



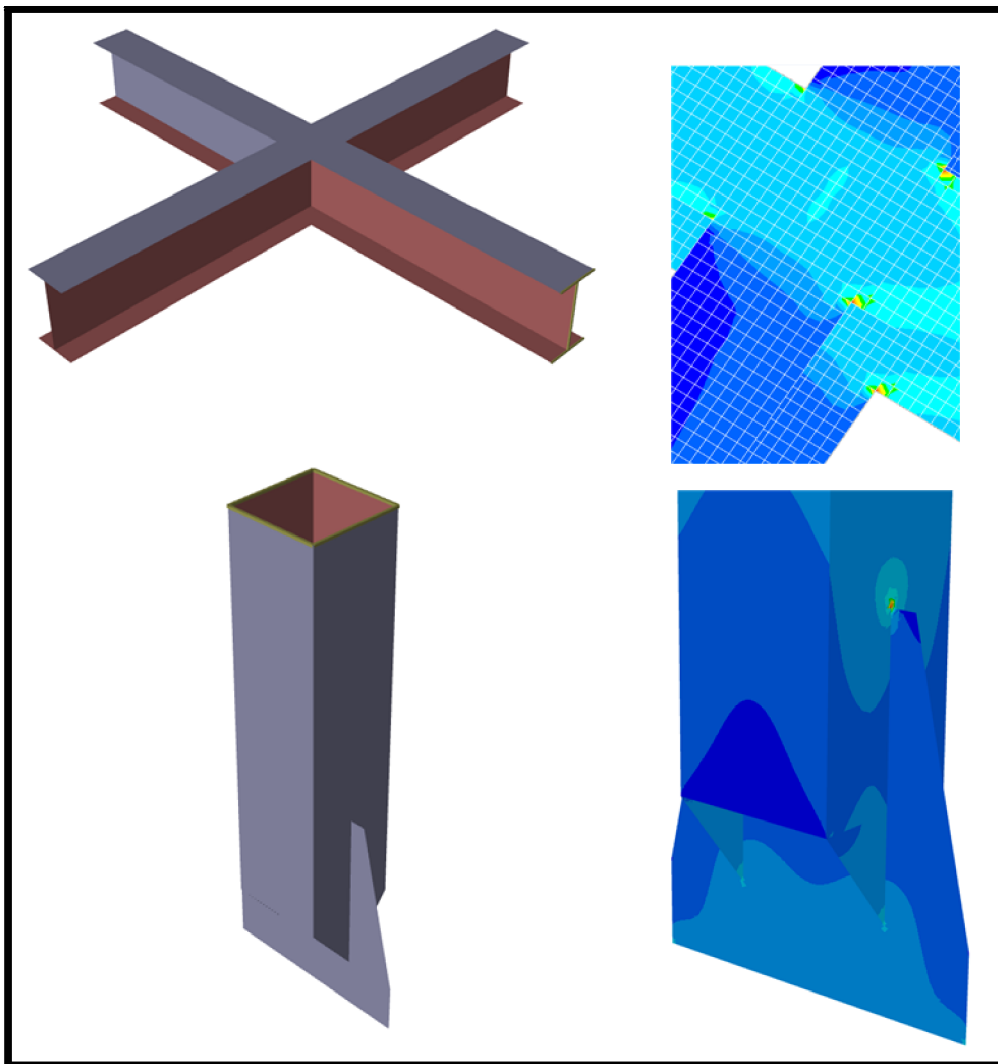
Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram: Offshoreteknologi – Offshoresystemer	Vårsemesteret, 2010
Spesialisering: Konstruksjonsteknikk	Åpen
Forfatter: Marius Wæge	 (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Ivar Langen	
Veileder(e): Ivar Langen (UiS) & Ivar Holta (Aker Solutions)	
Tittel på masteroppgaven: Spenningsbilde i konstruksjonsdetalj	
Studiepoeng: 30 sp	
	Antall sider rapport : 95 Antall sider vedlegg: 52 Totalt Antall sider : 147 Stavanger – 10.06.2010

SPENNINGSBILDE I KONSTRUKSJONSDETALJ



MASTEROPPGAVE INNEN
OFFSHOREKONSTRUKSJON
2010

MARIUS WÆGE

Sammendrag

Denne masteroppgaven vil representere analyser av spenningskonsentrasjoner i to spesifikke sveiste konstruksjonsdetaljer med hovedhensyn på utmattingsproblematikken. Det ene detaljen som det er gjennomført parameteranalyser på er et bjelkekryss der sveisen ligger ortogonalt på belastningsretningen, og den andre detaljen er et hulprofil festet til en knuteplate som medfører at belastings og sveiseretning faller sammen. Det er utført en rekke parameteranalyser på hver enkelt detalj med den hensikt å øke kunnskapen om hvordan elementtekniske og geometriske valg påvirker resultatene av analysemodellen.

Masteroppgaven strekker seg fra en teoretisk del der det presenteres hvordan både sveiste forbindelser blir beregnet teoretisk og hva som ligger til grunn for utmattingsberegninger. Det er også utført manuelle beregninger av de sveiste forbindelsene både etter elastisitetsteorien og plastisitetsteorien for å gi en praktisk innføring i hvordan manuelle beregninger av sveiste forbindelser gjennomføres i praksis for å dokumentere tilstrekkelig kapasitet. Tilslutt er det gjennomført en rekke parameter analyser av for å undersøke virkningen av ulike parametere på elementanalysen.

Masteroppgaven er utført med noen forenklinger. Det første er at oppgaven begrenser seg til to spesifikke detaljer for å begrense analysemengden, men disse har forskjellig oppbygning og burde gi grunn til noen generelle slutninger. Det er gjort en forenkling av lastscenarioet til å omhandle en aksialtrekkraft. Alle forenklingene er gjort for å legge arbeidsmengden på et slikt nivå at det er realistisk å gjennomføre masteroppgaven innenfor tidsrammen som er gitt.

Det har i denne oppgaven både blitt sett på hva som skjer med den maksimale elementspenningen ved parameterforandringer, og spenningen som blir beregnet etter DNV RP-C203, samt hva som skjer med forholdet mellom disse ved endring av parametere.

Gjennom analysene av knutepunktene uavhengig av overgangstype er det noen trender som har vist seg gjeldene. Kvaliteten på elementnettet vil påvirke analyseresultatene i konservativ eller ikke konservativ retning, og man må ha kontroll på elementnettet for å gjennomføre en analyse av god kvalitet. Resultatene blir vesentlig påvirket av elementstørrelsen, der mindre størrelse på elementene vil gi en mer konservativ analyse. Det er da viktig med riktig elementstørrelse for å gjengi virkeligheten på en god måte.

Spenningskonsentrasjonsfaktoren beregnet etter DNV RP-C203 gir en vesentlig lavere verdi enn den maksimale elementspenningen. Interpoleringen fører til at valg av elementtype er mindre kritisk fordi alle elementtypene får resultater i et smalere spenningsområde. Det er førsteordenselementene som blir mest konservative ved interpolering, i motsetning til analyse av den maksimale elementspenningen der andreordenselementene er mest konservative.

Ved geometriske endringer som fører til et mer jevnt spenningsforløp vil både maksimalspenning og beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor reduseres så lenge endringen ikke forårsaker ugunstige elementnett endringer.

DNV RP-203 er konservative når det gjelder oppgitte spenningskonsentrasjonsfaktorer i forhold til spenningskonsentrasjonsfaktorer som er oppnådd i analysene som er gjennomført.

Genie og Xtract har en god distanse igjen for å kunne oppnå status som et fullverdig elementprogram, og har på nåværende tidspunkt noen klare begrensinger.

Forord

Under høsten 2009 hadde jeg mye tanker rundt forskjellige masteroppgaver som ble tilbudt fra UiS og bedrifter som samarbeider med universitetet. Jeg så etter oppgaver der jeg kunne bruke kunnskapen jeg har tilegnet meg gjennom 5 år med studier, og en oppgave der jeg tilegnet meg kunnskap som kunne brukes i en videre karriere. Jeg ville gjerne også ha en oppgave som ga en problemstilling som var aktuell for næringslivet slik at jeg fikk en smak av hvordan det praktiske arbeidslivet fungerer.

Aker Solutions var en av bedriftene som samarbeider med UiS og la ut oppgaveforslag som kunne egne seg til masteroppgaver. Derfor bestemte jeg meg å søke på en oppgave som besto av å undersøke effekten av spenningskonsentrasjoner på forskjellige konstruksjonsdetaljer ved hjelp av elementanalyse. Dette var en oppgave som kunne øke min kunnskap rundt det å utføre en elementanalyse, samt tolke resultater som kommer frem i en slik analyse. Det var også et høyt mål å kunne bidra til å øke kunnskap hos Aker Solutions rundt hvordan spenningskonsentrasjoner blir påvirket av både geometriske og tekniske valg ved gjennomføring av en elementanalyse, og jeg er takknemlig for at jeg fikk muligheten til å samarbeide med Aker Solutions.

Med første øyekast virket oppgaven stor og litt skremmende for meg med begrenset praktisk analyseerfaring. Jeg hadde liten kjennskap til både knutepunktdetaljer og analyseverktøy. Min kunnskap lå i en teoretisk forståelse av problematikken. Selv om jeg manglet erfaring med analyseverktøy og måtte bruke noe tid til å komme på et nivå som var høyt nok til å gjennomføre analysene, så syntes jeg egentlig denne mangelen på erfaring var en god ting fordi jeg da ikke hadde for store forventinger til resultatene, og kunne derfor tolke dem etter min egen erfaring, synspunkt og evner.

Jeg startet med entusiasme januar 2010 med å lese meg opp på teorien bak både sveiste forbindelser og utmatting for å legge grunnlaget for den praktiske utførelsen av oppgaven. Det ble etablert to knutepunkt som skulle være basisen for oppgaven og det gjorde at man fikk noe mer håndfast å rette fokuset på. Jeg må si at jeg stort sett er fornøyd med fremdriften, men man lærer fort at gjennomføring ofte tar lengre tid enn det man tror når man mangler erfaring, og noe av det viktig man lærer er å disponere tiden på en god måte.

Det er også slik at når man graver seg dypere ned i en problemstilling så dukker det opp stadig flere utfordringer som man burde undersøkt fra flere sider, men man må sette en grense slik at oppgaven ikke blir for omfangsrik og at den er gjennomførbar innenfor tidsrammen. Denne oppgaven er hovedsakelig fokusert mot utmattingsproblematikk rundt sveiste knutepunkt, men det kunne også vært ønskelig å se på dimensjoneringsprinsipp mot overbelastning ved hjelp av spenningskonsentrasjoner og elementanalyse hvis tiden strakk til, noe den ikke gjorde i dette tilfellet.

Jeg har lært mye under gjennomføring av dette prosjektet, og håper Aker Solutions får noe nytte av resultatene som er presentert i denne masteroppgaven.

Jeg vil gjerne få rette en stor takk til følgende personer:

Ivar Langen (UiS) for hans veiledning og hjelp gjennom hele prosjektperioden.

Ivar Holta (Aker Solutions) for problemstillingen, veiledning, gode tilbakemeldinger og motivasjon.

Knut Wæge for at han tok seg tid til å lese korrektur

Og alle andre som på noen måte har bidratt med bakgrunnsinformasjon, organisering og alt som skulle til for at det skulle bli mulig å gjennomføre oppgaven.

Uten deres bidrag ville ikke resultatet av denne masteroppgaven blitt så godt.

Med stor takknemlighet

A handwritten signature in blue ink that reads 'Marius Wæge'.

Marius Wæge

Stavanger 10.06.2010

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	INTRODUKSJON	3
1.1	BAKGRUNNSINFORMASJON	3
1.2	RAPPORT	3
1.3	ANTAGELSER SOM ER FORETATT I PROSJEKTET	4
1.4	TILNÆRMINGSMETODE	4
2	REGLER OG DESIGNKODER.....	5
3	FORKORTELSER.....	5
4	TEORI	6
4.1	TEORI BAK SVEISEBERGNINGER I BRUDDGRENSETILSTAND	6
4.1.1	Generelt	6
4.1.2	Teoretisk beregningsmetodikk	8
4.2	TEORI BAK SVEISEBERGNINGER I UTMATTINGSTILSTAND	11
4.2.1	Generelt	11
4.2.2	Generell utmattingsanalyse ved elementprogram	14
5	DETALJER VALGT FOR PROSJEKTET	16
5.1	KVADRATISK HULPROFIL SVEIST TIL KNUTEPLATE	16
5.2	BJELKEKRYSSFORBINDELSE	17
6	HÅNDBERGNING AV DETALJ	18
6.1	HÅNDBERGNING AV KVADRATISK HULPROFIL SVEIST TIL KNUTEPLATE	18
6.1.1	Elastiskberegning av sveiseforbindelsen.....	18
6.1.2	Plastiskberegning av sveiseforbindelsen.....	20
6.1.3	Utmattingsberegning av sveiseforbindelsen.....	20
6.2	BJELKEKRYSS.....	21
6.2.1	Elastiskberegning av sveisen i Bjelkekryss.....	21
6.2.2	Plastiskberegning av sveiseforbindelsen.....	24
6.2.3	Utmattingsberegning av sveiseforbindelsen.....	25
7	PROGRAMVARE	26
7.1	DNV SESAM GENIE.....	26
7.2	DNV SESAM XTRACT	27
7.2.1	Presentasjon av Xtract.....	27
7.2.2	Tekniske utfordringer ved bruk av Xtract	27

8	ELEMENTANALYSE.....	32
8.1	MODELLOPPBYGNING.....	32
8.1.1	Bjelkekryssforbindelse	32
8.1.2	Kvadratisk hulprofil festet til knuteplate.....	33
8.2	BJELKEKRYSSFORBINDELSE	35
8.2.1	Generelt	35
8.2.2	Elementet størrelsens påvirkning på spenningskonsentrasjon	36
8.2.3	Geometriskendring av overgangen hvor spenningskonsentrasjoner oppstår	41
8.2.4	Endring av bredde på flens hos en av bjelkene i kryssknutepunktet.....	47
8.3	KVADRATISK HULPROFIL FESTET TIL KNUTEPLATE	51
8.3.1	Generelt	51
8.3.2	Elementet størrelsens påvirkning på spenningskonsentrasjon	53
8.3.3	Påvirkning på spenningskonsentrasjon ved innføring av endeplate.....	62
8.3.3	Påvirkning på spenningskonsentrasjon ved endring av knuteplategeometri.....	66
8.3.4	Påvirkning på spenningskonsentrasjon ved endring av sveiselengde	77
9	DISKUSJON & KONKLUSJON.....	86
9.1	DISKUSJON	86
9.2	KONKLUSJON	90
10	ANBEFALINGER TIL VIDERE ARBEID	91
10.1	SUPPLERING AV FLERE DETALJER	91
10.2	SAMMENLIGNING MED BRUK AV ANNEN PROGRAMVARE.....	91
10.3	UTVIDELSE TIL Å SE PÅ ELEMENTANALYSE I BRUK UNDER DIMENSJONERING	91
11	REFERANSELISTE	92

Vedlegg

- A Fordeling av krefter i bjelkekryss
- B Interpolasjon av SKF, bjelkekryssdetalj
- C Interpolasjon av SKF, hulprofilsdetalj

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunnsinformasjon

Spenningsbildet i sveiste forbindelser fra elementanalyse kan noen ganger avvike betydelig fra tilsvarende spenningsbilde ved bruk av vanlige metoder for håndberegning.

Det er da hovedsakelig høyere toppspenninger som kan skyldes modelleringstekniske valg av typen geometri og elementmønster, men også at håndberegninger ikke tar hensyn til spenningskonsentrasjoner. Det er også slik at små endringer i en elementanalysemodell kan ha stor effekt på hvilke analyseresultater som blir oppnådd. Dette fører til at økt kunnskap om hvordan om hvordan spenningskonsentrasjonen oppfører seg ved endring av gitte parametre kan gi en mer nøyaktig dimensjonering av sveiste forbindelser.

Slike toppspenninger kan gi et feilaktig grunnlag for dimensjonering av sveiste forbindelser både mot utmatting og overbelastning, med påfølgende geometrisk og inspeksjonsrelatert overdimensjonering. Dette kan representere unødvendig høye sveisekostnader. Det er i denne oppgaven fokusert på toppspenninger mot en utmattingsbelastning.

1.2 Rapport

Hensikten med masteroppgaven er å studere hvordan enkelte parametre påvirker resultatene i en elementanalyse, fordi små forandringer i analysemodellen ofte fører til vesentlige endringer i analyseresultatene. Det er i all hovedsak lagt vekt på en studie som fokuserer på geometriske overganger og spenningskonsentrasjon i en elementanalyse, siden forskjellen fra en teoretiskberegning ligger akkurat i dette området. Det er derfor valgt to konstruksjonsdetaljer hvor man skal se på ulikeeffekter ved å forandre gitte parametre.

Masteroppgaven vil ha et hovedfokus mot utmatting av konstruksjonsdetaljer fordi det er et område hvor man ser at små forandringer i analysen vil gi store utslag på levetid. Ved utmattingsberegninger blir DNV RP-C203 lagt til grunn, men oppgaven vil også ta for seg analyser som vil se på hvordan oppgitte spenningskonsentrasjonsfaktorer i DNV RP-C203 er i forhold til hva man oppnår ved en elementanalyse utført etter retningslinjene til DNV RP-C203.

Det man skal prøve å oppnå med oppgaven er å se om det finnes klare trender i analysene for hvordan resultatene blir påvirket etter gitte parametre, og deretter trekke noen konklusjoner for hvordan gitte parameterforandringer kan påvirke toppspenningene. Det er også ønskelig å se om man kan dra noen generelle konklusjoner, og siden detaljene har en veldig forskjellig utforming kan det være mulighet for å oppnå noen generelle slutninger i denne masteroppgaven.

