min,s2,y} := 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} \cdot \frac{1}{m} \cdot b_{s2,3d,y} = 708.911 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,s2,x} := 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} \cdot \frac{1}{m} \cdot b_{s2,3d,x} = 844.631 \cdot \text{mm}^2$$

$$\rho_{l,s2,y} := \frac{A_{s,\min,s2,y}}{b_{s2,3d,y} \cdot d} = 2.326 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{l,s2,x} := \frac{A_{s,\min,s2,x}}{b_{s2,3d,x} \cdot d} = 2.326 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{l,s2} := \sqrt{\rho_{l,s2,y} \cdot \rho_{l,s2,x}} = 2.326 \times 10^{-3} < 0.02$$

For søyle 3:

$$A_{s,\min,s3,y} := 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} \cdot \frac{1}{m} \cdot b_{s3,3d,y} = 708.911 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,s3,x} := 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} \cdot \frac{1}{m} \cdot b_{s3,3d,x} = 980.351 \cdot \text{mm}^2$$

$$\rho_{l,s3,y} := \frac{A_{s,\min,s3,y}}{b_{s3,3d,y} \cdot d} = 2.326 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{l,s3,x} := \frac{A_{s,\min,s3,x}}{b_{s3,3d,x} \cdot d} = 2.326 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{l,s3} := \sqrt{\rho_{l,s3,y} \cdot \rho_{l,s3,x}} = 2.326 \times 10^{-3} < 0.02$$

For søyle 4:

$$A_{s,\min,s4,y} := 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} \cdot \frac{1}{m} \cdot b_{s4,3d,y} = 708.911 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{s,\min,s4,x} := 4 \cdot A_{s,\emptyset 12} \cdot \frac{1}{m} \cdot b_{s4,3d,x} = 799.391 \cdot \text{mm}^2$$

$$\rho_{l,s4,y} := \frac{A_{s,\min,s4,y}}{b_{s4,3d,y} \cdot d} = 2.326 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{l,s4,x} := \frac{A_{s,\min,s4,x}}{b_{s4,3d,x} \cdot d} = 2.326 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{l,s4} := \sqrt{\rho_{l,s4,y} \cdot \rho_{l,s4,x}} = 2.326 \times 10^{-3} < 0.02$$

Lik for alle ...  $\rho_l := 2.326 \times 10^{-3}$

**Kritisk snitt:**

Ser på den minste lengden ved det kritiske snittet.  
Lik for alle søyler, da alle har minste sidekant som 400mm.

$$l_{ks} := \min(b_{x,s1} + 2 \cdot 2 \cdot d, b_{y,s1} + 2 \cdot 2 \cdot d) = 1.178 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

Oppspenningskraften multipliseres med antall spennkabler som finnes innenfor kritisk snitt.

$$N_{Ed,y} := F_{p0,y} \cdot 4 = 746.912 \cdot \text{kN}$$

$$N_{Ed,x} := F_{p0,x} \cdot 8 = 1.496 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Spenning:

$$\sigma_{cp,y} := \frac{N_{Ed,y}}{l_{ks} \cdot t_y} = 2.486 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{cp,x} := \frac{N_{Ed,x}}{l_{ks} \cdot t_x} = 4.232 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{cp} := \frac{\sigma_{cp,y} + \sigma_{cp,x}}{2} = 3.359 \cdot \text{MPa}$$



$$f_{ck} := 45$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot \left( \frac{3}{2} \right) \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \text{MPa} = 0.664 \cdot \text{MPa}$$

$$v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} = 1 \cdot \text{MPa}$$

$$v_{Rd.c} := C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa} + k_1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$v_{Rd.c} = 0.861 \cdot \text{MPa} > v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} = 1 \cdot \text{MPa}$$

Oppfyller ikke ovennevnte krav, derfor blir:

$$v_{Rd.c} := v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} = 1 \cdot \text{MPa}$$

#### Omkrets kritisk snitt:

$$u_{1.s1} := 2 \cdot (b_{x.s1} + 2 \cdot 2 \cdot d) + 2 \cdot (b_{y.s1} + 2 \cdot 2 \cdot d) = 5.112 \text{ m}$$

$$u_{1.s2} := 2 \cdot (b_{x.s2} + 2 \cdot 2 \cdot d) + 2 \cdot (b_{y.s2} + 2 \cdot 2 \cdot d) = 5.312 \text{ m}$$

$$u_{1.s3} := 2 \cdot (b_{x.s3} + 2 \cdot 2 \cdot d) + 2 \cdot (b_{y.s3} + 2 \cdot 2 \cdot d) = 5.912 \text{ m}$$

$$u_{1.s4} := 2 \cdot (b_{x.s4} + 2 \cdot 2 \cdot d) + 2 \cdot (b_{y.s4} + 2 \cdot 2 \cdot d) = 5.112 \text{ m}$$

$$W_{1.s1} := \frac{b_{y.s1}^2}{2} + b_{y.s1} \cdot b_{x.s1} + 4 \cdot b_{x.s1} \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot b_{y.s1} = 2.07 \text{ m}^2$$

$$W_{1.s2} := \frac{b_{y.s2}^2}{2} + b_{y.s2} \cdot b_{x.s2} + 4 \cdot b_{x.s2} \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot b_{y.s2} = 2.297 \text{ m}^2$$

$$W_{1.s3} := \frac{b_{y.s3}^2}{2} + b_{y.s3} \cdot b_{x.s3} + 4 \cdot b_{x.s3} \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot b_{y.s3} = 3.039 \text{ m}^2$$

$$W_{1.s4} := \frac{b_{y.s4}^2}{2} + b_{y.s4} \cdot b_{x.s4} + 4 \cdot b_{x.s4} \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot b_{y.s4} = 2.07 \text{ m}^2$$

Dimensjonerende momenter

Uten spennarmeringsbidrag

$$M_{Ed.y1} := \max(M_{Ed.st\ddot{o}tte.y1}, M_{Ed.felt.y1}) = 501.28 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.y2} := \max(M_{Ed.st\ddot{o}tte.y2}, M_{Ed.felt.y2}) = 500.24 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.x1} := \max(M_{Ed.st\ddot{o}tte.x1}, M_{Ed.felt.x1}) = 792 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.x2} := \max(M_{Ed.st\ddot{o}tte.x2}, M_{Ed.felt.x2}) = 813 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

#### Med spennarmeringsbidrag

$$M_{Ed.p.y1} := \max(M_{Ed.p.st\ddot{o}tte.y1}, M_{Ed.p.felt.y1}) = 272.224 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.y2} := \max(M_{Ed.p.st\ddot{o}tte.y2}, M_{Ed.p.felt.y2}) = 206.853 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.x1} := \max(M_{Ed.p.st\ddot{o}tte.x1}, M_{Ed.p.felt.x1}) = 320.293 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.p.x2} := \max(M_{Ed.p.st\ddot{o}tte.x2}, M_{Ed.p.felt.x2}) = 340.164 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

EC 2, pkt 6.4.3 (6), tilst\ddot{o}tende felt avviker i lengde med mer enn 25%:

$$k_{\beta,s1} := 0.65 \quad \text{Line\ddot{a}rinterpolert verdi fra tabell 6.1, EC 2}$$

$$k_{\beta,s2} := 0.675$$

$$k_{\beta,s3} := 0.75$$

$$k_{\beta,s4} := 0.65$$

$$\beta_{s1} := 1 + k_{\beta,s1} \cdot \frac{M_{Ed.p.s1}}{V_{Ed.p.s1}} \cdot \frac{u_{1,s1}}{W_{1,s1}} = 1.771$$

$$\beta_{s2} := 1 + k_{\beta,s2} \cdot \frac{M_{Ed.p.s2}}{V_{Ed.p.s2}} \cdot \frac{u_{1,s2}}{W_{1,s2}} = 1.702$$

$$\beta_{s3} := 1 + k_{\beta,s3} \cdot \frac{M_{Ed.p.s3}}{V_{Ed.p.s3}} \cdot \frac{u_{1,s3}}{W_{1,s3}} = 1.709$$

$$\beta_{s4} := 1 + k_{\beta,s4} \cdot \frac{M_{Ed.p.s4}}{V_{Ed.p.s4}} \cdot \frac{u_{1,s4}}{W_{1,s4}} = 1.73$$

#### Skj\ddot{a}rspanning

$$v_{Ed.s1} := \beta_{s1} \cdot \frac{V_{Ed.p.s1}}{u_{1,s1} \cdot d} = 1.261 \cdot \text{MPa}$$

$v_{Ed.s1} > v_{Rd.c}$  Det er dermed beregningsmessig n\dd{o}dvendig med skj\dd{a}rarmering

$$v_{Ed.s2} := \beta_{s2} \cdot \frac{V_{Ed.p.s2}}{u_{1,s2} \cdot d} = 1.173 \cdot \text{MPa}$$

$v_{Ed.s2} > v_{Rd.c}$  Det er dermed beregningsmessig n\dd{o}dvendig med skj\dd{a}rarmering

$$v_{Ed.s3} := \beta_{s3} \cdot \frac{V_{Ed.p.s3}}{u_{1.s3} \cdot d} = 1.041 \cdot \text{MPa}$$

$v_{Ed.s3} > v_{Rd.c}$  Det er dermed beregningsmessig nødvendig med skjærarmering

$$v_{Ed.s4} := \beta_{s4} \cdot \frac{V_{Ed.p.s4}}{u_{1.s4} \cdot d} = 1.226 \cdot \text{MPa}$$

$v_{Ed.s4} > v_{Rd.c}$  Det er dermed beregningsmessig nødvendig med skjærarmering

Hadde det vært mindre enn 25% lengdeforskjell på tilstøtende spenn, ville det vært ok for alle søylene og ingen nødvendig skjærarmering.

### Kapasitet ved søylekant

$$v_{Rd.max} := 0.3 \cdot \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \cdot f_{cd} = 6.273 \cdot \text{MPa}$$

$$u_{0.s1} := 2 \cdot b_{x.s1} + 2 \cdot b_{y.s1} = 2 \text{ m}$$

$$v_{Ed.0.s1} := \beta_{s1} \cdot \frac{V_{Ed.p.s1}}{u_{0.s1} \cdot d} = 3.224 \cdot \text{MPa}$$

$v_{Ed.0.s1} < v_{Rd.max}$  Dekketykkelsen er holdbar.

$$u_{0.s2} := 2 \cdot b_{x.s2} + 2 \cdot b_{y.s2} = 2.2 \text{ m}$$

$$v_{Ed.0.s2} := \beta_{s2} \cdot \frac{V_{Ed.p.s2}}{u_{0.s2} \cdot d} = 2.833 \cdot \text{MPa}$$

$v_{Ed.0.s2} < v_{Rd.max}$  Dekketykkelsen er holdbar.

$$u_{0.s3} := 2 \cdot b_{x.s3} + 2 \cdot b_{y.s3} = 2.8 \text{ m}$$

$$v_{Ed.0.s3} := \beta_{s3} \cdot \frac{V_{Ed.p.s3}}{u_{0.s3} \cdot d} = 2.198 \cdot \text{MPa}$$

$v_{Ed.0.s3} < v_{Rd.max}$  Dekketykkelsen er holdbar.

$$u_{0.s4} := 2 \cdot b_{x.s4} + 2 \cdot b_{y.s4} = 2 \text{ m}$$

$$v_{Ed.0.s4} := \beta_{s4} \cdot \frac{V_{Ed.p.s4}}{u_{0.s4} \cdot d} = 3.133 \cdot \text{MPa}$$

$v_{Ed.0.s4} < v_{Rd.max}$  Dekketykkelsen er holdbar.

### Skjærarmering

Kontrollsnitt for skjærarmering: EC 2, fig.9.10

$$ks_1 := 0.3 \cdot d = 58.35 \cdot \text{mm}$$

$$ks_2 := (0.3 + 0.75) \cdot d = 204.225 \cdot \text{mm}$$

$$ks_3 := (0.3 + 2 \cdot 0.75) \cdot d = 350.1 \cdot \text{mm}$$

$$ks_4 := (0.3 + 3 \cdot 0.75) \cdot d = 495.975 \cdot \text{mm}$$

Antar Ø8 bøylearmering som skjærarmering  $A_{s,\text{Ø8}} := \pi \cdot (4\text{mm})^2 = 50.265 \cdot \text{mm}^2$

$$\alpha := 90\text{deg}$$

$$\sin(\alpha) = 1 \quad d := 194.5$$

$$\cos(\alpha) = 0$$

$$s_t := 1.5 \cdot d$$

$$f_{\text{fwd,ef}} := (250 + 0.25d) \text{MPa} = 298.625 \cdot \text{MPa}$$

### For søyle 1:

$$u_{\text{out,s1}} := \beta_{s1} \cdot \frac{V_{\text{Ed,p,s1}}}{v_{\text{Rd,c}} \cdot d} = 6.449 \text{m} \quad \text{Ytterste kontrollsnitt hvor skjærarmering ikke lenger er nødvendig}$$

$$a_{s1} := \frac{u_{\text{out,s1}} - u_{0,s1}}{2\pi} = 708.026 \cdot \text{mm} \quad [6]$$

$$a_{s1} - 1.5 \cdot d = 416.276 \cdot \text{mm} \quad \text{Ytterst plassering av skjærarmering fra søylekant.}$$

Siste skjærbøyle ved 416mm fra søylekant. Første skjærbøyle må være mer enn 0.3d fra søylekant. I mellom disse punktene bør det være to bøyle med avstand på maksimalt 0.75d.

$$0.5d = 97.25 \cdot \text{mm}$$

$$0.75d = 145.875 \cdot \text{mm}$$

$$416\text{mm} - 0.5 \cdot d = 318.75 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{416 - 95}{2} = 160.5 > 0.75d$$

$$\frac{416 - 95}{3} = 107 < 0.75d$$

$$b_{1,s1} := 95\text{mm}$$

$$b_{2,s1} := b_{1,s1} + 107\text{mm} = 202 \cdot \text{mm}$$

$$b_{3,s1} := b_{2,s1} + 107\text{mm} = 309 \cdot \text{mm}$$

$$b_{4,s1} := b_{3,s1} + 107\text{mm} = 416 \cdot \text{mm}$$

$$s_{r.s1} := 107\text{mm}$$

$$A_{sw.min.s1} := \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s1} \cdot s_t) \cdot \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 22.337 \cdot \text{mm}^2$$

