

MEMO 752

Forankring av BWC 40 U-H til hulldekker

Dato: 06.07.2022

Siste rev.: 30.06.2023

Dok. nr.: K5-10-752

Sign.: ML

Sign.: ML

Kontr.: SB

Forankring av BWC 40-U-H til hulldekker

INNHold

DEL 1	BWC-systemet og hulldekker	4
1.1	Grunnlag	4
1.2	Forankring til hulldekket	5
1.3	Statistiske modeller	7
1.3.1	Reaksjonspunkt for oppgitte krefter	7
1.3.2	Forankring i sidekant av hulldekket	8
1.3.3	Deformasjonsforskjeller mellom HUP og hulldekker	9
1.3.4	Forankring i enden av hulldekket opplagret på underliggende bjelke	10
1.3.5	Forankring i enden av hulldekket opplagret på hatteprofilbjelker (HSQ)	12
1.3.6	Bruk av prefabrikkerte betongbjelker	13
1.4	Lokale kraftoverføringer i hulldekker	13
1.4.1	Kraftoverføringer via HUP- profil i sidekant av hulldekket	13
1.4.2	Overføring av trykk mot hulldekket	14
1.4.3	Overføring av strekk inn i hulldekket	14
1.5	Beregningsregler for hulldekker påført ytre torsjonsmomenter	21
1.5.1	Torsjonskapasitet	21
1.5.2	Skjærkapasitet	23
1.5.3	Lokalt kraftopptak i side av BWC-enheten	23
1.5.4	Akkumulering av torsjonsmomenter i et dekkespenn	24
1.5.5	Stabilitet av hulldekker på opplegg	25
1.5.6	Tiltak dersom hulldekket har for lav torsjonskapasitet	26
1.6	Kraftoverføringer fra BWC-enheten til flattjern	26
1.6.1	Bolteforbindelser mellom BWC-enheten og flattjern	26
1.6.2	Sveiseforbindelser mellom BWC-enheten og flattjern	28
DEL 2	DIMENSJONERING	29
2.1	Materialforutsetninger	29
2.2	Kapasitet for boltet løsning mellom flattjern og BWC-enheten	30
2.2.1	Forbindelse med 3 bolter	30
2.2.2	Forbindelse med 5 bolter	31
2.3	HUP i sidekant hulldekker	32

2.3.1	Spenninger i HUP	32
2.3.2	Trykkspenninger overført fra HUP mot sidekant hulldekker	33
2.4	Dimensjonering og forankring av flattjern	34
2.4.1	Dimensjonering av flattjern	34
2.4.2	Dimensjonering av armeringsjern påsveiset flattjern og montert i side av hulldekket	34
2.4.3	Dimensjonering av armeringsjern påsveiset flattjern og montert i enden av hulldekket	36
2.5	Dimensjonering av hulldekket	38
2.5.1	Torsjonskapasitet i hulldekker	38
2.5.2	Skjærkapasitet i hulldekker i kombinasjon med torsjonsmomenter	38
2.5.3	Lokalt kraftopptak i snitt a_2 +	39
2.6	Beregningsverktøy	40
DEL 3	BEREGNINGSEKSEMPEL	41
DEL 4	REFERANSER / REVISJONER	49
	REFERANSER	49
	REVISJON	50

Veiledning i bruk av BWC utkraget innfesting til hulldekker



DEL 1 BWC-systemet og hulldekker

1.1 Grunnlag

Generell bruk av BWC-systemet er beskrevet i memo 750 /1/ og 756D /2/. Memo 752 inneholder retningslinjer, beregningsregler og dimensjonering av aktuelle forbindelser som vil gjelde for bruk av BWC i tilknytning til hulldekker. Dersom torsjonskapasiteten i hulldekkene er for liten, inneholder kap 1.5.6 i dette memoet en oppstilling av andre aktuelle løsninger for å oppnå tilstrekkelig kapasitet. Disse løsningene blir ikke inngående behandlet.

Kapasiteten til BWC-enheten er oppgitt i memo 750, pkt 3.2.1, side 14 /1/. For moment og skjærkrefter er kapasitetene oppgitt hver for seg og ikke i en kombinasjon med hverandre.

Tabell 1.1

Enhet	Maks. moment $M_{Ed,maks}$ [kNm]	Maks. skjærkraft $V_{Ed,maks}$ [kN]	Horisontal kraft N_{Ed} [kN]
BWC 40 U-H	60	70	+/- 20

Verdiene i tabell 1.2 er hentet fra tabell for bruddlaster side 13 i memo 756D /2/. Tabellen angir momentkapasiteten i BWC-enheten og samtidig virkende skjærkraft. Bruk av denne lastkombinasjon er i det etterfølgende kalt for LK1.

Tabell 1.2

Enhet	Maks. moment M_{Ed} [kNm]	Maks. skjærkraft V_{Ed} [kN]	Horisontal kraft N_{Ed} [kN]
Lastkombinasjon LK 1	60	33,4	+/- 20

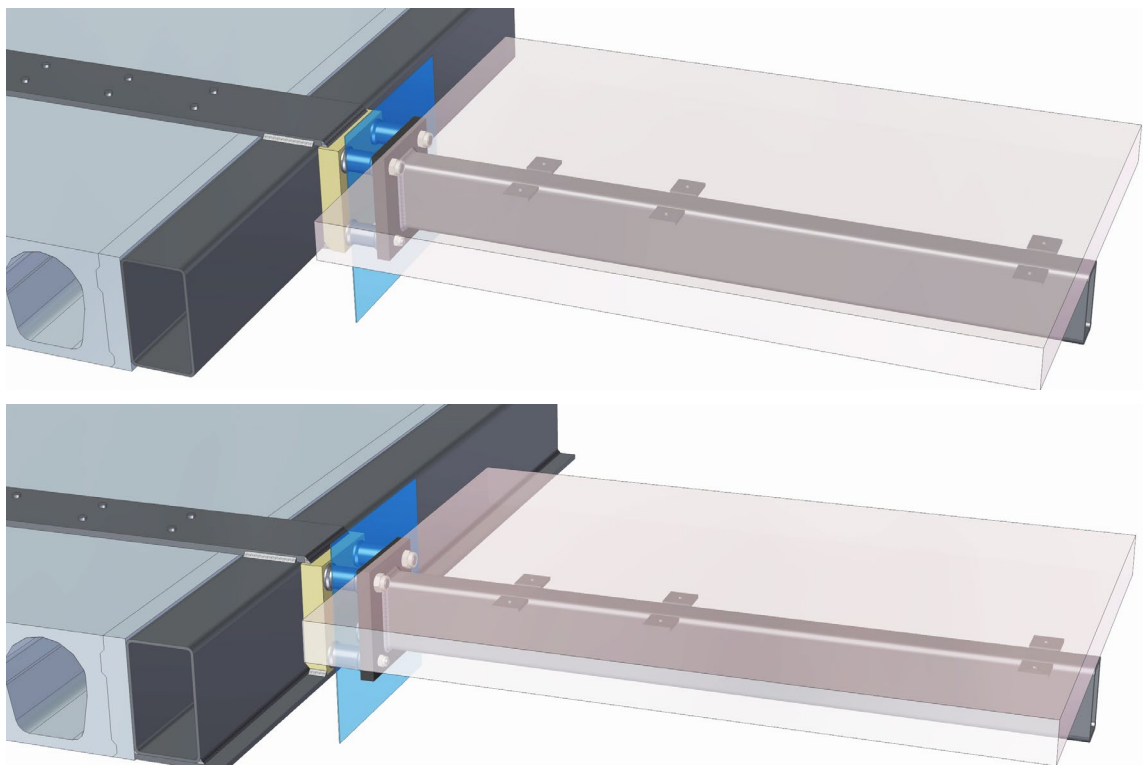
Det er utviklet et eget regneark for beregning av hulldekker utsatt for torsjonsmomenter kombinert med skjærkrefter. Dette regnearket er omtalt i kapittel 2.5.3.

1.2 Forankring til hulldekket

Hulldekker er førøppspente dekkeelementer som leveres med standard bredde 1200 mm. Elementlengden kan variere opptil til ca 17 m, avhengig av belastning og hulldekkedimensjon. Standard dekketykkelser er 200, 265, 320, 400 og 500. For bolig og kontorbygg er tverrsnittene 200 og 265 de mest brukte. For disse tverrsnittene kan normale spennvidder variere opp til 10 m for HD200 og 12 m for HD265. Hulldekker leveres kun med spenntau i elementenes lengderetning. I bredderetningen er standard hulldekker uarmerte. Betongelementboken bind C kapittel C3 og C12 /7/ inneholder anvisninger og normale beregningsregler for bruk av hulldekker. Videre vil tilleggsblad til kapittel C3 utgitt oktober 2021 /8/ være nyttig i tilknytning til overføring av vertikale krefter i sidekant hulldekker.

Spesielle beregningsregler for hulldekker er angitt i NS-EN 1168 /6/. I tilknytning til torsjonsmomenter med samtidig virkende skjærkrefter benyttes beregningsreglene i prEN 1168 /9/. Denne standarden er fortiden under utarbeidelse og skal etter planen erstatte NS-EN 1168.

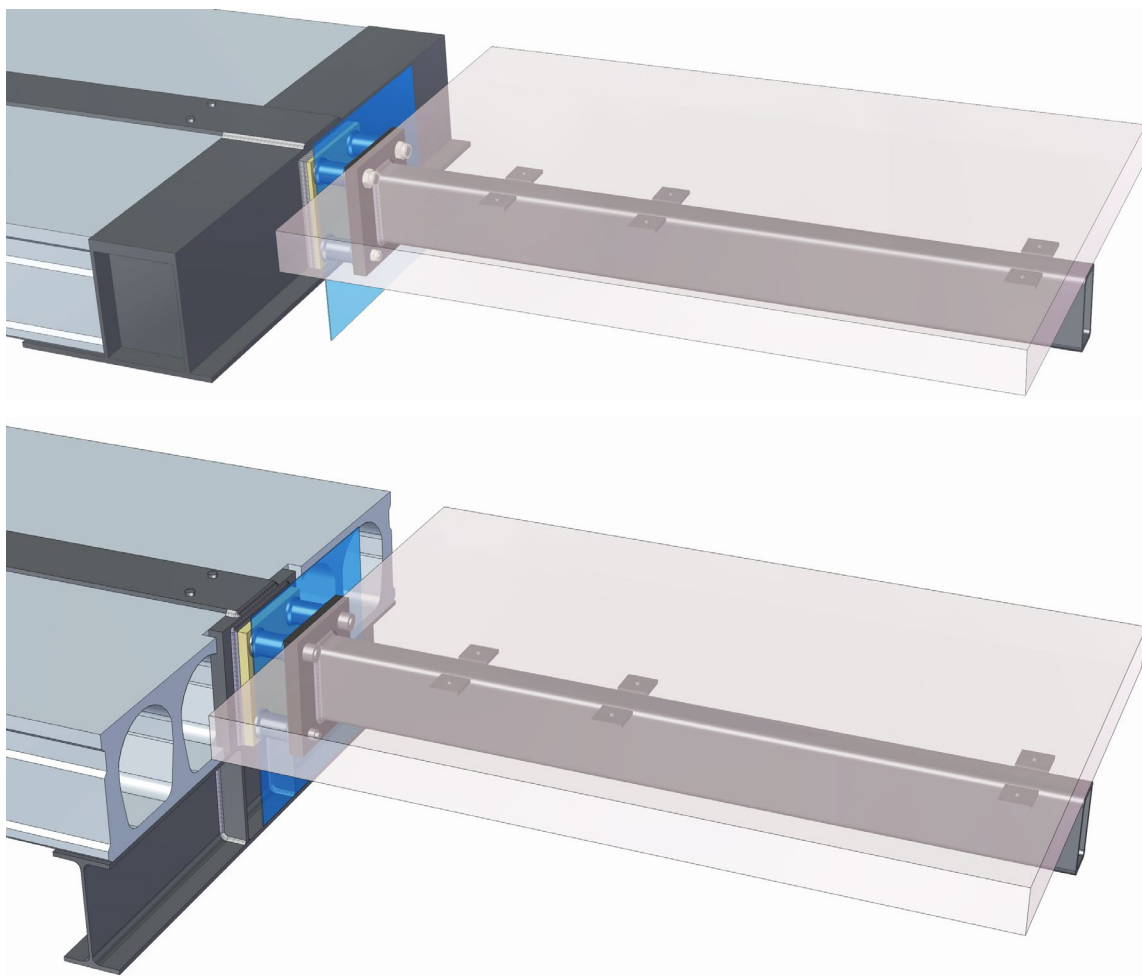
Bildeserie 1.2.1 og 1.2.2 viser eksempler for utførelse av forbindelsene til hulldekker i enden og i sidekant.



Bildeserie 1.2.1 prinsipløsninger for forankring av BWC i sidekant

Forankring i hulldekkets sidekant

I sidekant av hulldekker skal det benyttes et langsgående stålprofil av type HUP for å overføre torsjonsmoment inn i hulldekket. I tillegg forutsettes det at dette ståltverrsnittet har tilstrekkelig skjærkraftkapasitet i bruddgrensetilfellet (ULS) for å kunne ta opp alle vertikalkreftene V_{Ed} som overføres fra et eller flere BWC-koplinger til samme hulldekke. Momentene som opptrer, tas opp i et kraftpar i form av en trykkraft i underkant og en strekkraft i overkant. Trykkraften føres direkte inn i hulldekket. Overføringen av strekkraften ivaretas av et flattjern med påsveiset armeringsjern (pigger). Plassering av armeringsjerna er tilpasset kanalene i elementene. Her skilles det mellom hulldekker med 4, 5 eller 6 kanaler. Flattjernet monteres i OK hulldekket og kanalene utstøpes i en gitt bredde til hver side av flattjernet. Flattjernet kan forankres til selve BWC-enheten enten ved sveise- eller bolteforbindelser. Memo 752 omhandler boltet forbindelser til BWC-enheten.



Bildeserie 1.2.2 prinsipløsninger for forankring av BWC i enden

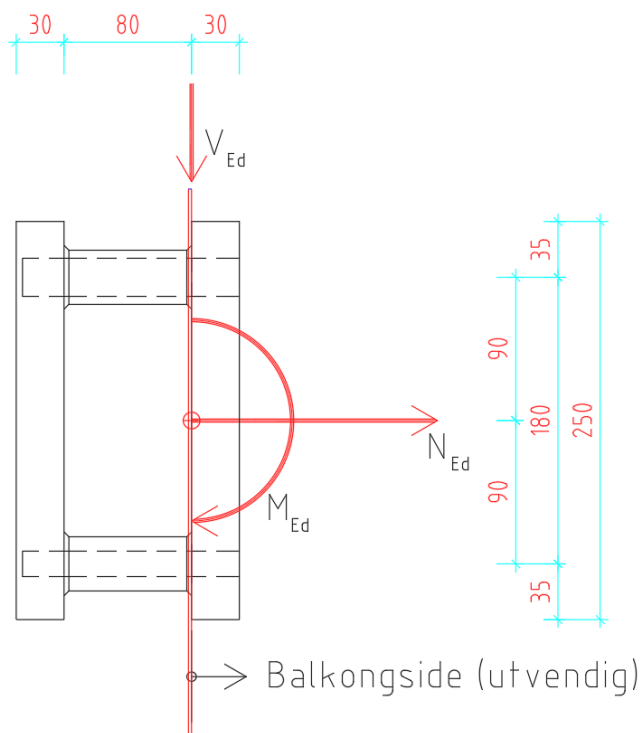
Forankring i hulldekkets ende

I prinsippet er virkningen av kraftinnføringen i enden lik kraftinnføringen i sidekant. For overføring av strekkraften i overkant benyttes flattjern med påsveiste armeringsjern. Forankring av flattjerna skjer i utstøpte kanaler med nødvendig utstøpningslengde. I Memo 752 er det forutsatt at det benyttes samme type flattjern som i sidekant.

1.3 Statiske modeller

1.3.1 Reaksjonspunkt for oppgitte krefter

Figur 1.3.1 viser reaksjonspunktet for BWC-enheten. Overføring av krefter fra BWC-enheten til innvendige konstruksjon skal beregnes fra dette punktet.