1.3 Antagelser som er foretatt i prosjektet

Det er utført noen forenklinger i masteroppgaven for å tilpasse arbeidsmengden slik at oppgaven skal være gjennomførbar innen det gitte tidsrommet.

Forenkling av lastsenario: Analysene som er gjennomført er gjort ved å anta en aksiallast i strekk. Det er utallige lastkombinasjoner som kunne vært mulig og utforske, men det er i dette tilfellet valgt en enkel aksiallast for å begrense antall analyser som må til for å få oppnå resultater.

Valg av to spesifikke detaljer: Det kunne vært valgt utallige detaljer, men det er valgt å gjennomføre oppgaven og parameteranalyser med to spesifikke detaljer som ble tatt ut i samråd med veiledere.

Fokus på spenningskonsentrasjonsfaktor: Det er i denne oppgaven lagt vekt på toppspenninger og spenningskonsentrasjonsfaktor i motsetning til utmattingslevetid av selve detaljen. Det er gjort for å unngå å lage et fiktivt lastsenario for hver enkel detalj, og dette kan rettfærdiggjøres med at spenningskonsentrasjonsfaktoren styrer utmattingslevetiden uansett hvordan lastsenarioet blir antatt.

1.4 Tilnæringsmetode

Det er i dette kapittelet gitt en summerende beskrivelse av tilnæringsmetoden for masteroppgaven. Slik at man allerede ved introduksjonen kan danne seg et bilde av fremgangsmåten som er benyttet for masteroppgaven.

Oppstartfasen som består av å sette seg inn i det teoretiske grunnlaget, regelverket og opparbeide en plan for best mulig fremgangsmåte for masteroppgaven.

Preanalysefasen inkluderer en diskusjon rundt hvilke elementer og parameterstudier som burde legges inn i masteroppgaven for å oppnå interessante resultater.

Analysefasen består i å sette seg inn i programvaren slik at man kan gjennomføre analyser på en god måte, for så å kjøre analysene som er bestemt i preanalysefasen. Denne fasen inkluderer også problemløsning i forhold til å kunne gjennomføre analysen på en god måte.

Verifikasjonsfasen består av en prosess hvor man bruker sin teoretiske kunnskap og erfaring til å avgjøre kvaliteten på resultatene som er fremkommet gjennom analysen.

Raffineringsfasen er når alle resultater og modeller blir laget til tabeller, grafer og figurer slik at det kan fremstilles på en ryddig måte i rapporten.

Rapportfasen består av å samle alle resultatene og erfaringer som er oppnådd i analysen på en oversiktlig måte.

2 Regler og designkoder

Det er tatt utgangspunkt i relevante designkoder for utarbeidelse av oppgaven.

EUROKODE 3: "Prosjektering av stålkonstruksjoner", Del 1-8: Design av knutepunkt
Brukt til å gi fremgangsmåte for beregning av sveiste forbindelser.

DNV-RPC203, "Utmattings design av offshorekonstruksjoner" – april 2008
Brukt til å gi teoretisk bakgrunn og fremgangsmåte for gjennomføring av elementanalyser.

3 Forkortelser

EC3 Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner, Del 1-8: Design av knutepunkt [4].

MPa Megapascal $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$

SKF Spenningskonsentrasjonsfaktor

4 Teori

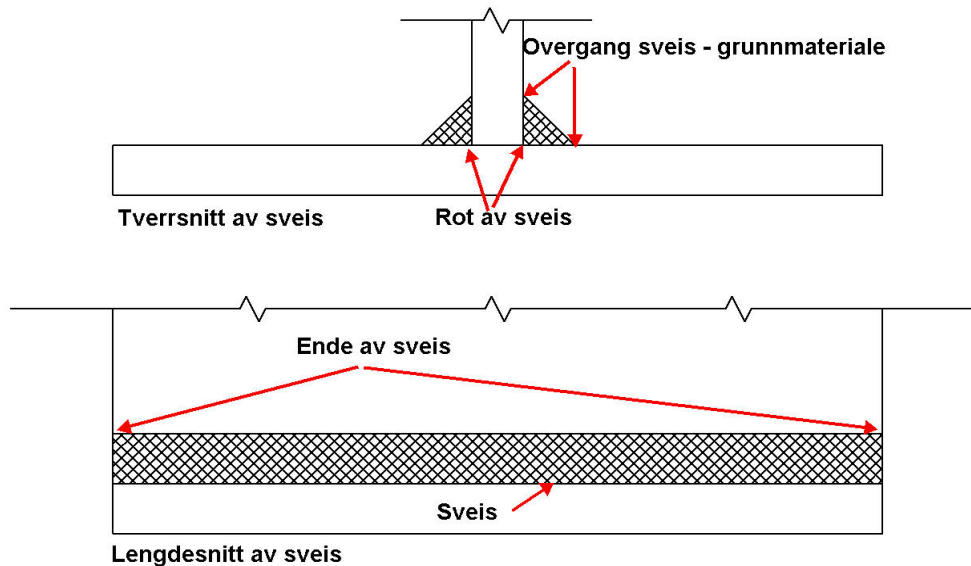
Fasthetslæren inkluderer mange forskjellige omfattende og komplekse teorier om materialoppførsel under ulike lastsituasjoner. Disse teoriene gjelder også for beregning av sveiste forbindelser. En komplett utledning av alle teoriene som blir brukt i denne oppgaven er en omfattende og tidkrevende arbeidsoppgave, derfor vil teorikapitlet forsøke å lage et sammendrag av essensen av teorien. Det vil si sveis i bruddgrensetilstand, utmattingstilstand og hvordan dette er satt i sammenheng til beregningsstandardene.

4.1 Teori bak sveisebergninger i bruddgrensetilstand

4.1.1 Generelt

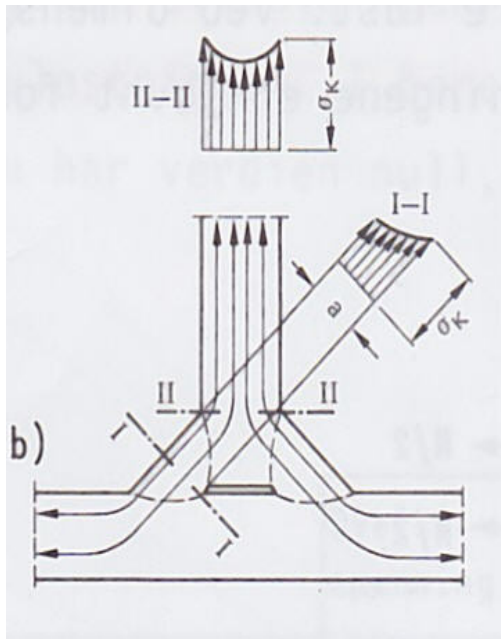
Dette kapitlet er inspirert av referanse [5].

Ved en ”korrekt“ og komplisert utregning av spenningsforløpet i en sveist forbindelse vil man kunne se at det danner seg spenningstopper ved roten, og ved den kileformede overgangen mellom sveis og grunnmateriale når man belaster sveisen normalt på sveiseretningen. Det vil også danne seg spenningstopper i endene av sveisen både ved belastning normalt på sveisen og i retning av sveisen, ref fig. 4.1. Dette kapitlet hvis hvorfor manuelle håndberegninger av sveiste forbindelser ikke tar hensyn til spenningskonsentrasjoner.

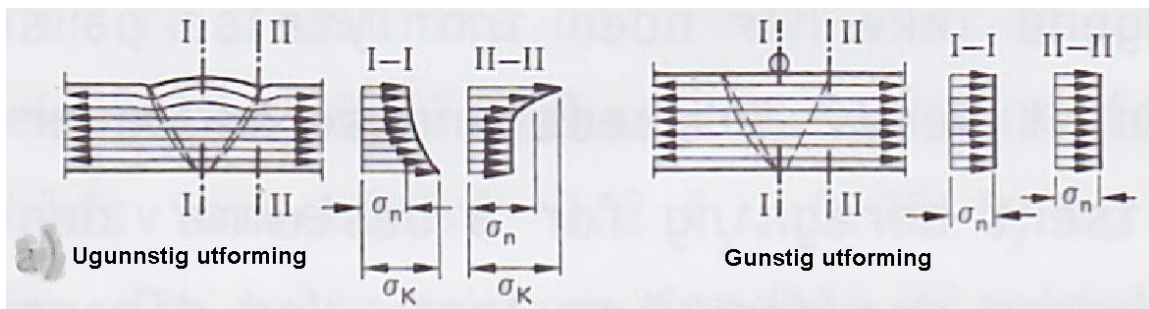


Figur 4.1 Skjematiske skisser av kilesveis av tverrsnitt og lengdesnitt

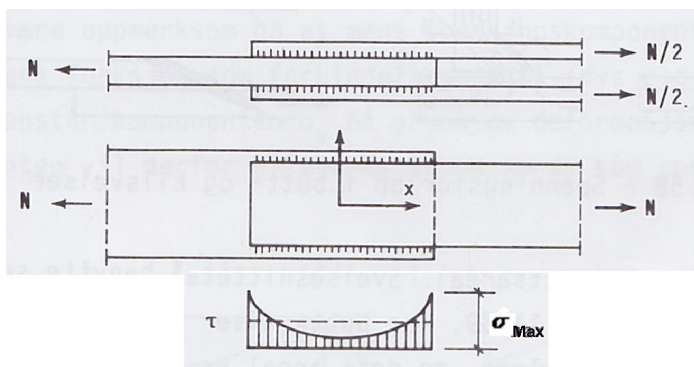
Denne spenningskonsentrasjonen skyldes at det er en endring av geometrien og fører til en opphoping av spenninger i overgangen. Dette illustreres ved figur 4.2 som tar for seg en T-forbindelse med kilsveis der snitt I-I viser spenningsfordelingen der a -målet beregnes og snitt II-II viser spenningsfordelingen i overgang sveis - grunnmateriale. Figur 4.3 viser spenningsforløpet i en buttsveis og hvordan det kan endres ved god utforming. Figur 4.4 illustrer hvordan spenningstopper opptrer i endene av en belastet sveis og dette er uavhengig om sveisen belastes i sveisens normal eller lengderetning.



Figur 4.2 Spenningsforløp i tverrsnitt av kilsveis



Figur 4.3 Spenningsforløp i tverrsnitt av en buttsveis



Figur 4.4 Spenningsforløp i lengdesnitt av kilsveis

Når sveisen belastes, vil flytespenning først oppstå i spenningskonsentrasjonspunktene og hvis belastningen økes vil flytespenningen bre seg innover i sveisen både fra endene og overgang sveis – grunnmateriale. Dette vil medføre at spenningene omfordeler seg innad i sveisen slik at man unngår spenningstopper og kan anta at spenningene fordeler seg likt over hele sveisearealet ved beregning av sveis.

Dette er begrunnelsen for at man forenkler den kompliserte spenningsfordelingen i sveisen til å kunne anta jevnt fordelt spenning over hele sveisearealet og det gjøres både for teoretiske håndberegninger og gjeldene regelverk.

4.1.2 Teoretisk beregningsmetodikk

Ved en teoretisk håndberegning, ref. [5], så tar de teoretiske beregningene utgangspunkt i at spenningskomponentene blir beregnet på basis av opptredende krefter per sveisens lengdeenhet. Det viser seg at gjeldene regelverk har akkurat samme fremgangsmåte med å fordele spenningen over hele sveisearealet, men regelverket har klare krav til høyeste tillatte spenning, ref. [4].

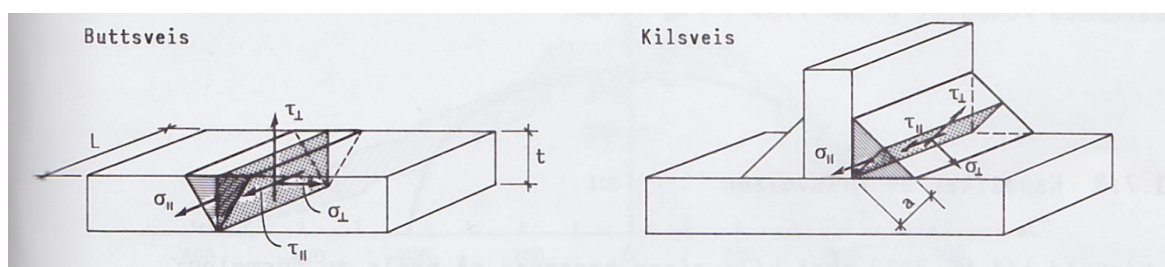
Spenningskomponentene i sveis defineres som følgende:

σ_{\perp} normalspenning vinkelrett på sveisesnitt

τ_{\perp} skjærspenning i sveisesnittet vinkelrett på sveisens lengdeakse

τ_{\parallel} skjærspenning i sveisesnittet parallelt med sveisens lengdeakse

σ_{\parallel} spenning som oppstår på grunn av deformasjon i grunnmateriale



Figur 4.4 Spenningskomponenter i butt - og kilsveis

Dimensjonering av buttsveis, ref. [5]

Ved dimensjonering av buttsveis med full gjennombrenning er sveisens kapasitet lik kapasiteten av den svakeste platedelen i forbindelsen. Dette gjelder også for T-forbindelser utført med K-sveiser og full penetrering som tilfredsstiller den gitte avstands størrelse på det usveidede mellomrommet, ref. figur 4.6 [4]. Buttsveiser med delvis innsveising dimensjoneres etter prinsippet for kilsveis.

Arealet av snittet som buttsveisen dimensjoneres mot er midt i sveisesnittet og normalt på platedelene, der t_{\min} er tykkelsen av den tynneste platedelen og l er legden av sveisen, ref. figur 4.4.

$$A_s = t_{\min} \cdot l_{\text{sveis}}$$

Generelt dimensjoneres sveisens kapasitet etter Von Mises flytkriterium:

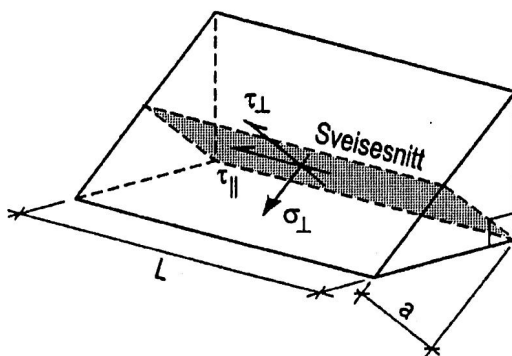
$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\parallel}^2 + \sigma_{\perp}^2 - \sigma_{\parallel}\sigma_{\perp} + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq f_{y_d} \quad (1)$$

$$\text{,der } f_{y_d} = \frac{f_y (\text{flytespennig})}{\gamma_{m2} (\text{sikkerhetsfaktor})}$$

i henhold til standarden EC3[4]

Dimensjonering av kilsveis, ref. [5]

Det antas som forklart i kap. 4.1 at spenningene fordeles jevnet over sveisens rotmål a i kilsveisen. For kilsveis er sveisesnittet lik kilsveisens høyde i den innskrevne trekant (lengde a), ref fig 4.5. Dermed blir spenningsarealet for en kilsveis $A_s = a_e \cdot l_e$, der a_e er det effektive rotmålet som avhenger av sveisemetode og l_e er den effektive lengden av sveisen i henhold til EC3 [4]



Figur 4.5 Sveisesnitt av kilsveisen

Jevnføringsspenning er modifisert noe i forhold til den generelle Von Mises kriteriet fordi σ_{II} er satt til null. Forsøk har vist at spenninger som ikke har med lastoverføring kan neglisjeres i dimensjonering. Dermed blir jevnføringsspenningen for kilsveis:

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq f_d = \frac{f_y(\text{flytspenning})}{\gamma_m(\text{sikkerhetsfaktor})} \quad (2)$$

EC3 setter to krav til dimensjoneringen av sveis. [4]

$$f_d = \frac{f_u(\text{bruddspenning})}{\beta_w(\text{korrelasjonsfaktor})\gamma_{m2}(\text{sikkerhetsfaktor})} \quad \text{i henhold til standarden EC3[2.1]}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0.9f_u}{\gamma_{m2}}$$

Den overnevnte jevnføringsspenningen (lign. 2) kontrollerer sveisen i sveisesnittet og da kan det tilsynelatende virke nødvendig å kontrollere sveisen med hensyn på brudd i smeltesonen mellom grunnmateriale og sveisegodset. Jevnføringsspennings ligningen (2) er fremkommet ved forsøk og alle bruddformer er tatt med i betraktningen så det er ikke nødvendig å kontrollere andre snitt.

Forskjellen på elastisk og plastisk beregning

Ved en kapasitetsberegning etter elastisitetsteorien vil sveisen/sveisegruppen ha en fullt utnyttet kapasitet når jevnføringsspenningen σ_j er lik tillat spenning i sveisens/gruppens mest påkjente punkt. Ved en elastisk beregning fordeles moment og normalkraft på det totale sveisearealet, men skjærkraften ofte tas opp av sveisen i samme retning som kraften.

Plastisk kapasitetsberegning bygger på øvre og nedre grenseteorem, ref kap. 4.3 Per Kr. Larsen Dimensjonering av stålkonstruksjoner [1.1], og man står fritt til å velge hvordan spenningsfordelingen antas så lenge kravet for likevekt mellom indre og ytre krefter er tilfredstilt. Spenningsfordelingen sammenlignes med nedre grenseteorem som da vil gi den

korrekte bruddlasten eller lavere. Der kapasiteten for skjærspenningen er $\frac{f_y}{\gamma_m\sqrt{3}}$ og

normalspenningen er $\frac{f_y}{\gamma_m\sqrt{2}}$.