Ser at det kunne holdt med Ø6

$$A_{s.Ø6} := \pi \cdot (3\text{mm})^2 = 28.274 \cdot \text{mm}^2$$

$$v_{Rd.cs.s1} := v_{Ed.s1} = 1.261 \cdot \text{MPa}$$

$$A_{sw.s1} := \frac{(v_{Rd.cs.s1} - 0.75 v_{Rd.c}) \cdot s_{r.s1} \cdot u_{1.s1}}{1.5 \cdot f_{wd.ef} \cdot \sin(\alpha)} = 624.564 \cdot \text{mm}^2$$

Ved snitt 1:

$$r_{b1.s1} := b_{1.s1} + \frac{b_{y.s1}}{2} = 395 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyer: } \frac{2\pi \cdot r_{b1.s1}}{s_t} = 8.507 \quad n_{b1.s1} := 9$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b1.s1} := n_{b1.s1} \cdot A_{s.Ø8} = 452.389 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b1.s1} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b1.s1}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 190.018 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b1.s1} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 2:

$$r_{b2.s1} := b_{2.s1} + \frac{b_{y.s1}}{2} = 502 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyer: } \frac{2\pi \cdot r_{b2.s1}}{s_t} = 10.811 \quad n_{b2.s1} := 11$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b2.s1} := n_{b2.s1} \cdot A_{s.Ø8} = 552.92 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b2.s1} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b2.s1}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 241.492 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b2.s1} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 3:

$$r_{b3.s1} := b_{3.s1} + \frac{b_{y.s1}}{2} = 609 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyler: } \frac{2\pi \cdot r_{b3.s1}}{s_t} = 13.116 \quad n_{b3.s1} := 14$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b3.s1} := n_{b3.s1} \cdot A_{s.\emptyset 8} = 703.717 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b3.s1} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b3.s1}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 292.965 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b3.s1} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 4:

$$r_{b4.s1} := b_{4.s1} + \frac{b_{y.s1}}{2} = 716 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyler: } \frac{2\pi \cdot r_{b4.s1}}{s_t} = 15.42 \quad n_{b4.s1} := 16$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b4.s1} := n_{b4.s1} \cdot A_{s.\emptyset 8} = 804.248 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b4.s1} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b4.s1}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 344.438 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b4.s1} \quad \text{Ok}$$

$$A_{sw.min.s.1} := A_{s.\emptyset 8}$$

$$\frac{A_{sw.min.s.1}}{s_{r.s1} \cdot s_t} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) = 2.415 \times 10^{-3} > 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot \text{MPa} = 1.073 \times 10^{-3} \quad \text{Ok}$$

**For søyle 2:**

$$u_{out.s2} := \beta_{s2} \cdot \frac{V_{Ed.p.s2}}{v_{Rd.c} \cdot d} = 6.232 \text{ m}$$

Ytterste kontrollsnitt hvor skjærarmering ikke lenger er nødvendig

$$a_{s2} := \frac{u_{out.s2} - u_{0.s2}}{2\pi} = 641.784 \cdot \text{mm} \quad [6]$$

$a_{s2} - 1.5 \cdot d = 350.034 \cdot \text{mm}$  Ytterst plassering av skjærarmering fra søylekant.

Siste skjærbøyle ved 350mm fra søylekant. Første skjærbøyle må være mer enn 0.3d fra søylekant. I mellom disse punktene bør det være to bøyer med avstand på maksimalt 0.75d.

$$0.5d = 97.25 \cdot \text{mm}$$

$$0.75d = 145.875 \cdot \text{mm}$$

$$350\text{mm} - 0.5 \cdot d = 252.75 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{350 - 95}{2} = 127.5 < 0.75d$$

$$b_{1.s2} := 95\text{mm}$$

$$b_{2.s2} := b_{1.s2} + 128\text{mm} = 223 \cdot \text{mm}$$

$$b_{3.s2} := b_{2.s2} + 128\text{mm} = 351 \cdot \text{mm}$$

$$s_{r.s2} := 128\text{mm}$$

$$A_{sw.min.s2} := \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s2} \cdot s_t) \cdot \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 26.721 \cdot \text{mm}^2$$

Ser at det kunne holdt med Ø6

$$A_{s.Ø6} = 28.274 \cdot \text{mm}^2$$

$$v_{Rd.cs.s2} := v_{Ed.s2} = 1.173 \cdot \text{MPa}$$

$$A_{sw.s2} := \frac{(v_{Rd.cs.s2} - 0.75v_{Rd.c}) \cdot s_{r.s2} \cdot u_{1.s2}}{1.5 \cdot f_{wd.ef} \cdot \sin(\alpha)} = 642.497 \cdot \text{mm}^2$$

Ved snitt 1:

$$r_{b1.s2} := b_{1.s2} + \frac{b_{y.s2}}{2} = 445 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyer: } \frac{2\pi \cdot r_{b1.s2}}{s_t} = 9.584 \quad n_{b1.s2} := 10$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b1.s2} := n_{b1.s2} \cdot A_{s.Ø8} = 502.655 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b1.s2} := \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b1.s2}) \cdot \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 256.085 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b1.s2} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 2:

$$r_{b2.s2} := b_{2.s2} + \frac{b_{y.s2}}{2} = 573 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyler: } \frac{2\pi \cdot r_{b2.s2}}{s_t} = 12.34 \quad n_{b2.s2} := 13$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b2.s2} := n_{b2.s2} \cdot A_{s.\emptyset 8} = 653.451 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b2.s2} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b2.s2}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 329.746 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b2.s2} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 3:

$$r_{b3.s2} := b_{3.s2} + \frac{b_{y.s2}}{2} = 701 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyler: } \frac{2\pi \cdot r_{b3.s2}}{s_t} = 15.097 \quad n_{b3.s2} := 16$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b3.s2} := n_{b3.s2} \cdot A_{s.\emptyset 8} = 804.248 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b3.s2} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b3.s2}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 403.406 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b3.s2} \quad \text{Ok}$$

$$A_{sw.min.s.2} := A_{s.\emptyset 8}$$

$$\frac{A_{sw.min.s.2}}{s_{r.s2} \cdot s_t} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) = 2.019 \times 10^{-3} > 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot \text{MPa} = 1.073 \times 10^{-3} \quad \text{Ok}$$

**For søyle 3:**

$$u_{out.s3} := \beta_{s3} \cdot \frac{V_{Ed.p.s3}}{v_{Rd.c} \cdot d} = 6.153 \text{ m} \quad \text{Ytterste konstruksjonsnitt hvor skjærarmering ikke lenger er nødvendig}$$

$$a_{s3} := \frac{u_{out.s3} - u_{0.s3}}{2\pi} = 533.724 \cdot \text{mm} \quad [6]$$

$$a_{s3} - 1.5 \cdot d = 241.974 \cdot \text{mm} \quad \text{Ytterst plassering av skjærarmering fra søylekant.}$$



Siste skjærbøyle ved 242mm fra søylekant. Første skjærbøyle må være mer enn 0.3d fra søylekant. I mellom disse punktene bør det være to bøyer med avstand på maksimalt 0.75d.

$$0.5d = 97.25 \cdot \text{mm}$$

$$0.75d = 145.875 \cdot \text{mm}$$

$$242\text{mm} - 0.5 \cdot d = 144.75 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{242 - 95}{2} = 73.5 < 0.75d$$

$$b_{1.s3} := 95\text{mm}$$

$$b_{2.s3} := b_{1.s3} + 74\text{mm} = 169 \cdot \text{mm}$$

$$b_{3.s3} := b_{2.s3} + 74\text{mm} = 243 \cdot \text{mm}$$

$$s_{r.s3} := 74\text{mm}$$

$$A_{sw.min.s3} := \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s3} \cdot s_t) \cdot \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 15.448 \cdot \text{mm}^2$$

Ser at det kunne holdt med Ø6

$$A_{s.Ø6} = 28.274 \cdot \text{mm}^2$$

$$v_{Rd.cs.s3} := v_{Ed.s3} = 1.041 \cdot \text{MPa}$$

$$A_{sw.s3} := \frac{(v_{Rd.cs.s3} - 0.75v_{Rd.c}) \cdot s_{r.s3} \cdot u_{1.s3}}{1.5 \cdot f_{wd.ef} \cdot \sin(\alpha)} = 284.059 \cdot \text{mm}^2$$

Ved snitt 1:

$$r_{b1.s3} := b_{1.s3} + \frac{b_{y.s3}}{2} = 595 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyer: } \frac{2\pi \cdot r_{b1.s3}}{s_t} = 12.814 \quad n_{b1.s3} := 13$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b1.s3} := n_{b1.s3} \cdot A_{s.Ø8} = 653.451 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b1.s3} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b1.s3}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 197.954 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b1.s3} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 2:

$$r_{b2.s3} := b_{2.s3} + \frac{b_{y.s3}}{2} = 669 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyler: } \frac{2\pi \cdot r_{b2.s3}}{s_t} = 14.408 \quad n_{b2.s3} := 15$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b2.s3} := n_{b2.s3} \cdot A_{s.\emptyset 8} = 753.982 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b2.s3} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b2.s3}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 222.573 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b2.s3} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 3:

$$r_{b3.s3} := b_{3.s3} + \frac{b_{y.s3}}{2} = 743 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyler: } \frac{2\pi \cdot r_{b3.s3}}{s_t} = 16.001 \quad n_{b3.s3} := 16$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b3.s3} := n_{b3.s3} \cdot A_{s.\emptyset 8} = 804.248 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b3.s3} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b3.s3}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 247.193 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b3.s3} \quad \text{Ok}$$

$$A_{sw.min.s.3} := A_{s.\emptyset 8}$$

$$\frac{A_{sw.min.s.3}}{s_{r.s3} \cdot s_t} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) = 3.492 \times 10^{-3} > 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \cdot \text{MPa} = 1.073 \times 10^{-3} \quad \text{Ok}$$

**For søyle 4:**

$$u_{out.s4} := \beta_{s4} \cdot \frac{V_{Ed.p.s4}}{V_{Rd.c} \cdot d} = 6.266 \text{ m}$$

Ytterste konstruksjonsnitt hvor skjærarmering ikke lenger er nødvendig

$$a_{s4} := \frac{u_{out.s4} - u_{0.s4}}{2\pi} = 678.962 \cdot \text{mm} \quad [6]$$

$$a_{s4} - 1.5 \cdot d = 387.212 \cdot \text{mm} \quad \text{Ytterst plassering av skjærarmering fra søylekant.}$$

Siste skjærbøyle ved 388mm fra søylekant. Første skjærbøyle må være mer enn 0.3d fra søylekant. I mellom disse punktene bør det være to bøyer med avstand på maksimalt 0.75d.

$$0.5d = 97.25 \cdot \text{mm}$$

$$0.75d = 145.875 \cdot \text{mm}$$

$$388\text{mm} - 0.5 \cdot d = 290.75 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{388 - 95}{2} = 146.5 > 0.75d$$

$$\frac{388 - 95}{3} = 97.667 < 0.75d$$

$$b_{1,s4} := 95\text{mm}$$

$$b_{2,s4} := b_{1,s4} + 98\text{mm} = 193 \cdot \text{mm}$$

$$b_{3,s4} := b_{2,s4} + 98\text{mm} = 291 \cdot \text{mm}$$

$$b_{4,s4} := b_{3,s4} + 98\text{mm} = 389 \cdot \text{mm}$$

$$s_{r,s4} := 98\text{mm}$$

$$A_{\text{sw,min},s4} := \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{\text{ck}}} \cdot (s_{r,s4} \cdot s_t) \cdot \text{MPa}}{f_{\text{yk}} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 20.458 \cdot \text{mm}^2$$

Ser at det kunne holdt med Ø6

$$A_{s,\text{Ø6}} = 28.274 \cdot \text{mm}^2$$

$$v_{\text{Rd,cs},s4} := v_{\text{Ed},s4} = 1.226 \cdot \text{MPa}$$

$$A_{\text{sw},s4} := \frac{(v_{\text{Rd,cs},s4} - 0.75 v_{\text{Rd,c}}) \cdot s_{r,s4} \cdot u_{1,s4}}{1.5 \cdot f_{\text{wd,ef}} \cdot \sin(\alpha)} = 532.078 \cdot \text{mm}^2$$

Ved snitt 1:

$$r_{b1,s4} := b_{1,s4} + \frac{b_{y,s4}}{2} = 395 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyer: } \frac{2\pi \cdot r_{b1,s4}}{s_t} = 8.507 \quad n_{b1,s4} := 9$$

Nødvendig armering:

$$A_{\text{sw},b1,s4} := n_{b1,s4} \cdot A_{s,\text{Ø8}} = 452.389 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{\text{sw,min},b1,s4} := \frac{0.08 \sqrt{f_{\text{ck}}} \cdot (s_{r,s4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b1,s4}) \text{MPa}}{f_{\text{yk}} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 174.036 \cdot \text{mm}^2 < A_{\text{sw},b1,s4} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 2:

$$r_{b2.s4} := b_{2.s4} + \frac{b_{y.s4}}{2} = 493 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyer: } \frac{2\pi \cdot r_{b2.s4}}{s_t} = 10.617 \quad n_{b2.s4} := 11$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b2.s4} := n_{b2.s4} \cdot A_{s.\emptyset 8} = 552.92 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b2.s4} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b2.s4}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 217.214 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b2.s4} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 3:

$$r_{b3.s4} := b_{3.s4} + \frac{b_{y.s4}}{2} = 591 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyer: } \frac{2\pi \cdot r_{b3.s4}}{s_t} = 12.728 \quad n_{b3.s4} := 13$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b3.s4} := n_{b3.s4} \cdot A_{s.\emptyset 8} = 653.451 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b3.s4} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b3.s4}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 260.392 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b3.s4} \quad \text{Ok}$$

Ved snitt 4:

$$r_{b4.s4} := b_{4.s4} + \frac{b_{y.s4}}{2} = 689 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Antall bøyer: } \frac{2\pi \cdot r_{b4.s4}}{s_t} = 14.838 \quad n_{b4.s4} := 15$$

Nødvendig armering:

$$A_{sw.b4.s4} := n_{b4.s4} \cdot A_{s.\emptyset 8} = 753.982 \cdot \text{mm}^2$$

Sjekker med krav om minimumsarmering:

$$A_{sw.min.b4.s4} := \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \cdot (s_{r.s4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{b4.s4}) \text{MPa}}{f_{yk} \cdot (1.5 \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))} = 303.571 \cdot \text{mm}^2 < A_{sw.b4.s4} \quad \text{Ok}$$

## **Vedlegg 5 – Bruksgrenseberegninger**

Innhold:

Spenningsberegninger  
Nedbøyningsberegninger



## Bruksgrenseberegninger

For bruksgrenseberegningene vil det bli gjennomført spenningsberegninger og nedbøyningsberegninger.