Figur 1.3.1 Reaksjonspunkt for BWC

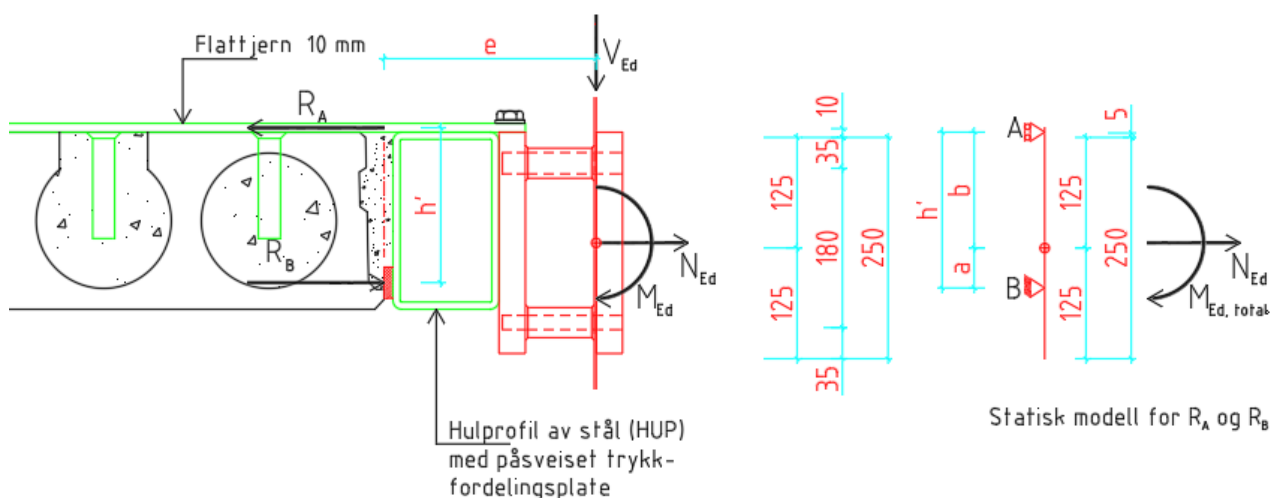
1.3.2 Forankring i sidekant av hulldekket

Selve BWC-enheten (plate 250x250x30) sveises til standard stålprofil av type HUP i sidekant av hulldekkene. Sveiseforbindelse forutsettes utført i verksted. Kreftene overføres via stålprofilen og inn i hulldekkene. Sveiselengder og størrelser er angitt i Memo 750 kapittel 2.4 /1/.

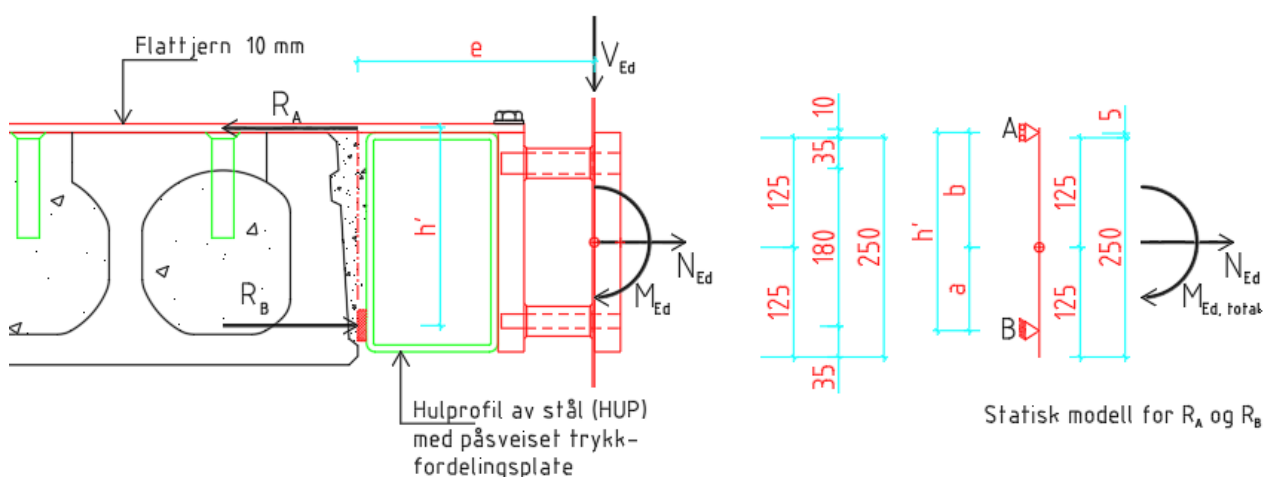
For ordens skyld viser Memo 750 kapittel 2.4 en løsning med utforing av BWC-enheten til en HSQ.

Prinsipielt anbefales det ikke en tilsvarende utforing i tilknytning til forankring i sidekant av hulldekkene.

Bakgrunnen for dette er at momentvirkningen kan øke vesentlig.



Figur 1.3.2 Typisk snitt og statisk modell for BWC i side HD200



Figur 1.3.3 Typisk snitt og statisk modell for BWC i side \geq HD265

Skjærkraften V_{Ed} fra BWC-enheten øker momentvirkningen mot hulldekkets sidekant med eksentrisiteten e . Reaksjonskreftene R_A og R_B beregnes ut fra en enkelt statisk modell som vist i fig. 1.3.2 og 1.3.3. Størrelsen av eksentrisiteten er i memo 752 valgt som avstanden mellom BWC-enheten og punktet for trykkovertøringen mot hulldekket i bunn. Ved beregning av knutepunkter i elementkonstruksjoner er det normalt å trekke inn en toleranse for lastplassering. Bruk av BWC 40-U-H inneholder flere koplingspunkter og det kan være en viss fare for at BWC-enheten plasseres i en lengre avstand fra hulldekkanten enn forutsatt. Valgt eksentrisitet anses å ivareta både beregningsmessig toleranse (± 20 mm) og toleranser for plassering av BWC-enheten. Eksentrisiteten må vurderes særskilt ved bruk av andre ståltverrsnitt enn tradisjonelle profiler av HUP.

$$M_{Ed, total} = M_{Ed} + V_{Ed} \cdot e \quad (\text{Ligning 1})$$

$$R_A = M_{Ed, total} / h' \pm N_{Ed} \cdot a/h' \quad (\text{Ligning 2})$$

$$R_B = M_{Ed, total} / h' \pm N_{Ed} \cdot b/h' \quad (\text{Ligning 3})$$

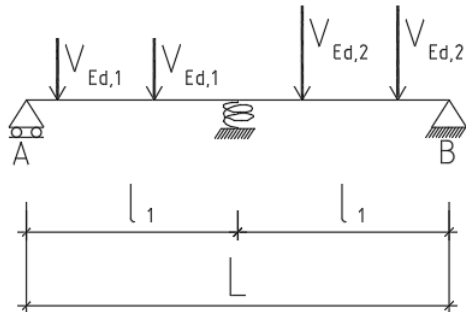
Typiske verdier for e , h' , a og b for forankring av BWC-enheten i side av hulldekke og med anbefalte hulprofiler er gitt i tabell 1.3.1. Tabellen gjelder under forutsetning av at BWC-enhetens indre stålplate er direkte forankret til HUP.

Tabell 1.3.1 Typiske verdier gjeldende for fig 1.3.2 og 1.3.3

Hulldekke	a (mm)	b (mm)	h' (mm)	E (mm)
HD200	45	130	175	240
\geq HD265	95	130	225	270

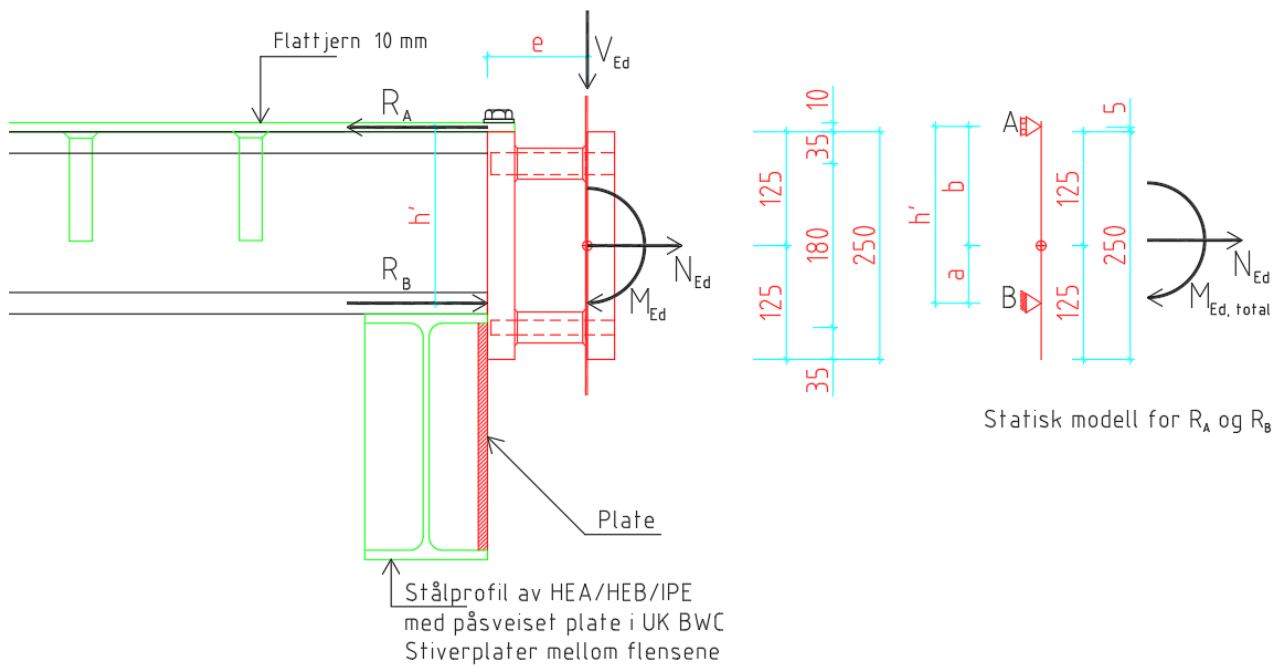
1.3.3 Deformasjonsforskjeller mellom HUP og hulldekker

Deformasjonene i ståltverrsnittet (HUP) må balansere deformasjonene i hulldekket i størst mulig grad. Dersom det er behov for å kople HUP til hulldekket, må koplingspunktet utføres på en annen plass enn koplingspunktene for BWC-enheten. Anbefalingene er at koplingspunktet for å styre deformasjonene utføres sentrisk i dekkespennet eller symmetrisk om dette punktet. Skjærkrefter som overføres styres ved å forutsette et ekstra opplegg for HUP. Dette opplegget må beregnes med en fjærstivet som illustrert i figur 1.3.4. Fjærstivheten fastsettes slik at det oppnås samme deformasjon i ståltverrsnittet og hulldekket.

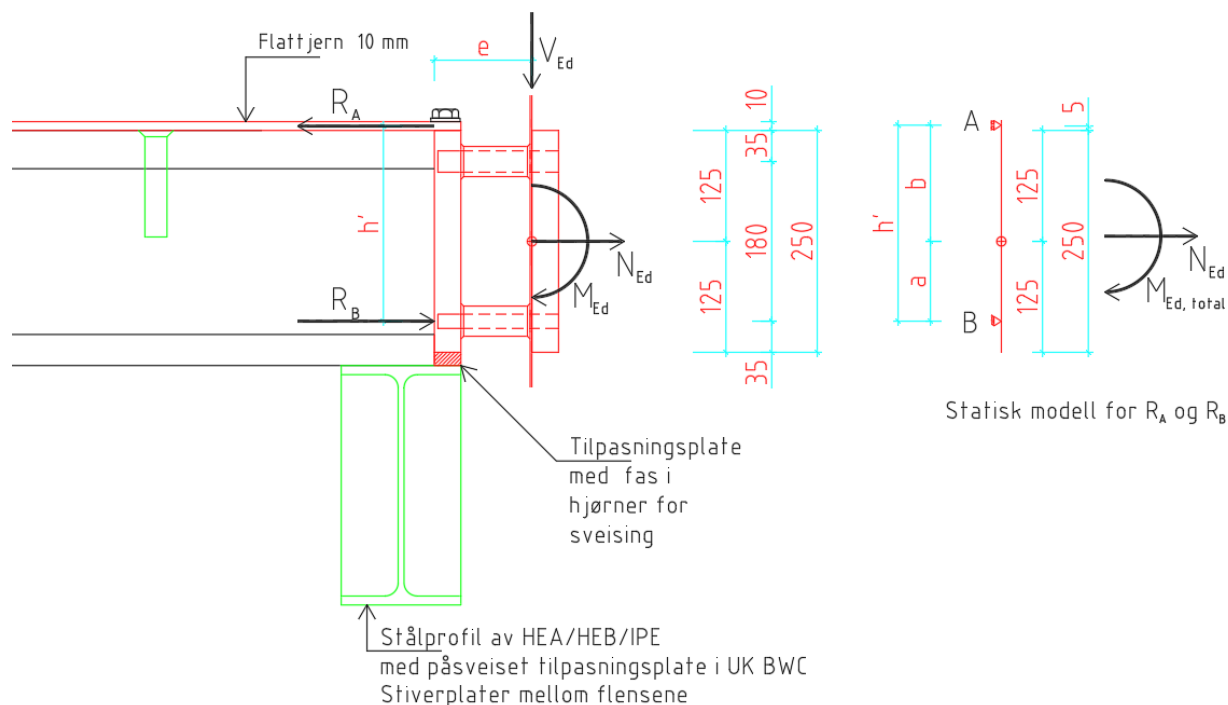


Figur 1.3.4 Illustrasjon for ekstra forankringspunkt for HUP i sidekant hulldekke.

1.3.4 Forankring i enden av hulldekket opplagret på underliggende bjelke



Figur 1.3.5 Typisk snitt og statisk modell for BWC i enden av HD200



Figur 1.3.6 Typisk snitt og statisk modell for BWC i enden av \geq HD265

Indre momentarm h' for hulldekke HD200 begrenses av betongtverrsnittet under kanalene. For større hulldekker vil h' være avhengig av plasseringen av nedre boltegruppe i BWC-enheten.

Reaksjonskreftene R_A og R_B beregnes ved hjelp av ligningene 1-3.

Typiske verdier for e , h' , a og b for forankring av BWC-enheten i enden av hulldekke er gitt i tabell 1.3.2. Tabellen gjelder under forutsetning av at BWC-enhetens indre stålplate er montert i hulldekkets ende.

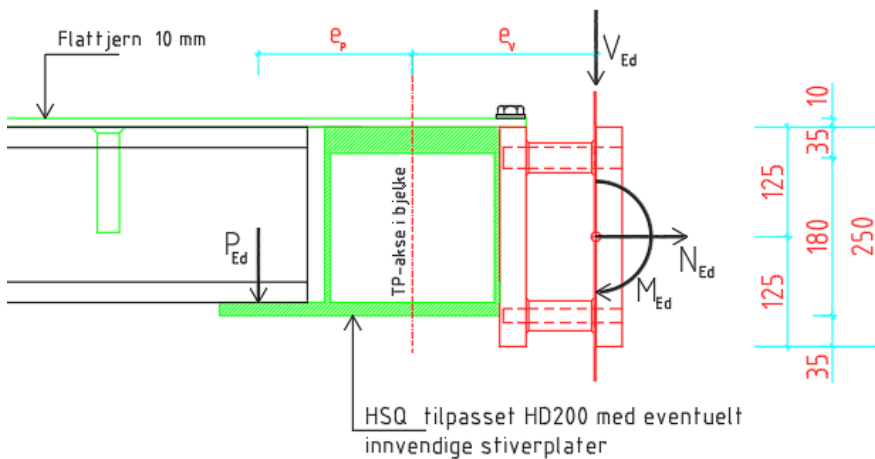
Tabell 1.3.2 Typiske verdier gjeldende for fig 1.3.5 og 1.3.6

Hulldekke	a (mm)	b (mm)	h' (mm)
HD200	63	130	193
\geq HD265	90	130	220

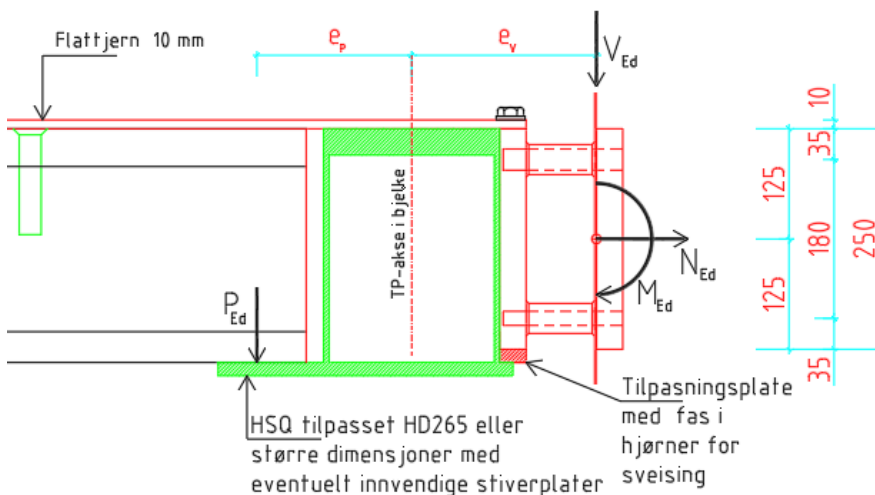
Eksentrisiteten e i figur 1.3.5 og 1.3.6 gjelder for kraftinnføring av momentet inn i hulldekket og forutsetter at skjærkraften V_{Ed} overføres direkte til underliggende bjelke. Eksentrisiteten skal inkludere en toleranse for lastplassering minimum lik 20 mm. Størrelsen av toleransen må imidlertid også vurderes i forhold til faren for at BWC-enheten plasseres med større avstand enn detaljert. Ved beregning av rotasjon av bjelken må

eksentrisiteten justeres ut fra tyngdepunktsaksen i bjelken. Momentet som overføres inn i hulldekket fra BWC-enheten må tas i betraktning ved dimensjonering av hulldekket (behov for spennkabler i ok hulldekke eller eventuelt annen strekkarmering i forlengelsen av flattjern).