4.2 Teori bak sveisebergninger i utmattingsstilstand

4.2.1 Generelt

Dette kapittelet er inspirert av referansene [1] og [2]

Når det kommer til utmatting er teorien empirisk og basert på laboratorieforsøk av en rekke detaljer. Siden det ikke er noe analytisk teori som kan forenkles på noen måte så er teorien og standarden helt identiske når det kommer til fremgangsmåte for å beregne utmattingslevetiden.

Utmattingsproblematikken er høyst reell for knutepunkt i konstruksjoner offshore. Dette gjelder både for flytende og faste installasjoner. I offshorekonstruksjoner består lastene hovedsakelig av to kategorier funksjonelle laster og miljøpåkjenninger.

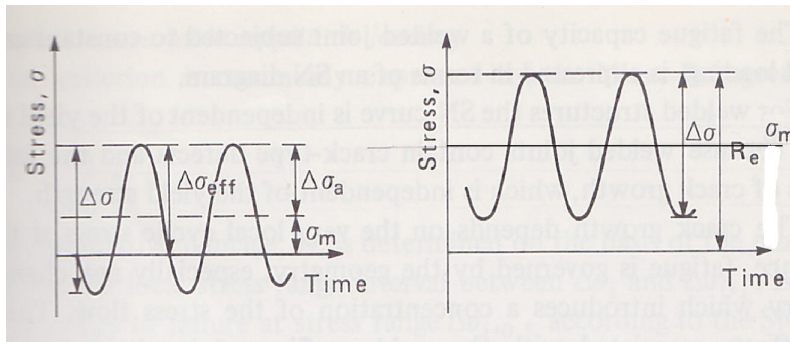
De funksjonelle lastene regnes som kvasistatiske (varierer sakte med tiden). Belastinger i denne kategorien er stålvekt, ballast, dekk laster og reaksjonskrefter som oppdriften for en flyter og fundamentreaksjonen for en fastmontert offshorestruktur. Dette blir en lavsyklusutmattning og dekkes ved dimensjonering i bruddgrense.

Miljøpåkjenningene er belastningene på konstruksjonen som følge av vind, bølger og strømninger. Reaksjonen på disse påkjenningene er hovedsakelig treghetskrefter på grunn av dynamikken i systemet. Disse påkjenningene gir en reaksjon som varierer med en mye høyere hastighet og antall svingninger enn de funksjonelle lastene, ofte flere millioner svingninger. Derfor er det i hovedsak miljøpåkjenningen som er av interesse for utmattingsproblematikken av offshorekonstruksjoner. Den høysyklus utmattningen skyldes lokal sprekkvekst og må dimensjoneres etter gjeldene standarder.

Utmattingssprekker stammer stort sett fra sprekker på en overflate som kan være både utenpå eller inne i materiale. Dette kan skyldes feil ved produksjon av materiale eller sveisefeil ved en sveist konstruksjon. Sprekkvekst stammer ofte fra lokale periodiske spenningsvariasjoner ved tuppen av sprekken. Dette medfører at geometri har en stor innflytelse på utmattingsmotstanden og da spesielt variasjon av geometri som innfører en spenningskonsentrasjon. Det er denne geometrivarasjoneffekten som opptrer i for eksempel sveiste konstruksjoner. Spenningskonsentrasjonen i et sveist knutepunkt vil da variere med profilen på sveisen og de uunngåelige sveisefeilene, men dette er normalt tatt hensyn til i S-N grafen for det gjeldende knutepunkt så lenge det er klassifisert.

En utmattings situasjon består av tre skadenivåer: initiering; når sprekken tar form, vokseperioden; når sprekken vokser sakte ettersom spenningsvingningene repeteres, brudd; sprekken vokser ustabil og forårsaker brudd i konstruksjonen. Utmattingssprekken vokser selv om den repeterende spenningsvidden er langt under flytegrense og brer seg ut i en retning som er normalt til maksimum hovedspenninger.

Restspenninger kan være tilstede etter fabrikasjon og må da kombineres med spenningsvidden fra nyttelasten for å få riktige toppspenningen. Ved en utmattingsberegning så regnes restspenningene som en vesentlig parameter for utmattingslevetid. Restspenninger antas oftest som strekkspenninger for å være konservativ, men kan like gjerne forekomme som trykkspenninger.



Figur 4.6 viser hvordan det blir en høyere spenningsvidde ved restspenninger

I sveiste konstruksjoner oppstår utmattingsprekker nesten alltid i en sveisedefekt og vokseperioden svarer til mer enn 90 prosent av utmattingslivstiden. Dette medfører at det er kort tid mellom en sprekke som vokser og utmattingsbrudd i selve konstruksjonen. Sprekken vokser når den blir åpnet av strekkspenninger, men under trykk kan de to overflatene trykkes sammen og overføre spenningene som et feilfritt materiale. Det er allikevel en pågående diskusjon om trykkspenninger bidrar til utmattingskaden.

Teorien for utmattingsberegninger er empirisk og er basert på testing av detaljer under realistiske lastkondisjoner. I sveiste detaljer som denne oppgaven omhandler så er det sveisen som oppfattes som det svakeste ledd med hensyn til utmattingsstyrke og det er da gjort en rekke tester av forskjellige sveiste detaljer som gitt i standarden, ref. DNV-RP-C203, appendiks A [2.2]. Disse resultatene fører til S-N kurver som er en grafisk fremstilling av avhengigheten mellom utmattingsstid og utmattingsstyrke. Grafen viser hvilken spenningsvidde konstruksjonen tåler ved et gitt antall sykluser.

Det finnes noen forskjellige tilnæringsmåter for å beregne utmatting. Det finnes en metode der man avhengig av aktuell konstruksjonsdetaljen, enten legger til grunn nominell eller den geometriske spenningsvidden (hot spot spenning) for dimensjonering av detaljen. Videre antas en konstant spenningsvidde med bakgrunn i lastvariasjon. For klassifiserte detaljer legges nominellspenningsvidde til grunn, fordi lokale spenningskonsentrasjoner som er typisk for detaljen er ivaretatt av S-N kurvene. Det skal tas hensyn til eventuelle eksentrisiteter i detaljen, ref. DNV-RP-C203. For uklassifiserte detaljer skal den geometriske spenningsvidden legges til grunn for dimensjonering.

$$\sigma_{LokalSpenn} = SCF \cdot \sigma_{Nominell} \text{ , i henhold til standarden DNV-RP-C203 [2.2].}$$

Hvis den potensielle utmattingssprekken er i områder med store spenningskonsentrasjoner som typisk skyldes tverrsnittsendringer i detaljen, som hull eller utkapp skal den geometriske spenningsvidden legges til grunn. Den geometriske spenningsvidden er den største hovedspenningsvidden i grunnmaterialet i det punktet der utmattingssprekken initieres. Dette skjer normalt ved sveisens tå eller ved en annen type kjerv. Spenningsvidden bestemmes ved å multiplisere den nominelle spenningen med en spenningskonsentrasjonsfaktor (SCF), som tar hensyn til tverrsnittsendringer, ref. DNV-RP-C203 [2.2].

$$\sigma_{\text{Geometrisk Spenning}} = SCF \cdot \sigma_{\text{No min ell}}, \text{ i henhold til standarden DNV-RP-C203 [2.2].}$$

Det er mulig å ta hensyn til en antatt eller tilgjengelig lastsenario ved å transformeres lasthistorien til et spenningspektrum ved hjelp av å lage spenningsblokker som er inndelt i intervaller. Deretter telles antall lastsykluser i hver blokk og da har man en lastsituasjon med varierende amplitude. Ved en slik beregning så brukes Miner-Palmgrens delskadehypotese som beskrives ved ligningen.

$$D = \sum_{i=1}^l \frac{n_i}{N_i} = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^k n_i \cdot (\Delta\sigma_i)^m \leq \eta, \text{ i henhold til standarden DNV-RP-C203 [2.2].}$$

,der D = akkumulert utmattingskade

\bar{a} = skjæringspunkt S-N kurve med log N aksene

k = antall spenningsblokker

n_i = antall spenningsperioder i spenningsblokk i

N_i = antall perioder til brudd ved konstant spenningsvidde $\Delta\sigma_i$

η = utnyttelsesfaktor

Brudmekanikk er også en metode som blir brukt til å beregne utmatting. Denne metoden blir anbefalt brukt når man skal studere akseptable defekter, evaluering av akseptkriteria for fabrikasjon og inspeksjon. Hensikten med en brudmekanikkanalyse er å avgjøre om utmattingssprekker som kan være tilstede blir større enn akseptkriteriet i løpet av levetiden til konstruksjonen. Forskjellen på denne analysen og de foregående er at man her antar at det allerede finnes en sprekke med en gitt størrelse som utvikler seg over tid. Derfor har denne analysen ingen initiering av sprekke og gir derfor generelt lavere utmattings tid. Paris ligningen kan brukes til beregning av sprekkevekst ved brudmekanisktilnærming, ref. DNV-RP-C203.

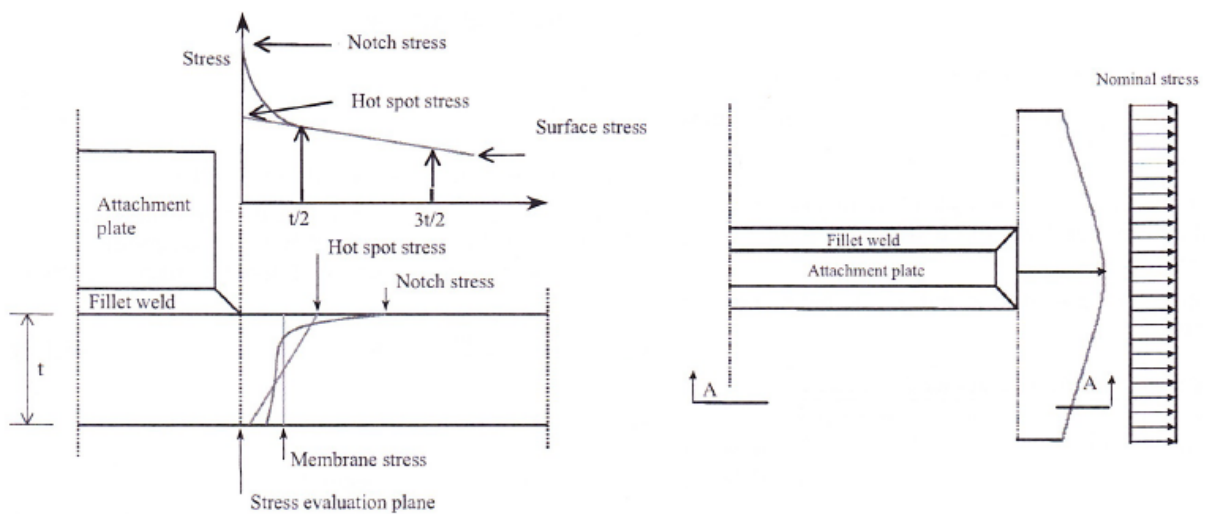
Hensikten med å dimensjonere mot utmatting er å sikre at konstruksjonen har tilstrekkelig utmattingslevetid når den blir utsatt for dynamiske laster, og at konstruksjoner oppfyller tiltenkt funksjon i tiltenkt levetid, ref. DNV-RP-C203.

I denne oppgaven skal vi se nærmere på bruk av spenningskonsentrasjonsfaktor ved å etablere elementmodeller og sammenligne dette med oppgitt kurver i standarden. Elementmodeller skal i sammenlignes med kurve D i ref. DNV-RP-C203.

4.2.2 Generell utmattingsanalyse ved elementprogram

Dette kapitlet er inspirert av referanse [2]

Kompleksiteten av spenningen i et område med spenningskonsentrasjoner er ofte høy, og da er spørsmålet om hvordan man skal etablere den spenningskonsentrasjonsfaktor som er mest reell. Toppsspennning blir utledet ved ekstrapolering av strukturspenningen i sveisetåen. Spenningene som er brukt i en slik ekstrapolering skal være gjort i et område som et stykke fra selve tuppen der singulariteten oppstår, ref. figur 8.1. Spenningskonsentrasjonsfaktoren som man ofte er ute etter blir definert som en faktor som blir multiplisert med den nominelle spenningen i profilet for å oppnå toppspenningen.

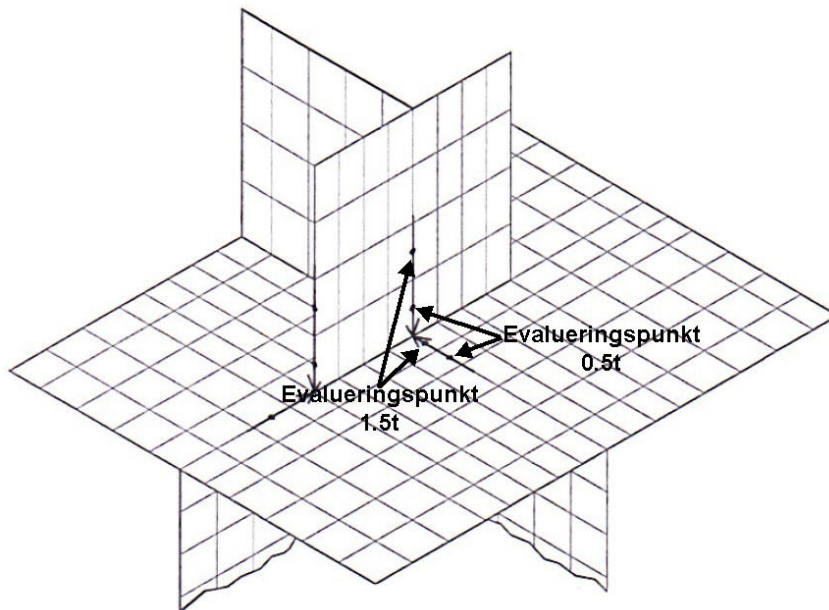


Figur 4.2 Skjematisk spenningsfordeling ved en spenningskonsentrasjon

Ved elementberegning av spenningskonsentrasjonsfaktor som kan lede til utmattingsprekker så blir linearelastisk analyse lagt til grunn for beregningen. Modellen må ha en slik utbredelse at grensebetingelsene ikke påvirker resultatet i knutepunktet der spenningskonsentrasjonen skal utledes.

Ved modellering av knutepunkt så er det normalt å bruke skallelementer, men det kan også brukes volumelementer. Analysen utføres enklest med tynnplateelementer som blir modellert i senterlinjen av detaljen som skal undersøkes og det er tynnplateelementer som blir brukt i modelleringen av detaljene i denne oppgaven. En annen ting som er viktig når det kommer til modellering er å velge elementer som tåler brå spenningsforandring siden geometrien i detaljene medfører en brå forandring i overgangene. Sveise geometrien i seg selv er normalt ikke modellert og dette prinsippet blir også fulgt i denne oppgaven.

I DNV-RP-C203 er det vist punkter der spenningskonsentrasjoner kan oppstå og det er utarbeidet anbefalte punkter der man skal lese av spenningen for å gjennomføre en spenningskonsentrasjons analyse. De anbefalte punktene er $0.5t$ og $1.5t$ fra spenningskonsentrasjonspunktet, der t er tykkelsen av platen ved spenningskonsentrasjonspunktet. Spenningen ved disse punktene blir brukt til å utlede den geometriske spenningen i punket der spenningskonsentrasjonen skal undersøkes.



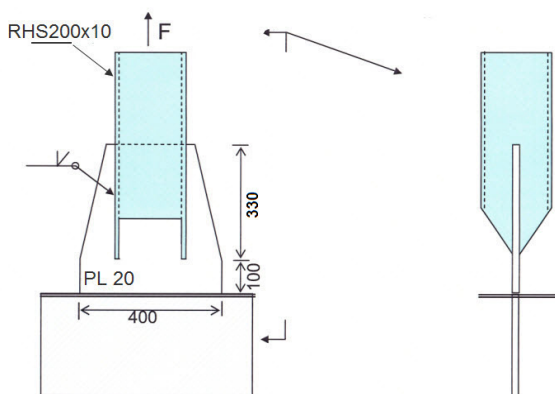
Figur 4.3 Skjematisk vist hvor spenningene skal avlese

5 Detaljer valgt for prosjektet

Det har blitt valgt ut to detaljer som skal undersøkes nærmere i denne oppgaven for å avgrense omfanget. De utvalgte detaljene er mye brukt i offshorekonstruksjoner og er da hovedsakelig brukt til dekkonstruksjoner. Selv om det bare er valgt ut to knutepunkt så omfatter de essensen i de fleste sveiste knutepunkt, fordi det ene har sveis i samme retning som belastningen og det andre har sveis hovedsakelig ortogonalt på belastningsretningen.

5.1 Kvadratisk hulprofil sveist til knuteplate

Forbindelsen består av et kvadratisk hulprofil med dimensjonene 200x200x10mm som er sveist til en knuteplate med tykkelse 20mm. Hulprofilet er belastet med en aksialkraft og det er antatt at knuteplaten er fast innspent i underlaget. Det er sveisen mellom hulprofil og knuteplate som skal undersøkes i denne oppgaven.