Nedenfor er det listet opp forskjellige verdier som er nødvendig for å gjennomføre beregningene.

$$L_{f5.y} := 7500\text{mm}$$

$$L_{f5.x} := 10400\text{mm}$$

$$b_x := 6000\text{mm} \quad \text{bredde på platestripene}$$

$$b_y := 10400\text{mm}$$

$$b_{ss1.y} := 2 \cdot 0.125 \cdot b_y = 2.6 \text{ m}$$

$$b_{ss2.y} := 2 \cdot 0.125 \cdot b_y = 2.6 \text{ m}$$

$$b_{sf.y} := 0.5 \cdot b_y = 5.2 \text{ m}$$

$$b_{fs.y} := b_{ss1.y} + b_{ss2.y} = 5.2 \text{ m}$$

$$b_{ff.y} := b_{sf.y} = 5.2 \text{ m}$$

$$b_{ss1.x} := 2 \cdot 0.125 \cdot b_x = 1.5 \text{ m}$$

$$b_{ss2.x} := 2 \cdot 0.125 \cdot b_x = 1.5 \text{ m}$$

$$b_{sf.x} := 0.5 \cdot b_x = 3 \text{ m}$$

$$b_{fs.x} := b_{ss1.x} + b_{ss2.x} = 3 \text{ m}$$

$$b_{ff.x} := b_{sf.x} = 3 \text{ m}$$

$$t_y := 255\text{mm}$$

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

$$b_w := 1000\text{mm}$$

$$d := 194.5\text{mm} \quad \text{gjennomsnittsverdi for både x- og y-retning}$$

### Spennarmering

$$F_{p0} := 186.8\text{kN} \quad \text{gjennomsnittsverdi}$$

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

$$E_p := 196000\text{MPa}$$

$$\gamma_p := 1.15$$

Antall spennkabler

$$n_y := 35$$

$$n_{ss1.y1} := 9$$

$$n_{ss1.y2} := 9$$

$$\begin{aligned}
 n_{ss2.y1} &:= 8 & n_{ss2.y2} &:= 8 \\
 n_{sf.y1} &:= 18 & n_{sf.y2} &:= 18 \\
 n_{fs.y1} &:= n_{ss1.y1} + n_{ss2.y1} = 17 & n_{fs.y2} &:= n_{ss1.y1} + n_{ss2.y1} = 17 \\
 n_{ff.y1} &:= n_{sf.y1} = 18 & n_{ff.y2} &:= n_{sf.y1} = 18 \\
 \\
 n_x &:= 32 \\
 \\
 n_{ss1.x1} &:= 8 & n_{ss1.x2} &:= 8 \\
 n_{ss2.x1} &:= 8 & n_{ss2.x2} &:= 8 \\
 n_{sf.x1} &:= 16 & n_{sf.x2} &:= 16 \\
 n_{fs.x1} &:= n_{ss1.x1} + n_{ss2.x1} = 16 & n_{fs.x2} &:= n_{ss1.x2} + n_{ss2.x2} = 16 \\
 n_{ff.x1} &:= n_{sf.x1} = 16 & n_{ff.x2} &:= n_{sf.x2} = 16
 \end{aligned}$$

### Armering

$$\begin{aligned}
 f_{yk} &:= 500 \text{ MPa} \\
 \gamma_s &:= 1.15 \\
 f_{yd} &:= \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa} \\
 E_s &:= 200000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

### Betong

$$\begin{aligned}
 f_{ck} &:= 45 \text{ MPa} \\
 E_{cm} &:= 36000 \text{ MPa} \\
 \varphi &:= 1.735 \quad \text{gjennomsnittsverdi hentet fra spennarmeringsberegningene} \\
 E_{cL} &:= \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = 1.316 \times 10^4 \cdot \text{MPa} \\
 \gamma_c &:= 1.5
 \end{aligned}$$

### Laster

| Egenlast   | Nyttelast                                      |
|--|--|
| $g_{last} := 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$   | $p_{last} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ |
| $q := 1.0 \cdot g_{last} + 1.0 \cdot p_{last} = 10 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ |  |
| $q_{bal} := g_{last} = 7.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$                         |  |



**Spenningsberegninger**

Spenninger bør sjekkes i de forskjellige inndelingene ss1, ss2, sf, fs og ff.

$$A_{c,y} := b_w \cdot t_y = 2.55 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{c,x} := b_w \cdot t_x = 3 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$\eta := \frac{E_p}{E_{cm}} = 5.444$$

**For platestripe  $y_1$ :**

$$e_{\text{støtte},y1} := 62.5 \text{ mm}$$

$$e_{\text{felt},y1} := 51.1 \text{ mm}$$

**SS1**

$$n_{ss1,y1} = 9 \quad f_{n,ss1,y1} := \frac{n_{ss1,y1}}{b_{ss1,y}} \cdot m = 3.462$$

$$A_{p,ss1,y1} := A_p \cdot f_{n,ss1,y1} = 519.231 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,ss1,y1} := A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ss1,y1} = 2.573 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t,ss1,y1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,ss1,y1} \cdot e_{\text{støtte},y1}}{A_{t,ss1,y1}} = 0.561 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,ss1,y1} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t,ss1,y1}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ss1,y1} \cdot (e_{\text{støtte},y1} - y_{t,ss1,y1})^2$$

$$I_{t,ss1,y1} = 1.391 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ss1,y1} := -F_{p0} \cdot f_{n,ss1,y1} = -646.615 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t,ss1,y1} := -N_{ss1,y1} \cdot (e_{\text{støtte},y1} - y_{t,ss1,y1}) = 40.051 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c,t,ss1,y1} := \frac{N_{ss1,y1}}{A_{t,ss1,y1}} + \frac{M_{t,ss1,y1} \cdot (e_{\text{støtte},y1} - y_{t,ss1,y1})}{I_{t,ss1,y1}} = -0.729 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$y_{o.s.y1} := \frac{t_y}{2} = 127.5 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.o.ss1.y1} := \frac{N_{ss1.y1}}{A_{t.ss1.y1}} + \frac{M_{t.ss1.y1} \cdot (y_{o.s.y1} - y_{t.ss1.y1})}{I_{t.ss1.y1}} = 1.143 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$y_{u.s.y1} := -\frac{t_y}{2} = -127.5 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.u.ss1.y1} := \frac{N_{ss1.y1}}{A_{t.ss1.y1}} + \frac{M_{t.ss1.y1} \cdot (y_{u.s.y1} - y_{t.ss1.y1})}{I_{t.ss1.y1}} = -6.201 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

## SS2

$$n_{ss2.y1} = 8 \quad f_{n.ss2.y1} := \frac{n_{ss2.y1}}{b_{ss2.y}} \cdot m = 3.077$$

$$A_{p.ss2.y1} := A_p \cdot f_{n.ss2.y1} = 461.538 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ss2.y1} := A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.y1} = 2.571 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.ss2.y1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.y1} \cdot e_{st\ddot{o}tte.y1}}{A_{t.ss2.y1}} = 0.499 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ss2.y1} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t.ss2.y1}^2 \cdot A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.y1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.y1} - y_{t.ss2.y1})^2$$

$$I_{t.ss2.y1} = 1.39 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ss2.y1} := -F_{p0} \cdot f_{n.ss2.y1} = -574.769 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.ss2.y1} := -N_{ss2.y1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.y1} - y_{t.ss2.y1}) = 35.636 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.ss2.y1} := \frac{N_{ss2.y1}}{A_{t.ss2.y1}} + \frac{M_{t.ss2.y1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.y1} - y_{t.ss2.y1})}{I_{t.ss2.y1}} = -0.646 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c.o.ss2.y1} := \frac{N_{ss2.y1}}{A_{t.ss2.y1}} + \frac{M_{t.ss2.y1} \cdot (y_{o.s.y1} - y_{t.ss2.y1})}{I_{t.ss2.y1}} = 1.021 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c.u.ss2.y1} := \frac{N_{ss2.y1}}{A_{t.ss2.y1}} + \frac{M_{t.ss2.y1} \cdot (y_{u.s.y1} - y_{t.ss2.y1})}{I_{t.ss2.y1}} = -5.518 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

SF

$$n_{sf.y1} = 18 \quad f_{n.sf.y1} := \frac{n_{sf.y1}}{b_{sf.y}} \cdot m = 3.462$$

$$A_{p.sf.y1} := A_p \cdot f_{n.sf.y1} = 519.231 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.sf.y1} := A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.sf.y1} = 2.573 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.sf.y1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.sf.y1} \cdot e_{st\ddot{o}tte.y1}}{A_{t.sf.y1}} = 0.561 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.sf.y1} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t.sf.y1}^2 \cdot A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.sf.y1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.y1} - y_{t.sf.y1})^2$$

$$I_{t.sf.y1} = 1.391 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{sf.y1} := -F_{p0} \cdot f_{n.sf.y1} = -646.615 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.sf.y1} := -N_{sf.y1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.y1} - y_{t.sf.y1}) = 40.051 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.sf.y1} := \frac{N_{sf.y1}}{A_{t.sf.y1}} + \frac{M_{t.sf.y1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.y1} - y_{t.sf.y1})}{I_{t.sf.y1}} = -0.729 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c.o.sf.y1} := \frac{N_{sf.y1}}{A_{t.sf.y1}} + \frac{M_{t.sf.y1} \cdot (y_{o.s.y1} - y_{t.sf.y1})}{I_{t.sf.y1}} = 1.143 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c.u.sf.y1} := \frac{N_{sf.y1}}{A_{t.sf.y1}} + \frac{M_{t.sf.y1} \cdot (y_{u.s.y1} - y_{t.sf.y1})}{I_{t.sf.y1}} = -6.201 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**FS**

$$n_{fs,y1} = 17 \quad f_{n,fs,y1} := \frac{n_{fs,y1}}{b_{fs,y}} \cdot m = 3.269$$

$$A_{p,fs,y1} := A_p \cdot f_{n,fs,y1} = 490.385 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,fs,y1} := A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,fs,y1} = 2.572 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t,fs,y1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,fs,y1} \cdot e_{felt,y1}}{A_{t,fs,y1}} = 0.433 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,fs,y1} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t,fs,y1}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,fs,y1} \cdot (e_{felt,y1} - y_{t,fs,y1})^2$$

$$I_{t,fs,y1} = 1.387 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{fs,y1} := -F_{p0} \cdot f_{n,fs,y1} = -610.692 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t,fs,y1} := -N_{fs,y1} \cdot (e_{felt,y1} - y_{t,fs,y1}) = 30.942 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c,t,fs,y1} := \frac{N_{fs,y1}}{A_{t,fs,y1}} + \frac{M_{t,fs,y1} \cdot (e_{felt,y1} - y_{t,fs,y1})}{I_{t,fs,y1}} = -1.245 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$y_{o,f,y1} := -\frac{t_y}{2} = -127.5 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c,o,fs,y1} := \frac{N_{fs,y1}}{A_{t,fs,y1}} + \frac{M_{t,fs,y1} \cdot (y_{o,f,y1} - y_{t,fs,y1})}{I_{t,fs,y1}} = -5.228 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i underkant

$$y_{u,f,y1} := \frac{t_y}{2} = 127.5 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c,u,fs,y1} := \frac{N_{fs,y1}}{A_{t,fs,y1}} + \frac{M_{t,fs,y1} \cdot (y_{u,f,y1} - y_{t,fs,y1})}{I_{t,fs,y1}} = 0.459 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strek})$$

**FF**

$$n_{ff,y1} = 18 \quad f_{n,ff,y1} := \frac{n_{ff,y1}}{b_{ff,y}} \cdot m = 3.462$$

$$A_{p,ff,y1} := A_p \cdot f_{n,ff,y1} = 519.231 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,ff,y1} := A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ff,y1} = 2.573 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t,ff,y1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,ff,y1} \cdot e_{felt,y1}}{A_{t,ff,y1}} = 0.458 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,ff,y1} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t,ff,y1}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ff,y1} \cdot (e_{felt,y1} - y_{t,ff,y1})^2$$

$$I_{t,ff,y1} = 1.388 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ff,y1} := -F_{p0} \cdot f_{n,ff,y1} = -646.615 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t,ff,y1} := -N_{ff,y1} \cdot (e_{felt,y1} - y_{t,ff,y1}) = 32.746 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c,t,ff,y1} := \frac{N_{ff,y1}}{A_{t,ff,y1}} + \frac{M_{t,ff,y1} \cdot (e_{felt,y1} - y_{t,ff,y1})}{I_{t,ff,y1}} = -1.318 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c,o,ff,y1} := \frac{N_{ff,y1}}{A_{t,ff,y1}} + \frac{M_{t,ff,y1} \cdot (y_{o,f,y1} - y_{t,ff,y1})}{I_{t,ff,y1}} = -5.532 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c,u,ff,y1} := \frac{N_{ff,y1}}{A_{t,ff,y1}} + \frac{M_{t,ff,y1} \cdot (y_{u,f,y1} - y_{t,ff,y1})}{I_{t,ff,y1}} = 0.485 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