1.3.5 Forankring i enden av hulldekket opplagret på hatteprofilbjelker (HSQ)



Figur 1.3.7 Typisk snitt for BWC mot HD200 opplagret på HSQ



Figur 1.3.8 Typisk snitt for BWC mot \geq HD265 opplagret på HSQ

Bruk av BWC koplet til hatteprofiler av stål gir momenter til hver side av stålbejken. Disse momentene har som regel motsatt virkning av hverandre. Se figurene 1.3.7 og 1.3.8. Dersom moment fra BWC-enheten er større enn momentet fra kraften P_{Ed} , må dette tas i betraktning ved dimensjonering av hulldekket (behov for spennkabler i ok hulldekke eller eventuelt annen strekkarmering i forlengelsen av flattjern).

I tilfeller hvor BWC-enheten benyttes i tilknytning til lette konstruksjoner, kan lasttilfellet vind medføre at retningen av momentet fra BWC-enheten faller sammen med virkningen av momentet fra kraften P_{Ed} . Indre momentarmer i forbindelsene vil være bestemt av hvilket moment som er størst av innvendig moment forårsaket av kraften P_{Ed} eller utvendig moment forårsaket av kreftene som overføres fra BWC-enheten. Betongelementboken Bind C kapittel 8.3.2 /7/ inneholder nyttige veiledninger og prinsipper for beregning av reaksjonskreftene som det må forankres for.

Det anbefales å betrakte kreftene kun innenfor gjeldende hulldekke som BWC-enheten er koplet til. Videre anbefales det at BWC-enheten forankres med flattjern i OK uansett om innvendig momenter er større enn BWC-momentet. Under forutsetning av at den indre platen i BWC-enheten er direkte forankret til hovedbjelken (HSQ), kan størrelsen av flattjernet dimensjoneres ut fra minimum lastvirkning fra variable laster på BWC-enheten.

1.3.6 Bruk av prefabrikkerte betongbjelker

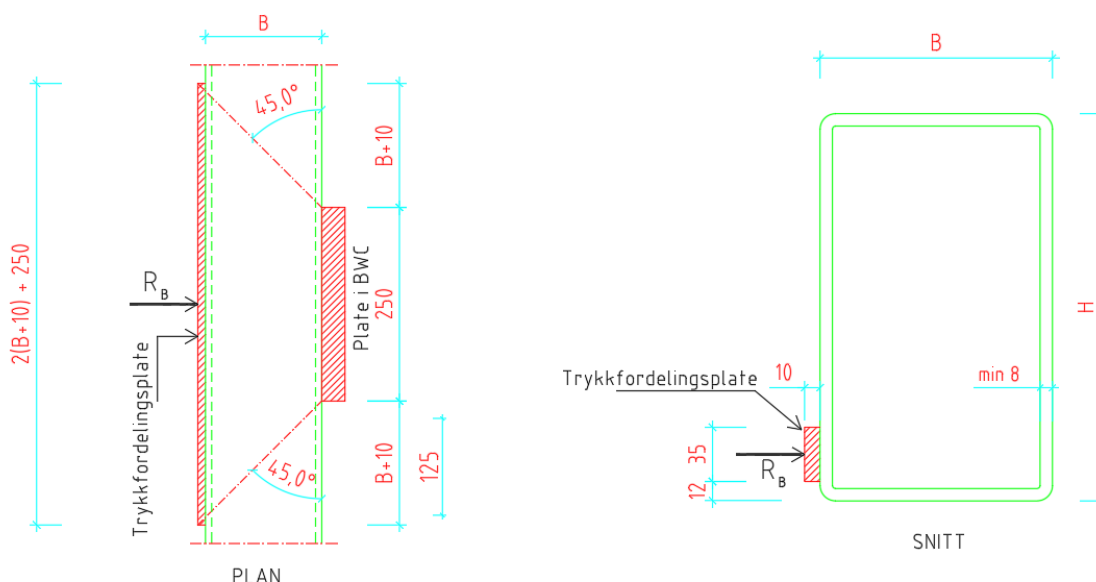
Generelt kan stålbjelker erstattes med prefabrikkerte betongbjelker, både i side og i endene. Beregning av reaksjonskreftene følger samme prinsipp som for stålbjelker. Betongbjelker må leveres med innstøpte stålplater for å forankre selve BWC-enheten.

1.4 Lokale kraftoverføringer i hulldekker

1.4.1 Kraftoverføringer via HUP- profil i sidekant av hulldekket

Spenningsfordelingene i stålprofilet i sidekant av hulldekkene er beregnet ved hjelp av dataprogrammet ANSYS. Detaljering av 3D-modeller følger figurene 1.3.2 og 1.3.3 for henholdsvis HD200 og HD265 eller større dimensjoner.

Sidekant av hulldekker har en form som medfører usikkerheter i hvordan trykkreftene overføres. Med bakgrunn i dette forholdet er det forutsatt en trykkfordelingsplate $TxB \times L = 10 \times 35 \times L$ montert i siden av stålprofilet. Figur 1.4.1 viser plasseringen av trykkfordelingsplaten samt antatt intern kraftoverføring i hulprofilet. Lengden L for trykkfordelingsplaten i henhold til figur 1.4.1.



Figur 1.4.1 Kraftoverføring i nedre del av hullprofil

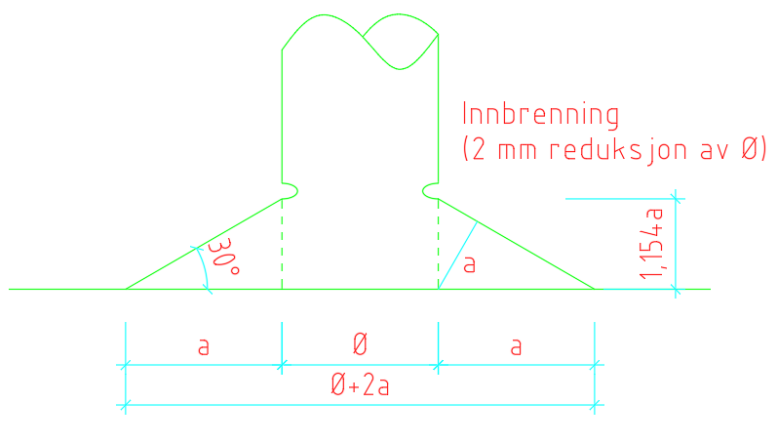
1.4.2 Overføring av trykk mot hulldekket

Bruk av hulldekker medfører at en har utstøpte fuger mellom hulldekker og mot andre tilstøtende konstruksjoner. Kapasitet for overføring av trykkrefter vil være avhengig av betongkvaliteten i de utstøpte fugene. Normale betongkvaliteter som benyttes i fuger varierer fra B25 – B35. I spesialtilfeller kan også B45 vurderes. Det anbefales å benytte materialfaktoren $\gamma_m = 1,8$ med bakgrunn i at utstøpingen utføres på byggeplass. Overføring av trykkreftene kan medføre lokale spaltestrekkrefter som må kontrolleres. Utførelse og beregninger av trykkforbindelsen skal utføres etter regler angitt i NS-EN 1992-1-1 pkt 10.9.4.3 /3/. Supplerende anbefalinger finnes i Betongelementboken bind B kapittel 17.3 og 18.8 /7/.

1.4.3 Overføring av strekk inn i hulldekket

Overføring av strekkrefter skjer via et flattjern av stål forankret direkte til BWC-enheten, enten via en sveiset forbindelse eller en bolteforbindelse. Flattjernet overfører strekkraften ned i hulldekket via skjærkrefter i armeringspigger sveiset til flattjernet. Plassering av armeringen er tilpasset senteravstanden mellom kanalene i hulldekket. For å avgrense antall varianter av flattjern med pigger, forutsetter memo 752 at samme utførelse benyttes til forankring i enden av hulldekkene. Beregningsreglene for betongens kapasitet for armeringspiggene følger anvisninger i betongelementboken bind C kapittel 19.4.4 /7/. Disse beregningsreglene støttes av tekniske spesifikasjon CEN/TS 1992-4-2:2009 /4/ med tilpasninger for bruk av

kamstål i stedet for forankringer med fot. Beregningsreglene forutsetter et uarmert betongtverrsnitt. Sveising av armeringspiggene til flattjernet følger beregningsregler angitt i betongelementboken bind B kapittel 19.12.3.4 /7/. I memo 752 er dimensjoneringsgrunnlaget for skjær i sveis forutsatt etter figur 1.4.2.



Figur 1.4.2 Dimensjoneringsgrunnlag for sveis

Kapasiteten av forbindelsene er avhengig av nærmeste avstand til kant i kraftretningen, sideveis kantavstander samt senteravstander mellom hvert enkelt armeringsjern.

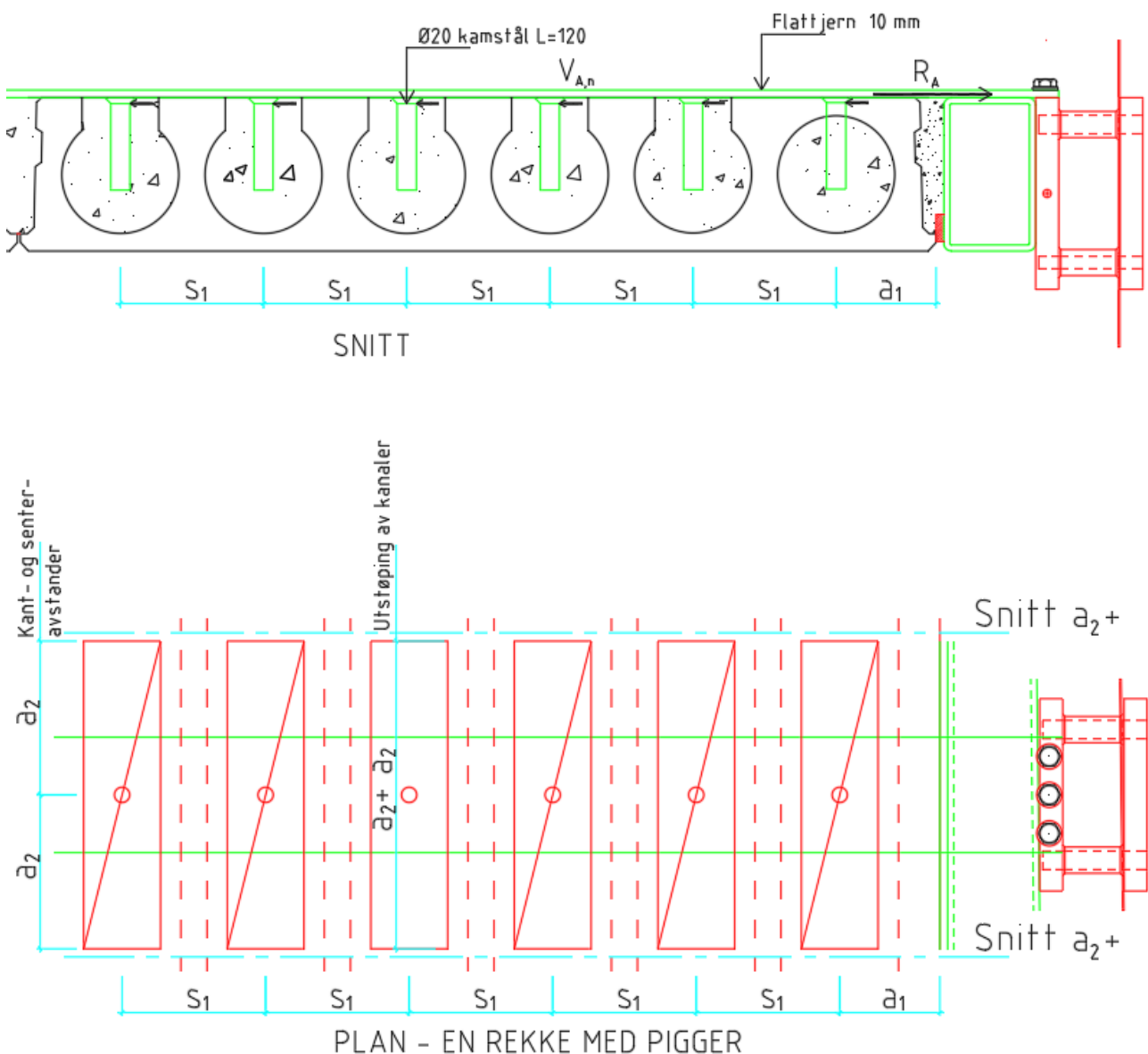
- a_1 = Kantavstand i kraftretningen = avstanden mellom senterlinjen for kanal 1 i hulldekket og sideflaten. (element med $B=1200$ mm). Avstanden varierer med antall kanaler i hulldekket. Det er benyttet samme kantavstand for både forankring i sidekant og i enden av elementet.
- S_1 = Senteravstand mellom armering i kraftretningen. Avstanden følger samme avstand mellom kanalene for vedkommende tverrsnitt. Denne senteravstanden varierer med antall kanaler i hulldekket.
- S_2 = Senteravstanden i tverretning av kraften. Gjelder i de tilfeller der det blir to armeringsrekker.
- a_2 = Sideveis kantavstand for armeringspigg / avstand fra armeringspigg til enden av utstøping i kanaler eller midlere bredde mot nabokanal vist i figur 1.4.3 eller 1.4.4.

Figurene 1.4.3 og 1.4.4 viser plasseringene av kant- og senteravstandene for forbindelser i sidekant og i enden av hulldekket.

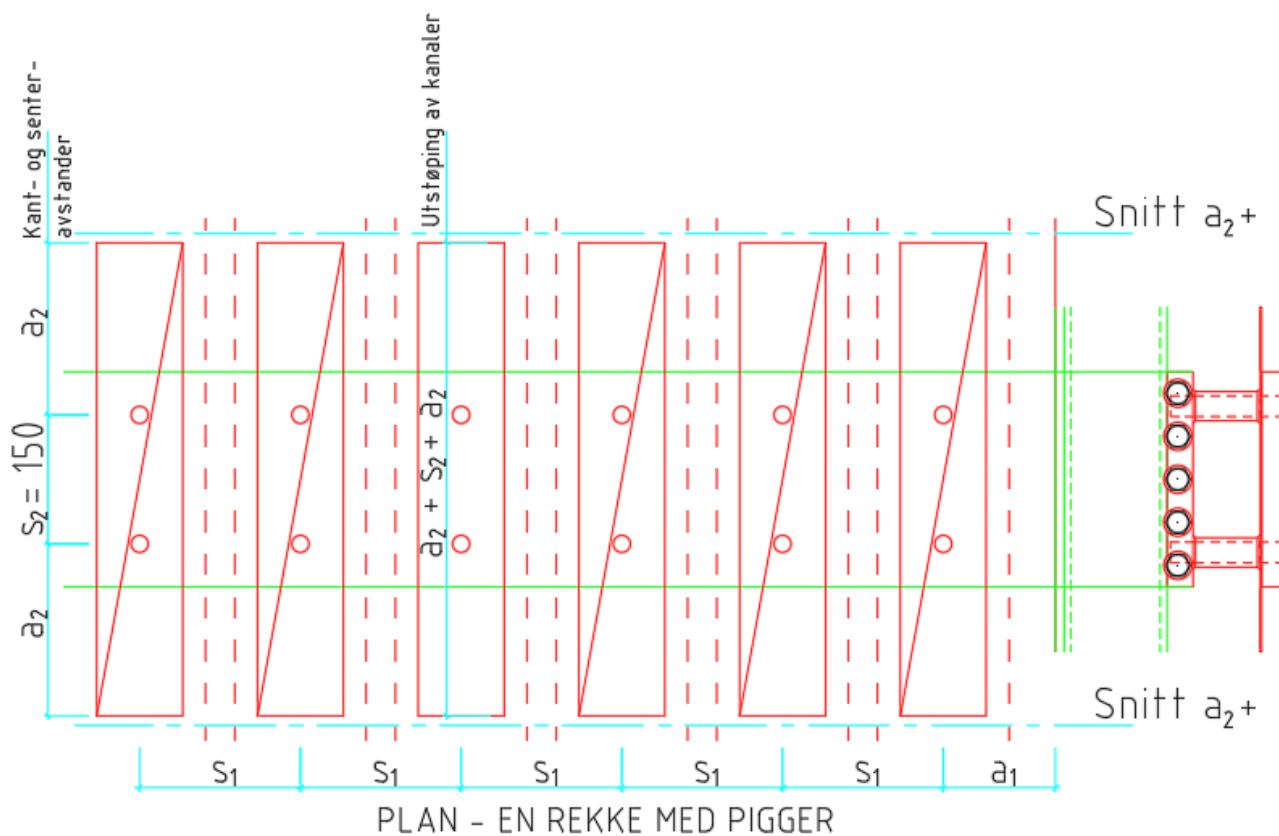
Spesielle forhold knyttet til forankring i sidekant av hulldekket

Hulldekker uten tiltak vil ha begrenset stekk-kapasitet sideveis. Dette skyldes begrenset størrelse av betongtverrsnittet over kanalene i tillegg til at hulldekkene er uarmerte på tvers av spennretningen. I tilfellene hvor lastene er begrenset slik at det ikke er behov for ekstraordinære tiltak i elementene, kan beregningsreglene i Betongelementboken bind C, kapittel 12.3 /7/ benyttes direkte. Større laster krever tiltak.