Figur 5.1 Forbindelse 1: Kvadratisk hulprofil sveist til hjørneplate

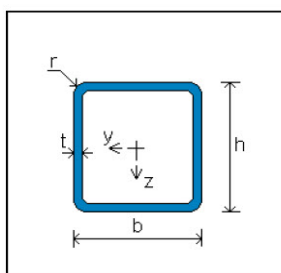
SECTION	Project: Spenningsbilde i konstruksjonsdetalj	Page: 1/1
Version 4.6 Section Property program Copyright (C) 1988-2008 StruProg AB	Identification: Forbindelse 1	Date: 09.02.2010
File: new file		Time: 9:27

INPUT:

Profile Type: RHS 200x200x10 (Hot Formed)
Material: Steel

Profile data:

- h = 200,0 mm
- b = 200,0 mm
- t = 10,0 mm
- r = 15,0 mm



OUTPUT:

Weight: 58,8 kg/m
Perimeter area: 0,774 m²/m

Area:

- A_x = 7,490E+3 mm²
- A_y = A_z = 3,600E+3 mm²

Moment of Inertia:

- I_y = I_z = 4,471E+7 mm⁴

Section modulus:

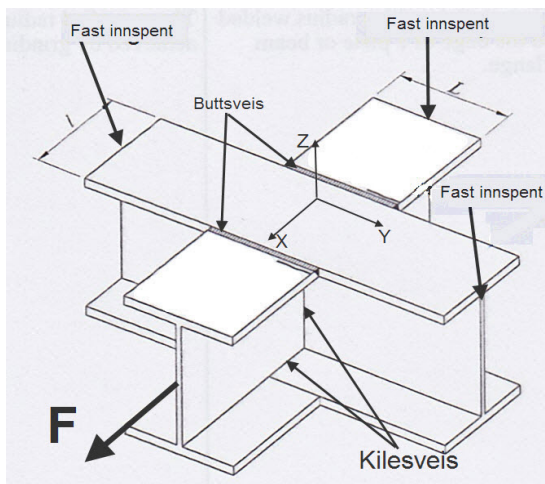
- W_{ey} = W_{ez} = 4,471E+5 mm³
- W_{py} = W_{pz} = 5,310E+5 mm³

St Venant Torsional Constant: I_x = 7,031E+7 mm⁴

Figur 5.2 Forbindelse 1: Tverrsnittsparetere RHS-200x200x10

5.2 Bjelkekryssforbindelse

Forbindelsen består av et kryssknutepunkt med I/H-bjelker som i dette tilfellet er antatt som to I-bjelker med dimensjoner fra figur 5.4. De utførte sveisene i dette knutepunktet er buttsveis med full gjennombrenning i topp- og bunnflens, vertikale kilesveis der stegene møtes i knutepunktet og horisontal kilesveis der steget møter både topp- og bunnflens, ref. figur 5.3. Belastningen er antatt som en aksialstrekraft i den ene bjelken, ref. figur 5.3. Det er antatt at bjelkene er fastinnspent i de endene der kraften ikke virker slik at bjelkene kan overføre bøyemoment, ref. figur 5.3.



Figur 5.3 Forbindelse 2: Kryssknutepunkt, flens sveist til flens, Profil I-500x300x15x25

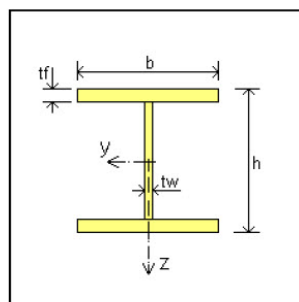
SECTION	Project: Spenningsbilde i konstruksjonsdetalj	Page: 1/1
Version 4.6 Section Property program Copyright (C) 1988-2008 StruProg AB	Identification: Forbindelse 2	Date: 11.02.2010 Time: 12:58
File: new file		

INPUT:

Profile Type: I-profile
Material: Steel

Profile data:

h	=	500,0 mm
b	=	300,0 mm
tw	=	15,0 mm
tf	=	25,0 mm



OUTPUT:

Weight:	170,7 kg/m
Perimeter area:	2,170 m ² /m
Area:	Ax = 2,175E+4 mm ² Ay = 1,500E+4 mm ²
	Az = 6,750E+3 mm ²
Moment of Inertia:	Iy = 9,608E+8 mm ⁴ Iz = 1,126E+8 mm ⁴
Section modulus:	Wey = 3,843E+6 mm ³ Wez = 7,508E+5 mm ³
	Wpy = 4,322E+6 mm ³ Wpz = 1,150E+6 mm ³
St Venant Torsional Constant:	Ix = 3,631E+6 mm ⁴
Warping constant:	Iw = 6,346E+12 mm ⁶

Figur 5.4 Forbindelse 2: Tverrsnittsparemetere I-500x300x15x25

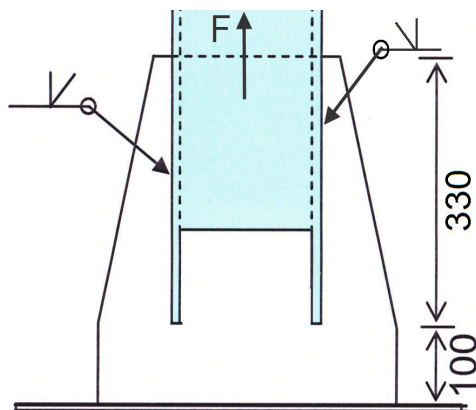
6 Håndbergning av detalj

6.1 Håndberegning av kvadratisk hulprofil sveist til knuteplate

Det antas her at profilgodset skal kunne utnytted fullt ut. Dette muliggjøres ved å sveise med fullgjennom Brenning slik at a-målet er det samme som profilets veggtykkelse og at lengden av sveisen er slik at man oppnår samme kapasitet som det utvalgte tverrsnittet. Det antas en enhetslast som fører til 100 Mpa nominellspenning i hulprofilet for gjennomføring av oppgaven og det dokumenteres med håndberegninger at sveisen har kapasitet nok.

6.1.1 Elastiskberegning av sveiseforbindelsen

Belastningen er en aksialkraft i hulprofilets lengderetning, ref figur 6.1. Ved en slik belastning oppstår det kun skjærspenning parallelt med sveisens lengderetning.



Figur 6.1 Forbindelse 1: Antatt belastningsbilde

Antagelser for gjennomføring av beregning:

Opptrede aksialkraft i hulprofilet

$$F = 749 \text{ kN}$$

Sveisen har full gjennom Brenning og a-målet antas som godstykkelsen på hulprofilet.

$$a = 10 \text{ mm}$$

For en god sammenligning med elementanalysen antas hele sveisens lengde som effektivlengde.

$$l_{sv} = 330 \text{ mm}$$

Beregning av opptrede spenning i hulprofil:

$$\sigma_{\text{Aksial}} = \frac{F}{A_{RHS200 \times 200 \times 10}} = \frac{749 \cdot 10^3}{7490} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Beregning av opptrendene spenning i sveis:

$$\tau_{ll} = \frac{F}{N_{sveiser} \cdot (a \cdot l_{sv})} = \frac{749 \cdot 10^3}{4 \cdot (10 \cdot 330)} = 56.7 \frac{N}{mm^2}$$

Det er ingen kraft eller bøyemoment som induserer spenninger vinkelrett på sveisen.

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{ll}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{3 \cdot \tau_{ll}^2} = \sqrt{3 \cdot 56.7^2} \approx 100 \frac{N}{mm^2}$$

Ved en dimensjonerings situasjon etter Eurokode 3 så vil følgende gjelde:

Antar stål kvalitet S355

$$f_y = 355 \frac{N}{mm^2} \text{ flytespenning}$$

Sikkerhetsfaktorer, ref EC3

Sikkerhetsfaktor for tverrsnittsanalyse blir brukt med bakgrunn i at sveis med full gjennombrenning blir ansett som en del av tverrsnittet.

$$\gamma_{m1} = 1.10$$

Dimensjoneringskriterium

Ved dimensjonering av en sveis med full gjennombrenning så kan sveisen regnes som en del av tverrsnittet og det skal dimensjoneres mot flytespenningen.

$$\sigma_j = 100 \frac{N}{mm^2} < \frac{f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{355}{1.10} = 322 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow \underline{OK}$$

Utnyttelse

$$U = \frac{100}{322} = \underline{\underline{0.31}} < 1.0 \Rightarrow \underline{OK}$$

6.1.2 Plastiskberegning av sveiseforbindelsen

Ved en plastiskkapasitetsberegning så beregner man den største kraften forbindelsen kan tåle ved full flytespenning i hele sveisen. Kraften i denne beregningen antas å være en aksialkraft som i den elastiske beregningen.

Plastiskkapasitet for skjærforbindelse:

Antar stål kvalitet S355 og γ_m er hentet fra Eurokode 3 som for elastisk analyse.

Dimensjonerende spenning

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_m \cdot \sqrt{3}} = \frac{355}{1,10 \cdot \sqrt{3}} = 186 \frac{N}{mm^2}$$

Total plastiskkapasitet av sveis mellom hulprofil og hjørneplate

$$F_{Max} = 4 \cdot (10 \cdot 330) \cdot 186 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{2455,2 kN}}$$

6.1.3 Utmattingsberegning av sveiseforbindelsen

Hulprofil sveist til en hjørneplate er ikke klassifisert i standarden og er omtalt i DNV-RP-C203 under kapittel 3.3.12. Ved ikke klassifiserte detaljer så må man gjennomføre en elementanalyse hvor man ser på spenningskonsentrasjonsfaktoren som deretter blir lagt til grunn for utmattingsberegning. Kurve D i DNV-RP-C203 brukes for ikke klassifiserte detaljer multiplisert med den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren.

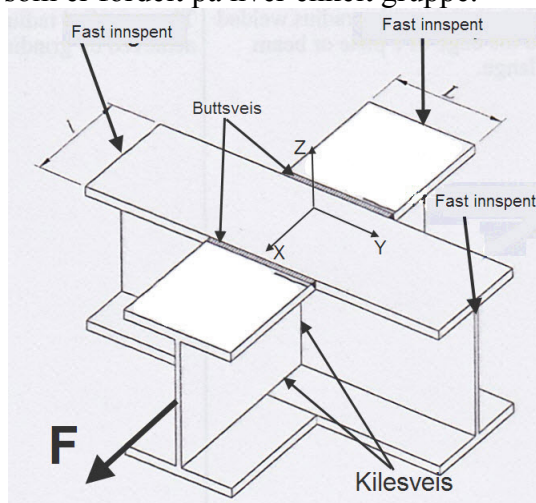
6.2 Bjelkekryst

Siden dette er en sveist forbindelse med en kombinasjon av forskjellige sveistyper og sveiseretninger, blir det svært vanskelig å utføre en beregning der man kommer frem til en jevnføringsspennig for sveisens totalkapasitet. Derfor gjennomføres kapasitetskontroll enklest ved å fordele aksialkraften på de enkelte sveisegruppene.

Ved dimensjonering av buttsveis med full gjennombrenning er sveisens kapasitet lik kapasiteten av den svakeste platedelen i forbindelsen. Kilesveisene blir dimensjonert etter prinsippet for kilesveis, ref kap. 4.1. I denne oppgaven bruker man to I-profiler i knutepunktet og da er det tykkelsen på flensen som er dimensjonerende for buttsveisen. Det antas også en enhetslast som fører til 100 Mpa nominellspenning i profilet for gjennomføring av oppgaven. Håndberegninger dokumenterer at den sveiste forbindelsen har nok kapasitet.

6.2.1 Elastiskberegning av sveisen i Bjelkekryst

Belastningen er en aksialkraft som vist i figur 6.2. Aksialbelastningen fører til ortogonalspenning i butt og vertikal kilesveis, mens parallellskjærspenning i horisontal kilesveis. Det blir i dette avsnittet vist at hver enkelt av sveisegruppene tåler den belastningen som er fordelt på hver enkelt gruppe.



Figur 6.2 Forbindelse 2: Antatt belastningsbilde

Antagelser for gjennomføring av beregning:

Opptredene aksialkraft i I-500x300x15x25 som gir profilet et nominell spenning på 100 Mpa

$$F = 2175 \text{ kN}$$

Aksialkraften er fordelt med hensyn til hver enkelt av sveisenes kapasitet og det refereres til appendiks A for detaljert beregning av fordelingen.

$$\begin{aligned} F_{\text{Buttsveis}} &= 1544 \text{ kN} \\ F_{\text{Vertikal Kilesveis}} &= 435 \text{ kN} \\ F_{\text{Horisontal Kilesveis}} &= 196 \text{ kN} \end{aligned}$$

Buttsveisen har full gjennombrenning og det er flenstykkelsen som er dimensjonerende.

$$a_{\text{Buttsveis}} = t_{\min} = t_{\text{flens}} = 25 \text{ mm}$$

Ved praktisk dimensjonering av kilesveis i et kryssknutepunkt lar man ofte det totale a-målet være litt mindre enn stegtykkelsen. Dette er også gjennomført ved beregningen i denne oppgaven.

$$a_{\text{Kilesveis}} = 6 \text{ mm}$$

For en god sammenligning med elementanalysen antas hele sveisens lengde som effektivlengde.

$$\begin{aligned} l_{\text{sv Buttsveis Flens}} &= b_{\text{flens}} = 300 \text{ mm} \\ l_{\text{sv Vertikalt Steg}} &= h_{\text{steg}} = (H - 2 \cdot t_{\text{flens}}) = 450 \text{ mm} \\ l_{\text{sv Horisontal Steg/Flens}} &= \left(\frac{b_{\text{flens}}}{2} - \frac{t_{\text{steg}}}{2} \right) = 142.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Beregning av opptrendene spenning i sveis:

Spenning pr. buttsveis:

Det er ingen skjærkraft eller bøyemoment som induserer spenninger i buttsveisen.

$$\sigma_{\text{Pr. Buttsveis}} = \frac{F_{\text{Buttsveis}}}{t_{\text{flens}} \cdot b_{\text{flens}}} = \frac{1544 \cdot 10^3}{25 \cdot 300} = 103 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spenning i vertikal kilesveis:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{\text{Vertikal Kilesveis}}}{2 \cdot a_{\text{Kilesveis}} \cdot l_{\text{sv Steg}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{435 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 450 \cdot \sqrt{2}} = 57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Det er ingen kraft eller bøyemoment som induserer spenninger parallelt med sveisen.

$$\tau_{ll} = 0$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{57^2 + 3 \cdot 57^2} = 114 \frac{N}{\underline{\underline{mm^2}}}$$

Spenning i Horisontal kilesveis:

Det er ingen kraft eller bøyemoment som induserer spenninger vinkelrett på sveisen.

$$\tau_{ll} = \frac{F_{\text{Horisontal Kilesveis}}}{4 \cdot a_{\text{Kilesveis}} \cdot l_{sv \text{ Horisontal}}} = \frac{196 \cdot 10^3}{4 \cdot 6 \cdot 142.5} = 57 \frac{N}{\underline{\underline{mm^2}}}$$

$$\sigma_j = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{3 \cdot 57^2} = 99 \frac{N}{\underline{\underline{mm^2}}}$$

Ved en dimensjonerings situasjon etter Euro kode 3 så vil følgende gjelde:

Antar stål kvalitet S355:

$$f_y = 355 \frac{N}{\underline{\underline{mm^2}}} \text{ flytespenning}$$

$$f_u = 510 \frac{N}{\underline{\underline{mm^2}}} \text{ bruddspenning}$$

Sikkerhetsfaktorer, ref EC3:

$$\gamma_{m1} = 1.10 \quad \text{sikkerhetsfaktor for tverrsnittsanalyse}$$

$$\gamma_{m2} = 1.25 \quad \text{sikkerhetsfaktor for kilesveis}$$

Dimensjoneringskriterium:

Buttsveis:

$$\sigma_j = 103 \frac{N}{\underline{\underline{mm^2}}} < \frac{f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{355}{1.10} = 322 \frac{N}{\underline{\underline{mm^2}}} \Rightarrow \underline{\underline{OK}}$$

Vertikal kilesveis:

$$\sigma_j = 114 \frac{N}{\underline{\underline{mm^2}}} < \frac{f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{510}{1.25} = 408 \frac{N}{\underline{\underline{mm^2}}} \Rightarrow \underline{\underline{OK}}$$

Horisontal kilesveis:

$$\sigma_j = 99 \frac{N}{mm^2} < \frac{f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{510}{1.25} = 408 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow \underline{OK}$$

Utnyttelse:

$$U_{Maksimum} = \frac{103}{322} = \underline{\underline{0.32}} < 1.0 \Rightarrow \underline{OK}$$

6.2.2 Plastisk beregning av sveiseforbindelsen

Ved en plastisk kapasitetsberegning så ser man på den største kraften forbindelsen kan tåle ved full flytespenning i hele sveisen. Det er ved denne beregningen antatt en aksialkraft. Med beregning etter plastisitetetsprinsippet kan kapasiteten av de forskjellige sveisegruppene adderes til en totalkapasitet.

Plastisk kapasitet for normalreaksjon:

Antar stålqualität S355 og γ_m er hentet fra Eurokode 3.

Sveisegruppens dimensjoner er som forutsatt i den elastiske beregningen.

Dimensjonerende spenning:

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_m} = \frac{355}{1,10} = \underline{\underline{322}} \frac{N}{mm^2}$$

Plastisk kapasitetsberging:

Plastiskkapasitet buttsveis:

$$F_{Pd \text{ Buttsveis}} = A_{sv \text{ Buttsveis}} \cdot f_d = 2(25 \cdot 300) \cdot 322 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{4830 \text{ kN}}}$$

Plastisk kapasitet av vertikal kilesveis:

Den vertikale kilesveisen blir utsatt for en normalreaksjon.

$$F_{Ps \text{ Vertikal Kilesveis}} = A_{sv \text{ Vertikal Kilesveis}} \cdot \frac{f_d}{\sqrt{2}} = 2(6 \cdot 450) \cdot \frac{322}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{1229 \text{ kN}}}$$

Plastisk kapasitet av horisontal kilesveis:

Den horisontale kilesveisen blir utsatt for en skjærreaksjon.