**For platestripe  $y_2$ :**

$$e_{st\ddot{o}tte,y2} := 62.5 \text{mm}$$

$$e_{felt,y2} := 53.2 \text{mm}$$

**SS1**

$$n_{ss1,y2} = 9 \quad f_{n,ss1,y2} := \frac{n_{ss1,y2}}{b_{ss1,y}} \cdot m = 3.462$$

$$A_{p.ss1.y2} := A_p \cdot f_{n.ss1.y2} = 519.231 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ss1.y2} := A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss1.y2} = 2.573 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.ss1.y2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.ss1.y2} \cdot e_{st\ddot{o}tte.y2}}{A_{t.ss1.y2}} = 0.561 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ss1.y2} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t.ss1.y2}^2 \cdot A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss1.y2} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.y2} - y_{t.ss1.y2})^2$$

$$I_{t.ss1.y2} = 1.391 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ss1.y2} := -F_{p0} \cdot f_{n.ss1.y2} = -646.615 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.ss1.y2} := -N_{ss1.y2} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.y2} - y_{t.ss1.y2}) = 40.051 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.ss1.y2} := \frac{N_{ss1.y2}}{A_{t.ss1.y2}} + \frac{M_{t.ss1.y2} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.y2} - y_{t.ss1.y2})}{I_{t.ss1.y2}} = -0.729 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$y_{o.s.y2} := \frac{t_y}{2} = 127.5 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.o.ss1.y2} := \frac{N_{ss1.y2}}{A_{t.ss1.y2}} + \frac{M_{t.ss1.y2} \cdot (y_{o.s.y2} - y_{t.ss1.y2})}{I_{t.ss1.y2}} = 1.143 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$y_{u.s.y2} := -\frac{t_y}{2} = -127.5 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.u.ss1.y2} := \frac{N_{ss1.y2}}{A_{t.ss1.y2}} + \frac{M_{t.ss1.y2} \cdot (y_{u.s.y2} - y_{t.ss1.y2})}{I_{t.ss1.y2}} = -6.201 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**SS2**

$$n_{ss2.y2} = 8 \quad f_{n.ss2.y2} := \frac{n_{ss2.y2}}{b_{ss2.y}} \cdot m = 3.077$$

$$A_{p.ss2.y2} := A_p \cdot f_{n.ss2.y2} = 461.538 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ss2.y2} := A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.y2} = 2.571 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.ss2.y2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.y2} \cdot e_{støtte.y2}}{A_{t.ss2.y2}} = 0.499 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ss2.y2} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t.ss2.y2}^2 \cdot A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.y2} \cdot (e_{støtte.y2} - y_{t.ss2.y2})^2$$

$$I_{t.ss2.y2} = 1.39 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ss2.y2} := -F_{p0} \cdot f_{n.ss2.y2} = -574.769 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.ss2.y2} := -N_{ss2.y2} \cdot (e_{støtte.y2} - y_{t.ss2.y2}) = 35.636 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.ss2.y2} := \frac{N_{ss2.y2}}{A_{t.ss2.y2}} + \frac{M_{t.ss2.y2} \cdot (e_{støtte.y2} - y_{t.ss2.y2})}{I_{t.ss2.y2}} = -0.646 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c.o.ss2.y2} := \frac{N_{ss2.y2}}{A_{t.ss2.y2}} + \frac{M_{t.ss2.y2} \cdot (y_{o.s.y2} - y_{t.ss2.y2})}{I_{t.ss2.y2}} = 1.021 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c.u.ss2.y2} := \frac{N_{ss2.y2}}{A_{t.ss2.y2}} + \frac{M_{t.ss2.y2} \cdot (y_{u.s.y2} - y_{t.ss2.y2})}{I_{t.ss2.y2}} = -5.518 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**SF**

$$n_{sf.y2} = 18 \quad f_{n.sf.y2} := \frac{n_{sf.y2}}{b_{sf.y}} \cdot m = 3.462$$

$$A_{p.sf.y2} := A_p \cdot f_{n.sf.y2} = 519.231 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.sf.y2} := A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.sf.y2} = 2.573 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.sf.y2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.sf.y2} \cdot e_{støtte.y2}}{A_{t.sf.y2}} = 0.561 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.sf.y2} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t.sf.y2}^2 \cdot A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.sf.y2} \cdot (e_{støtte.y2} - y_{t.sf.y2})^2$$

$$I_{t.sf.y2} = 1.391 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{sf,y2} := -F_{p0} \cdot f_{n,sf,y2} = -646.615 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t,sf,y2} := -N_{sf,y2} \cdot (e_{st\ddot{o}tte,y2} - y_{t,sf,y2}) = 40.051 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c,t,sf,y2} := \frac{N_{sf,y2}}{A_{t,sf,y2}} + \frac{M_{t,sf,y2} \cdot (e_{st\ddot{o}tte,y2} - y_{t,sf,y2})}{I_{t,sf,y2}} = -0.729 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c,o,sf,y2} := \frac{N_{sf,y2}}{A_{t,sf,y2}} + \frac{M_{t,sf,y2} \cdot (y_{o,s,y2} - y_{t,sf,y2})}{I_{t,sf,y2}} = 1.143 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c,u,sf,y2} := \frac{N_{sf,y2}}{A_{t,sf,y2}} + \frac{M_{t,sf,y2} \cdot (y_{u,s,y2} - y_{t,sf,y2})}{I_{t,sf,y2}} = -6.201 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**FS**

$$n_{fs,y2} = 17 \quad f_{n,fs,y2} := \frac{n_{fs,y2}}{b_{fs,y}} \cdot m = 3.269$$

$$A_{p,fs,y2} := A_p \cdot f_{n,fs,y2} = 490.385 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,fs,y2} := A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,fs,y2} = 2.572 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t,fs,y2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,fs,y2} \cdot e_{felt,y2}}{A_{t,fs,y2}} = 0.451 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,fs,y2} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t,fs,y2}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,fs,y2} \cdot (e_{felt,y2} - y_{t,fs,y2})^2$$

$$I_{t,fs,y2} = 1.388 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{fs,y2} := -F_{p0} \cdot f_{n,fs,y2} = -610.692 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t,fs,y2} := -N_{fs,y2} \cdot (e_{felt,y2} - y_{t,fs,y2}) = 32.214 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen



$$\sigma_{c.t.fs.y2} := \frac{N_{fs.y2}}{A_{t.fs.y2}} + \frac{M_{t.fs.y2} \cdot (e_{felt.y2} - y_{t.fs.y2})}{I_{t.fs.y2}} = -1.15 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$y_{o.f.y2} := -\frac{t_y}{2} = -127.5 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.o.fs.y2} := \frac{N_{fs.y2}}{A_{t.fs.y2}} + \frac{M_{t.fs.y2} \cdot (y_{o.f.y2} - y_{t.fs.y2})}{I_{t.fs.y2}} = -5.344 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i underkant

$$y_{u.f.y2} := \frac{t_y}{2} = 127.5 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.u.fs.y2} := \frac{N_{fs.y2}}{A_{t.fs.y2}} + \frac{M_{t.fs.y2} \cdot (y_{u.f.y2} - y_{t.fs.y2})}{I_{t.fs.y2}} = 0.574 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

**FF**

$$n_{ff.y2} = 18 \quad f_{n.ff.y2} := \frac{n_{ff.y2}}{b_{ff.y}} \cdot m = 3.462$$

$$A_{p.ff.y2} := A_p \cdot f_{n.ff.y2} = 519.231 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ff.y2} := A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ff.y2} = 2.573 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.ff.y2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.ff.y2} \cdot e_{felt.y2}}{A_{t.ff.y2}} = 0.477 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ff.y2} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t.ff.y2}^2 \cdot A_{c.y} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ff.y2} \cdot (e_{felt.y2} - y_{t.ff.y2})^2$$

$$I_{t.ff.y2} = 1.388 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ff.y2} := -F_{p0} \cdot f_{n.ff.y2} = -646.615 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.ff.y2} := -N_{ff.y2} \cdot (e_{felt.y2} - y_{t.ff.y2}) = 34.091 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.ff.y2} := \frac{N_{ff.y2}}{A_{t.ff.y2}} + \frac{M_{t.ff.y2} \cdot (e_{felt.y2} - y_{t.ff.y2})}{I_{t.ff.y2}} = -1.218 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c.o.ff.y2} := \frac{N_{ff.y2}}{A_{t.ff.y2}} + \frac{M_{t.ff.y2} \cdot (y_{o.f.y2} - y_{t.ff.y2})}{I_{t.ff.y2}} = -5.656 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c.u.ff.y2} := \frac{N_{ff.y2}}{A_{t.ff.y2}} + \frac{M_{t.ff.y2} \cdot (y_{u.f.y2} - y_{t.ff.y2})}{I_{t.ff.y2}} = 0.606 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

For platestripe  $x_1$ :

$$e_{st\ddot{o}tte.x1} := 65 \text{ mm}$$

$$e_{felt.x1} := 53.2 \text{ mm}$$

**SS1**

$$n_{ss1.x1} = 8 \quad f_{n.ss1.x1} := \frac{n_{ss1.x1}}{b_{ss1.x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p.ss1.x1} := A_p \cdot f_{n.ss1.x1} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ss1.x1} := A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss1.x1} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.ss1.x1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.ss1.x1} \cdot e_{st\ddot{o}tte.x1}}{A_{t.ss1.x1}} = 0.761 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ss1.x1} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.ss1.x1}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss1.x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x1} - y_{t.ss1.x1})^2$$

$$I_{t.ss1.x1} = 2.265 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ss1.x1} := -F_{p0} \cdot f_{n.ss1.x1} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.ss1.x1} := -N_{ss1.x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x1} - y_{t.ss1.x1}) = 63.999 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.ss1.x1} := \frac{N_{ss1.x1}}{A_{t.ss1.x1}} + \frac{M_{t.ss1.x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x1} - y_{t.ss1.x1})}{I_{t.ss1.x1}} = -1.467 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$y_{o.s.x1} := \frac{t_x}{2} = 150 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.o.ss1.x1} := \frac{N_{ss1.x1}}{A_{t.ss1.x1}} + \frac{M_{t.ss1.x1} \cdot (y_{o.s.x1} - y_{t.ss1.x1})}{I_{t.ss1.x1}} = 0.935 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$y_{u.s.x1} := -\frac{t_x}{2} = -150 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.u.ss1.x1} := \frac{N_{ss1.x1}}{A_{t.ss1.x1}} + \frac{M_{t.ss1.x1} \cdot (y_{u.s.x1} - y_{t.ss1.x1})}{I_{t.ss1.x1}} = -7.542 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**SS2**

$$n_{ss2.x1} = 8 \quad f_{n.ss2.x1} := \frac{n_{ss2.x1}}{b_{ss2.x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p.ss2.x1} := A_p \cdot f_{n.ss2.x1} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ss2.x1} := A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.x1} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.ss2.x1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.x1} \cdot e_{st\ddot{o}tte.x1}}{A_{t.ss2.x1}} = 0.761 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ss2.x1} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.ss2.x1}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x1} - y_{t.ss2.x1})^2$$

$$I_{t.ss2.x1} = 2.265 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ss2.x1} := -F_{p0} \cdot f_{n.ss2.x1} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.ss2.x1} := -N_{ss2.x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x1} - y_{t.ss2.x1}) = 63.999 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.ss2.x1} := \frac{N_{ss2.x1}}{A_{t.ss2.x1}} + \frac{M_{t.ss2.x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x1} - y_{t.ss2.x1})}{I_{t.ss2.x1}} = -1.467 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c.o.ss2.x1} := \frac{N_{ss2.x1}}{A_{t.ss2.x1}} + \frac{M_{t.ss2.x1} \cdot (y_{o.s.x1} - y_{t.ss2.x1})}{I_{t.ss2.x1}} = 0.935 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c.u.ss2.x1} := \frac{N_{ss2.x1}}{A_{t.ss2.x1}} + \frac{M_{t.ss2.x1} \cdot (y_{u.s.x1} - y_{t.ss2.x1})}{I_{t.ss2.x1}} = -7.542 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**SF**

$$n_{sf.x1} = 16 \quad f_{n.sf.x1} := \frac{n_{sf.x1}}{b_{sf.x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p.sf.x1} := A_p \cdot f_{n.sf.x1} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.sf.x1} := A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.sf.x1} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.sf.x1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.sf.x1} \cdot e_{st\ddot{o}tte.x1}}{A_{t.sf.x1}} = 0.761 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.sf.x1} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.sf.x1}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.sf.x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x1} - y_{t.sf.x1})^2$$

$$I_{t.sf.x1} = 2.265 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{sf.x1} := -F_{p0} \cdot f_{n.sf.x1} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.sf.x1} := -N_{sf.x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x1} - y_{t.sf.x1}) = 63.999 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.sf.x1} := \frac{N_{sf.x1}}{A_{t.sf.x1}} + \frac{M_{t.sf.x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x1} - y_{t.sf.x1})}{I_{t.sf.x1}} = -1.467 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c.o.sf.x1} := \frac{N_{sf.x1}}{A_{t.sf.x1}} + \frac{M_{t.sf.x1} \cdot (y_{o.s.x1} - y_{t.sf.x1})}{I_{t.sf.x1}} = 0.935 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c.u.sf.x1} := \frac{N_{sf.x1}}{A_{t.sf.x1}} + \frac{M_{t.sf.x1} \cdot (y_{u.s.x1} - y_{t.sf.x1})}{I_{t.sf.x1}} = -7.542 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**FS**

$$n_{fs.x1} = 16 \quad f_{n.fs.x1} := \frac{n_{fs.x1}}{b_{fs.x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p.fs.x1} := A_p \cdot f_{n.fs.x1} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.fs.x1} := A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.fs.x1} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.fs.x1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.fs.x1} \cdot e_{felt.x1}}{A_{t.fs.x1}} = 0.623 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.fs.x1} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.fs.x1}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.fs.x1} \cdot (e_{felt.x1} - y_{t.fs.x1})^2$$

$$I_{t.fs.x1} = 2.26 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{fs.x1} := -F_{p0} \cdot f_{n.fs.x1} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.fs.x1} := -N_{fs.x1} \cdot (e_{felt.x1} - y_{t.fs.x1}) = 52.381 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

## Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.fs.x1} := \frac{N_{fs.x1}}{A_{t.fs.x1}} + \frac{M_{t.fs.x1} \cdot (e_{felt.x1} - y_{t.fs.x1})}{I_{t.fs.x1}} = -2.063 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

## Spenning i overkant

$$y_{o.f.x1} := -\frac{t_x}{2} = -150 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.o.fs.x1} := \frac{N_{fs.x1}}{A_{t.fs.x1}} + \frac{M_{t.fs.x1} \cdot (y_{o.f.x1} - y_{t.fs.x1})}{I_{t.fs.x1}} = -6.773 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

## Spenning i underkant

$$y_{u.f.x1} := \frac{t_x}{2} = 150 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.u.fs.x1} := \frac{N_{fs.x1}}{A_{t.fs.x1}} + \frac{M_{t.fs.x1} \cdot (y_{u.f.x1} - y_{t.fs.x1})}{I_{t.fs.x1}} = 0.18 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