Tiltakene er utstøpte kanaler i en gitt avstand til begge sidene av flattjernet, nevnt som avstanden a_2 i figur 1.4.3. Trykk- og strekkoverføringen i forankringspunktet vil ha en viss utbredelse før kraften går over til en ren skjærstrøm i elementet. Fordelingen av kreftene til hver side vil være avhengig av den statiske virkningen i elementet, jmf. diagram for torsjonsmomentet. Overføring av horisontale skjærkrefter fra flattjernet til hver side kontrolleres i snitt benevnt som a_2+ i figur 1.4.3.



Figur 1.4.3 Del A, Prinsipp for forankring av flattjern i sidekant hulldekker,



Figur 1.4.3 Del B, Prinsipp for forankring av flattjern i sidekant hulldekker

Tabell 1.3.3 Typiske verdier for kant og senteravstand for pigger for forankring i sidekant

Antall kanaler i hulldekket (stk)	Kantavstand i kraftretningen a_1 (mm)	Senteravstand i kraftretningen S_1 (mm)
6	126	189
5	150	222
4	172	283

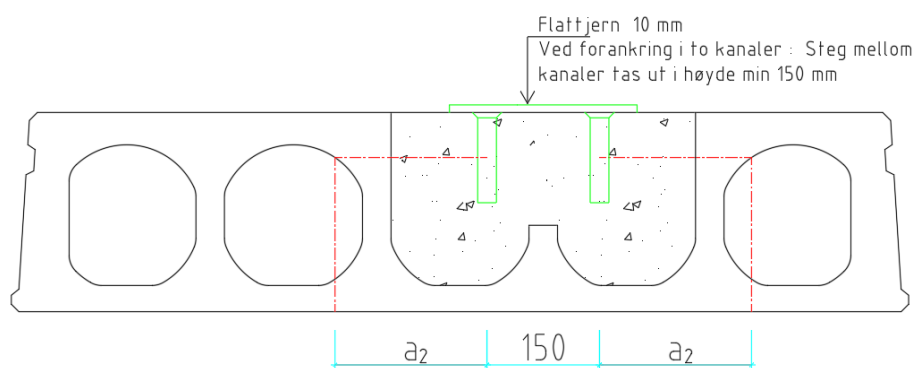
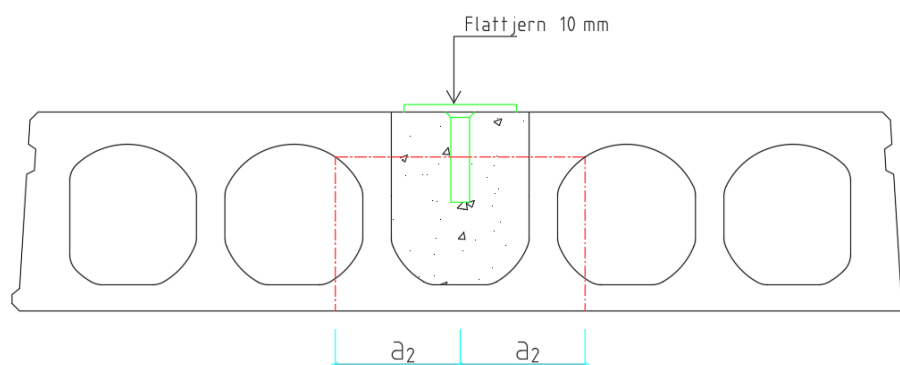
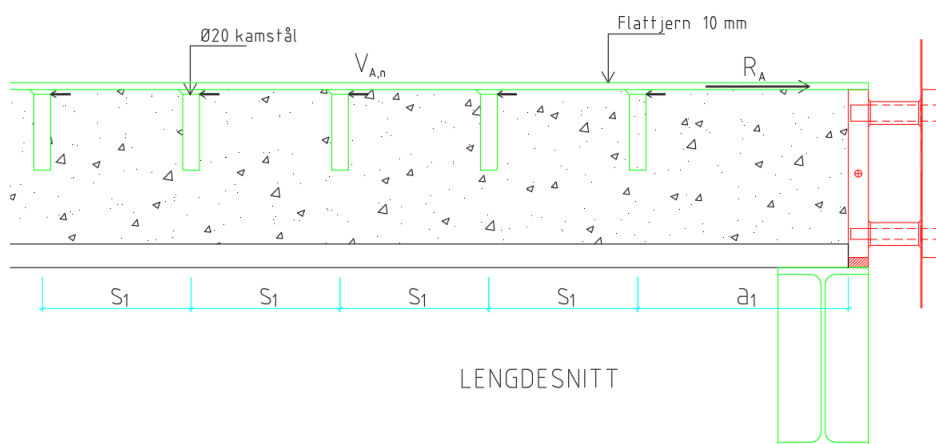
Spesielle forhold knyttet til forankring i utstøpte kanaler i enden av hulldekket.

Teorigrunnlag og beregningsregler for utstøpte kanaler i enden av hulldekker er angitt i Betongelementboken bind C kapittel 12.2.2 /7/. Kapasitet av utstøpte kanaler avhenger i første rekke av antall spenntau i elementene. Dersom elementene er oppspennet med et minimum av spenntau, vil dimensjonerende forankringskraft bestemmes av tabell C12.3 (N_{maks1}). Dersom elementene leveres med et antall spenntau der vedkommende kanal dekkes av to spenntau, kan forankringskraften bestemmes av tabell C12.5 (N_{maks2}). Begrensninger i antall utstøpte kanaler i hvert dekkeelement er to stk. Dersom forankring i en kanal ikke er tilstrekkelig, kan flattjernet enten utvides og påmonteres to rekker med armeringsklør, en rekke i hver kanal eller to adskilte flattjern som vist på fig. 1.4.4.

Teorigrunnlaget for beregning av stålplater med påveiset pigger forutsetter en tilstrekkelig homogen betongmasse. Kapasiteten av piggene er avhengig av tilstrekkelig sideveis kantavstander og utnyttelsene av stegene mellom kanalene er nødvendig for å unngå for store forankringslengder. Utnyttelsen av kanalveggen i tilknytning til angivelse av sideveis kantavstand fordrer at en har kontroll med heftspenningene mellom selve utstøpingen og kanalveggene. Betongelementboken bind C kap 12.2.2 konkluderer med at dersom heftspenning mellom utstøping og kanalveggene er minst 0,2 MPa, vil heftbrudd ikke være dimensjonerende, denne heftbegrensingen underbygges i utførte tester. I Memo 752 er det forutsatt at disse heftspenningene ikke underskrider denne verdien.

Beregning av kapasitet for flattjernets pigger følger sideveis kantavstander definert i figur 1.4.4.

Oppgitte kapasiteter for N_{maks2} for de forskjellige hulldekketverrsnittene følger noter til tabell C12.5 /7/ med forutsetning i lengdene $l_0 = 1110 \text{ mm}$ / $L_{sliss}=1200$ definert i figur C12.11. Ved bruk av samme utførelse for flattjern som i sidekant, vil størrelsen l_0 variere mellom ulike hulldekketverrsnitt. Dersom en antar en utstøpt fuge lik 30 mm mellom enden av hulldekket og indre plate i BWC-enhetene vil l_0 være i størrelsesorden 1170 mm for elementer med 5 og 6 kanaler og 1150 for elementer med 4 kanaler. Beregning av heftkapasitet for betongpropp i slissen er foretatt med grunnlag i figur 1.4.4. Betongelementbokens kapasiteter for heft er basert på kanalveggens omkrets og oppgitte heftkapasiteter i Memo 752 har derfor noen nyanseforskjeller i forhold til Betongelementboken.



SNITT - FORANKRING I TO NABOKANALER

Figur 1.4.4 Prinsipp for forankring av flattjern i åpne kanaler i endene av hulldekker

Typiske verdier for kant- og senteravstander for flattjern med pigger forankret i endekanaler er angitt i tabell 1.3.4 og 1.3.5

Tabell 1.3.4 Typiske verdier for kant og senteravstand for pigger i en kanal

Antall kanaler i hulldekket (stk)	Kantavstand i kraftretningen a_1 (mm)	Sideveis kantavstand a_2 (mm)	Senteravstand i kraftretningen s_1 (mm)
6	126	121	189
5	150	166	222
4	172	200	283

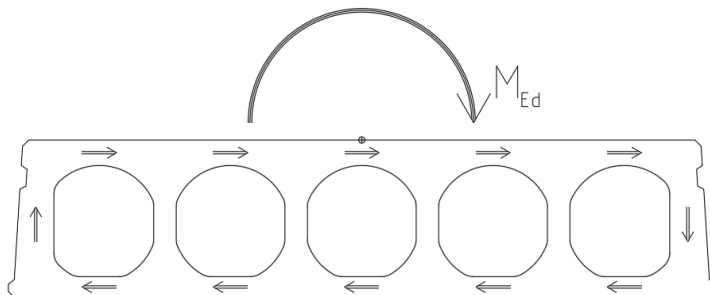
Tabel 1.3.5 Typiske verdier kant og senteravstand pigger i to nabokanaler

Antall kanaler i hulldekket (stk)	Kantavstand i kraftretningen a_1 (mm)	Sideveis kantavstand a_2 (mm)	Senteravstand i kraftretningen s_1 (mm)	Senteravstand sideveis s_2 (mm)
6	126	140	189	150
5	150	202	222	150
4	172	264	283	150

1.5 Beregningsregler for hulldekker påført ytre torsjonsmomenter

1.5.1 Torsjonskapasitet

Torsjonskapasitet beregnes etter regler i prEN1168 pkt. 4.3.3.2.2.3 /9/. Dette skyldes at spenningene i et hulldekke utsatt for torsjon begrenses til å virke i de ytre kompakte delene av elementet som illustrert på figur 1.5.1. Størrelsen av kanalene i hulldekkene vil naturlig begrense torsjonskapasiteten i elementet.

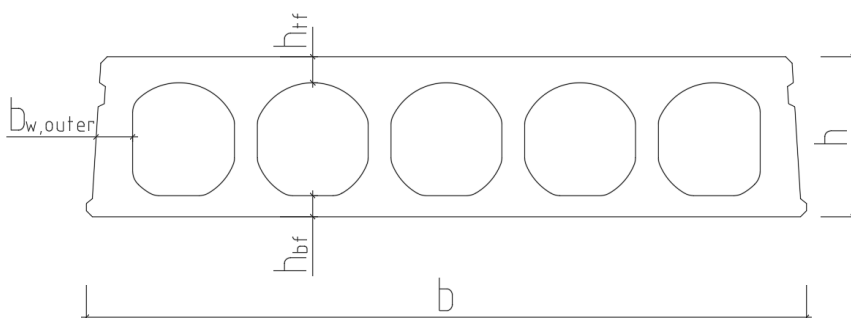


Figur 1.5.1 Spenninger i hulldekker med ytre torsjonsmomenter

Torsjonsmodulen for urisset hulldekker beregnes ved hjelp av følgende ligning:

$$W_T(a) = 2 \left(h - \frac{h_{tf} + h_{bf}}{2} \right) (b - b_{w,outer}) a$$

h	Tverrsnittshøyden (200, 265, 320, 400 eller 500)
h_{tf}	Minste betongtykkelsen over kanalene (overflens)
h_{tb}	Minste betongtykkelse under kanalene (underflens)
b	Elementbredden
$b_{w,outer}$	Tykkelsen av ytterste steg målt i tyngdepunktet
a	Ligningens variabel verdi, h_{tf} , h_{bf} eller $b_{w,outer}$



Figur 1.5.2 Tverrsnittskostanter

Torsjonskapasiteten i hulldekkene vil som regel bestemmes av tykkelsen over eller under kanalen og kapasiteten bestemmes da av ligningen:

$$T_{Rd.c.flange} = W_T(a) \cdot f_{ctd} \cdot \sqrt{1 + \sigma_c/f_{ctd}}$$

f_{ctd}	Dimensjonerende betongtrekkfasthet
σ_c	Trykkspenning i senter av overflens eller underflens som følge av ytre laster og spennkrefter
a	tykkelse av over eller underflens (h_{bf} eller h_{tf})

Standarden angir ingen beregningsmetodikk for mellomrommet mellom rene hulldekker og ekstruderte kompakte elementer med samme ytre geometriske mål. Ut fra standardens bestemmelser vil ikke et hulldekke med utstøping av alle kanaler gi noen økning av torsjonskapasiteten. Videre angir standarden ingen beregningsregler for tverrfordeling av torsjonsmomenter til naboelementer tilsvarende som gjelder for vertikale laster.

Torsjonsmodulen for ekstruderte kompakte elementer med samme ytre mål som hulldekker, beregnes ved hjelp av følgende ligninger:

$$\text{Torsjonsmodul om horisontalt tyngdepunkt } W_{T,h} = C_h \cdot b \cdot h^2$$

$$\text{Torsjonsmodul om vertikalt tyngdepunkt } W_{T,v} = C_v \cdot b \cdot h^2$$

Faktorene C_h og C_v kan tas fra tabellen nedenfor ved interpolasjon mellom verdiene for b/h

Table 4-1 i henhold til /9/ gjengitt i sin helhet.

b/h	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	10,0	50,0	∞
C_h	0,210	0,221	0,230	0,237	0,243	0,249	0,261	0,271	0,288	0,299	0,323	0,329	0,333
C_v	0,210	0,237	0,262	0,281	0,299	0,314	0,342	0,362	0,388	0,398	0,400	0,400	0,400

For ekstruderte elementer med høyde som sammenfaller med hulldekkenes høyde vil b/h variere i område fra 2,31 ($H=520$) til 6 ($H=200$).

Torsjonskapasitet for ekstruderte kompakte elementer uten hensyn til virkning ytre laster

og forspenning: $T_{Rd.c.solid} = W_T \times f_{ctd} \quad (\sigma_c = 0)$

1.5.2 Skjærkapasitet

Huldekker med torsjonsmomenter har en redusert skjærkapasitet etter beregningsregler angitt i prEN1168 pkt. 4.3.3.2.2.3 /9/.

$$V_{Rd.c.T} = \left(1 - \alpha_{bw} \frac{T_{Ed}}{T_{Rd.c.web}}\right) V_{Rd.c}$$

$V_{Rd.c.T}$ Redusert skjærkapasitet ved medvirkende torsjonsmoment

$\alpha_{bw} = \frac{2b_{w,outer}}{\sum b_w}$, $\sum b_w$ er summen av alle stegbredder i huldekket

$T_{Rd.c.HD} = W_T(b_{w,outer}) \cdot f_{ctd} \cdot \sqrt{1 + \alpha \sigma_{cp}/f_{ctd}}$

$V_{Rd.c}$ Skjærkraftkapasitet beregnet etter NS-EN 1168 pkt 4.3.3.2.2 /6/

1.5.3 Lokalt kraftopptak i side av BWC-enheten.

Torsjonsmomenter i huldekker danner en skjærstrøm i huldekket, beskrevet i kapittel 1.5.1.

Fastsettelse av sonen der momentet, innført som et horisontalt kraftpar (strekk i ok og trykk i uk) i huldekket, går over i en ren skjærstrøm, er vanskelig uten en inngående FEM-analyse. Videre vil overføringene av momentet til hver side av BWC-enheten være avhengig av plasseringen av momentet i huldekkets spennvidde. Se kapittel 1.5.4. Før kraftparet går over i en skjærstrøm, vil tverrsnittet utsettes for en horisontal skjærkraft i platene over og under kanalene (fordelt strekkvirkningen fra flattjern i ok og fordelt trykkvirkning i uk)

Overflensen i huldekker er som oftest uarmert og kapasiteten for skjærkraft kan beregnes ut fra NS-EN 1992

$$\text{likning 6.4: } V_{Rd.c.flens} = \sqrt{(f_{ctd}^2 + \alpha_1 \times \sigma_{cp} \times f_{ctd})} \times I \times b/S$$

I og S er henholdsvis treghetsmomentet for tverrsnittet og statisk arealmoment over tyngdepunktsaksen.

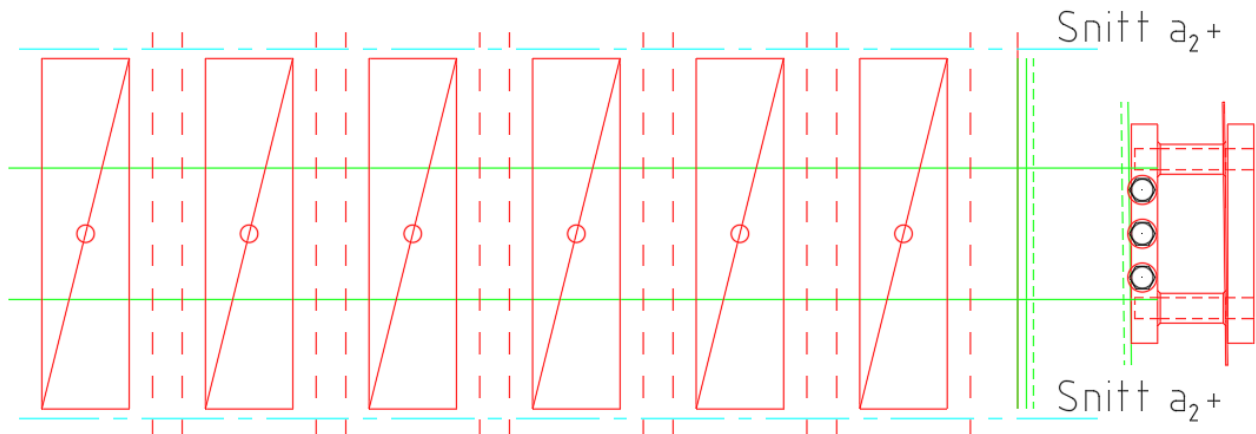
For rektangulære tverrsnitt er forholdet $I/S = 0,67$.