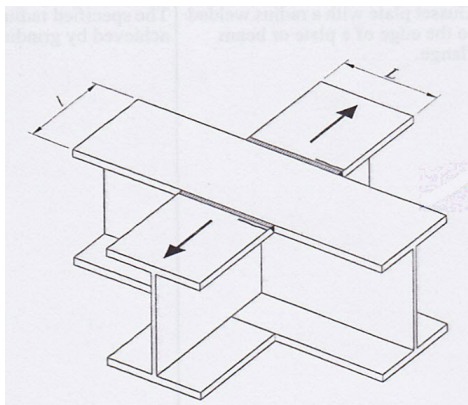
$$F_{Ps \text{ Vertikal Kilesveis}} = A_{sv \text{ Vertikal Kilesveis}} \cdot \frac{f_d}{\sqrt{3}} = 4(6 \cdot 142.5) \cdot \frac{322}{\sqrt{3}} = \underline{635 \text{ kN}}$$

Total plastisk kapasitet av buttsveis i kryssammenføyning

$$F_{Pd \text{ Total}} = F_{Pd \text{ Buttsveis}} + F_{Ps \text{ Vertikal Kilesveis}} + F_{Ps \text{ Vertikal Kilesveis}} = \underline{\underline{6694 \text{ kN}}}$$

6.2.3 Utmatningsberegning av sveiseforbindelsen

Bjelkekrysset som er en av knutepunktsdetaljene i denne oppgaven er en klassifisert i henhold til DNV-RP-C203, tabell A7 figur 7. Ved klassifisering av detaljen så er det utarbeidet utmatningskurver basert på forsøk som er tilpasset den enkelte detaljen og i dette tilfellet avhengig av bredden på l , ref. figur 6.3. Kurvene detaljen kan defineres etter er G, W1 eller W2 avhengig av l , ref. DNV-RP-C203. For analysens del er det antatt en sveist bjelke og det medfører at forbindelsen faller inn under kurve W1, ref. DNV-RP-C203. Ved å utføre en elementanalyse på et klassifisert tverrsnitt og sammenligne med kurven som definerer tverrsnittet, så kan man se på forholdet mellom spenningskonsentrasjonsfaktor som er lagt til grunn for kurven og spenningskonsentrasjonsfaktoren som elementanalysen bidrar med.



Figur 6.3 Detalj fra DNV-RP-C203

7 Programvare

Det er stor mengde tilgjengelige programvare som i dag kan brukes til å løse og presentere konstruksjonsanalyser på best mulige måte. Bruken av komplekse dataprogrammer gir en mulighet for å vise effekten av belastningene på en pedagogisk og grafisk måte, som igjen gjør at det er lettere å få en god forståelse av hvilke reaksjoner som oppstår av påført belastning. Denne utviklingen har ført til at det kan modelleres opp mer komplekse geometrier uten store forenklinger, og dette gir en mer effektiv utnyttelse av materialene, men det må likevel utvises en god forståelse som gjør at man kan ha en viss forventning til hvilke resultater man burde oppnå for å sikre at tolkningen av modellen er riktig.

7.1 DNV SESAM GeniE

Dette kapitlet er inspirert av referanse [3].

GeniE er et av de nyere analyseverktøyene i SESAM pakken fra DNV, og representerer den siste generasjon programvare for støtte til designere og ingeniører. Utviklingen har blitt motivert og drevet av brukere for å dekke behov for nye løsninger innen ingeniørvitenskap, utfordringer når det kommer til modelleringstekniske utfordringer og avanserte konstruksjonsanalyser. GeniE støtter arbeidsfaser fra initial konseptstudie til konstruksjoner som er modne for re-analyse. Programmet har et intuitivt grafisk brukergrensesnitt som opereres ved hjelp av klikk og dra teknikker, rullgardin menyer og verktøylinjer. Det vil si at man bruker GeniE akkurat som alle andre standard Windows programmer. Det skal også nevnes at det finnes en teksteditor som kan bli brukt til å bygge opp modeller for analyse, men dette er for dyktige brukere med programmeringserfaring. Oppbygning av modell og analyse ved hjelp av teksteditor gir den raskeste veien til analyseresultater.

Det som har vært av tekniske utfordringer knyttet til selve analyseprogramvaren GeniE er forsøkt belyst i kapitlene som omhandler analyse av knutepunktene.

Genie funksjonene som i hovedsak er brukt ved denne oppgaven er:

- Skall modellering i 3D
- Påføring av laster på konstruksjonen
- Elementnettgenerering
- Elementanalyse
- Visualisering av elementanalyse resultater

7.2 DNV SESAM Xtract

7.2.1 Presentasjon av Xtract

Xtract er et av de programmene som følger med SESAM pakken fra DNV, og er et postprosessorprogram. Xtract har funksjoner som kan vise analyseresultatene på en mer nøyaktig måte enn kun ved bruke Genie. Det som er den største forskjellen på postprosessen i Xtract og Geine er muligheten til å ta ut verdien på spenningen i Gauss-punktene, samt å kunne ta ut verdien på gjennomsnittsspenningen til hvert enkelt element. Dette gjør Xtract til et program som letter arbeidet når man skal dypere inn i analyseresultatet.

Xtract funksjoner som i hovedsak er brukt i denne oppgaven:

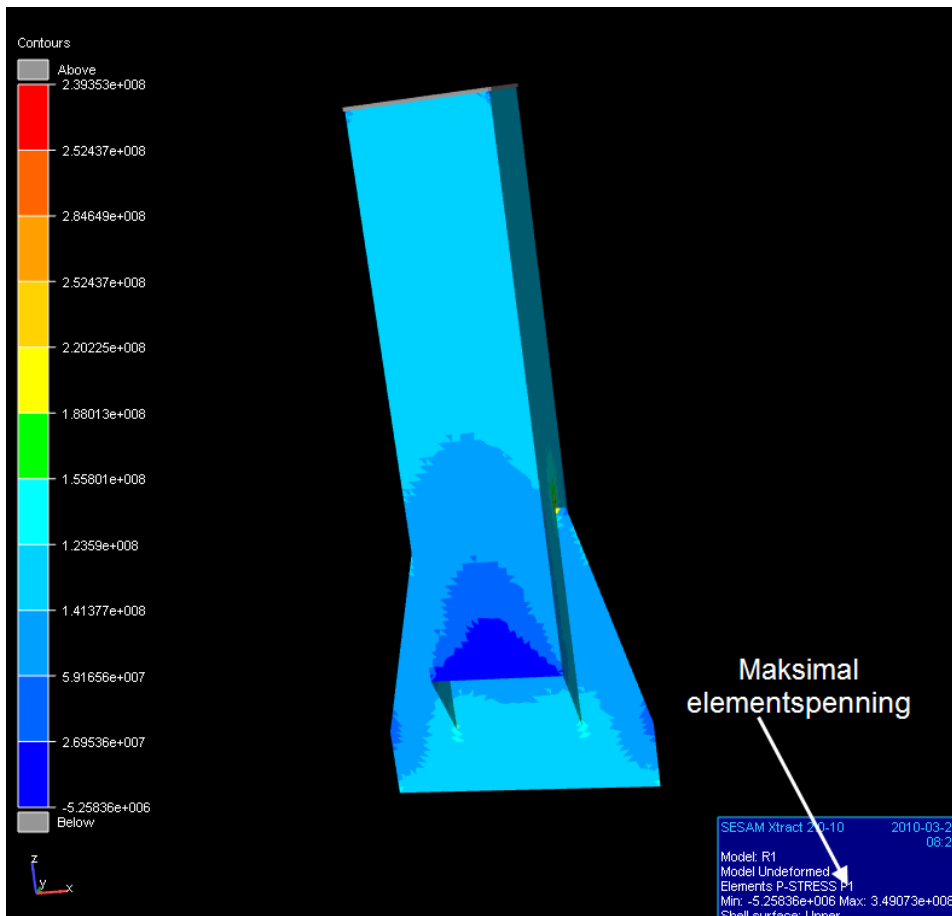
- Visualisering av spenningsfordeling i modellen
- Visualisering av elementnett som er brukt i analysen
- Avlesning av spenninger innad i hvert element
- Avlesning av gjennomsnittlig elementspenning

7.2.2 Tekniske utfordringer ved bruk av Xtract

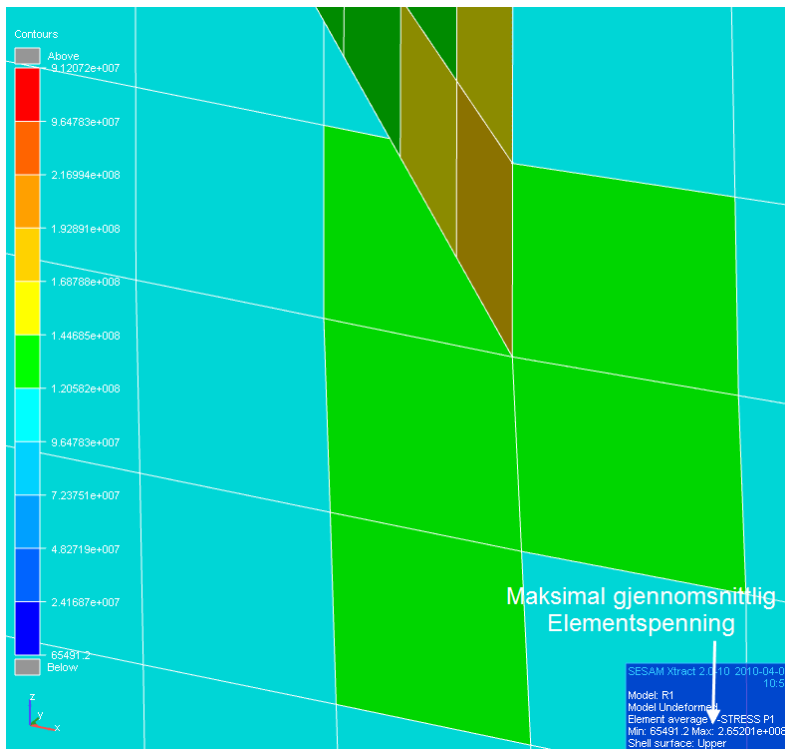
Under gjennomføring av oppgaven har det oppstått noen tekniske utfordringer med avlesning av analyseresultatene knyttet til Xtract, og disse vil bli forsøkt belyst i dette kapitlet. Dette er for å vise hvor man fort legger igjen mye tid og tankevirksomhet, samt for å gi lesere og brukere av Xtract noen holdepunkter som viser at man må se på resultatene med et kritisk blikk.

Det første problemet som dukket opp under en analyse, var at resultatene oppgitt på spenningskalaen ikke overensstemmer med maksimal elementspenning, ref. figur 7.1-2. Det er valgt ut to eksempler der resultatet med den oppgitte skalaen ikke stemmer med maksimal elementspenning. Med referanse til figur 7.1 så viser skalaen en maksimal elementspenning på 239 MPa, mens den virkelige maksimale elementspenningen er 349 MPa. Figur 7.2 viser at man også kan oppnå et resultat der skalaen ikke stemmer overens med maksimal gjennomsnittlig elementspenning og i dette tilfellet gir skalaen et resultat på 91 MPa, mens den maksimale gjennomsnittlige elementspenningen er 266 MPa. Hvis man bruker Genie til plott av hovedspenningene så har dette ikke vært et problem.

Dette kan føre til forvirring under gjennomgang av analyseresultatene og i verste tilfellet kan det føre til at man tar utgangspunkt i feil spenning ved beregninger knyttet til analysen. Dette kan også føre til at man bruker mye tid på å bygge modellen på nytt, samt kjøre analysen på nytt. Det kan fort ta mye tid å verifisere at resultatene man faktisk oppnår virker logiske, og slik man forventer. Det som har blitt løsningen for dette problemet under denne oppgaven er å lukke programmet for så å starte Xtract på nytt, og deretter verifisere med andre tilsvarende modeller at resultatet ligger i riktig område.

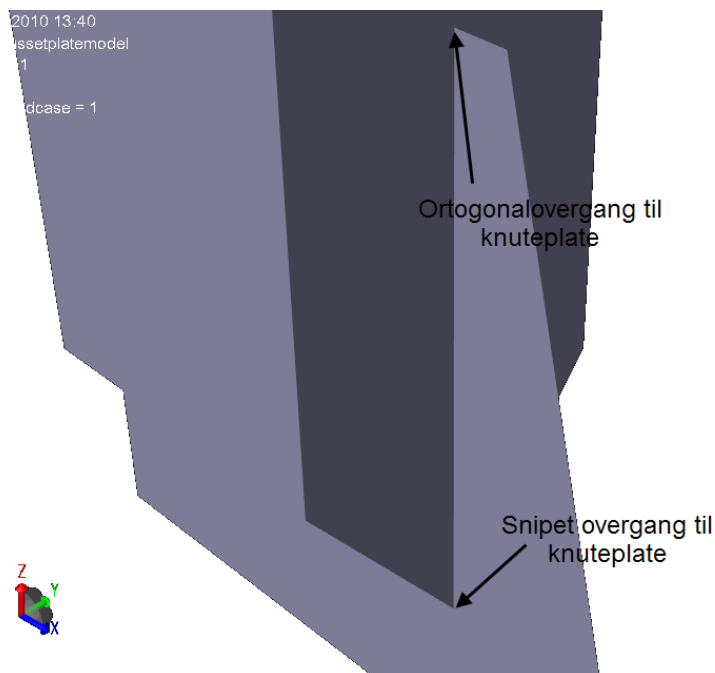


Figur 7.1 Ikke overensstemmelse mellom skala og maksimal elementspenning

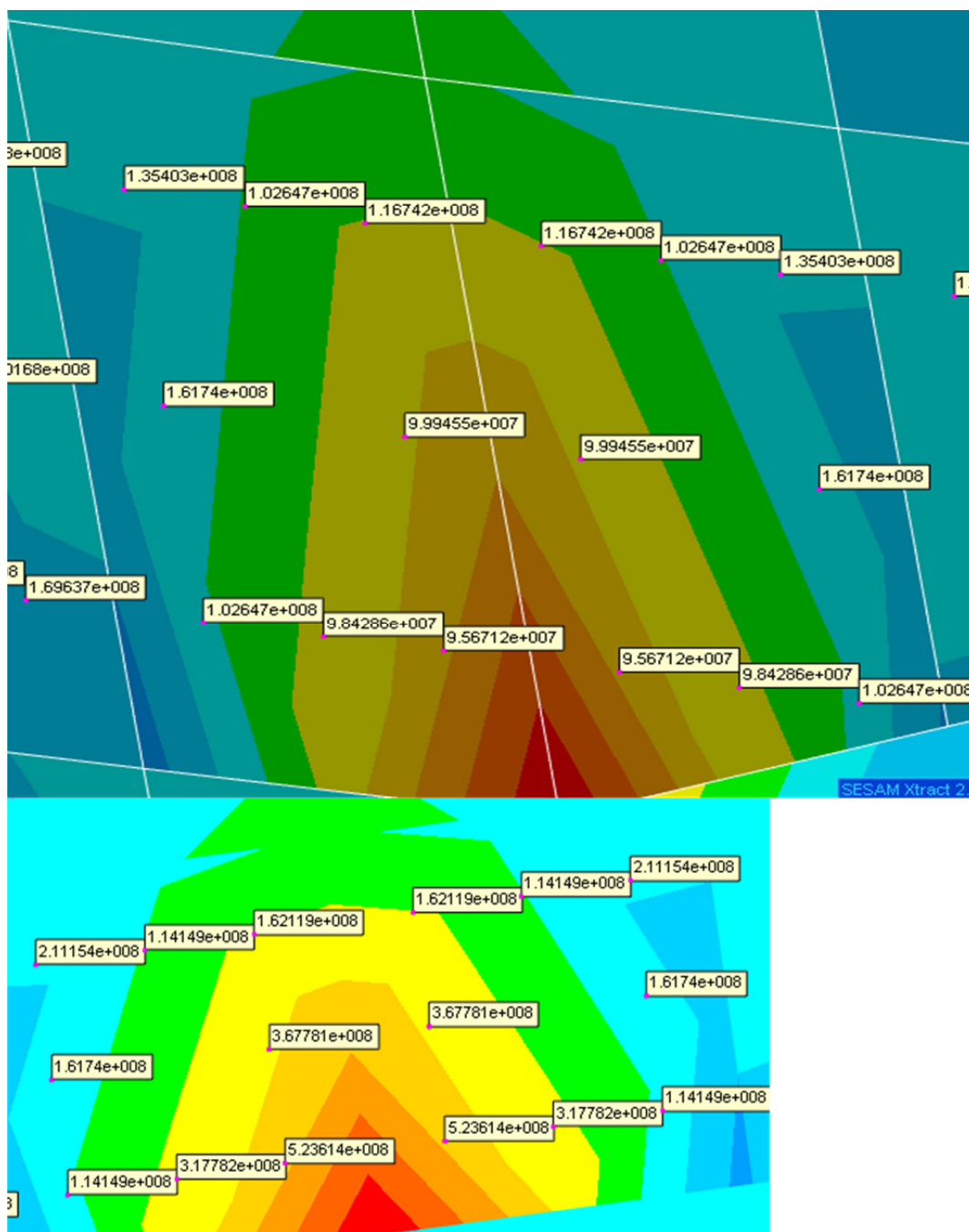


Figur 7.2 Ikke overensstemmelse mellom skala og gjennomsnittlig elementspenning

Et annet problem som er observert i Xtract under gjennomføring av oppgaven har vært med avlesing av spenninger. Det kan da virke som Xtract ikke klarer å lese de gjeldende spenningene fra analysen som er gjennomført. Det vises her til et eksempel fra en analyse av den ortogonale overgangen på hulprofil til knuteplate, og det er i dette tilfellet brukt 8 knutepunkts firkantelement, ref. figur 7.3. I det øverste tilfellet kan man se at Xtract med referanse til figur 7.4 viser en spenning på 96 MPa der fargeplottet er mest ugunstig, mens 135 MPa der fargeplottet viser en svakere spenning. Nederste tilfellet i figur 7.4 viser hvordan spenningene egentlig skal være ved dette belastningstilfellet. Det man ser er at spenningen følger fargeplottet på en logisk måte, og man oppnår spenninger som er mer logiske for lasten som er påført. Dette fører til at det fort går mye tid og frustrasjon til å skjønne hvorfor spenningene ikke overensstemmer med fargeplottet. Det går også mye tid til å kjøre analysemodeller på nytt for å se om det forandrer resultatene. Det som også ble løsningen i dette tilfellet er å starte programmet på nytt, for så å jevnføre med tilsvarende modeller til man oppnår et resultat som er logisk i forhold til den belastingssituasjonen man har påført. Resultatet hadde også en tendens til å endre seg hver gang Xtract ble startet på nytt når man benyttet samme Genie analyse.