**FF**

$$n_{ff.x1} = 16 \quad f_{n.ff.x1} := \frac{n_{ff.x1}}{b_{ff.x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p,ff,x1} := A_p \cdot f_{n,ff,x1} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,ff,x1} := A_{c,x} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ff,x1} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t,ff,x1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,ff,x1} \cdot e_{felt,x1}}{A_{t,ff,x1}} = 0.623 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,ff,x1} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t,ff,x1}^2 \cdot A_{c,x} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ff,x1} \cdot (e_{felt,x1} - y_{t,ff,x1})^2$$

$$I_{t,ff,x1} = 2.26 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ff,x1} := -F_{p0} \cdot f_{n,ff,x1} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t,ff,x1} := -N_{ff,x1} \cdot (e_{felt,x1} - y_{t,ff,x1}) = 52.381 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c,t,ff,x1} := \frac{N_{ff,x1}}{A_{t,ff,x1}} + \frac{M_{t,ff,x1} \cdot (e_{felt,x1} - y_{t,ff,x1})}{I_{t,ff,x1}} = -2.063 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c,o,ff,x1} := \frac{N_{ff,x1}}{A_{t,ff,x1}} + \frac{M_{t,ff,x1} \cdot (y_{o,f,x1} - y_{t,ff,x1})}{I_{t,ff,x1}} = -6.773 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c,u,ff,x1} := \frac{N_{ff,x1}}{A_{t,ff,x1}} + \frac{M_{t,ff,x1} \cdot (y_{u,f,x1} - y_{t,ff,x1})}{I_{t,ff,x1}} = 0.18 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

**For platestripe  $x_2$ :**

$$e_{st\ddot{o}tte,x2} := 65 \text{mm}$$

$$e_{felt,x2} := 51.1 \text{mm}$$

**SS1**

$$n_{ss1,x2} = 8 \quad f_{n,ss1,x2} := \frac{n_{ss1,x2}}{b_{ss1,x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p.ss1.x2} := A_p \cdot f_{n.ss1.x2} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ss1.x2} := A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss1.x2} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.ss1.x2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.ss1.x2} \cdot e_{støtte.x2}}{A_{t.ss1.x2}} = 0.761 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ss1.x2} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.ss1.x2}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss1.x2} \cdot (e_{støtte.x2} - y_{t.ss1.x2})^2$$

$$I_{t.ss1.x2} = 2.265 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ss1.x2} := -F_{p0} \cdot f_{n.ss1.x2} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.ss1.x2} := -N_{ss1.x2} \cdot (e_{støtte.x2} - y_{t.ss1.x2}) = 63.999 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.ss1.x2} := \frac{N_{ss1.x2}}{A_{t.ss1.x2}} + \frac{M_{t.ss1.x2} \cdot (e_{støtte.x2} - y_{t.ss1.x2})}{I_{t.ss1.x2}} = -1.467 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$y_{o.s.x2} := \frac{t_x}{2} = 150 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.o.ss1.x2} := \frac{N_{ss1.x2}}{A_{t.ss1.x2}} + \frac{M_{t.ss1.x2} \cdot (y_{o.s.x2} - y_{t.ss1.x2})}{I_{t.ss1.x2}} = 0.935 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$y_{u.s.x2} := -\frac{t_x}{2} = -150 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.u.ss1.x2} := \frac{N_{ss1.x2}}{A_{t.ss1.x2}} + \frac{M_{t.ss1.x2} \cdot (y_{u.s.x2} - y_{t.ss1.x2})}{I_{t.ss1.x2}} = -7.542 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**SS2**

$$n_{ss2.x2} = 8 \quad f_{n.ss2.x2} := \frac{n_{ss2.x2}}{b_{ss2.x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p.ss2.x2} := A_p \cdot f_{n.ss2.x2} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ss2.x2} := A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.x2} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.ss2.x2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.x2} \cdot e_{støtte.x2}}{A_{t.ss2.x2}} = 0.761 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ss2.x2} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.ss2.x2}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss2.x2} \cdot (e_{støtte.x2} - y_{t.ss2.x2})^2$$

$$I_{t.ss2.x2} = 2.265 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ss2.x2} := -F_{p0} \cdot f_{n.ss2.x2} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.ss2.x2} := -N_{ss2.x2} \cdot (e_{støtte.x2} - y_{t.ss2.x2}) = 63.999 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.ss2.x2} := \frac{N_{ss2.x2}}{A_{t.ss2.x2}} + \frac{M_{t.ss2.x2} \cdot (e_{støtte.x2} - y_{t.ss2.x2})}{I_{t.ss2.x2}} = -1.467 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c.o.ss2.x2} := \frac{N_{ss2.x2}}{A_{t.ss2.x2}} + \frac{M_{t.ss2.x2} \cdot (y_{o.s.x2} - y_{t.ss2.x2})}{I_{t.ss2.x2}} = 0.935 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c.u.ss2.x2} := \frac{N_{ss2.x2}}{A_{t.ss2.x2}} + \frac{M_{t.ss2.x2} \cdot (y_{u.s.x2} - y_{t.ss2.x2})}{I_{t.ss2.x2}} = -7.542 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**SF**

$$n_{sf.x2} = 16 \quad f_{n.sf.x2} := \frac{n_{sf.x2}}{b_{sf.x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p.sf.x2} := A_p \cdot f_{n.sf.x2} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.sf.x2} := A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.sf.x2} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.sf.x2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.sf.x2} \cdot e_{støtte.x2}}{A_{t.sf.x2}} = 0.761 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.sf.x2} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.sf.x2}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.sf.x2} \cdot (e_{støtte.x2} - y_{t.sf.x2})^2$$

$$I_{t.sf.x2} = 2.265 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$



$$N_{sf.x2} := -F_{p0} \cdot f_{n.sf.x2} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.sf.x2} := -N_{sf.x2} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x2} - y_{t.sf.x2}) = 63.999 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.sf.x2} := \frac{N_{sf.x2}}{A_{t.sf.x2}} + \frac{M_{t.sf.x2} \cdot (e_{st\ddot{o}tte.x2} - y_{t.sf.x2})}{I_{t.sf.x2}} = -1.467 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c.o.sf.x2} := \frac{N_{sf.x2}}{A_{t.sf.x2}} + \frac{M_{t.sf.x2} \cdot (y_{o.s.x2} - y_{t.sf.x2})}{I_{t.sf.x2}} = 0.935 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c.u.sf.x2} := \frac{N_{sf.x2}}{A_{t.sf.x2}} + \frac{M_{t.sf.x2} \cdot (y_{u.s.x2} - y_{t.sf.x2})}{I_{t.sf.x2}} = -7.542 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

**FS**

$$n_{fs.x2} = 16 \quad f_{n.fs.x2} := \frac{n_{fs.x2}}{b_{fs.x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p.fs.x2} := A_p \cdot f_{n.fs.x2} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.fs.x2} := A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.fs.x2} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.fs.x2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.fs.x2} \cdot e_{felt.x2}}{A_{t.fs.x2}} = 0.599 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.fs.x2} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.fs.x2}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.fs.x2} \cdot (e_{felt.x2} - y_{t.fs.x2})^2$$

$$I_{t.fs.x2} = 2.259 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{fs.x2} := -F_{p0} \cdot f_{n.fs.x2} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.fs.x2} := -N_{fs.x2} \cdot (e_{felt.x2} - y_{t.fs.x2}) = 50.313 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.fs.x2} := \frac{N_{fs.x2}}{A_{t.fs.x2}} + \frac{M_{t.fs.x2} \cdot (e_{felt.x2} - y_{t.fs.x2})}{I_{t.fs.x2}} = -2.157 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$y_{o.f.x2} := -\frac{t_x}{2} = -150 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.o.fs.x2} := \frac{N_{fs.x2}}{A_{t.fs.x2}} + \frac{M_{t.fs.x2} \cdot (y_{o.f.x2} - y_{t.fs.x2})}{I_{t.fs.x2}} = -6.636 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i underkant

$$y_{u.f.x2} := \frac{t_x}{2} = 150 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{c.u.fs.x2} := \frac{N_{fs.x2}}{A_{t.fs.x2}} + \frac{M_{t.fs.x2} \cdot (y_{u.f.x2} - y_{t.fs.x2})}{I_{t.fs.x2}} = 0.045 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

**FF**

$$n_{ff.x2} = 16 \quad f_{n.ff.x2} := \frac{n_{ff.x2}}{b_{ff.x}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p.ff.x2} := A_p \cdot f_{n.ff.x2} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ff.x2} := A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ff.x2} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t.ff.x2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p.ff.x2} \cdot e_{felt.x2}}{A_{t.ff.x2}} = 0.599 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ff.x2} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.ff.x2}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ff.x2} \cdot (e_{felt.x2} - y_{t.ff.x2})^2$$

$$I_{t.ff.x2} = 2.259 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$N_{ff.x2} := -F_{p0} \cdot f_{n.ff.x2} = -996.267 \cdot \text{kN}$$

$$M_{t.ff.x2} := -N_{ff.x2} \cdot (e_{felt.x2} - y_{t.ff.x2}) = 50.313 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Spenning ved spennarmeringen

$$\sigma_{c.t.ff.x2} := \frac{N_{ff.x2}}{A_{t.ff.x2}} + \frac{M_{t.ff.x2} \cdot (e_{felt.x2} - y_{t.ff.x2})}{I_{t.ff.x2}} = -2.157 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i overkant

$$\sigma_{c.o.ff.x2} := \frac{N_{ff.x2}}{A_{t.ff.x2}} + \frac{M_{t.ff.x2} \cdot (y_{o.f.x2} - y_{t.ff.x2})}{I_{t.ff.x2}} = -6.636 \cdot \text{MPa} \quad (\text{trykk})$$

Spenning i underkant

$$\sigma_{c.u.ff.x2} := \frac{N_{ff.x2}}{A_{t.ff.x2}} + \frac{M_{t.ff.x2} \cdot (y_{u.f.x2} - y_{t.ff.x2})}{I_{t.ff.x2}} = 0.045 \cdot \text{MPa} \quad (\text{strekk})$$

### Kontroll trykkspenning

Trykkspenning bør ikke overskride:

$$0.6 \cdot f_{ck} = 27 \cdot \text{MPa} \quad \text{Dette opprettholdes for alle utregnede trykkspenninger}$$

Det trengs ikke tas hensyn til krepets ikke-linearitet dersom trykkspenningene begrenses til:

$$0.45 \cdot f_{ck} = 20.25 \cdot \text{MPa} \quad \text{Opprettholdes for alle utregnede trykkspenninger}$$

### Nedbøyning

Antar risset tverrsnitt

For å finne total nedbøyning, vil det regnes ut summen nedbøyning for søylestripe i x-retning og for feltstripe i y-retning. Og motsatt; summen av nedbøyning for søylestripe i y-retning og for feltstripe i x-retning. Gjennomsnittsverdien av disse to vil være den totale nedbøyningen for midten av feltet.

Det vil også tas hensyn til bidrag fra spennarmeringen (ekvivalente krefter).

### Stivheter

På grunn av antatt risset tverrsnitt, vil stivheten beregnes med bidrag fra slakkarmeringen. [10]

$$\alpha := 0.412$$

$$\xi := \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)(1 - \alpha) = 0.507$$

$$\eta_{cm} := \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.556 \quad \eta_{cL} := \frac{E_s}{E_{cL}} = 15.194$$

$$A_{s,\emptyset 12} := \pi \cdot (6\text{mm})^2 = 113.097 \cdot \text{mm}^2$$

**Platstripe Y<sub>1</sub>**

$$b_{ss,y1} := (2 \cdot 0.125 + 2 \cdot 0.125) \cdot b_y = 5.2 \text{ m}$$

$$n_{ss,y1} := 17 \quad f_{n,ss,y1} := \frac{n_{ss,y1}}{b_{ss,y1}} \cdot m = 3.269$$

$$A_{p,ss,y1} := A_p \cdot f_{n,ss,y1} = 490.385 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,ss,y1} := A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ss,y1} = 2.572 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t,ss,y1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,ss,y1} \cdot e_{st\ddot{o}tte,y1}}{A_{t,ss,y1}} = 0.53 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,ss,y1} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t,ss,y1}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ss,y1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte,y1} - y_{t,ss,y1})^2$$

$$I_{t,ss,y1} = 1.39 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{ss,y1} := 18 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 2.036 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{sf,y1} := 17 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.923 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

**Platstripe Y<sub>2</sub>**

$$b_{ss,y2} := (2 \cdot 0.125 + 2 \cdot 0.125) \cdot b_y = 5.2 \text{ m}$$

$$n_{ss,y2} := 17 \quad f_{n,ss,y2} := \frac{n_{ss,y2}}{b_{ss,y2}} \cdot m = 3.269$$

$$A_{p,ss,y2} := A_p \cdot f_{n,ss,y2} = 490.385 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,ss,y2} := A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ss,y2} = 2.572 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t,ss,y2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,ss,y2} \cdot e_{st\ddot{o}tte,y2}}{A_{t,ss,y2}} = 0.53 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,ss,y2} := \frac{b_w \cdot t_y^3}{12} + y_{t,ss,y2}^2 \cdot A_{c,y} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ss,y2} \cdot (e_{st\ddot{o}tte,y2} - y_{t,ss,y2})^2$$

$$I_{t,ss,y2} = 1.39 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{ss,y2} := 18 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 2.036 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{sf,y2} := 17 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.923 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

### Platestripe X<sub>1</sub>

$$b_{ss,x1} := (2 \cdot 0.125 + 2 \cdot 0.125) \cdot b_x = 3 \text{ m}$$

$$n_{ss,x1} := 16 \quad f_{n,ss,x1} := \frac{n_{ss,x1}}{b_{ss,x1}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p,ss,x1} := A_p \cdot f_{n,ss,x1} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,ss,x1} := A_{c,x} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ss,x1} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t,ss,x1} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,ss,x1} \cdot e_{st\ddot{o}tte,x1}}{A_{t,ss,x1}} = 0.761 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t,ss,x1} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t,ss,x1}^2 \cdot A_{c,x} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ss,x1} \cdot (e_{st\ddot{o}tte,x1} - y_{t,ss,x1})^2$$

$$I_{t,ss,x1} = 2.265 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{ss,x1} := 12 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.357 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{sf,x1} := 11 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.244 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

### Platestripe X<sub>2</sub>

$$b_{ss,x2} := (2 \cdot 0.125 + 2 \cdot 0.125) \cdot b_x = 3 \text{ m}$$

$$n_{ss,x2} := 16 \quad f_{n,ss,x2} := \frac{n_{ss,x2}}{b_{ss,x2}} \cdot m = 5.333$$

$$A_{p,ss,x2} := A_p \cdot f_{n,ss,x2} = 800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,ss,x2} := A_{c,x} + (\eta - 1) \cdot A_{p,ss,x2} = 3.036 \times 10^5 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{t,ss,x2} := \frac{(\eta - 1) \cdot A_{p,ss,x2} \cdot e_{st\ddot{o}tte,x2}}{A_{t,ss,x2}} = 0.761 \cdot \text{mm}$$

$$I_{t.ss.x2} := \frac{b_w \cdot t_x^3}{12} + y_{t.ss.x2}^2 \cdot A_{c.x} + (\eta - 1) \cdot A_{p.ss.x2} \cdot (e_{støtte.x2} - y_{t.ss.x2})^2$$

$$I_{t.ss.x2} = 2.265 \times 10^9 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{ss.x2} := 12 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.357 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{sf.x2} := 11 \cdot A_{s,\emptyset 12} = 1.244 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