For en konservativ betraktning settes $\sigma_{cp} = 0$. Formelen for skjærkapasiteten i overflensen blir i et dette

$$\text{tilfelle: } V_{Rd.c.flens} = 0,67 f_{ctd} \times b \times h_{tf}.$$

Figur 1.5.2 viser beregningssnittet a_{2+} for kontroll av skjærkraft til side for BWC-enheten. Snitt a_{2+} ligger like utenfor de utstøpte kanalene som er nødvendig for å ta opp kreftene fra flattjernet lokalt. Se kapittel 1.4.3.

Strekkraften i flattjernet (overført som skjærkraft inn i huldekket) vil fordeles ulikt til sidene. Andelen til hver side avhenger av plassering av BWC-enheten i huldekkespennet, se kap. 1.5.4

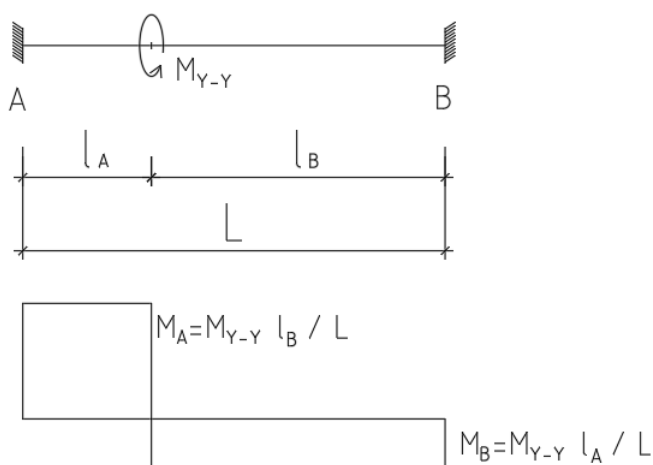


Figur 1.5.2 Plantegning for plassering av snitt a_2+

1.5.4 Akkumulering av torsjonsmomenter i et dekkespenn.

Påtrykte torsjonsmomenter (M_{y-y}) i konstruksjoner krever tilstrekkelig momentstivhet på tvers av spennretningen på oppleggene. Dette i motsetning til normale momenter (M_{x-x}) i konstruksjoner der oppleggene gjerne kan være fritt dreibare.

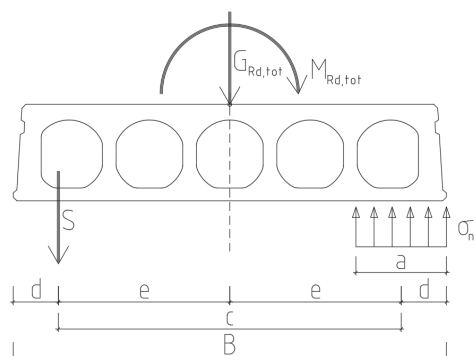
Fordeling av torsjonsmomenter i et dekkespenn lik L og plassering av torsjonsmomentet i avstand l_2 er gitt i figur 1.5.3. For hulldekker påtrykt flere torsjonsmomenter med ulike plasseringer kan et samlet momentdiagram utarbeides ved å summere virkningen av hvert enkelt moment.



Figur 1.5.3 Prinsipp for fordeling av torsjonsmoment over et dekkespenn

1.5.5 Stabilitet av hulldekker på opplegg

Konstruksjonens virkemåte avhenger at hulldekket har tilstrekkelig stabilitet mot akkumulert torsjon som overføres til oppleggene i begge ender. Figur 1.5.4 viser skjematisk hvilke kraftvirkninger som virker. Kreftene som er angitt i figuren antar en stor bøyestivhet på tvers av hulldekket. Økt forankringskraft S som følge av bøyning av hulldekketverrsnittet er ikke medtatt og må vurderes i hvert enkelt tilfelle.



Figur 1.5.4 Prinsipp for stabilitet av torsjonsmoment på opplegg.

$G_{Rd,tot}$ Opplagerreaksjon fra egenvekt på elementet. Lastfaktor som skal benyttes $\gamma = 0,9$

$M_{Rd,tot}$ Reaksjonsmoment (torsjonsmomentet) på opplegg i bruddgrensetilfellet (ULS)

d Avstand fra side til forankringskraften S

e avstand fra elementets tyngdepunkt til S eller tyngdepunktet for trykkflaten mot opplegg

a Bredden av trykkflaten

σ_n Trykkspenning mot underlaget

B Elementbredde

For å oppnå stabilitet uten andre tiltak enn egenlasten alene, kreves at $e = \frac{M_{Rd,tot}}{G_{Rd,tot}} \leq \frac{B}{2}$

Dersom $e > \frac{B}{2}$ har man en ustabil situasjon som må kompenseres med en forankring S som vist på figur.

Kontroll av stabilitet med en forankringskraft S : $e = \frac{M_{Rd,tot} - \left(\frac{Sc}{2}\right)}{G_{Rd,tot} + S}$ der $e \leq \frac{B}{2}$

For å løse ligningen antas en verdi for forankringskraften S .

Reelle verdier for S : $S = \frac{M_{Rd,tot} + G_{Rd,tot} \frac{c}{2}}{c}$

Resulterende kraft for σ_n : $N = \frac{M_{Rd,tot} - G_{Rd,tot} \frac{c}{2}}{c}$

Praktiske løsninger for å ivareta kraften S er avhengig av opplegget og behandles ikke videre i Memo 752.

1.5.6 Tiltak dersom hulldekket har for lav torsjonskapasitet

Dersom hulldekkene har for lav kapasitet, kan følgende vurderes:

- Spennetau både i overkant og underkant i hulldekket
- Bruk av andre typer dekke-elementer med tilstrekkelig armering for å ivareta kreftene (plattendekker eller kompakte dekkeelementer). Ved bruk av plattendekker kan det benyttes flattjern som er beskrevet i dette memoet. For kompaktdekker vil det være mest nærliggende å bruke flattjern med sveiste forbindelser til kompaktdekket og eventuell bolteløsning til BWC-enheten.
- Plasstøpte dekkefelt, her kan det også benyttes samme flattjernløsning som er beskrevet her eller løsninger som er beskrevet i Memo 750 og 756D.
- Stålprofilen ivaretar torsjonsmomentene mens skjærkreftene overføres til hulldekkensiden. Denne løsningen krever at stålprofilen er momentstivt forbundet til oppleggene i hver ende.

1.6 Kraftoverføringer fra BWC-enheten til flattjern

1.6.1 Bolteforbindelser mellom BWC-enheten og flattjern

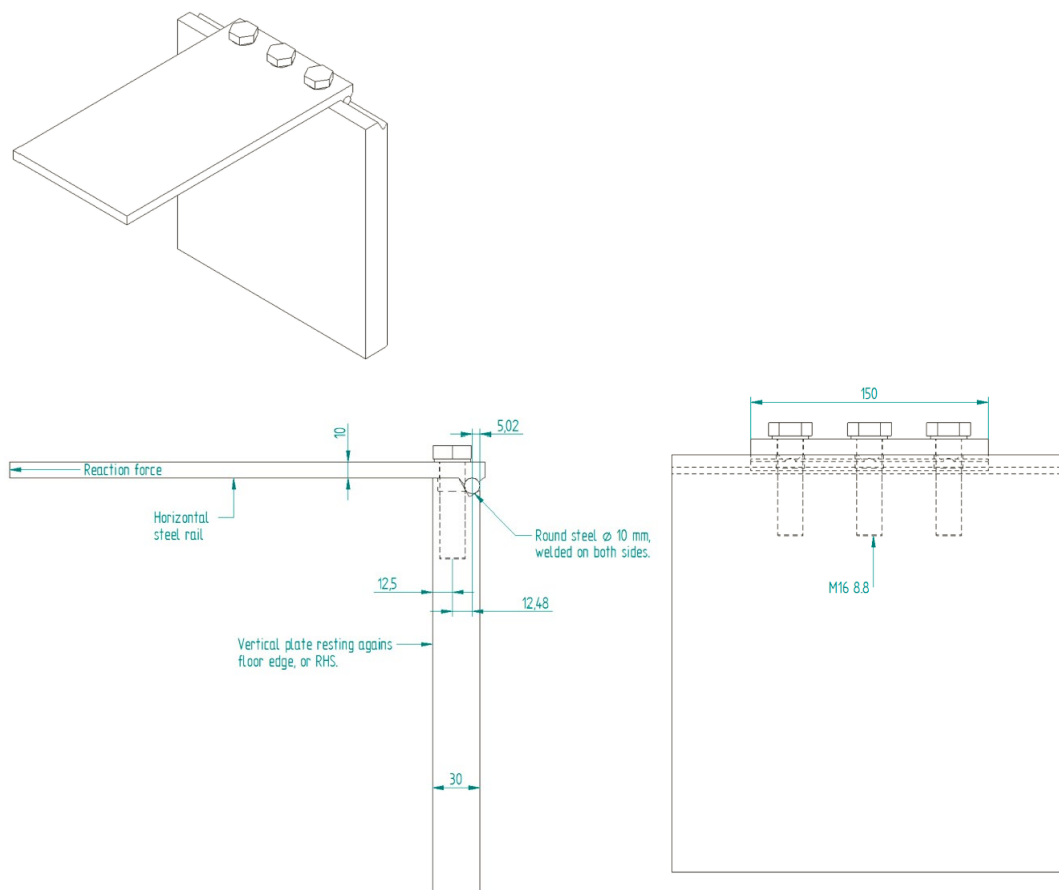
Beregninger av ulike boltealternativer er utført av Descartes Odd Einar Helmersen.

Beregningene er utført ved hjelp av beregningsprogrammet Ansys 2022 R1.

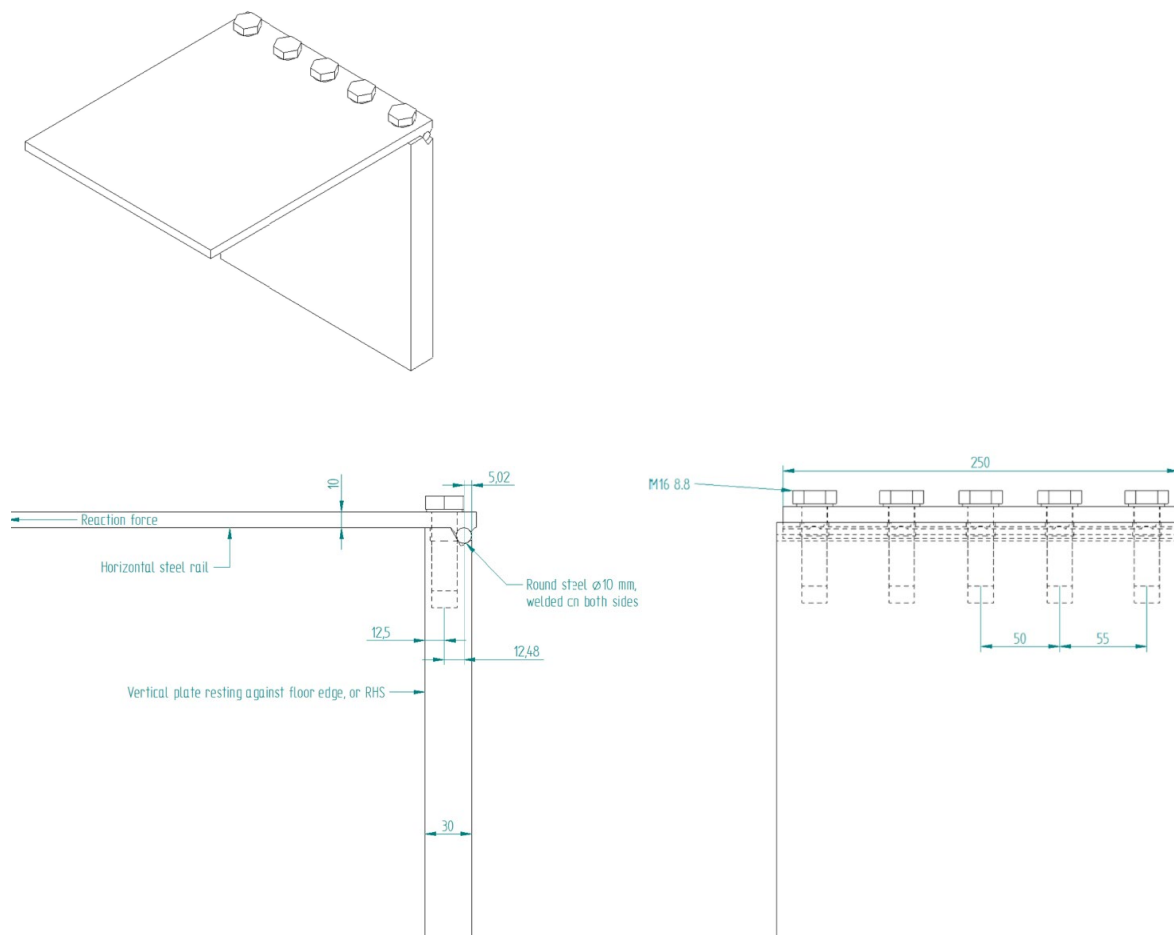
Det er utarbeidet 2 rapporter i tilknytning til disse beregningene.

- 1) Anchoring of tension without the use of welding , mounted with 3pcs M16 8.8 bolts, revision date 09.29.2022
- 2) Anchoring of tension without the use of welding , mounted with 5pcs M16 8.8 bolts, revision date 05.20.2022

Figurene 1.6.1 og 1.6.2 viser bolteløsninger for henholdsvis 3 og 5 bolter



Figur 1.6.1 Bolteløsning med 3 bolter



Figur 1.6.2 Bolteløsning med 5 bolter

1.6.2 Sveiseforbindelser mellom BWC-enheten og flattjern

I stedet for bolteforbindelsene beskrevet under pkt 1.6.1, kan forbindelsen mellom BWC-enheten/HUP og flattjern sveises. Flattjernet kan enten sveises til HUP eller til vertikalplaten i BWC-enheten. Forutsetningen for at flattjernet sveises til HUP forutsetter at BWC-enheten er tilstrekkelig forankret til HUP.

Beregning av selve sveisetverrsnittet utføres etter normale beregningsregler for sveiseavsett med gitte krefter. I de aller fleste tilfellene vil sveisene utføres på byggeplass. Det anbefales at dimensjonering av sveisene som utføres på byggeplass beregnes med en økt materialfaktor som angitt i tabell 2.1.1.

DEL 2 DIMENSJONERING

2.1 Materialforutsetninger

Tabell 2.1.1 Beregningsparametere og materialfaktorer

Tilstand	Betong						Stål		
	γ_c	α_{cc}	α_{ct}	η_1	η_2	γ_s	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}
Bruddgrensetilstand (ULS)	1,5	0,85	0,85	1,0	1,0	1,15	1,05	1,05	1,25
For arbeider utført på byggeplass	1,8								1,5

Tabell 2.1.2 Materialkvaliteter med egenskaper

Materialparametere	Betong- og armeringskvaliteter				Stål		Merknad
	B30 (N/mm ²)	B35 (N/mm ²)	B45 (N/mm ²)	B 500 C (N/mm ²)	S355 (N/mm ²)	K8.8 (N/mm ²)	
f_{ck}	30	35	45				EC2, Tabell 3.1
$f_{ck,cube}$	37	45	55				EC2, Tabell 3.1
$f_{ctk,0,05}$	2	2,2	2,7				EC2, Tabell 3.1
f_{yk}				500			EC2, Tillegg C
f_{cd}	17,0	19,8	25,5				$f_{cd} = f_{ck} \times \alpha_{cc} / \gamma_c$ $\gamma_c = 1,5$
$f_{cd, montasje}$	14,2	16,5	21,3				$f_{cd} = f_{ck} \times \alpha_{cc} / \gamma_c$ $\gamma_c = 1,8$
f_{yd}				435			$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$
f_u					510	800	EN 10025-2 for konstruksjonsstål EN 15048 for bolter
f_y					355		EN 10025-2 (fasthet for trykk og strekk)
f_{yd}					338		$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0}$
$f_{sd, sveis}$					377		$f_{sd,sveis} = f_u / (\gamma_{M2} \times \beta_w)$; $\beta_w = 0,9$, $\gamma_{M2} = 1,5$
$f_{yd,bolt}$						576	$f_{yd} = f_u \times \beta_w / \gamma_{M2}$, $\beta_w = 0,9$

2.2 Kapasitet for boltet løsning mellom flattjern og BWC-enheten

Detaljer knyttet til forbindelsen er angitt i pkt 1.6.1.