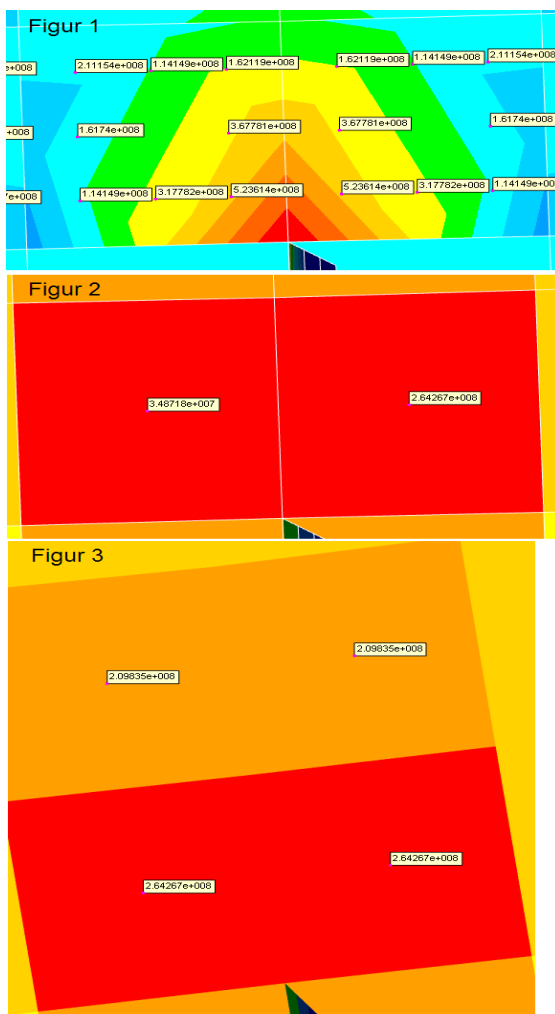


Figur 7.3 Overganger på hulprofil til knuteplate som er analysert



Figur 7.4 Resultat forskjeller med samme element, detalj og belastning

Tilslutt har det oppstått noen problemer vedrørende avlesning av gjennomsnittlig elementspenning. Denne funksjonen har også vist at det kan bli litt ukonsekvente resultater, og man skal være kritisk til hvilke verdier som blir gitt i Xtract. Figur 7.5 består av delfigurer som viser hva som har vært problemet med funksjonene for gjennomsnittlig elementspenning. Man starter med et element som har en symmetrisk spenningsfordeling og det gjelder også elementene som ligger i nærheten utenfor bilde i dette tilfellet, så derfor skal ikke disse elementene ha en ukjent påvirkning. Når man da bruker gjennomsnittsfunksjonen på figur 1 i figur 7.5 så kan man oppnå et resultat som ikke er symmetrisk når utgangspunktet er en symmetrisk spenningsfordeling, ref. figur 2 i figur 7.5. Dette fører til at man nøye må kontrollere at spenningene er i område man forventer, men det kan være veldig vanskelig i en modell der man ikke har symmetri. Derfor kan dette skape et problem med at man bruker spenninger som ikke er reelle i videre beregninger. Ved lukking og ny start av programmet oppnår man resultatet i figur 3, som er både symmetrisk og som forventet. Dette gjør at det til tider kan være vanskelig å vite hvilke resultater man skal stole på.



Figur 7.5 Resultat forskjeller ved bruk av gjennomsnittlig elementspenning

Det er ikke funnet noe direkte løsning på disse problemene som er oppdaget i denne oppgaven, men det er brukt god tid på å verifisere resultatene slik at de fremstår som logiske og forventet. Det fører til at resultatene som er oppnådd i denne oppgaven burde være gode og pålitelige. Det kan derfor påstås at DNV Sesam Xtract har en del igjen før det er et postprosessorprogram man kan stole blindt på.

8 Elementanalyse

8.1 Modelloppbygning

8.1.1 Bjelkekryssforbindelse

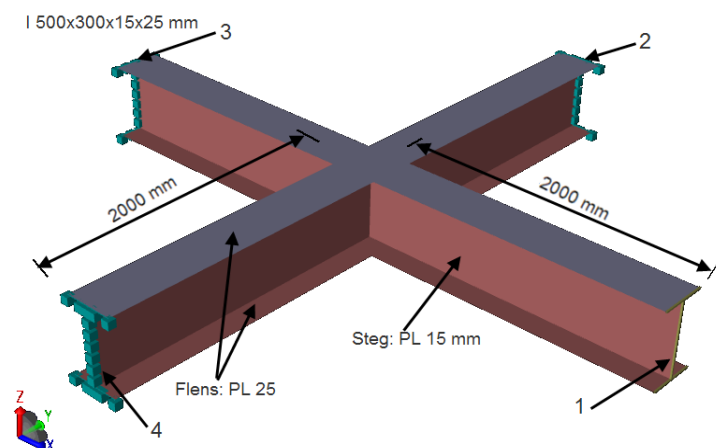
Bjelkekrysset er modellert i SESAM Genie med skallelementer, men selve sveisen er ikke modellert for å gjennomføre oppgaven innenfor det som i praksis er normalt ved en analyse i næringslivet. Modelleringsmetoden er i henhold til DNV RP-C203. Skallmodellen er satt sammen slik at platene samvirker som en I-bjelke med tverrsnittdimensjoner fra kapittel 5.2. Under modellering av bjelkekrysset er lengden på bjelkene i modellen antatt slik at det ikke forekommer innvirkningen på kryssingspunktet fra området for påført last eller opplagringspunkt.

Påføring av belastning skjer på ende 1 og er antatt å være en aksiallast. Ved ende 1 er skallelementene koblet med et stivt bjelkeelement som gjør at man kan påføre belastninger direkte på skallmodellen, ref. fig 8.2 (gullfarget).

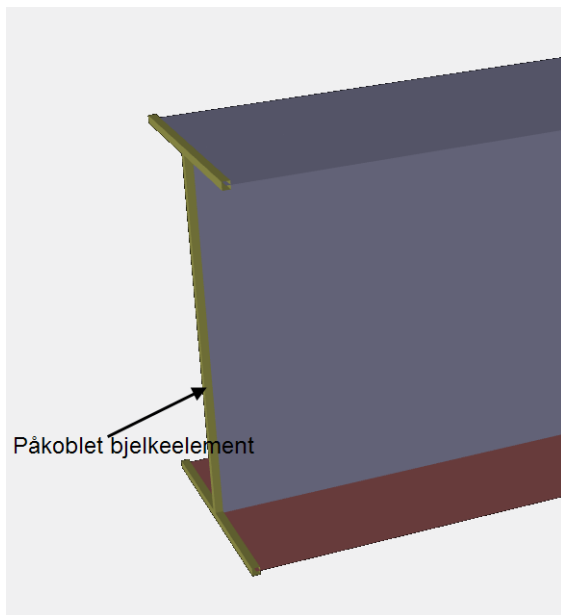
Det er antatt en påført enhetslast som gir 100 MPa nominellspenning i tverrsnittet for å gjøre det enkelt avgjøre resultatene for spenningskonsentrasjonsfaktoren.

Det er antatt fastinnspenning i endene 2,3 og 4. Det er gjort for å modellere at bjelkene er kontinuerlige videre etter utsnittet som er modellert, og fører til at bjelkene kan ta opp krefter og momenter i alle retninger, ref fig 8.1. Fast innspenning er vist i Genie som rektangulære bokser på overflatene som er fast innspente.

Materialet er definert som S355 stål med flytespenning på 355MPa.



Figur 8.1 Oversikt: Bjelkekryssmodell



Figur 8.2 Ende 1: Påkoblet bjelkeelement(Gullfarget)

8.1.2 Kvadratisk hulprofil festet til knuteplate

Detaljen kvadratisk hulprofil festet til en knuteplate er modellert i SESAM Genie med skallelementer, men selve sveisen er ikke modellert for å gjennomføre oppgaven innenfor det som i praksis er normalt ved en analyse i næringslivet. Denne metoden er også beskrevet i DNV RP-C203. Skallmodellen er satt sammen slik at man oppnår et kvadratisk hulprofil som er festet til en knuteplate med tverrsnittdimensjoner fra kapittel 5.1. Under modellering av hulprofildetaljen er lengden på hulprofilet i modellen antatt slik at det ikke forekommer innvirkningen på spenningskonsentrasjonsområdene fra området for påført last eller opplagringspunkt.

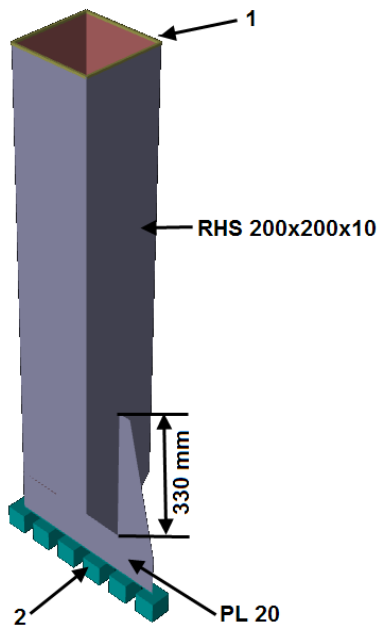
Påføring av belastning skjer på ende 1 og er antatt som en aksiallast. Ved ende 1 er plateelementene koblet med et stivt bjelkeelement som gjør at man kan påføre belastninger direkte på skallmodellen, ref. fig 8.4 (gullfarget).

Det er antatt en påført enhetslast i aksialretning som gir 100 Mpa nominellspenning i tverrsnittet for å gjøre det enkelt avgjøre resultatene for spenningskonsentrasjonsfaktoren.

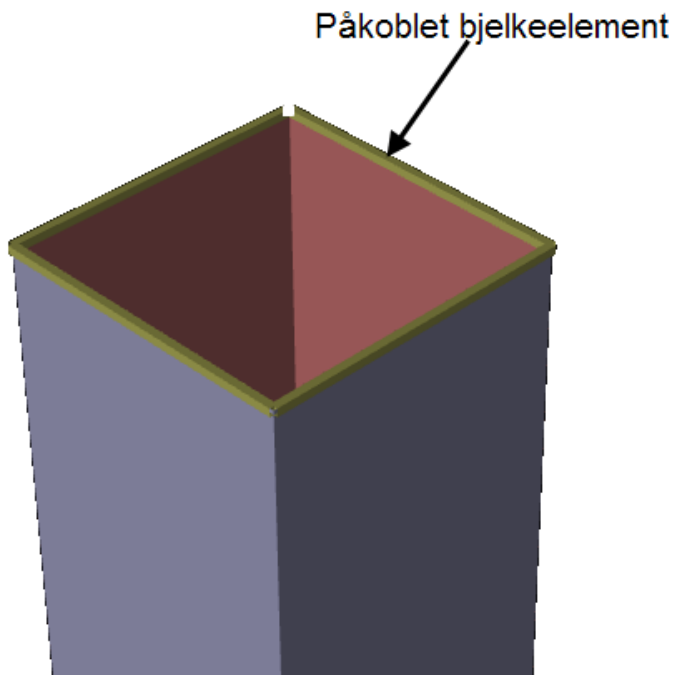
Det er antatt fastinnspenning i ende 2, ref fig 8.3. Det er gjort for å modellere fast innspenning til eventuelt underliggende konstruksjon. Fast innspenning er vist i Genie som rektangulære bokser på overflatene som er fast innspente.

Det er i utgangspunktet definert en sveiselengde på 330 mm ved analyse av konstruksjonsdetaljen.

Materialet er definert som S355 stål med flytespenning på 355Mpa



Figur 8.3 Oversikt: Kvadratisk hulprofil festet til en knuteplate



Figur 8.4 Påkoblet bjelkeelement ved ende 1 på hulprofilet (gullfarget)

8.2 Bjelkekryssforbindelse

8.2.1 Generelt

Bjelkekryssforbindelsen er interessant for utmattingskalkulasjoner, og det er fokusert på spenningskonsentrasjonsfaktor tilknyttet utmatting for bjelkekryssforbindelsen i oppgaven. Det vil bli brukt hovedspenninger i analysen for spenningskonsentrasjonsfaktorer. Dette er i henhold til hva som blir gjort ved en analyse i næringslivet.

For beregning av spenningskonsentrasjonsfaktor er interpolasjon i henhold til DNV RP C-203 utført i globale X og Y akseretning, ref. kap. 4.2.2. For avlesing av hovedspenning i programvaren er det valgt en funksjon som gir gjennomsnittlig hovedspenning i hvert enkelt element slik av interpolasjonen kan foretas på en enkel måte. Gjennomsnittlig hovedspenning er hentet fra elementets geometriskesenter, og er et snitt av spenningene i Gauss-punktene. Det er i DNV RP C-203 anbefalt å utføre en slik analyse ved bruk av firkantelement med 8 knutepunkt, men i denne oppgaven er det også valgt å utføre analysen med 6 knutepunkts trekantelement og 4 knutepunkts firkantelement for å forsøke å se hvilken virkning dette har på analysen. Regneark for interpolasjon av spenningskonsentrasjon er vedlagt i vedlegg B.

Det skal i henhold til DNV RP C-203 være en elementstørrelse som er lik tykkelsen på detaljen som er under analyse. En elementstørrelse lik tykkelsen har blitt brukt i analysene som er gjennomført med hensyn til endring av geometri og endring av flensbredde, men i analysen for å studere elementstørrelsens virkning er det valgt både større og mindre elementer enn tykkelsen.

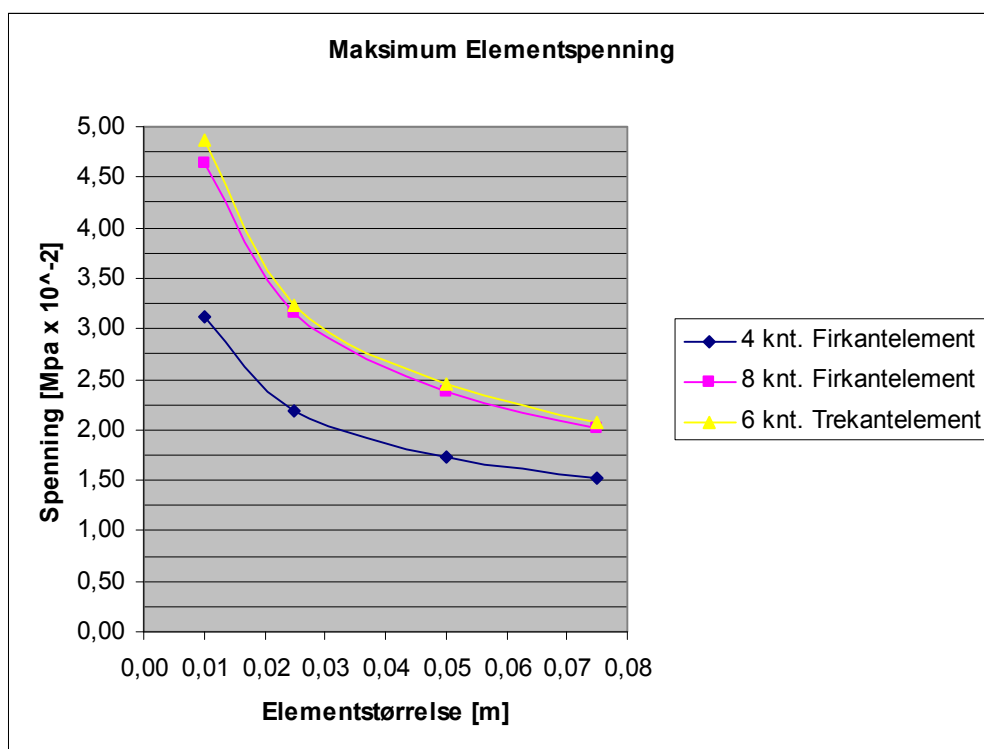
For å oppnå en god spenningskonsentrasjonsanalyse så burde man tilstrebe et mest mulig regulært elementnett slik at man oppnår lik spenningskonsentrasjonsfaktor i hvert overgangshjørne av bjelkekryssmodellen. Hvis man oppnår regulært elementnett og en lik spenningsfordeling i hvert overgangshjørne så kan man være tryggere på at modellen gir et godt analyseresultat.

8.2.2 Elementet størrelsens påvirkning på spenningskonsentrasjon

Parameteranalyse for elementstørrelsens påvirkning er gjennomført for å se hvilken innvirkning elementstørrelsen har på spenningskonsentrasjoner ved geometriske overganger. Den innebygde elementgeneratoren i DNV Genie oppnådde et regulært og symmetrisk elementnett under analyse av elementstørrelsens påvirkning for alle elementtypene, og det burde dermed resultere i en nøyaktig analyse.