### Platetripe $y_1$

#### Søylestripe

##### Stivheter

$$EI_{1,k.ss.y1} := E_{cm} \cdot I_{t.ss.y1} = 5.005 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{korttidslast}$$

$$EI_{1,L.ss.y1} := E_{cL} \cdot I_{t.ss.y1} = 1.83 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{langtidslast}$$

$$EI_{2.ss.y1} := E_s \cdot A_{ss.y1} \cdot d^2 \cdot \xi = 7.813 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

##### Stivhet korttidslast

$$EI_{k.ss.y1} := EI_{1,k.ss.y1} + EI_{2.ss.y1} = 5.786 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

##### Stivhet langtidslast

$$EI_{L.ss.y1} := EI_{1,L.ss.y1} + EI_{2.ss.y1} = 2.611 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

##### Nedbøyning ytre laster

$$q_{sls.y1} := 5.376 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Lasten er hentet fra maks momentene for bruksgrensetilstand i vedlegg 2; } q = 8\text{M/l}^2$$

##### Korttid

$$\delta_{k.ss.y1} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sls.y1} \cdot L_{f5,y}^4}{EI_{k.ss.y1}} = 0.766 \cdot \text{mm}$$

##### Langtid

$$\delta_{L.ss.y1} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sls.y1} \cdot L_{f5,y}^4}{EI_{L.ss.y1}} = 1.696 \cdot \text{mm}$$

Nedbøyningsbidrag fra ekvivalente krefter

Over infleksjonslengder

$$q_{oi.ss.f5.y1} := 78.907 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$a_y := 0.1 \cdot b_y = 1.04 \text{ m}$$

$$\alpha_y := \frac{a_y}{L_{f5.y}} = 0.139$$

$$\delta_{k.oi.ss.y1} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.ss.f5.y1} \cdot a_y^2 \cdot L_{f5.y}^2}{EI_{k.ss.y1}} \cdot (1.5 - \alpha_y^2) = 2.56 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.oi.ss.y1} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.ss.f5.y1} \cdot a_y^2 \cdot L_{f5.y}^2}{EI_{L.ss.y1}} \cdot (1.5 - \alpha_y^2) = 5.672 \cdot \text{mm}$$

Mellom infleksjonslengder

$$q_{mi.ss.f5.y1} := 2.621 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\beta_y := \alpha_y$$

$$\delta_{k.mi.ss.y1} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.ss.f5.y1} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{k.ss.y1}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_y^2 + 8 \cdot \alpha_y^4 - 12 \cdot \beta_y^2 + 8 \cdot \beta_y^4) = -1.696 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.mi.ss.y1} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.ss.f5.y1} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{L.ss.y1}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_y^2 + 8 \cdot \alpha_y^4 - 12 \cdot \beta_y^2 + 8 \cdot \beta_y^4) = -3.759 \cdot \text{mm}$$

## Feltstripe

Stivheter

$$EI_{1.k.sf.y1} := E_{cm} \cdot I_{t.sf.y1} = 5.007 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{korttidslast}$$

$$EI_{1.L.sf.y1} := E_{cL} \cdot I_{t.sf.y1} = 1.831 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{langtidslast}$$

$$EI_{2.sf.y1} := E_s \cdot A_{sf.y1} \cdot d^2 \cdot \xi = 7.379 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet korttidslast

$$EI_{k.sf.y1} := EI_{1.k.sf.y1} + EI_{2.sf.y1} = 5.744 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet langtidslast

$$EI_{L.sf.y1} := EI_{1.L.sf.y1} + EI_{2.sf.y1} = 2.568 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Nedbøyning ytre laster

Korttid

$$\delta_{k.sf.y1} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sfs.y1} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{k.sf.y1}} = 0.771 \cdot \text{mm}$$

Langtid

$$\delta_{L.sf.y1} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sfs.y1} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{L.sf.y1}} = 1.725 \cdot \text{mm}$$

Nedbøyningsbidrag fra ekvivalente krefter

Over infleksjonslengder

$$q_{oi.sf.f5.y1} := 74.237 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.oi.sf.y1} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.sf.f5.y1} \cdot a_y^2 \cdot L_{f5.y}^2}{EI_{k.sf.y1}} \cdot (1.5 - \alpha_y^2) = 2.426 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.oi.sf.y1} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.sf.f5.y1} \cdot a_y^2 \cdot L_{f5.y}^2}{EI_{L.sf.y1}} \cdot (1.5 - \alpha_y^2) = 5.425 \cdot \text{mm}$$

Mellom infleksjonslengder

$$q_{mi.sf.f5.y1} := 2.774 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.mi.sf.y1} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.sf.f5.y1} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{k.sf.y1}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_y^2 + 8 \cdot \alpha_y^4 - 12 \cdot \beta_y^2 + 8 \cdot \beta_y^4) = -1.808 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.mi.sf.y1} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.sf.f5.y1} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{L.sf.y1}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_y^2 + 8 \cdot \alpha_y^4 - 12 \cdot \beta_y^2 + 8 \cdot \beta_y^4) = -4.044 \cdot \text{mm}$$

**Platestripe  $y_2$**



**Søylestripe**

$$q_{sls.y2} := 5.376 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**Stivheter**

$$EI_{1.k.ss.y2} := E_{cm} \cdot I_{t.ss.y2} = 5.005 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{korttidslast}$$

$$EI_{1.L.ss.y2} := E_{cL} \cdot I_{t.ss.y2} = 1.83 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{langtidslast}$$

$$EI_{2.ss.y2} := E_s \cdot A_{ss.y2} \cdot d^2 \cdot \xi = 7.813 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

**Stivhet korttidslast**

$$EI_{k.ss.y2} := EI_{1.k.ss.y2} + EI_{2.ss.y2} = 5.786 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

**Stivhet langtidslast**

$$EI_{L.ss.y2} := EI_{1.L.ss.y2} + EI_{2.ss.y2} = 2.611 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

**Nedbøyning ytre laster**

**Korttid**

$$\delta_{k.ss.y2} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sls.y2} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{k.ss.y2}} = 0.766 \cdot \text{mm}$$

**Langtid**

$$\delta_{L.ss.y2} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sls.y2} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{L.ss.y2}} = 1.696 \cdot \text{mm}$$

**Nedbøyningsbidrag fra ekvivalente krefter**

**Over infleksjonslengder**

$$q_{oi.ss.f5.y2} := 96.393 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.oi.ss.y2} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.ss.f5.y2} \cdot a_y^2 \cdot L_{f5.y}^2}{EI_{k.ss.y2}} \cdot (1.5 - \alpha_y^2) = 3.127 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.oi.ss.y2} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.ss.f5.y2} \cdot a_y^2 \cdot L_{f5.y}^2}{EI_{L.ss.y2}} \cdot (1.5 - \alpha_y^2) = 6.929 \cdot \text{mm}$$

**Mellom infleksjonslengder**

$$q_{mi.ss.f5.y2} := 2.419 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.mi.ss.y2} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.ss.f5.y2} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{k.ss.y2}} \cdot \left( 5 - 12 \cdot \alpha_y^2 + 8 \cdot \alpha_y^4 - 12 \cdot \beta_y^2 + 8 \cdot \beta_y^4 \right) = -1.565 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.mi.ss.y2} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.ss.f5.y2} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{L.ss.y2}} \cdot \left( 5 - 12 \cdot \alpha_y^2 + 8 \cdot \alpha_y^4 - 12 \cdot \beta_y^2 + 8 \cdot \beta_y^4 \right) = -3.469 \cdot \text{mm}$$

## Feltstripe

### Stivheter

$$EI_{1.k.sf.y2} := E_{cm} \cdot I_{t.sf.y2} = 5.007 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{korttidslast}$$

$$EI_{1.L.sf.y2} := E_{cL} \cdot I_{t.sf.y2} = 1.831 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{langtidslast}$$

$$EI_{2.sf.y2} := E_s \cdot A_{sf.y2} \cdot d^2 \cdot \xi = 7.379 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

### Stivhet korttidslast

$$EI_{k.sf.y2} := EI_{1.k.sf.y2} + EI_{2.sf.y2} = 5.744 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

### Stivhet langtidslast

$$EI_{L.sf.y2} := EI_{1.L.sf.y2} + EI_{2.sf.y2} = 2.568 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

## Nedbøyning ytre laster

### Korttid

$$\delta_{k.sf.y2} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sfs.y2} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{k.sf.y2}} = 0.771 \cdot \text{mm}$$

### Langtid

$$\delta_{L.sf.y2} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sfs.y2} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{L.sf.y2}} = 1.725 \cdot \text{mm}$$

## Nedbøyningsbidrag fra ekvivalente krefter

### Over infleksjonslengder

$$q_{oi.sf.f5.y2} := 102.024 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.oi.sf.y2} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.sf.f5.y2} \cdot a_y^2 \cdot L_{f5.y}^2}{EI_{k.sf.y2}} \cdot (1.5 - \alpha_y^2) = 3.333 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.oi.sf.y2} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.sf.f5.y2} \cdot a_y^2 \cdot L_{f5.y}^2}{EI_{L.sf.y2}} \cdot (1.5 - \alpha_y^2) = 7.455 \cdot \text{mm}$$

Mellom infleksjonslengder

$$q_{mi.sf.f5.y2} := 2.561 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.mi.sf.y2} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.sf.f5.y2} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{k.sf.y2}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_y^2 + 8 \cdot \alpha_y^4 - 12 \cdot \beta_y^2 + 8 \cdot \beta_y^4) = -1.669 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.mi.sf.y2} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.sf.f5.y2} \cdot L_{f5.y}^4}{EI_{L.sf.y2}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_y^2 + 8 \cdot \alpha_y^4 - 12 \cdot \beta_y^2 + 8 \cdot \beta_y^4) = -3.734 \cdot \text{mm}$$

### Platestripe $x_1$

#### Søylestripe

$$q_{sls.x1} := 7.655 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Stivheter

$$EI_{1.k.ss.x1} := E_{cm} \cdot I_{t.ss.x1} = 8.153 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{korttidslast}$$

$$EI_{1.L.ss.x1} := E_{cL} \cdot I_{t.ss.x1} = 2.981 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{langtidslast}$$

$$EI_{2.ss.x1} := E_s \cdot A_{ss.x1} \cdot d^2 \cdot \xi = 5.209 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet korttidslast

$$EI_{k.ss.x1} := EI_{1.k.ss.x1} + EI_{2.ss.x1} = 8.674 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet langtidslast

$$EI_{L.ss.x1} := EI_{1.L.ss.x1} + EI_{2.ss.x1} = 3.502 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Nedbøyning ytre laster

$$q_x := q \cdot b_w = 10 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Korttid

$$\delta_{k,ss,x1} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sl,s,x1} \cdot L_{f5,x}^4}{EI_{k,ss,x1}} = 2.689 \cdot \text{mm}$$

Langtid

$$\delta_{L,ss,x1} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sl,s,x1} \cdot L_{f5,x}^4}{EI_{L,ss,x1}} = 6.659 \cdot \text{mm}$$

Nedbøyningsbidrag fra ekvivalente krefter

Over infleksjonslengder

$$q_{oi,ss,f5,x1} := 53.059 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$a_x := 0.1 \cdot b_x = 0.6 \text{ m}$$

$$\alpha_x := \frac{a_x}{L_{f5,x}} = 0.058$$

$$\delta_{k,oi,ss,x1} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi,ss,f5,x1} \cdot a_x^2 \cdot L_{f5,x}^2}{EI_{k,ss,x1}} \cdot (1.5 - \alpha_x^2) = 0.743 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L,oi,ss,x1} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi,ss,f5,x1} \cdot a_x^2 \cdot L_{f5,x}^2}{EI_{L,ss,x1}} \cdot (1.5 - \alpha_x^2) = 1.839 \cdot \text{mm}$$

Mellom infleksjonslengder

$$q_{mi,ss,f5,x1} := 2.573 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\beta_x := \alpha_x$$

$$\delta_{k,mi,ss,x1} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi,ss,f5,x1} \cdot L_{f5,x}^4}{EI_{k,ss,x1}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_x^2 + 8 \cdot \alpha_x^4 - 12 \cdot \beta_x^2 + 8 \cdot \beta_x^4) = -4.446 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L,mi,ss,x1} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi,ss,f5,x1} \cdot L_{f5,x}^4}{EI_{L,ss,x1}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_x^2 + 8 \cdot \alpha_x^4 - 12 \cdot \beta_x^2 + 8 \cdot \beta_x^4) = -11.013 \cdot \text{mm}$$

**Feltstripe**

Stivheter

$$EI_{1.k.sf.x1} := E_{cm} \cdot I_{t.sf.x1} = 8.153 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{korttidslast}$$

$$EI_{1.L.sf.x1} := E_{cL} \cdot I_{t.sf.x1} = 2.981 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{langtidslast}$$

$$EI_{2.sf.x1} := E_s \cdot A_{sf.x1} \cdot d^2 \cdot \xi = 4.775 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet korttidslast

$$EI_{k.sf.x1} := EI_{1.k.sf.x1} + EI_{2.sf.x1} = 8.631 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet langtidslast

$$EI_{L.sf.x1} := EI_{1.L.sf.x1} + EI_{2.sf.x1} = 3.459 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Nedbøyning ytre laster

Korttid

$$\delta_{k.sf.x1} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sls.x1} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{k.sf.x1}} = 2.702 \cdot \text{mm}$$

Langtid

$$\delta_{L.sf.x1} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sls.x1} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{L.sf.x1}} = 6.743 \cdot \text{mm}$$

Nedbøyningsbidrag fra ekvivalente krefter

Over infleksjonslengder

$$q_{oi.sf.f5.x1} := 53.099 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.oi.sf.x1} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.sf.f5.x1} \cdot a_x^2 \cdot L_{f5.x}^2}{EI_{k.sf.x1}} \cdot (1.5 - \alpha_x^2) = 0.747 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.oi.sf.x1} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.sf.f5.x1} \cdot a_x^2 \cdot L_{f5.x}^2}{EI_{L.sf.x1}} \cdot (1.5 - \alpha_x^2) = 1.864 \cdot \text{mm}$$