Spenningene i hver konstruksjonsdel som inngår er i henhold til /10/ og /11/ og er beregnet med bruddspenninger uten materialfaktorer. Forbindelsen benytter både bolter og plater. I henhold til NS-EN 1993 /12/ skal det benyttes ulike materialfaktorer disse materialene. For plater gjelder materialfaktoren γ_{M0} og for bolter gjelder γ_{M2} .

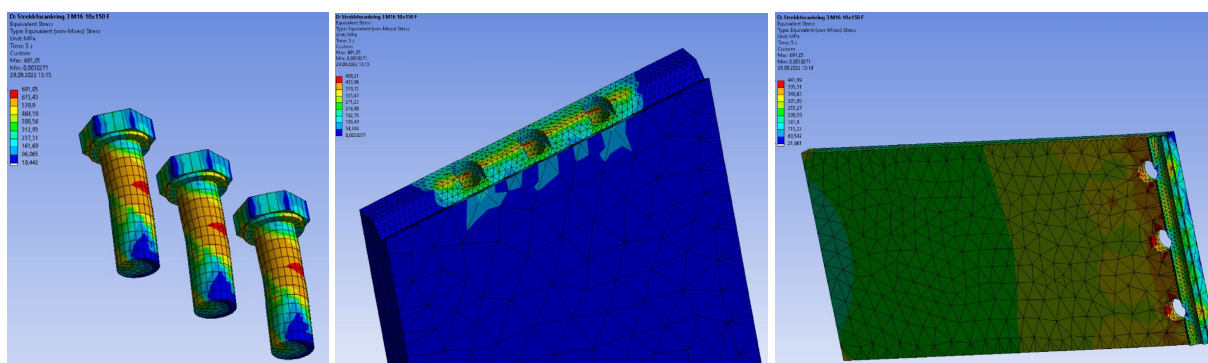
2.2.1 Forbindelse med 3 bolter

Materialkvalitet, plater av stål: S355 J2H

Materialkvalitet, bolter: K8.8

Dimensjon, bolter: M16

Forspenning i bolter: 78000 N



Figur 2.2.1 Gjengitte spenningsoversikter fra rapport /10/

Tabell 2.2.1 Beregningsresultater fra rapport /10/

Konstruksjonsdel	Stålkvalitet	Von mises spenning σ_j N/mm ²	Konstruksjonsstål f_u (N/mm ²)	Bolter $f_u' = f_u \times \beta_w$ (N/mm ²)	Forholdet σ_j/f_u eller σ_j/f_u'
Bolter	K8.8	691		720	0,960
Vertikal plate i BWC	S355	488	510		0,957
Flattjern	S355	442	510		0,867
Reaksjonskraft oppgitt til $F_{3 \text{ bolter}} = 310,0 \text{ kN}$					

Forholdstallet σ_j/f_u eller σ_j/f_u' er størst for bolter, dvs boltene begrenser kapasiteten i forbindelsen.

$$\text{Kapasitet: } N_{Rd,3 \text{ bolter}} = F_{3 \text{ bolter}} / \gamma_{M2} = 310 / 1,25 = 248 \text{ kN}$$

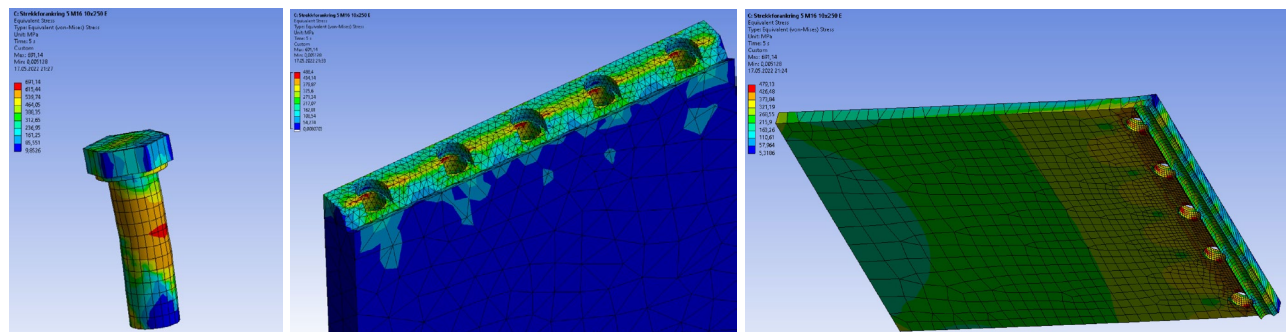
2.2.2 Forbindelse med 5 bolter

Materialkvalitet, plater av stål: S355 J2H

Materialkvalitet, bolter: K8.8

Dimensjon, bolter: M16

Forspenning i bolter: 78000 N



Figur 2.2.2 Gjengitte spenningsoversikter fra rapport /11/

Tabell 2.2.2 Beregningsresultater fra rapport /11/

Konstruksjonsdel	Stålkvalitet	Von mises spenning σ_j N/mm ²	Konstruksjonsstål f_u (N/mm ²)	Bolter $f_u' = f_u \times \beta_w$ (N/mm ²)	Forholdet σ_j/f_u eller σ_j/f_u'
Bolter	K8.8	691		720	0,960
Vertikal plate i BWC	S355	488	510		0,957
Flattjern	S355	479	510		0,939
Reaksjonskraft oppgitt til $F_{5 \text{ bolter}} = 496,0 \text{ kN}$					

Forholdstallet σ_j/f_u eller σ_j/f_u' er størst for bolter, dvs boltene begrenser kapasiteten i forbindelsen.

$$\text{Kapasitet: } N_{Rd,5 \text{ bolter}} = F_{5 \text{ bolter}} / \gamma_{M2} = 496 / 1,25 = 396 \text{ kN}$$

Tabell 2.2.3 Samlet beregningsresultater og øvrige forutsetninger

Antall bolter i koplingen	Kvalitet bolter	Forspenning Bolter ¹⁾ (N)	$N_{Rd,s}$ (kN)	Dimensjon Flattjern S355 J2H
3 bolter M16	K8.8	78000	248	150x10
5 bolter M16	K8.8	78000	396	250x10

¹⁾ Sekskantskruer etter DIN 931 / DIN 933 eller sylinderskruer etter DIN 912, $\mu_g=0,10$

2.3 HUP i sidekant hulldekker.

2.3.1 Spenninger i HUP

For å oppnå tilfredsstillende spenninger i HUP i overføring av kreftene, anbefales følgende dimensjoner:

HD 200, HUP 200x120x8

≥HD265, HUP 250x150x8

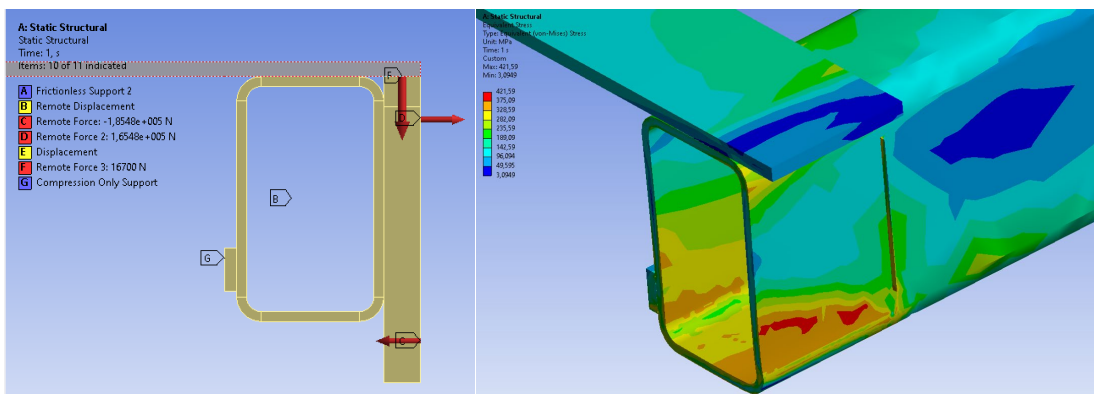
Laster som er tatt med i beregninger er lastkombinasjon LK1 tabell 1.2.

Torsjonsmoment overført fra BWC-enheten: 60 kNm

Vertikal last overført fra BWC-enheten: 33,4 kN

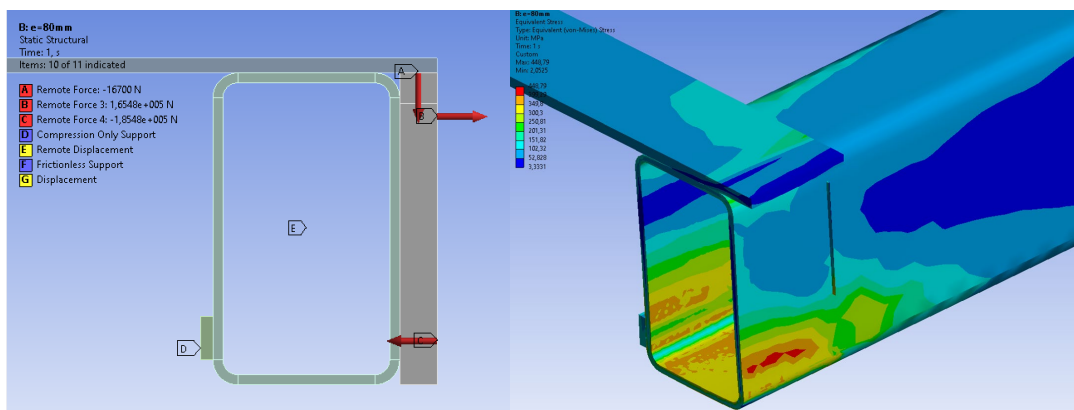
Økning av torsjonsmomentet som følge av eksentrisk plassert vertikallast utgjør 3,18 kNm.

(eksentrisitet for beregning av HUP: 95 mm)



Figur 2.2.3 Spenningsfordeling i HUP120x200x8,0 i side av HD200

Spenninger overstiger det lineære området for S355. Plastisk oppførsel er vurdert i forhold til omfang av tøyingene. Største tøying er beregnet til 0,10 mm/mm. Overskridelsene vil ikke endre funksjonen vesentlig.



Figur 2.2.4 Spenningsfordeling i HUP150x250x8,0 i side av HD265

Spenninger overstiger det lineære området for S355. Plastisk oppførsel er vurdert i forhold til omfang av tøyningene. Største tøyning er beregnet til 0,03 mm/mm. Overskridelsene vil ikke endre funksjonen vesentlig.

2.3.2 Trykkspenninger overført fra HUP mot sidekant hulldekker

Gjennomsnittlig trykkspenning mot hulldekkensiden via trykkfordelingsplaten:

HD200 via plate 35x490: 23,7 N/mm²

≥HD265 via plate 35x550: 16,5 N/mm²

For HD200 beregnet i lastkombinasjon LK1 vil trykkspenningen være større enn trykkfastheten for B45, forutsatt materialfaktor 1,8. Utnyttelsen i denne lastkombinasjon er 111%.

For HD265 kan trykkspenningen for LK1 tilfredsstilles ved å benytte B35.

Avstand fra trykkfordelingsplaten til undersiden av hulldekkene er liten, utvikling av eventuelle spaltestrekkrefter vil være begrenset.

2.4 Dimensjonering og forankring av flattjern

2.4.1 Dimensjonering av flattjern

Strekraft i flattjern N_{Ed} (kN)	Dimensjon flattjern (b x t)	Utnyttelse σ_{Ed}/f_{yd}
248	150x10	0,49
396	250x10	0,47

2.4.2 Dimensjonering av armeringsjern påsveiset flattjern og montert i side av hulldekket

Forankring av flattjern til hulldekkene er beskrevet under pkt 1.4. Selve beregningene er utført ved hjelp av Excel-regneark; Beregning av armeringsklør i innstøpte stålplater, utgitt av Betong Norge, Betongelementforeningen (2013). Tabellen 2.4.1 og 2.4.2 viser forankringskapasitet mellom flattjern og hulldekke. Tabell 2.4.3 viser anbefalte platetykkelser, dimensjon for sveis rundt pigg og forankringslengde av pigg.

Tabell 2.4.1 Forankring av flattjern 150x10 (beregnet kapasitet for strekk 248 kN)

Antall kanaler i hulldekket (stk)	Dimensjon armering (mm)	Antall armeringsjern (stk)	Kapasitet $\gamma_c = 1,8$ (kN)	Sideveis kantavstand a_2 (mm)
6 ¹⁾	Ø20	6	154	350
5 ²⁾	Ø20	5	158	350
4 ³⁾	Ø25	4	178	350

¹⁾ Typisk for HD200, $a_1 = 126$, $S_1 = 189$

²⁾ Typisk for HD265, $a_1 = 150$, $S_1 = 222$

³⁾ Typisk for HD320, $a_1 = 172$, $S_1 = 283$

⁴⁾ Bruk av pigg Ø25 krever minimumtykkelse 12 mm for flattjern

Tabell 2.4.2 Forankring av flattjern 250x10 (beregnet kapasitet for strekk 396 kN)

Antall kanaler i hulldekket (stk)	Dimensjon armering (mm)	Antall armeringsjern (stk)	Kapasitet $\gamma_c = 1,8$ (kN)	Sideveis kantavstand a_2 (mm)	Senteravstand sideveis S_2 (mm)
6 ¹⁾	Ø20	6x2	215	450	150
5 ²⁾	Ø20	5x2	210	450	150
4 ³⁾	Ø25	4x2	230	450	150

¹⁾ Typisk for HD200, $a_1 = 126$, $S_1 = 189$

²⁾ Typisk for HD265, $a_1 = 150$, $S_1 = 222$

³⁾ Typisk for HD320, $a_1 = 172$, $S_1 = 283$

⁴⁾ Bruk av pigg Ø25 krever minimumtykkelse 12 mm for flattjern

Tabell 2.4.3 Minste anbefalte platetykkelser og sveisestørrelser for pigg og lengde av pigg.

Pigg	Minste platetykkelse t. Pigg kun skjærbelastet BEB tabell B19.12.3	a-mål sveis rundt stangende ¹⁾ BEB tabell B19.12.13	Minste lengde for pigg 6xØ
Ø20	10 mm	5 mm	120
Ø25	12 mm	5 mm	150

¹⁾ Sveis er forutsatt utført i fabrikk/verksted

2.4.3 Dimensjonering av armeringsjern påsveiset flattjern og montert i enden av hulldekket

Forankring av flattjern til hulldekkenes ender er beskrevet under pkt 1.4.3. Begrensinger i strekkapasitet i kanalene er angitt i tabell 2.4.4 med forutsetning i en slisselengde l_{sliss} lik 1200 mm. ($l_0=1110$ mm).

Flattjern som benyttes i enden forutsettes å ha samme utførelse som flattjern montert i siden for de respektive hulldekketversnittene.

Tabell 2.4.4 Kapasitet N_{maks2} i enslige utstøpte kanaler i enden av hulldekker i henhold til tabell C12.5

Hulldekke	Lengde av utstøpt kanal l_{sliss} (mm)	Strekkapasitet N_{maks2} ¹⁾ (kN)	Betong (minimum)
HD200	1200	115	B25
≥ HD265	1200	141	B25

¹⁾ I henhold til noter og tilhørende tekst til tabellen.

Tabell 2.4.5 Heftkapasitet i utstøpte kanaler basert på utforming i h.h.t figur 1.4.4

Antall kanaler i hulldekket (stk)	Heftkapasitet for betongpropp (kN)	Omhylningslengde (mm)	l_{sliss} (mm)	Heftspenning ved brudd (N/mm ²)
Utstøping av enslige kanaler				
6 ¹⁾	106	443	1200	0,2
5 eller mindre ²⁾	133	555	1200	0,2
Utstøping av to nabokanaler				
6 ¹⁾	173	721	1200	0,2
5 eller mindre ²⁾	212	886	1200	0,2

¹⁾ Typisk for HD200

²⁾ Typisk for HD265

Tabell 2.4.5 Kapasitet av flattjern forankret i en kanal med kant- og senteravstander etter tabell 1.3.3

Antall kanaler i hulldekket (stk)	Kapasitet i en kanal $\gamma_c = 1,8$ (kN)	Antall armeringsjern og dimensjon (stk / mm)	Sideveis kantavstand a_2 (mm)	Betongkvalitet i utstøpte kanal
6 ¹⁾	98,8	6 / Ø20	121	B45
5 eller mindre ²⁾	116,5	5 / Ø20	166	B45

¹⁾ Typisk for HD200, $a_1 = 126$, $S_1 = 189$
²⁾ Typisk for HD265, $a_1 = 150$, $S_1 = 222$

Tabell 2.4.6 Kapasitet av flattjern forankret i to nabokanaler med kant- og senteravstander etter tabell 1.3.4

Antall kanaler i hulldekket (stk)	Samlet kapasitet for to kanaler $\gamma_c = 1,8$ (kN)	Antall armeringsjern og dimensjon (stk / mm)	Sideveis kantavstand a_2 (mm)	Senteravstand sideveis S_2 (mm)	Betongkvalitet i utstøpte kanaler
6 ¹⁾	175	6x2 / Ø20	140	150	B45
5 eller mindre ²⁾	194	5x2 / Ø20	202	150	B45

¹⁾ Typisk for HD200, $a_1 = 126$, $S_1 = 189$
²⁾ Typisk for \geq HD265, $a_1 = 150$, $S_1 = 222$

Tabell 2.4.7 Kapasitet oppsummert

Antall kanaler i hulldekket (stk)	Heftkapasitet for betongpropp (kN)	Bruddtype
Utstøping av enslige kanaler		
6 ¹⁾	98,8	Forankring av pigg
5 eller mindre ²⁾	116,5	Forankring av pigg
Utstøping av to nabokanaler		
6 ¹⁾	173,0	Heft i utstøpt kanal
5 eller mindre ²⁾	194,0	Forankring av pigg

¹⁾ Typisk for HD200

²⁾ Typisk for HD265

2.5 Dimensjonsering av hulldekket

2.5.1 Torsjonskapasitet i hulldekker

Beregningsregler for hulldekker utsatt for torsjonsmomenter er angitt i kap. 1.5.1 og samtidig virkende skjærkraft i kap. 1.5.2. Torsjonskapasiteter i hulldekker beregnet med typiske tverrsnittsdata for hulldekker angitt i Betongelementboken Bind A er gitt i tabell 1.5.1 /7/.