Teorien bak elementmetoden predikerer en matematisk singularitet ved en brå geometrisk endring, og med singularitet menes det at spenningene i det singulære punktet vil øke mot uendelig når elementstørrelsen reduseres mot null. Det singulære punktet er i bjelkekryssdetaljen den vinkelrette overgangen mellom flensene i topp og bunn. I figur 8.5 er det vist at ved en endring mot mindre elementstørrelse vil den maksimale elementspenningen øke, og det er i tråd med elementmetodeteorien. Singulariteten viser at en elastisk analyse ikke tar hensyn til flytespenning som oppstår i de ytterste fiberne ved den geometriske overgangen, og den omfordelingen av spenning som er resultatet i en virkelig belastingssituasjon når det oppstår flytespenning. Det fører til en kunstig høy spenningsstopp i overgangen mellom flensene.

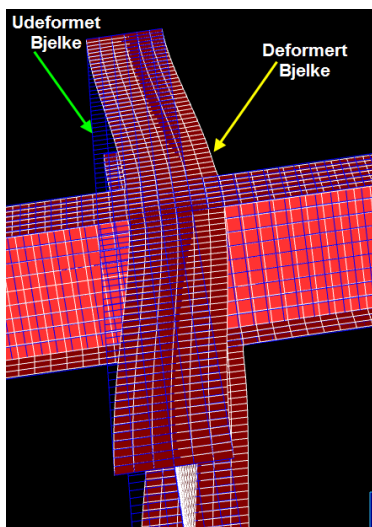
Maksimum elementspenning, ref. fig 8.5, viser at førsteordens fireknutepunkts firkantelement predikerer vesentlig lavere maksimal spenning enn andreordens firkant og trekantelement. Det anbefales i hovedsak 8 knutepunkts firkantelement til analyse der det er brå spenningsgradient og dette er gjeldene for bjelkekrysset. Analysen viser at man oppnår et tilnærmet likt resultat med andreordens trekant og firkantelement, ref fig. 8.5 og tabell 8.2 - 8.3.



Figur 8.5 Maksimum Elementspenning

Grunnen til at et fireknutepunkts firkantelement gir et mindre konservativt resultat er oppbygningen av elementet. Førsteordenselement har lineær forsyning, og dermed får førsteordenselementet en lavere gradient mot spenningskonsentrasjonspunktet. Det medfører en lavere prediksjon av maksimalspenningen.

Fireknutepunkts firkantelement gir en høyere bøyestivhet, og får da bjelken til å oppføre seg stivere enn andreordenselementene. Det kan nok påvirke spenningskonsentrasjonene. Figur 8.6 viser udeformert bjelke mot den deformerte bjelken ved påført belastning.



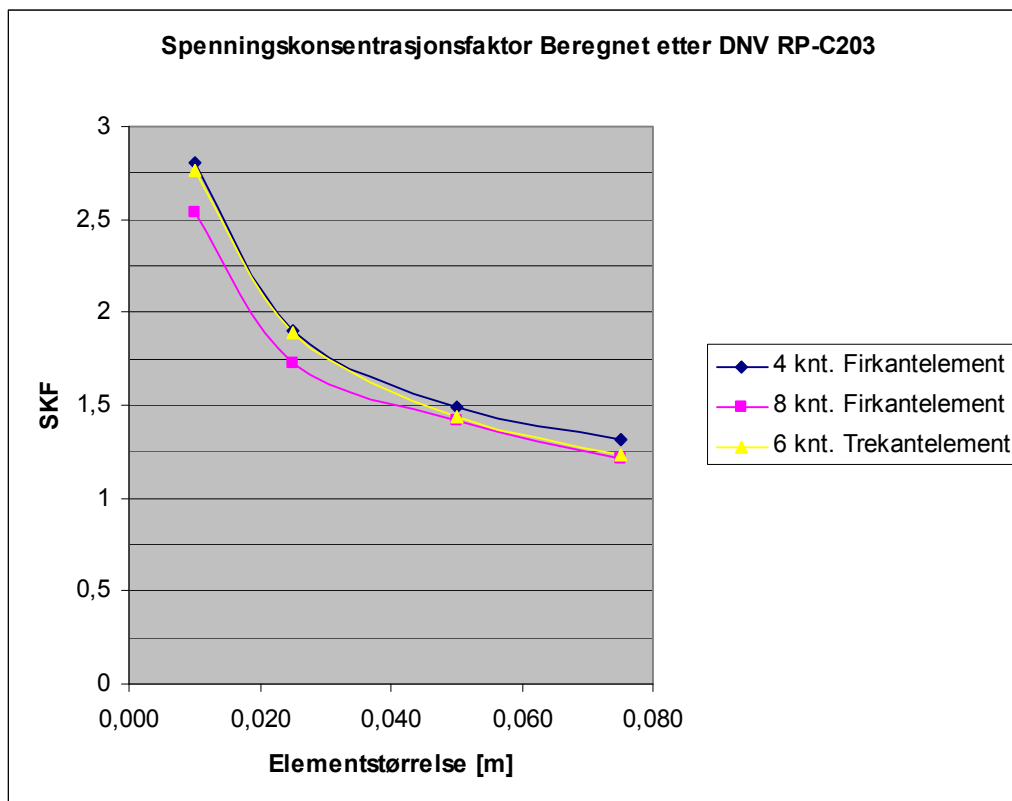
Figur 8.6 Udeformert bjelke mot deformert bjelke

Analysen som viser den beregnede spenningen etter DNV RP-C203 med tilhørende effekt av mindre elementstørrelsen må ses på som veiledende. Dette er fordi DNV RP C-203 tar utgangspunktet i at man skal ha en elementstørrelse lik tykkelsen på detaljen som er undersøkt, og at man skal interpolere slik at man bruker to interpoleringspunkt som definert i kapittel 4.2.2. Det fører til at den beregnede spenningen er mer veiledende i analysen som omfatter endring i elementstørrelse, men det viser allikevel hvilken effekt et finere elementnett har på analysen.

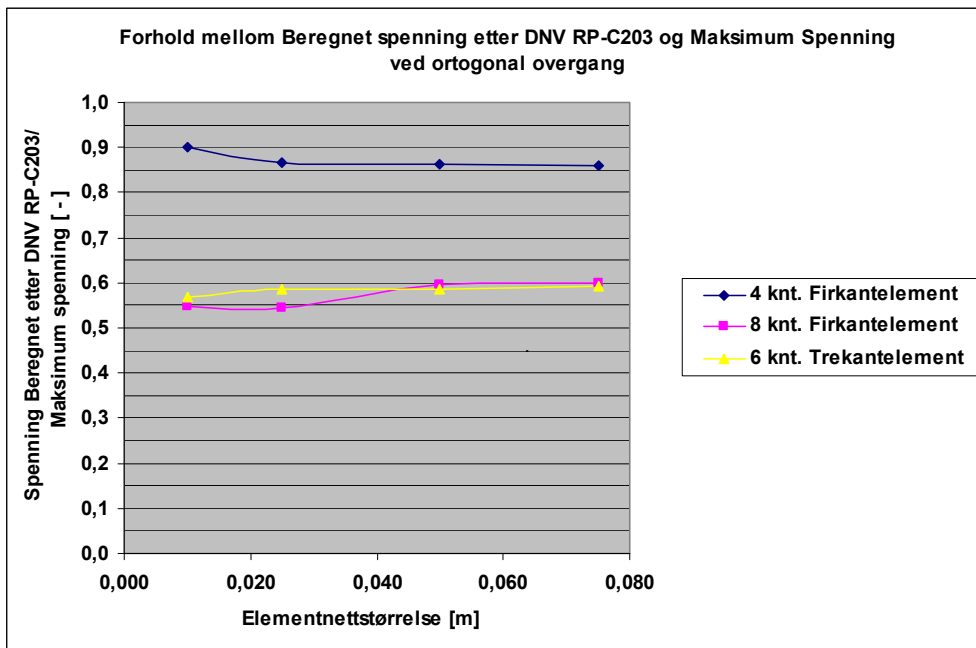
Spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet etter DNV RP-C203, ref. figur 8.7, viser at det blir mye mindre forskjell på elementtypene når man bruker interpolasjonsmetoden for å predikerer spenningskonsentrasjonsfaktoren. Det viser seg at spenningen blir redusert mye mindre fra den maksimale spenningskonsentrasjonen til den beregnede spenningen etter DNV RP-C203 ved bruk av førsteordens firkantelement, enn ved bruk av andreordenselement.

Andreordenselementer har en mye større endring fra maksimal spenning til den beregnede spenningskonsentrasjonen ved interpolasjon, men variasjonen fra andreordens firkantelement til andreordens trekantelement er i dette tilfellet liten, ref. figur 8.8.

Som vist i tabell 8.1 til 8.3 så er andreordenselementene meget like når det kommer til forholdet mellom maksimum spenning til beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor, vilkårlig om det er trekant eller firkantelement. Grunnen til denne tendensen er at andreordenselementene følger den brå spenningsgradienten mer nøyaktig og det fører til en høy spenningstopp, men andreordenselementene sprer spenningene mer utover slik at ved beregningspunktene har man spenninger i samme område som for et førsteordenselement. Dette vises godt i tabell 8.1-8.3 der man ser at beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203 er i samme størrelsesorden for alle elementtypene som er brukt i denne oppgaven.



Figur 8.7 Spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet ihh. til DNV RP-C203



Figur 8.8 Forholdet mellom beregnet og maksimalspenning

Endring av elementstørrelse med 4 knutepunkts firkantelement			
Element - størrelse [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,075	1,528	1,313	0,86
0,050	1,728	1,491	0,86
0,025	2,195	1,902	0,87
0,010	3,111	2,807	0,90

Tabell 8.1 Endring av elementstørrelse med 4 knutepunkts firkantelement

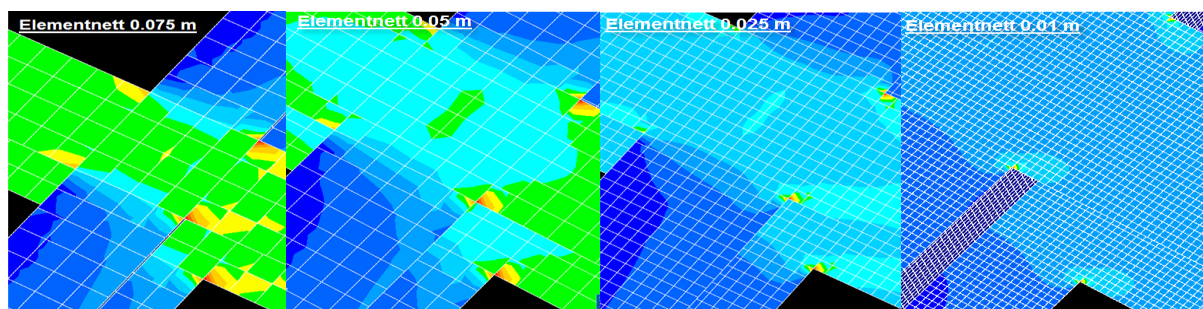
Endring av elementstørrelse med 8 knutepunkts firkantelement			
Element - størrelse [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,075	2,023	1,212	0,60
0,050	2,373	1,415	0,60
0,025	3,162	1,724	0,55
0,010	4,635	2,538	0,55

Tabell 8.2 Endring av elementstørrelse med 8 knutepunkts firkantelement

Endring av elementstørrelse med 6 knutepunkts Trekantelement			
Element - størrelse [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,075	2,076	1,229	0,59
0,050	2,461	1,442	0,59
0,025	3,234	1,891	0,58
0,010	4,858	2,767	0,57

Tabell 8.3 Endring av elementstørrelse med 6 knutepunkts trekantelement

Med referanse i figur 8.9 kan det observeres at spenningskonsentrasjonsfaktoren øker i intensitet som vist i figur 8.5, men reduseres i utbredelse ved bruk av mindre størrelse på hvert enkelt element. Man kan også observere at analysen får en mer jevn overgang mellom spenningene når elementstørrelsen reduseres. En jevn overgang er tegn på at analysen blir mer nøyaktig, hvis man ser bort fra spenningen i spenningskonsentrasjonspunktene som det normalt blir gjort i en dimensjoneringsanalyse der disse ikke er interessante.



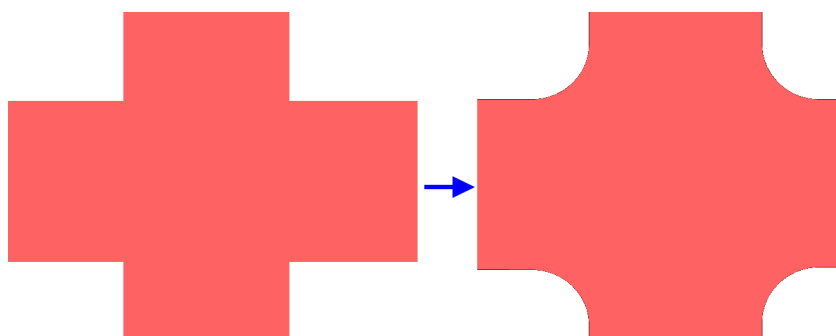
Figur 8.9 Spenningsfordeling med variasjon av elementnettstørrelse

Med bakgrunn i figur 8.5-8.8 og tabell 8.1-8.3 så virker det som et andreordenselement er det mest konservative valget for analyse av maksimalspenningene, mens førsteordenselementet er mest konservativt når det kommer til spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203. Denne observasjonen er annerledes enn hva anbefalingene i DNV RP-C203 skulle tilsi med bruk av et andreordensfirkantelement. Man skulle i utgangspunktet tro at DNV RP-C203 gir anbefalinger til den analysemetoden som er mest konservativ, men det kan ha noe med at et andreordens firkantelement gjenspeiler virkeligheten på en bedre måte selv om det er mindre konservativt.

8.2.3 Geometriskendring av overgangen hvor spenningskonsentrasjoner oppstår

Denne parameter analysen har til hensikt å belyse hvilken innvirking endring av detaljgeometri har for resultatene i en elementanalyse med fokus på spenningskonsentrasjoner. Det er i denne analysen benyttet elementer med størrelse lik flenstykkelsen.

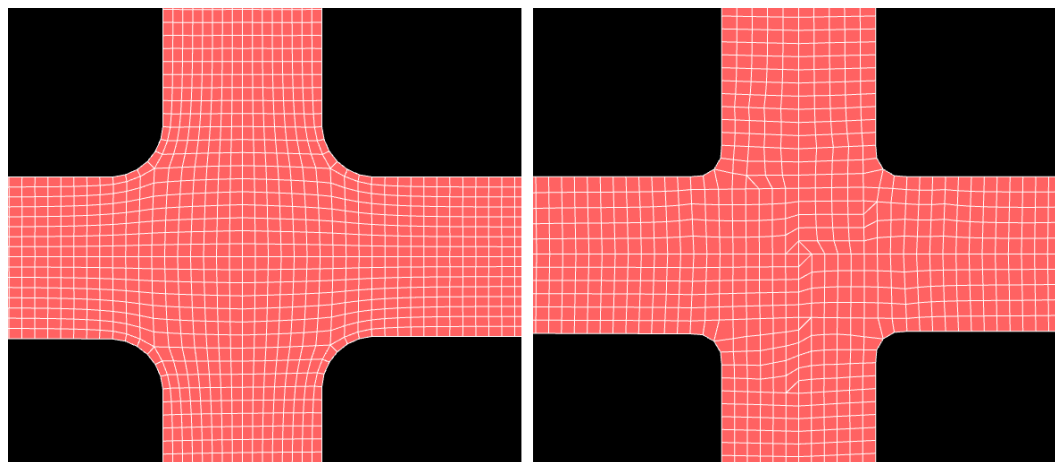
Den foretatte geometriske endringen er en avrunding av overgangen mellom flensene i bjelkekrysset. Det er videre foretatt en endring i radiusen på avrundingen for å se hvilken effekt det kan ha på spenningskonsentrasjonsfaktorens størrelse.



Figur 8.10 Endring av bjelkekryssgeometri

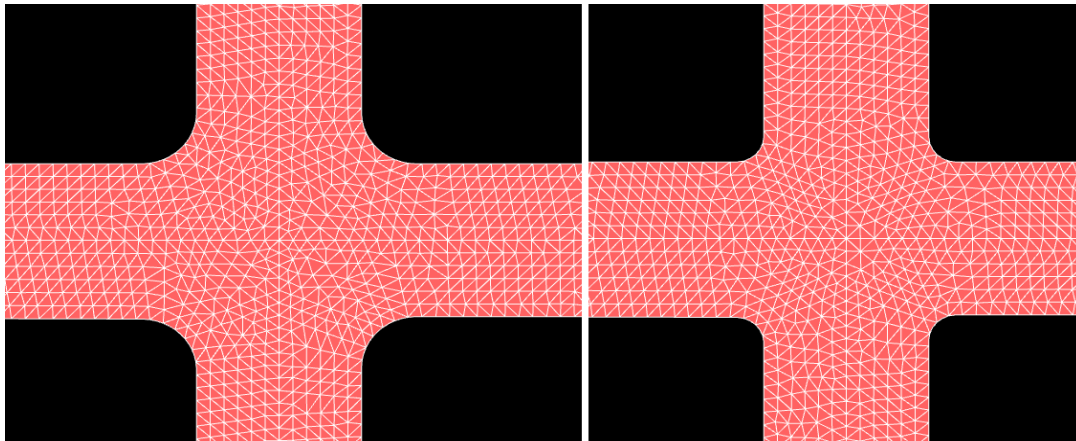
Ved gjennomføring av geometriendring er det brukt en elementstørrelse som er lik tykkelsen på flensen(0,025 m), som spesifisert for en spenningskonsentrasjonsanalyse i DNV RP-C203.