Mellom infleksjonslengder

$$q_{mi.sf.f5.x1} := 2.575 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.mi.sf.x1} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.sf.f5.x1} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{k.sf.x1}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_x^2 + 8 \cdot \alpha_x^4 - 12 \cdot \beta_x^2 + 8 \cdot \beta_x^4) = -4.472 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.mi.sf.x1} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.sf.f5.x1} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{L.sf.x1}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_x^2 + 8 \cdot \alpha_x^4 - 12 \cdot \beta_x^2 + 8 \cdot \beta_x^4) = -11.16 \cdot \text{mm}$$

## Platetripe $x_2$

**Søylestripe**  $q_{sfs.x2} := 7.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Stivheter

$$EI_{1.k.ss.x2} := E_{cm} \cdot I_{t.ss.x2} = 8.153 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{korttidslast}$$

$$EI_{1.L.ss.x2} := E_{cL} \cdot I_{t.ss.x2} = 2.981 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{langtidslast}$$

$$EI_{2.ss.x2} := E_s \cdot A_{ss.x2} \cdot d^2 \cdot \xi = 5.209 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet korttidslast

$$EI_{k.ss.x2} := EI_{1.k.ss.x2} + EI_{2.ss.x2} = 8.674 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet langtidslast

$$EI_{L.ss.x2} := EI_{1.L.ss.x2} + EI_{2.ss.x2} = 3.502 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Nedbøyning ytre laster

Korttid

$$\delta_{k.ss.x2} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sfs.x2} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{k.ss.x2}} = 2.761 \cdot \text{mm}$$

Langtid

$$\delta_{L.ss.x2} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sfs.x2} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{L.ss.x2}} = 6.838 \cdot \text{mm}$$

Nedbøyningsbidrag fra ekvivalente krefter

Over infleksjonslengder

$$q_{oi.ss.f5.x2} := 52.982 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k,oi.ss.x2} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.ss.f5.x2} \cdot a_x^2 \cdot L_{f5.x}^2}{EI_{k.ss.x2}} \cdot (1.5 - \alpha_x^2) = 0.742 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L,oi.ss.x2} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.ss.f5.x2} \cdot a_x^2 \cdot L_{f5.x}^2}{EI_{L.ss.x2}} \cdot (1.5 - \alpha_x^2) = 1.837 \cdot \text{mm}$$

Mellom infleksjonslengder

$$q_{mi.ss.f5.x2} := 2.514 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k,mi.ss.x2} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.ss.f5.x2} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{k.ss.x2}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_x^2 + 8 \cdot \alpha_x^4 - 12 \cdot \beta_x^2 + 8 \cdot \beta_x^4) = -4.344 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L,mi.ss.x2} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.ss.f5.x2} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{L.ss.x2}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_x^2 + 8 \cdot \alpha_x^4 - 12 \cdot \beta_x^2 + 8 \cdot \beta_x^4) = -10.761 \cdot \text{mm}$$

## Feltstripe

Stivheter

$$EI_{1,k.sf.x2} := E_{cm} \cdot I_{t,sf.x2} = 8.153 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{korttidslast}$$

$$EI_{1,L.sf.x2} := E_{cL} \cdot I_{t,sf.x2} = 2.981 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{langtidslast}$$

$$EI_{2,sf.x2} := E_s \cdot A_{sf.x2} \cdot d^2 \cdot \xi = 4.775 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet korttidslast

$$EI_{k.sf.x2} := EI_{1,k.sf.x2} + EI_{2,sf.x2} = 8.631 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Stivhet langtidslast

$$EI_{L,sf.x2} := EI_{1,L.sf.x2} + EI_{2,sf.x2} = 3.459 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Nedbøyning ytre laster

Korttid

$$\delta_{k.sf.x2} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{sls.x2} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{k.sf.x2}} = 2.774 \cdot \text{mm}$$

Langtid

$$\delta_{L.s.f.x2} := \frac{1}{384} \cdot \frac{q_{s.l.s.x2} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{L.s.f.x2}} = 6.923 \cdot \text{mm}$$

Nedbøyningsbidrag fra ekvivalente krefter

Over infleksjonslengder

$$q_{oi.s.f.f5.x2} := 53.021 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.oi.s.f.x2} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.s.f.f5.x2} \cdot a_x^2 \cdot L_{f5.x}^2}{EI_{k.s.f.x2}} \cdot (1.5 - \alpha_x^2) = 0.746 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.oi.s.f.x2} := \frac{1}{48} \cdot \frac{q_{oi.s.f.f5.x2} \cdot a_x^2 \cdot L_{f5.x}^2}{EI_{L.s.f.x2}} \cdot (1.5 - \alpha_x^2) = 1.861 \cdot \text{mm}$$

Mellom infleksjonslengder

$$q_{mi.s.f.f5.x2} := 2.516 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\delta_{k.mi.s.f.x2} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.s.f.f5.x2} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{k.s.f.x2}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_x^2 + 8 \cdot \alpha_x^4 - 12 \cdot \beta_x^2 + 8 \cdot \beta_x^4) = -4.37 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{L.mi.s.f.x2} := -\frac{1}{384} \cdot \frac{q_{mi.s.f.f5.x2} \cdot L_{f5.x}^4}{EI_{L.s.f.x2}} \cdot (5 - 12 \cdot \alpha_x^2 + 8 \cdot \alpha_x^4 - 12 \cdot \beta_x^2 + 8 \cdot \beta_x^4) = -10.904 \cdot \text{mm}$$

De største nedbøyingene finnes for platestripe  $y_2$  og  $x_2$ . Total nedbøying vil dermed beregnes med utgangspunkt i disse platestripene.

**Bidrag fra ytre laster (YL):**

Korttidslast

$$\delta_{k.ss.y2} = 0.766 \cdot \text{mm} \quad \delta_{k1.YL} := \delta_{k.ss.y2} + \delta_{k.s.f.x2} = 3.54 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{k.s.f.x2} = 2.774 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{k.ss.x2} = 2.761 \cdot \text{mm} \quad \delta_{k2.YL} := \delta_{k.ss.x2} + \delta_{k.s.f.y2} = 3.532 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{k.s.f.y2} = 0.771 \cdot \text{mm}$$



Nedbøyning (k.YL)  $\delta_{k.YL} := \frac{\delta_{k1.YL} + \delta_{k2.YL}}{2} = 3.536 \cdot \text{mm}$

Langtidslast

$\delta_{L.ss.y2} = 1.696 \cdot \text{mm}$   $\delta_{L1.YL} := \delta_{L.ss.y2} + \delta_{L.sf.x2} = 8.62 \cdot \text{mm}$

$\delta_{L.sf.x2} = 6.923 \cdot \text{mm}$

$\delta_{L.ss.x2} = 6.838 \cdot \text{mm}$   $\delta_{L2.YL} := \delta_{L.ss.x2} + \delta_{L.sf.y2} = 8.562 \cdot \text{mm}$

$\delta_{L.sf.y2} = 1.725 \cdot \text{mm}$

Nedbøyning (L.YL)  $\delta_{L.YL} := \frac{\delta_{L1.YL} + \delta_{L2.YL}}{2} = 8.591 \cdot \text{mm}$

**Bidrag fra ekvivalente krefter (EK):**

Over infleksjonslengder

Korttidslast

$\delta_{k.oi.ss.y2} = 3.127 \cdot \text{mm}$   $\delta_{k1.oi.EK} := \delta_{k.oi.ss.y2} + \delta_{k.oi.sf.x2} = 3.873 \cdot \text{mm}$

$\delta_{k.oi.sf.x2} = 0.746 \cdot \text{mm}$

$\delta_{k.oi.ss.x2} = 0.742 \cdot \text{mm}$   $\delta_{k2.oi.EK} := \delta_{k.oi.ss.x2} + \delta_{k.oi.sf.y2} = 4.075 \cdot \text{mm}$

$\delta_{k.oi.sf.y2} = 3.333 \cdot \text{mm}$

Nedbøyning (k.oi. EK)  $\delta_{k.oi.EK} := \frac{\delta_{k1.oi.EK} + \delta_{k2.oi.EK}}{2} = 3.974 \cdot \text{mm}$

Langtidslast

$\delta_{L.oi.ss.y2} = 6.929 \cdot \text{mm}$   $\delta_{L1.oi.EK} := \delta_{L.oi.ss.y2} + \delta_{L.oi.sf.x2} = 8.79 \cdot \text{mm}$

$\delta_{L.oi.sf.x2} = 1.861 \cdot \text{mm}$

$\delta_{L.oi.ss.x2} = 1.837 \cdot \text{mm}$   $\delta_{L2.oi.EK} := \delta_{L.oi.ss.x2} + \delta_{L.oi.sf.y2} = 9.292 \cdot \text{mm}$

$\delta_{L.oi.sf.y2} = 7.455 \cdot \text{mm}$

Nedbøyning (L.oi. EK)  $\delta_{L.oi.EK} := \frac{\delta_{L1.oi.EK} + \delta_{L2.oi.EK}}{2} = 9.041 \cdot \text{mm}$

Mellom infleksjonslengder

Korttidslast

$\delta_{k.mi.ss.y2} = -1.565 \cdot \text{mm}$   $\delta_{k1.mi.EK} := \delta_{k.mi.ss.y2} + \delta_{k.mi.sf.x2} = -5.935 \cdot \text{mm}$

$\delta_{k.mi.sf.x2} = -4.37 \cdot \text{mm}$

$\delta_{k.mi.ss.x2} = -4.344 \cdot \text{mm}$   $\delta_{k2.mi.EK} := \delta_{k.mi.ss.x2} + \delta_{k.mi.sf.y2} = -6.014 \cdot \text{mm}$

$\delta_{k.mi.sf.y2} = -1.669 \cdot \text{mm}$

$$\text{Nedbøyning (k.mi. EK)} \quad \delta_{k.mi.EK} := \frac{\delta_{k1.mi.EK} + \delta_{k2.mi.EK}}{2} = -5.974 \cdot \text{mm}$$

Langtidslast

$$\begin{aligned} \delta_{L.mi.ss.y2} &= -3.469 \cdot \text{mm} \\ \delta_{L.mi.sf.x2} &= -10.904 \cdot \text{mm} \end{aligned} \quad \delta_{L1.mi.EK} := \delta_{L.mi.ss.y2} + \delta_{L.mi.sf.x2} = -14.373 \cdot \text{mm}$$

$$\begin{aligned} \delta_{L.mi.ss.x2} &= -10.761 \cdot \text{mm} \\ \delta_{L.mi.sf.y2} &= -3.734 \cdot \text{mm} \end{aligned} \quad \delta_{L2.mi.EK} := \delta_{L.mi.ss.x2} + \delta_{L.mi.sf.y2} = -14.494 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Nedbøyning (L.mi. EK)} \quad \delta_{L.mi.EK} := \frac{\delta_{L1.mi.EK} + \delta_{L2.mi.EK}}{2} = -14.434 \cdot \text{mm}$$

### Total nedbøyning

Korttidslast

$$\delta_{k.tot} := \delta_{k.YL} + \delta_{k.oi.EK} + \delta_{k.mi.EK} = 1.535 \cdot \text{mm}$$

Langtidslast

$$\delta_{L.tot} := \delta_{L.YL} + \delta_{L.oi.EK} + \delta_{L.mi.EK} = 3.198 \cdot \text{mm}$$

## Vedlegg 6 – ADAPT

Innhold:

Utklipp fra modellering:

- Modell

- Opplagingslinjer og platestriper (Support lines & design strips)

- Seksjoner for dimensjonering (Design sections)

- Meshet modell (til FEM analysen)

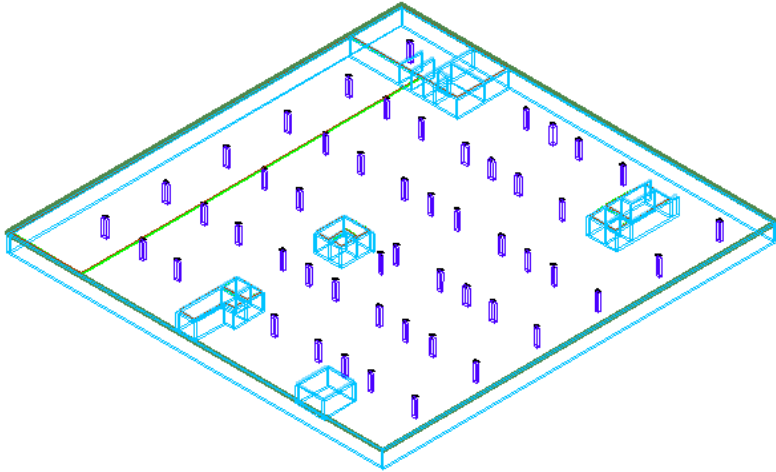
Resultater fra ADAPT

- Spennarmering; antall kabler og spennarmeringsføring

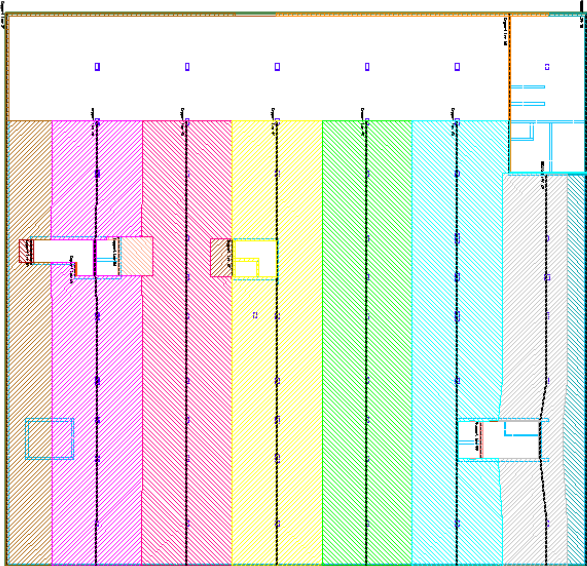
- Bruddgrense; gjennomløkkingskontroll

- Bruksgrense; nedbøyninger og spenninger

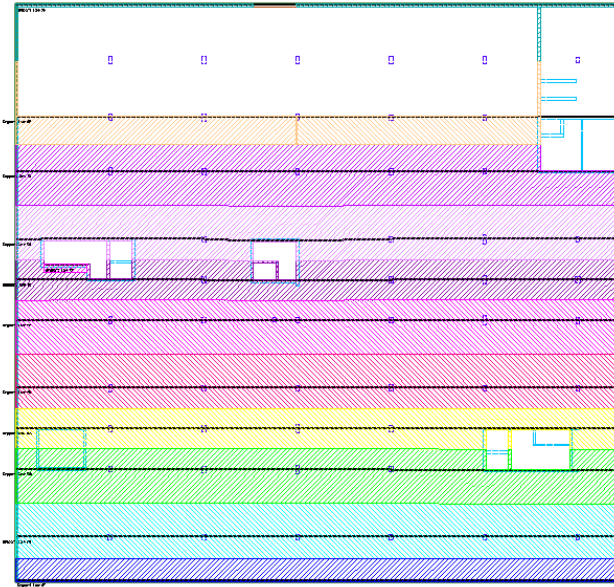
Utklipp fra modelleringen:



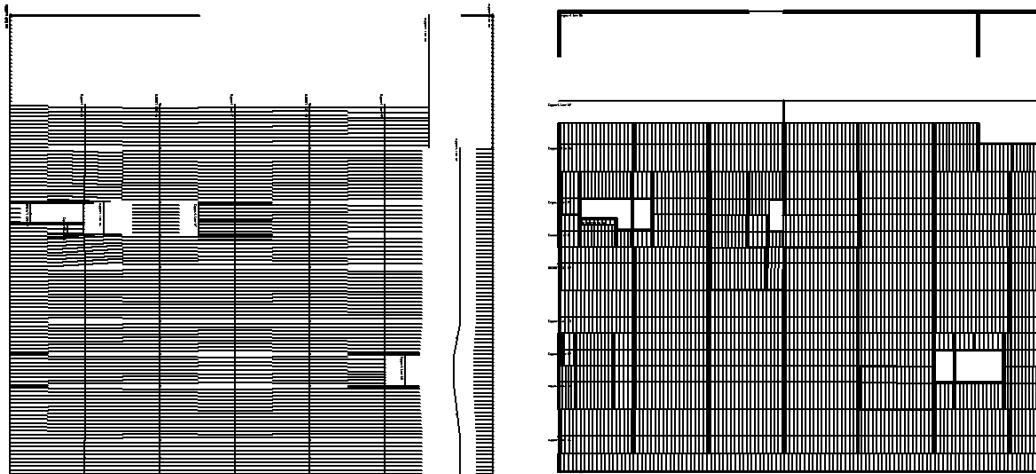
Figur - Modellen i ADAPT



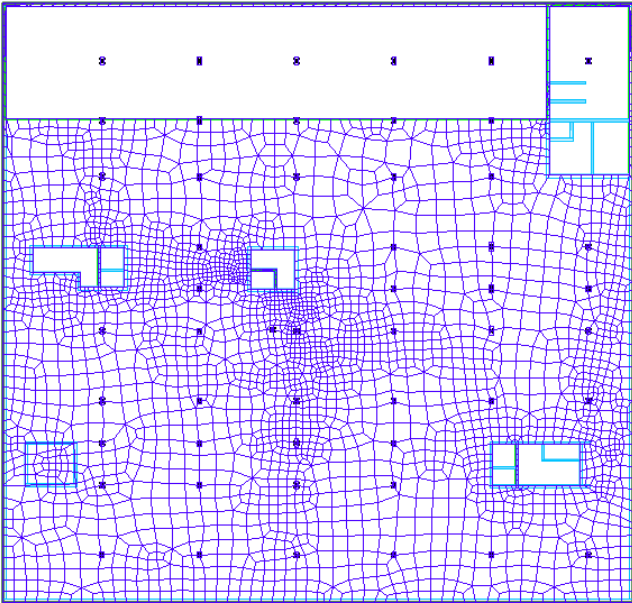
Figur - Opplagingslinjer (support lines) og tilhørende platestriper (design strips) i y-retning



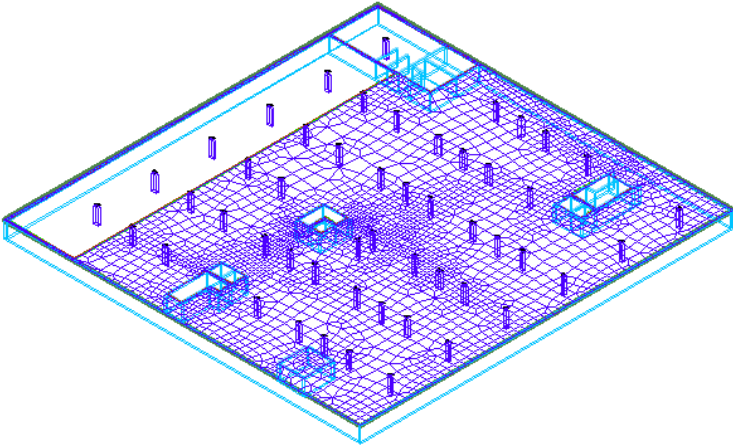
Figur – Opplagingslinjer (support lines) og tilhørende platestriper (design strips) for x-retning



Figur – "Design sections" for y-retning og x-retning respektivt



Figur - Meshet modell



Figur - Meshet modell (3D)

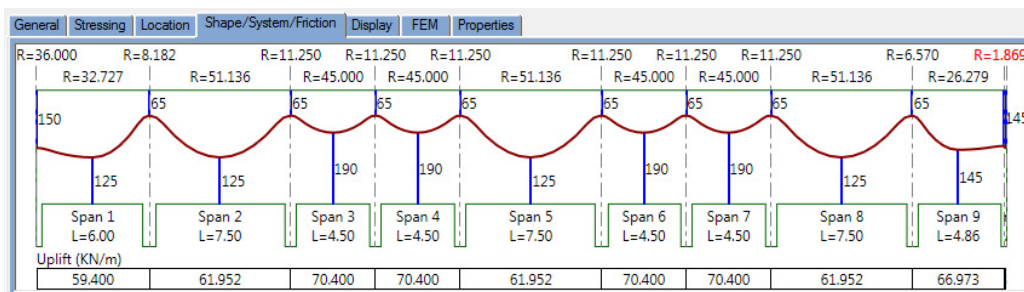
## Resultater

### Spennarmeringsberegninger

For platestripe  $y_1$

Number of strand(s):

Figur - Antall kabler  $y_1$

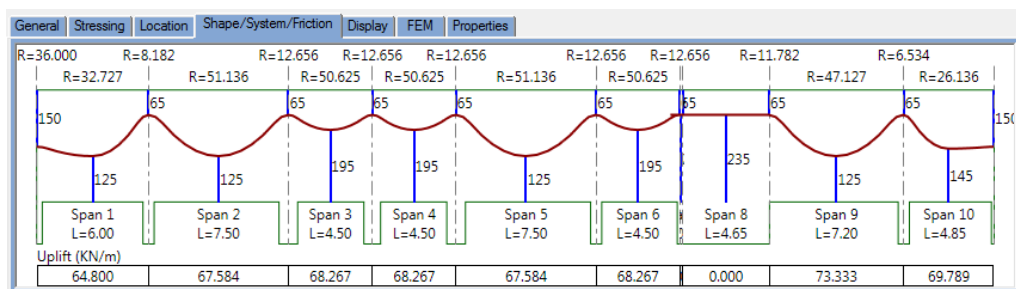


Figur - Armeringsføring  $y_1$

For platestripe  $y_2$

Number of strand(s):

Figur - Antall kabler  $y_2$

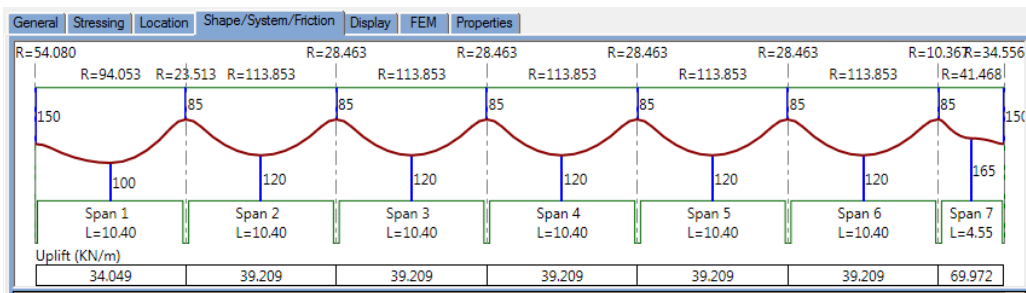


Figur - Armeringsføring  $y_2$

For platestripe  $x_1$

Number of strand(s):

Figur - Antall kabler x1

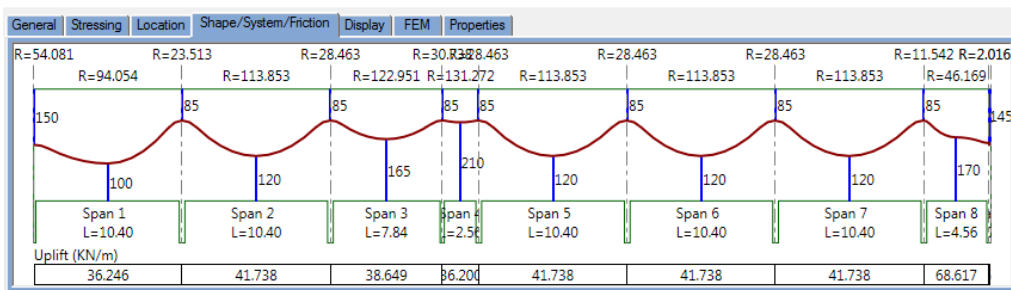


Figur - Armeringsføring x1

For platestripe  $x_2$

Number of strand(s):

Figur - Antall kabler x2



Figur - Armeringsføring x2



## Bruddgrenseberegninger

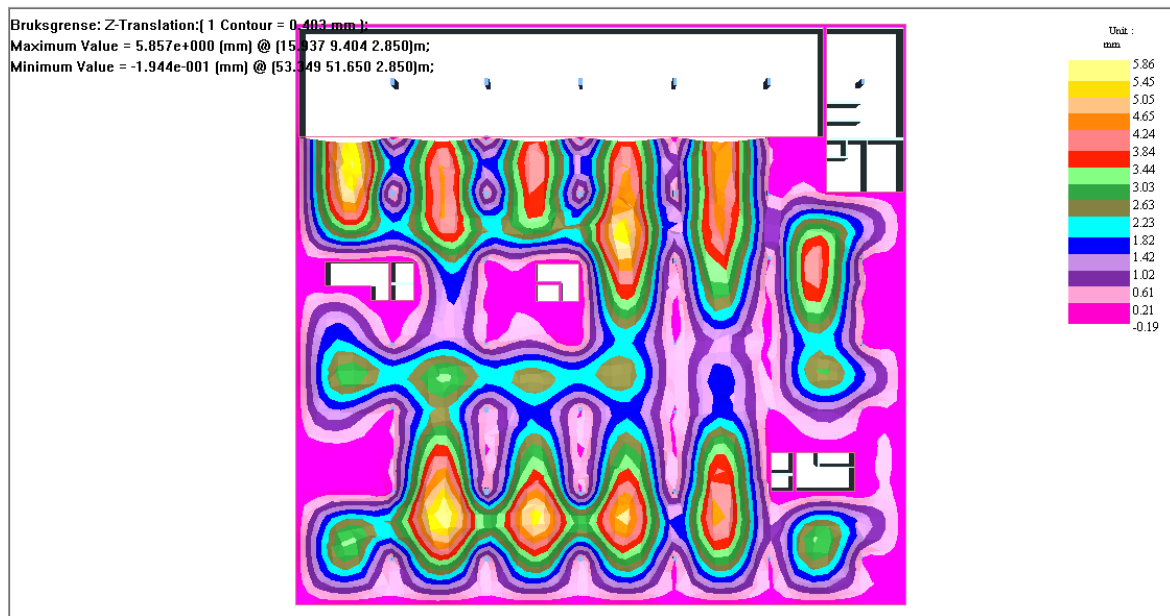
Nedenfor vises resultatet fra gjennomlokkingskontrollen for det aktuelle feltet.



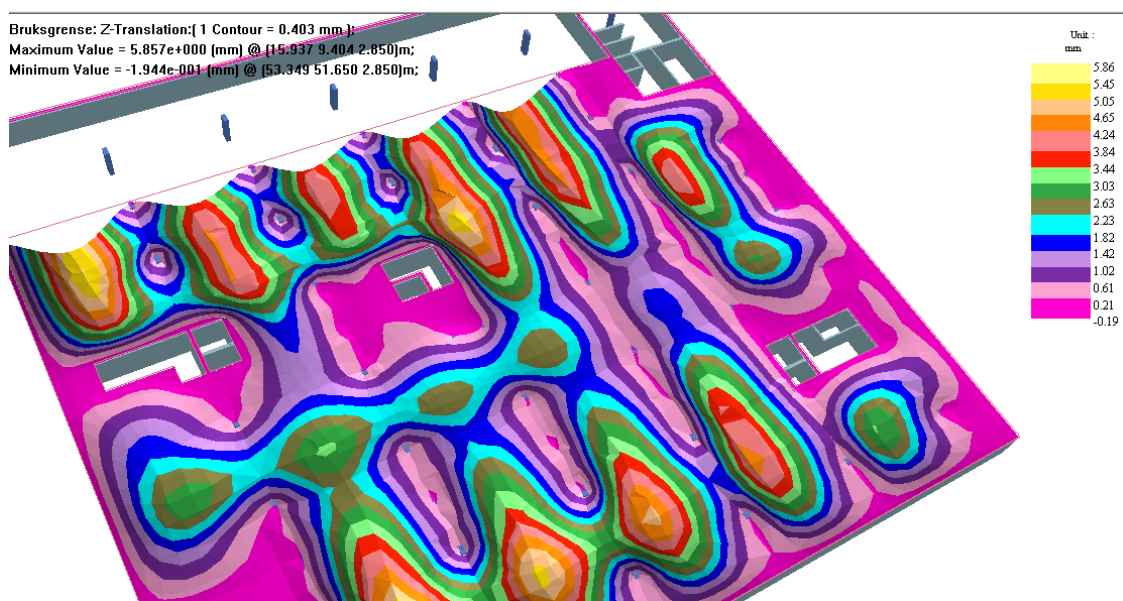
Figur - Gjennomlokkingskontroll

## Bruksgranseberegninger

Nedbøyningsresultatene fra hele dekket. Det ligger kun spennarmering i de aktuelle platestripene, referert til som  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $x_1$  og  $x_2$ . I resten av dekket ligger det kun slakkarmering. Det skal for nedbøyningsresultatene kun ses på det området hvor de fire platestripene krysses.



Figur - Nedbøyningsresultater



Figur - Nedbøyningsresultater