Tabell 2.5.1 Torsjonskapasitet i hulldekker / ekstruderte kompakte elementer

Hulldekke	$T_{Rd,c,HD}$ (kNm)	$T_{Rd,c,solid}^{1)}$ (kNm)
HD 200/1200	14,2	31,7
HD 265/1200	31,7	52,0
HD 320/1200	35,0	71,8
HD 400/1200	45,2	104,2
HD 500/1200	78,1	149,4

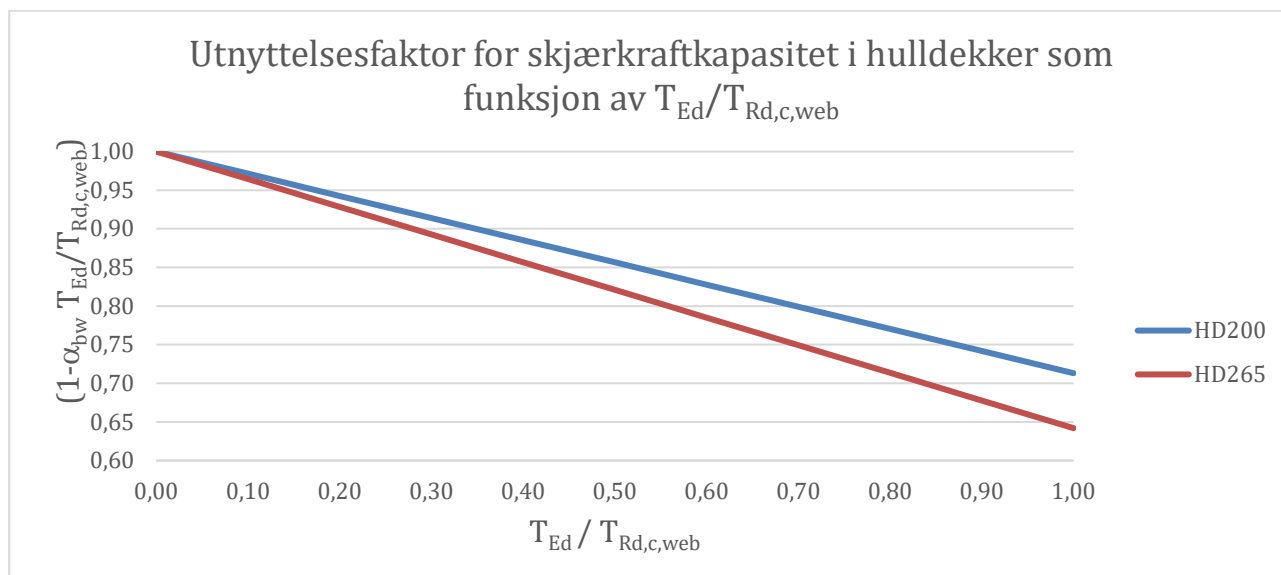
¹⁾ Gjelder kun for ekstruderte kompakte elementer.

Verdiene for $T_{Rd,c,HD}$ gjelder for hulldekker, mens verdiene for $T_{Rd,c,solid}$ gjelder for et massivt ekstrudert element. Beregningsreglene i prEN 1168 /9/ har, som tidligere nevnt i kapittel 1.5, ingen regler for mellomrommet mellom rene hulldekker og ekstruderte kompakte elementer. En økning av torsjonskapasiteten i hulldekker med utstøping av alle kanalene er etter dagens regelverk ikke mulig. Kompakte ekstruderte dekker leveres ikke av norske hulldekkeleverandører (mulig i svært begrenset omfang).

2.5.2 Skjærkapasitet i hulldekker i kombinasjon med torsjonsmomenter

Reduksjon av skjærkapasitet i hulldekker påkjent av torsjonsmomenter avhenger av utnyttelsen av torsjonskapasiteten, uttrykt ved forholdet $\left(1 - \alpha_{bw} \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c,web}}\right)$. Faktoren α_{bw} bestemmes av indre tverrsnittstykkelser i gitt hulldekketverrsnittet. Viser til kap. 1.5.2 der dette er forklart. Diagram 2.5.1 viser reduksjon av skjærkraftkapasiteten i hulldekket med økende utnyttelsesgrad for torsjonsmomenter. I diagrammet er kun effekten vist for HD200 og HD265. For de øvrige dekketverrsnittene (HD320, HD400 og HD500) er forskjellene små sammenlignet med kurven for HD265.

Diagram 2.5.1 reduksjon av skjærkraftkapasitet med varierende utnyttelse av torsjonskapasiteten.



2.5.3 Lokalt kraftopptak i snitt a_2 +

Tabell 2.5.2 Skjærkraftkapasitet i overflens på tvers av spennretningen

Hulldekke	Flenstykkelse h_{tf} (mm)	Skjærkapasitet i overflens ($\sigma_{cp} = 0$) (kN)
HD 200/1200	22,5	27,6
HD 265/1200	40	49,0
HD 320/1200	35	42,9
HD 400/1200	40	49,0
HD 500/1200	45	55,1

Teorigrunnlaget for bestemmelser av kapasitet i overflens er beskrevet i kapittel 1.5.3.

Skjærkapasitet i overflensen økes ved å legge inn opptredende trykkspenning i lengderetning av hulldekket i gitt snitt. Dette medfører at $\sigma_{cp} > 0$ i ligning 6.4 i NS-EN 1992. ($V_{Rd,c,flens} = \sqrt{(f_{ctd}^2 + \alpha_1 \times \sigma_{cp} \times f_{ctd})} \times l \times b / S$).

Dersom $\sigma_{cp} = 5,0 \text{ N/mm}^2$ og vedkommende beregningssnitt ligger utenfor kraftinnføringslengden for spenntauene ($\alpha_1 = 1,0$) vil skjærkapasiteten i flensen øke med faktoren 2,06.

2.6 Beregningsverktøy

I tilknytning til Memo 752 er det utviklet et regneark som kan benyttes for hulldekker påkjent av krefter fra BWC-40-U-H.

Regnearket ivaretar følgende laster/ beregninger:

- Hulldekke med inntil 4 BWC-koplinger med vilkårlig plasseringer i hulldekkspennet.
- Beregner fordeling av torsjonsmomenter over dekkspennet basert på gitte plasseringer av momentene.
- Regnearket inneholder en database for tverrsnittsverdiene til hulldekker fra et utvalg av norske leverandører. Valg av leverandør og tverrsnitt er lagt inn som rullegardin.
- Beregner vedkommende hulldekkes torsjonskapasitet og utnyttelse basert på gitte ytre torsjonsvirkninger.
- Beregner skjærkraftkapasitet i aktuelle snitt med gitte beregningsparametere som fremkommer fra beregningsprogram for dimensjonering av vedkommende hulldekke belastet med øvrige laster (egenlaste og variable laste).
- Det kan gjøres et valg i programmet om det skal regnes et tverrsnitt med åpne kanaler eller utstøpte kanaler.
- Beregning av tiltak for å oppnå tilstrekkelig stabilitet på opplegg.

DEL 3 BEREGNINGSEKSEMPEL

Dimensjonering av et hulldekk med delvis to opphengte balkonger.

Dekketype: HD265

Systemakse for spennvidde: 8950 mm

Rådgivende ingeniør bygg (RIB) har oppgitt følgende laster:

Jevnt fordelte laster på hulldekker:

- Ytre egenlaster på hulldekkene: $1,0 \text{ kN/m}^2$ (ekskl. egenlast av hulldekket)
- Nyttelaster på hulldekkene: $2,0 \text{ kN/m}^2$

Laster fra Balkong 1 oppgitt i ULS:

$$M_{Ed,B1} = 15,0 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,B1} = 16,6 \text{ kN}$$

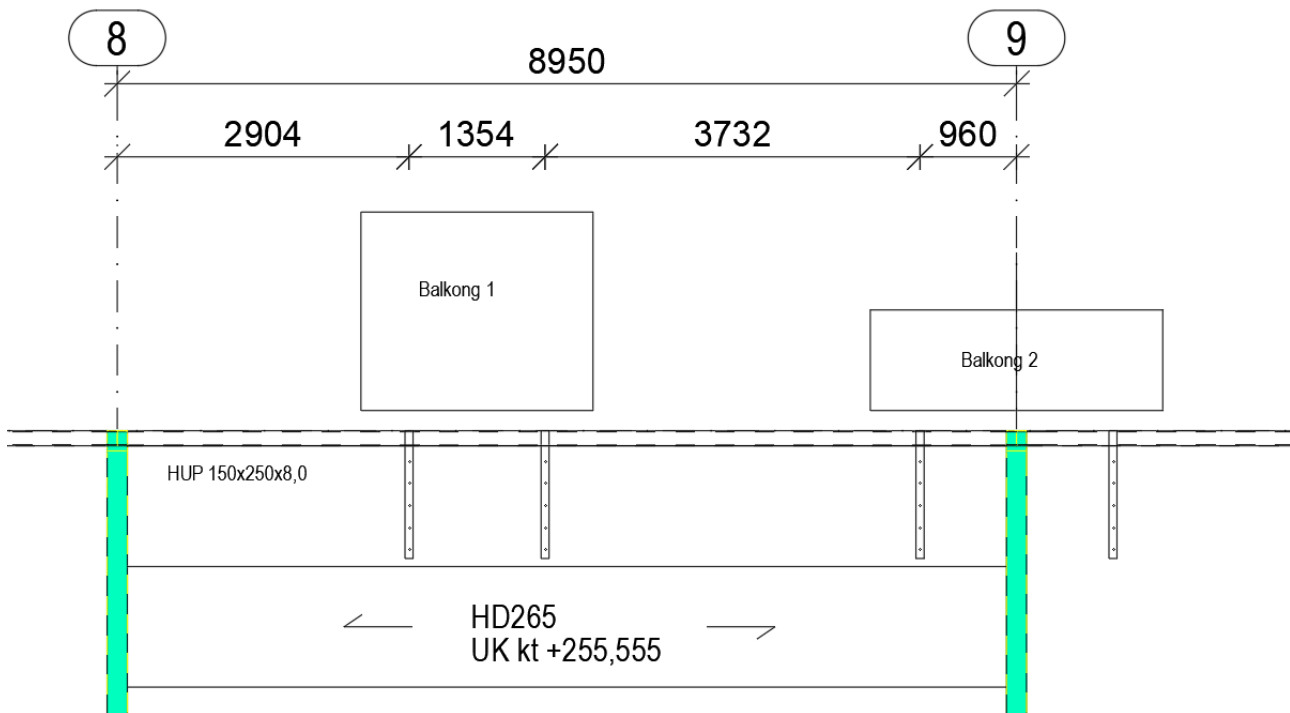
$$N_{Ed} = 20,0 \text{ kN}$$

Laster fra balkong 2 oppgitt i ULS:

$$M_{Ed,B2} = 9,18 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed,B2} = 17,28 \text{ kN}$$

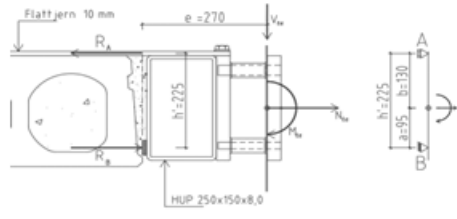
$$N_{Ed} = 20,0 \text{ kN}$$

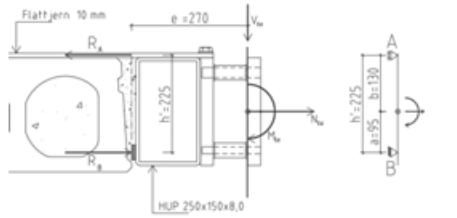


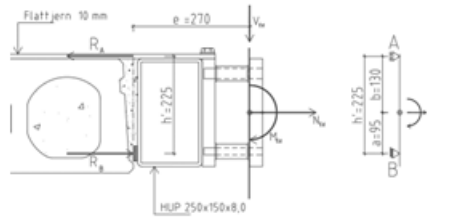
Figur 3.1 Plantegning av aktuell situasjon

Dimensjonering av hulldekket utføres ved hjelp av regneark til Memo 752 og beskrevet i kap.2.6.

Beregning av momentvirkning mot huldekket fra hver momentlast (i dette tilfellet 3 stk):

Laster nr 1 fra BWC-enheten					
$M_{Ed} =$	15 kN/m	$M_{Ed, total} = M_{Ed} + V_{Ed} \cdot e$	(Ligning 1)		
$V_{Ed} =$	16,6 kN	$R_A = M_{Ed, total} / h' \pm N_{Ed} \cdot a/h'$	(Ligning 2)		
$N_{Ed} =$	20 kN	$R_B = M_{Ed, total} / h' \pm N_{Ed} \cdot b/h'$	(Ligning 3)		
I side \geq HD265		e	a	b	h'
		270	95	130	225
		$M_{Ed, total, 1} = 19,5 \text{ kNm}$ $R_{A, maks} = 95,0 \text{ kN}$ $R_{B, maks} = 98,1 \text{ kN}$ Nødvendig dimensjon av flattjern : Flattjern 150x10 med 3 bolter M16			

Laster nr 2 fra BWC-enheten					
$M_{Ed} =$	15 kN/m	$M_{Ed, total} = M_{Ed} + V_{Ed} \cdot e$	(Ligning 1)		
$V_{Ed} =$	16,6 kN	$R_A = M_{Ed, total} / h' \pm N_{Ed} \cdot a/h'$	(Ligning 2)		
$N_{Ed} =$	20 kN	$R_B = M_{Ed, total} / h' \pm N_{Ed} \cdot b/h'$	(Ligning 3)		
I side \geq HD265		e	a	b	h'
		270	95	130	225
		$M_{Ed, total, 1} = 19,5 \text{ kNm}$ $R_{A, maks} = 95,0 \text{ kN}$ $R_{B, maks} = 98,1 \text{ kN}$ Nødvendig dimensjon av flattjern : Flattjern 150x10 med 3 bolter M16			

Laster nr 3 fra BWC-enheten					
$M_{Ed} =$	9,18 kN/m	$M_{Ed, total} = M_{Ed} + V_{Ed} \cdot e$	(Ligning 1)		
$V_{Ed} =$	17,28 kN	$R_A = M_{Ed, total} / h' \pm N_{Ed} \cdot a/h'$	(Ligning 2)		
$N_{Ed} =$	20 kN	$R_B = M_{Ed, total} / h' \pm N_{Ed} \cdot b/h'$	(Ligning 3)		
I side \geq HD265		e	a	b	h'
		270	95	130	225
		$M_{Ed, total, 1} = 13,8 \text{ kNm}$ $R_{A, maks} = 70,0 \text{ kN}$ $R_{B, maks} = 73,1 \text{ kN}$ Nødvendig dimensjon av flattjern : Flattjern 150x10 med 3 bolter M16			

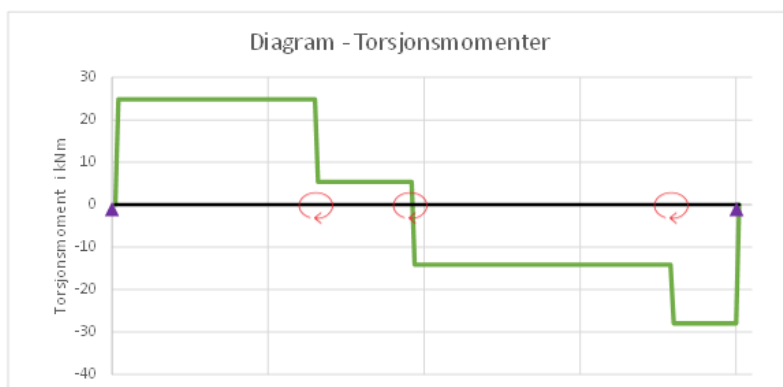
Største strekkraft i flattjern $R_A = 95,0 \text{ kN}$

Velger å benytte flattjern 150x10 med forankret til BWC-enheten med 3 M16 bolter.

Angrepspunkter for torsjonsmomentet og fordeling av hvert moment over spennvidden i henhold til figur 1.5.3

	Moment nr 1	Moment nr 2	Moment nr 3
Avstand fra venstre opplegg	2904 mm	4258 mm	7991 mm
Beregnet ytre torsjonsmoment mot HD	19,5 kNm	19,5 kNm	13,8 kNm
Momentfordeling til venstre	13,2 0 - 2904	10,2 0 - 4258	1,5 0 - 7991
Momentfordeling til høyre	-6,32 2904 - 8950	-9,27 4258 - 8950	-12,36 7991 - 8950

Diagram for torsjonsmomentet over spennvidden samt tallverdier i intervall



Intervall	Moment
0 - 2904	24,9 kN/m
2904 - 4258	5,4 kN/m
4258 - 7991	-14,1 kN/m
7991 - 8950	-28,0 kN/m

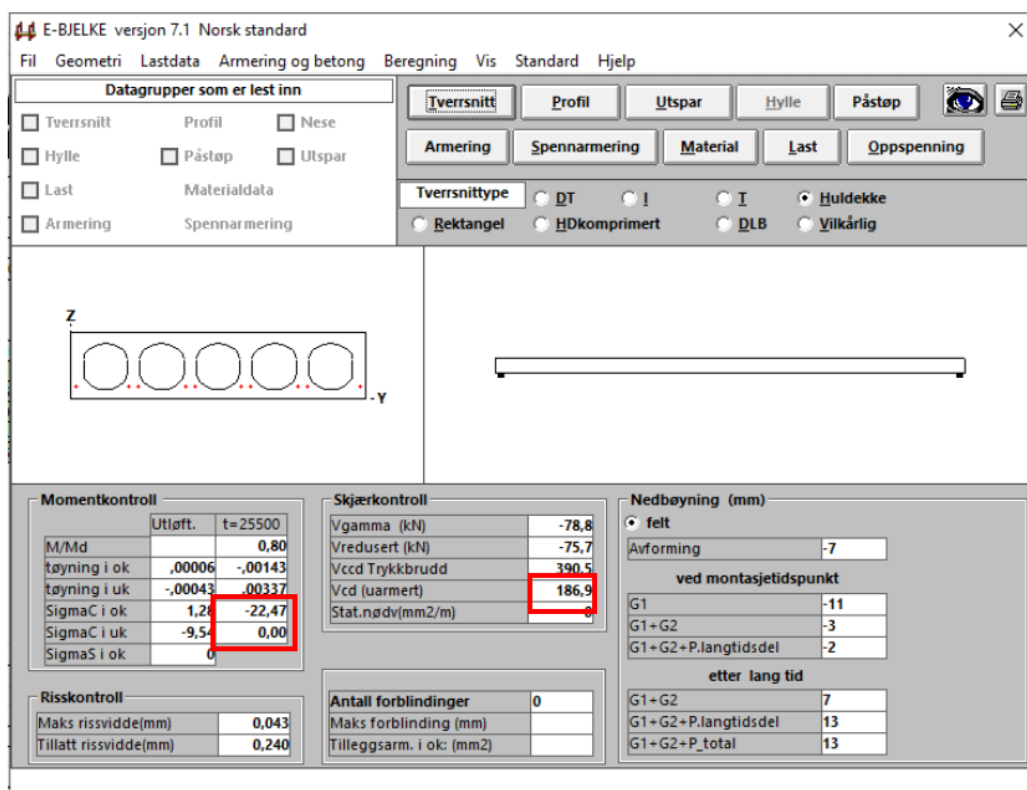
Beregning av hulldekket med normale jevnt fordelte vertikale laster ved hjelp av dataprogrammet E-bjelke.

E-bjelke er et av de mest brukte programmene i Norge.

- Ytre egenlaster på hulldekkene: $1,0 \text{ kN/m}^2$
- Nyttelaster på hulldekkene: $2,0 \text{ kN/m}^2$

Beregningsresultat med kommentarer for verdier som skal benyttes i regnearket:

Verdier for SigmaC legges inn i regnearket. Det samme gjelder for skjærkapasiteten.



I dette tilfellet er V_{cd} beregnet med tillegg for to utstøpte kanaler i hulldekkene. Beregningsreglene for dette følger Betongelementboken bind C, kap 19.1.9. V_{cd} uten utstøpte tiltak er beregnet til $109,5 \text{ kN}$.

Verdiene overfor legges manuelt inn i regnearket i de gule feltene. Verdiene for spenningene SigmaC i OK og UK legges inn med bakgrunn i de minste verdiene for egenlast alene eller egenlast og nyttelast samlet.

Betongspenninger avlest fra E-bjelke eller tilsvarende			
SigmaC i OK	-22,47 MPa	Skjærkapasitet dekke (uten tiltak)	109,5 kN
SigmaC i UK	0 MPa	Skjærkapasitet med tiltak (for 2 utstøpte kanaler)	186,9 kN

Verdier for skjærkrefter i aktuelle områder i spennvidden kan tas ut av utskriften til programmet.

Verdiene legges inn manuelt i regnearket i regnearket i de gule feltene.

5.4.1 Skjærkraftkontroll

Avst. til v. ende (mm)	Maks skjærkraft (kN)	Redusert skjærkraft (kN)	Vrd,max trykk kap. (kN)	Vrd,c ** (kN)	Statisk nødvendig skjærarmer. (mm ² /m)
272	-76,7	-75,7	401,8	109,5	0
500	-74,3	-74,3	414,6	122,0	0
574	-73,5	-73,5	414,6	125,0	0
1000	-68,1	-68,1	414,6	127,9	0
1441	-62,6	-62,6	414,6	127,9	0
1874	-57,1	-57,1	414,6	96,1	0
2308	-51,7	-51,7	414,6	96,1	0
2741	-46,2	-46,2	414,6	96,1	0
3608	-35,2	-35,2	414,6	96,1	0
4475	-24,3	-24,3	414,6	96,1	0
5342	35,2	35,2	414,6	96,1	0
6209	46,2	46,2	414,6	96,1	0
6643	51,7	51,7	414,6	96,1	0
7076	57,1	57,1	414,6	96,1	0
7510	62,6	62,6	414,6	127,9	0
7950	68,1	68,1	414,6	127,9	0
8377	73,5	73,5	414,6	125,0	0
8450	74,3	74,3	414,6	122,0	0
8678	76,7	75,7	401,8	109,5	0

Beregningssnitt	Kompakt ekstrudert dekke Ja/Nei	Torsjon i dekke [kNm]	Største skjær- kraft i snitt [kN]
0 - 2904	Nei	24,9	76,7
2904 - 4258	Nei	5,4	46,2
4258 - 7991	Nei	14,1	35,2
7991 - 8950	Nei	28,0	76,7

NB: I Norge leveres ikke kompakte ekstruderte elementer og valget her blir da nei.

Resultater for utnyttelse av skjærkrefter og torsjonsmomenter:

Beregningsresultater i gjeldende intervall											
Intervall	Dekketype	Torsjonsmoment i intervallet $M_{T,Ed}$ kNm	Største skjærkraft i intervall kN	Kapasiteter for torsjon			Utnyttelse av torsjon	Skjær- kapasitet $V_{Rd,c}$ (kN)	Redusert skjær- kapasitet $V_{Rd,c,red}$ (kN)	Utnyttelse skjærkraft	Resultat
				$T_{Rd,c,flers}$ (kNm)	$T_{Rd,c,steg}$ (kNm)	$T_{Rd,c,kompakt}$ (kNm)					
0 - 2904	Huldekke	24,9	76,7		34,5	31,7	78,5%	186,9	78,7	97,4%	OK
2904 - 4258	Huldekke	5,4	46,2		56,7	41,5	12,9%	186,9	104,4	44,2%	OK
4258 - 7991	Huldekke	-14,1	35,2		43,1	35,2	40%	186,9	93,8	37,5%	OK
7991 - 8950	Huldekke	-28,0	76,7		34,5	31,7	88,2%	186,9	74,9	102,4%	For stort skjær

Torsjonskapasiteten i hulldekker settes til den minste verdien av $T_{Rd,c,flens}$ og $T_{Rd,c,steg}$.

I tilknytning til skjærkapasiteten benyttes verdien $T_{Rd,c,steg}$.

Dersom det legges inn verdier større enn 0 for SigmaC i OK og UK forutsetter regnearket at trykkspenningene øker lineært fra opplegg til midten av spennvidden for hulldekket. Dette medfører at torsjonskapasiteten varierer over spennvidden som vist i tabellen overfor.

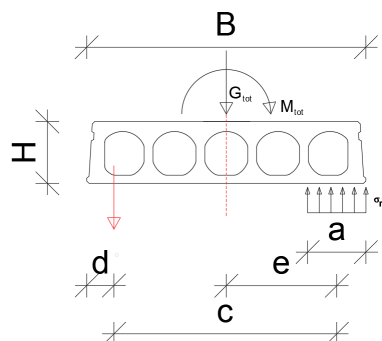
I beregningseksemplet overskrides skjærkraftkapasiteten som følge av at utnyttelsen av torsjonskapasiteten er for høy.

Beregning av stabilitet mot rotasjon på opplegg

Stabilitet beregnes ved hjelp av regnearket. Tallverdier som skal legges inn, er torsjonsmoment for vedkommende opplegg og minste reaksjonskraft (Som regel alle egenlaster samt nyttelaster på balkong).

Dersom vertikale krefter ikke er tilstrekkelig til å stabilisere momentet, må man legge inn en forankring på strekksiden for momentet.

For gitt eksempel er følgende stabilitetsberegning utført.



Stabilitet av HD mot opplegg med torsjon

Elementgeometri

Elementbredde	B =	1200 mm
Elementhøyde	H =	265 mm

Oppleggskrefter

Karakteristisk egenlast på opplegget	43,0 kN	(Hentet fra oppgitt karakteristisk opplagerkraft)
Dimensjonerende oppleggskraft G_{tot}	38,7 kN,	lastfaktor $\gamma_f = 0,9$

Torsjonsmoment på opplegg

Totalt moment som må stabiliseres:	M_{tot}	27,95 kNm (hentet fra momentdiagram)
------------------------------------	-----------	--------------------------------------

Stabilitetsberegning av element uten forankringsarmering

Eksentrisitet $e = M_{tot} / G_{tot}$	722 mm
$e > B/2$ Elementet er ustabil og må forankres til opplegget som vist på skisse	

Forankring av elementet

Prøver forankringsarm. Ø =	16 mm, tverrsnitt for 1 stang:	201,1 mm ²
Full forankret stang	$S = 87,5 \text{ kN}$, $S = F_{sd} \cdot A_s$, $F_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$	
Avstand fra fuge til tyngdepunkt for arm.stenger d =	150 mm	
Avstand fra S til T: $c = B - 2 \cdot d / 1000 =$	900 mm	

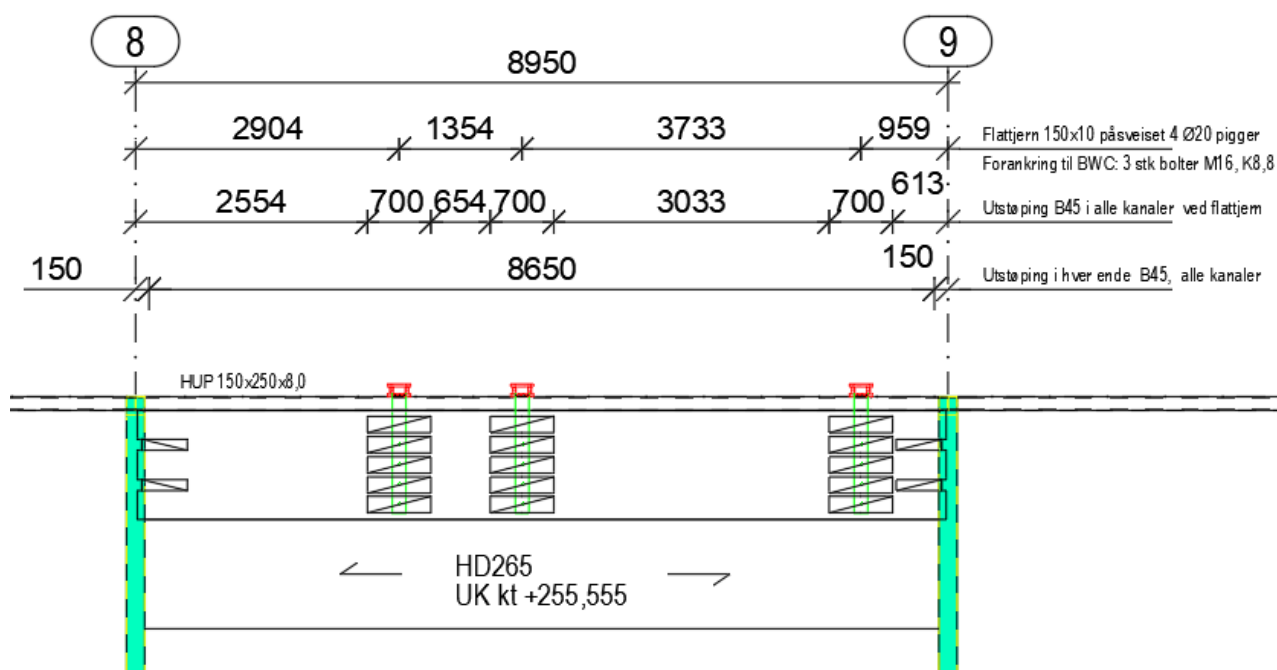
Stabilitetsberegning av element med forankringsarmering

$e = (M - (S \cdot c) / 2) / (G_{tot} + S)$	-90,4 mm	Elementet er stabilt
$a = 2(B - c - d)$	300 mm	antatt verdi
Nødvendig forankringskraft med likevekt om T:		
Antall forankringsstenger	1 stk plassert 150 mm fra kant	
$N = (M_{tot} + G_{tot} \cdot c \cdot 0,5) / c =$	50,4 kN, trykkspenning: $\sigma_n =$	2,10 N/mm ² (80 mm oppleggsdybde)
$S = (M_{tot} - G_{tot} \cdot c \cdot 0,5) / c =$	11,7 kN, stålspenning: $\sigma_s =$	58,2 N/mm ²

Beregningskonklusjon:

Huldekk HD265 har tilstrekkelig torsjonskapasitet i forhold til laster oppgitt av RIB.

Største kraft i flattjern er beregnet til 95 kN for to av BWC-enhetene. Fordelte krefter til hver side av flattjernet er 64,3 kN til side mot nærmeste opplegg og 30,7 kN på den andre siden. Denne fordelingen følger fordeling av torsjonsmomentet i huldekkesspenet. Begge kreftene tas opp som en skjærkrefter i overflensen inntil skjærstrømmen er etablert. Etter tabell 2.5.2 er denne skjærkraften for stor. Beregnet trykkspenning σ_{cp} i gitt snitt (2254 mm fra opplegg) er i størrelsesorden 11,3 N/mm². Kapittel 2.5.3 angir at ved en trykkspenning lik 5 N/mm² vil skjærkraftkapasiteten dobles og kapasiteten er dermed tilfredsstillende. Tiltak som er påkrevd er vist på tegning.



Prinsipp for utstøping av kanaler. Utsparinger for fylling ikke vist. Stabiliserende forankring for rotasjon på opplegg er ikke vist. Dette avhenger om opplegget er av stål eller betong.

Det anbefales at alle kanalene utstøpes i oppleggssonen. Bredden av denne utstøpingen er her foreslått til 150 mm.

DEL 4 REFERANSER / REVISJONER

REFERANSER

- /1/ MEMO 750 – Veiledning BWC-utkraget
Dokument 2001034 A, siste revisjon 23.06.2022. Utarbeidet av Invisible Connection AS,
- /2/ MEMO 756D – Tabelldata nedbøyning BWC 40 U-H sveiset til BWC plate 40 U-H
Dokument 191216A, siste revisjon 23.06.2022. Utarbeidet av Invisible Connection AS,
- /3/ NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2018, Prosjektering av betongkonstruksjoner.
Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger
- /4/ CEN/TS 1992-4-2:2009, Dimensjonering av festemidler til betong
Del 4-2 Bolter med hode.
- /5/ NS-EN 13369:2013, Allmenne regler for prefabrikkerte betongprodukter
- /6/ NS-EN 1168:2005+A3:2011, Prefabrikkerte betongprodukter – Hulldekker
- /7/ Betongelementboken, Bind A-I. Varierende utgivelsesår (siste utgave gjelder)
Flere forfattere, Betong Norge, Betongelementforeningen
- /8/ C3 Tilleggsark Betongelementboken, Bind C
Sivilingeniør Leidulv Vinje, oktober 2021. Betong Norge, Betongelementforeningen
- /9/ prEN1168 TG1 Feasibility draft 2023.05.05
- /10/ Anchoring of tension without the use of welding, mounted with 3 pcs M16 8.8 bolts,
Odd Einar Helmersen, mai 2022
- /11/ Anchoring of tension without the use of welding, mounted with 5 pcs M16 8.8 bolts,
Odd Einar Helmersen, september 2022

REVISJON		
Dato	Beskrivelse	Sign.
30.06.2023	Revisjoner i henhold til endringer i prEN 1168	ML
11.01.2023	Revisjoner etter uavhengig kontroll	ML
27.10.2022	Dimensjoneringsregler for hulldekker, beregningseksempel	ML
06.07.2022	Første utgave.	ML