Det viste seg at Genie kun klarer å lage et regulært elementnett med firkantelementer når avrundingsradius er satt til større enn 0,075 meter med den spesifiserte elementstørrelsen, og det blir for stort til å kunne brukes til praktiske formål. Ved en mindre avrundingsradius blir elementnettet uregulært og ikke symmetrisk ved bruk av firkantelementer. Det uregulære og usymmetriske elementnettet kan påvirke spenningskonsentrasjonsanalysen og gi en mer upålitelig analyse, ref. figur 8.11. Det kan være vanskelig ved uregulært elementnett å få like spenninger i hvert spenningskonsentrasjonshjørne. Ulikespenninger gjør at det er vanskelig å utføre en pålitelig analyse. Avrundingsradiusen er variert som følgende 0,1 m, 0,075 m, 0,050 m, 0,025 m og 0,01 m.



Figur 8.11 Regulært elementnett mot ikke regulært elementnett dannet av firkantelementer

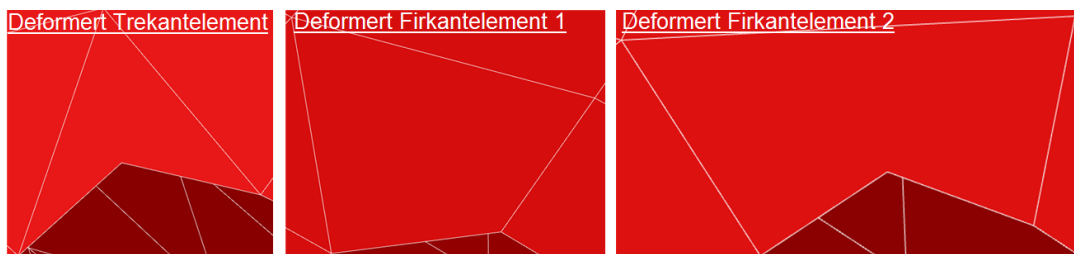
Trekantelementet klarte under variasjonen av avrundingsradius å generere et elementnett som var regulært og symmetrisk med den spesifiserte elementstørrelsen. Ved bruk av Genie sin innebygde elementnettgenerator, spesifisert elementstørrelse og en avrundet geometri så ser det ut til at trekantelementer beskriver konstruksjonsdetaljen på en bedre måte enn firkantelementer, ref. figur 8.12.



Figur 8.12 Elementnett generert av trekantelementer med forskjellig avrundings radius

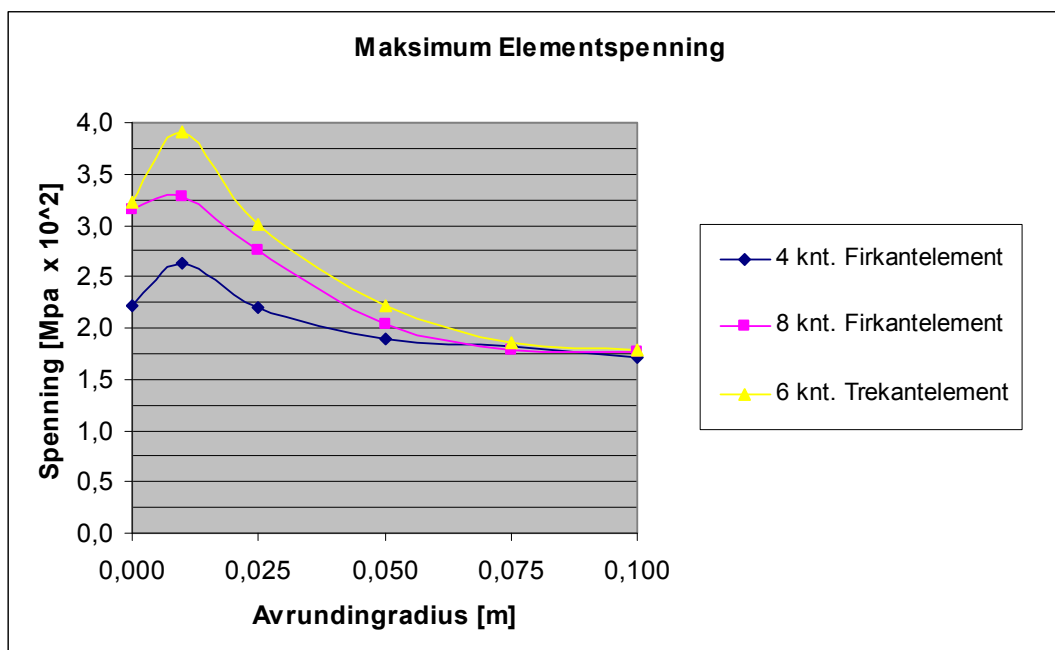
Det er allikevel blitt valgt å ta med både firkant og trekantelementer i resultatene som beskriver spenningskonsentrasjonsfaktoren i bjelkekryssdetaljen. Dette er gjort for å kunne se om analysene gir noe entydig resultat og hvilken effekt uregulært elementnett har på analysen.

Spenningskonsentrasjonstoppen som man har ved avrundingsradius 0,01 meter er høyere enn spenningskonsentrasjonsfaktoren for den vinkelrette forbindelsen (0,00 m), ref. figur 8.5 og 8.14. Spenningstoppen gjelder for alle elementtypene som er brukt, og kommer av at radiusen på 0,01 meter er mindre enn elementstørrelsen. Det medfører at elementet deformeres mye fra opprinneligform ved forsøk på å modellere avrundingsradiusen. I denne analysen ser man at deformasjonen fører til en spiss på elementet der spenningskonsentrasjonen blir enda sterkere, enn ved den vinkelrette overgangen som bjelkekryssdetaljen opprinnelig har, ref. figur 8.13. Dette problemet kunne vært løst med mindre elementstørrelse, men da vil analysen falle utenfor retningslinjene til DNV RP-C203 som er fokuset i denne oppgaven.



Figur 8.13 Elementnett generert av trekantelementer med forskjellig avrundings radius

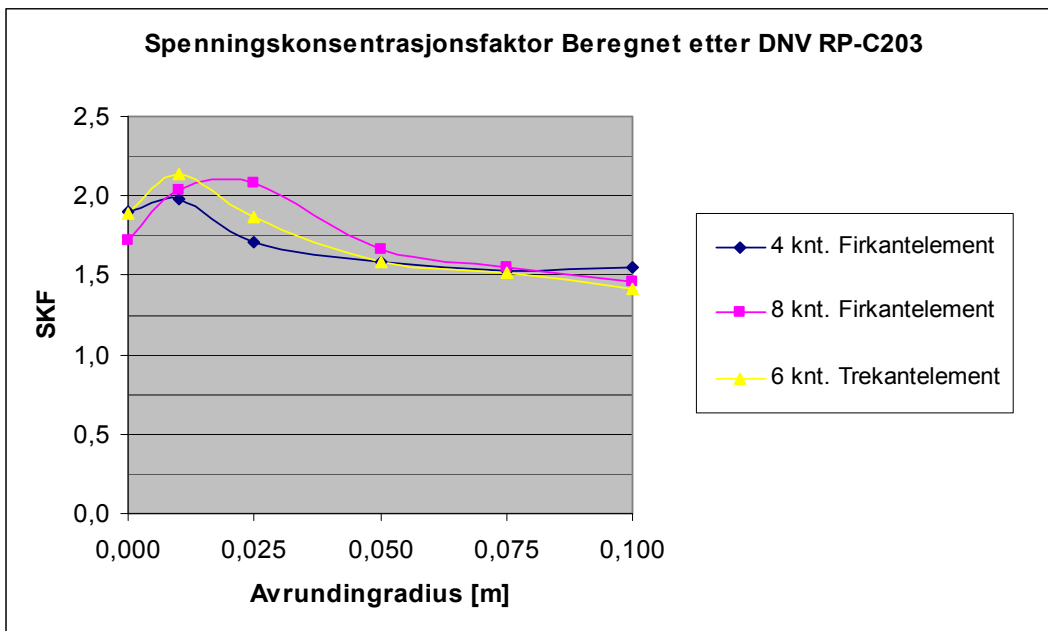
Det syntes at når avrundingsradiusen går mot 0,1 meter som alle tre elementtypene klarer å modellere, vil den maksimale spenningskonsentrasjonsfaktoren konvergere mot en verdi rundt 1,7. En spenningskonsentrasjonsfaktor på 1,7 er vesentlig mindre enn spenningskonsentrasjonsfaktoren som man oppnår med de tre elementtypene i en vinkelrett forbindelse, ref. figur 8.14. Det kunne da vært aktuelt med en nærmere undersøkelse av hvilken virkning mindre elementstørrelse ville gjort for spenningskonsentrasjonsfaktoren i radiusen, men siden det er tidkrevende og oppgaven fokuseres mot retningslinjene fra DNV RP-C203 så blir ikke dette utført. Det er heller en anbefaling til videre arbeid som kan utføres i forbindelse med en oppfølgingsoppgave.



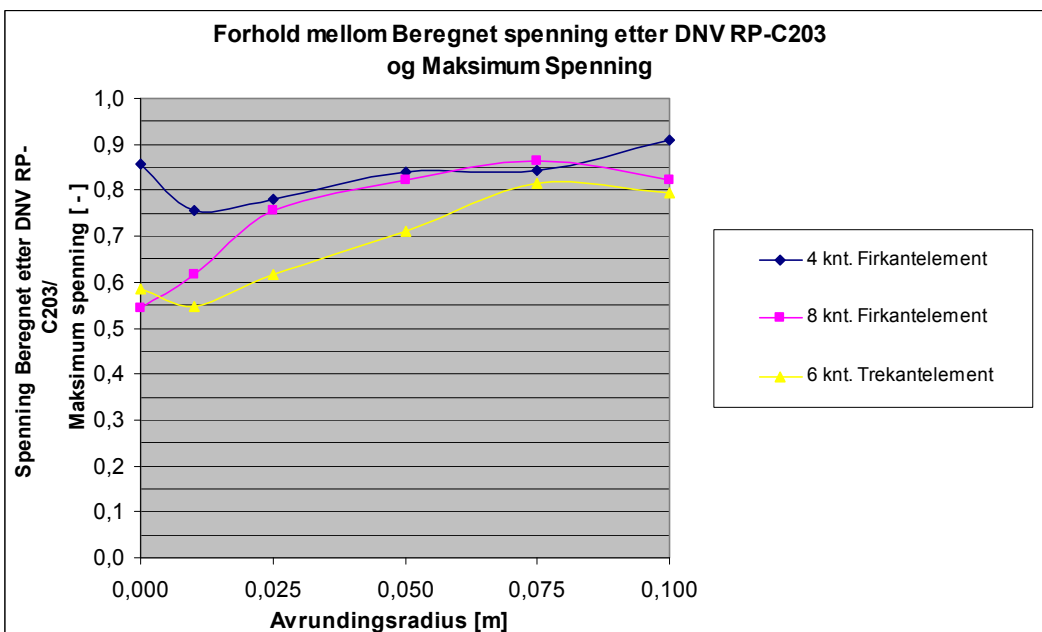
Figur 8.14 Maksimum Elementspenning

Spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet etter DNV RP-C203, ref. figur 8.15, viser at det blir mye mindre forskjell på elementtypene når man bruker interpolasjonsmetoden for å predikere spenningskonsentrasjonsfaktoren. Det viser seg at spenningen blir redusert mye mindre fra den maksimale spenningskonsentrasjonsfaktoren til den beregnede spenningen etter DNV RP-C203 ved bruk av førsteordens firkantelement, enn ved bruk av andreordenselement. Fra en avrundingsradius på 0,075 meter og oppover ser det ut til at maksimal og beregnet spenning konverger mer inn i samme område. Dette gjelder for alle elementtypene som er benyttet i denne oppgaven. Samme tendensen viser seg i forholdet mellom maksimal og beregnet spenning, dog viser figur 8.16 en svakere tendens.

Andreordenselementer har en mye større endring fra maksimal spenningskonsentrasjonen til den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren ved interpolasjon. I dette tilfellet er det også forskjellig endring mellom firkant og trekant andreordenselement, men alle tre elementtypene konvergerer mot en spenningskonsentrasjonsfaktor i område 1.5 når avrundingsradiusen går mot 0,1 meter. Det er et resultat som er mindre enn spenningskonsentrasjonsfaktoren til den vinkelrette forbindelsen som er utgangspunktet for bjelkekrysset. Da kan det spekuleres i om ikke en avrundings radius kan redusere spenningskonsentrasjonsfaktoren vesentlig hvis man bruker så små elementer at radiusen blir modellert på en nøyaktig måte.



Figur 8.15 Spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet ihh. til DNV RP-C203



Figur 8.16 Forholdet mellom maksimal og beregnet spenning

Geometriskendring av bjelkekrusdetalj med 4 knutepunkts firkantelement			
Avrundingsradius [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,000	2,220	1,900	0,86
0,010	2,625	1,983	0,76
0,025	2,190	1,711	0,78
0,050	1,889	1,586	0,84
0,075	1,819	1,531	0,84
0,100	1,706	1,549	0,91

Tabell 8.4 Endring av geometri med 4 knutepunkts firkantelement

Geometriskendring av bjelkekrusdetalj med 8 knutepunkts firkantelement			
Avrundingsradius [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,000	3,162	1,724	0,55
0,010	3,286	2,032	0,62
0,025	2,749	2,079	0,76
0,050	2,028	1,666	0,82
0,075	1,787	1,547	0,87
0,100	1,774	1,456	0,82

Tabell 8.5 Endring av geometri med 8 knutepunkts firkantelement

Geometriskendring av bjelkekrusdetalj med 6 knutepunkts trekantelement			
Avrundingsradius [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,000	3,234	1,891	0,58
0,010	3,902	2,135	0,55
0,025	3,014	1,863	0,62
0,050	2,220	1,579	0,71
0,075	1,859	1,514	0,81
0,100	1,778	1,411	0,79

Tabell 8.6 Endring av geometri med 6 knutepunkts trekantelement

Resultatet av analysen viser at man kan redusere spenningskonsentrasjonsfaktoren ved å legge en radius i overgangen, men det er da viktig at radiusen er stor i forhold til elementstørrelsen slik at radiusen kan bli modellert nøyaktig. Nøyaktig modellering av radiusen oppnår man ved at mange elementer bygger opp radiusen slik at elementene ikke blir vesentlig deformerte, og det er grunnen til at elementene må være vesentlig mindre enn avrundingsradiusen.

Med retningslinjene DNV RP-C203 gir for elementstørrelsen er det vanskelig å oppnå riktig modellering av radiusen, men man kan se effekten av at spenningskonsentrasjonsfaktoren blir vesentlig lavere når radiusen er 0,1 meter. Det virker da som at radiusen er stor nok til at elementene på 0,025 meter klarer å fordele spenningene mer jevnt rundt radiusen, og man oppnår en spenningskonsentrasjonsreduksjon. Elementene i dette tilfellet blir da heller ikke spesielt deformerte og det gir en indikasjon på at analysen er nøyaktig.

For å kommentere virkningen av et uregulært og usymmetrisk elementnett vil utgangspunktet være andreordensfirkant og trekantelement. Bakgrunn for å ta utgangspunkt i andreordenselementene er at elementene viser svært liten variasjon når elementnettet er regulært og symmetrisk.

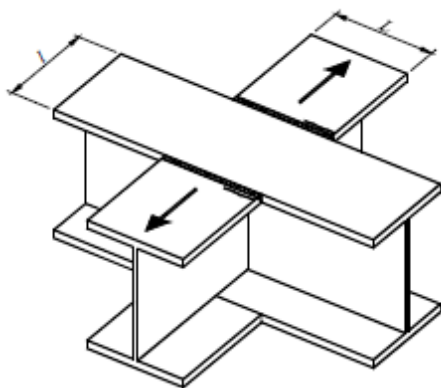
Med referanse til figur 8.14-15 kan man observere at ved en vinkelrett forbindelse vil andreordens trekant og firkantelementer gi samme maksimale spenningskonsentrasjonsfaktor, fordi elementnettet er regulært og symmetrisk for begge elementtypene. Fra en avrundingsradius på 0 meter til en radius på 0,075 meter klarer ikke elementprogrammet Genie å lage regulært og symmetrisk elementnett med den spesifiserte elementstørrelsen ved bruk av firkantelementer. Elementnettet som er dannet av firkantelementer fører i dette tilfellet til en underestimert av spenningskonsentrasjonsfaktoren i forhold til trekantelementet som blir modellert på en mer korrekt måte og burde gi mer nøyaktige resultater. Fra en avrundingsradius på 0,075 m klarer Genie å modellere bjelkekrysset med firkantelementer på en regulær og symmetrisk måte, og man kan observere at spenningskonsentrasjonsfaktoren for alle tre elementtypene faller sammen. Dette overføres også til beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor. Observasjonen viser at spenningskonsentrasjonsfaktoren er følsom for endringer i elementnettet og at det er noe man må ta hensyn til under analysen.

8.2.4 Endring av bredde på flens hos en av bjelkene i kryssknutepunktet

Grunnen til å foreta parameteranalyse av varierende flensbredde er for å undersøke om klassifiseringen etter flensbredde i DNV RP-C203 kommer til uttrykk ved gjennomføring av elementanalyse. Det er i DNV RP-C203 vist til forskjellige utmattingskurver ved forskjellig flensbredde og disse kurvene har innebygde spenningskonsentrasjonsfaktorer som er forskjellig for hver enkelt kurve.

Ved gjennomføring av denne analysen er det brukt en elementstørrelse som er lik tykkelsen på flensen (0,025 m), som spesifisert for en spenningskonsentrasjonsanalyse i DNV RP-C203.

Det er i DNV RP-C203 spesifisert at ved endring av flensbredde, l , som ikke blir belastet med en påkjenning vil bjelkekrysset falle innenfor en av følgende utmattingskurvene G, W1 og W2. Tabellen 8.7 og figur 8.17 er hentet fra tabell A-7, detalj 7, i DNV RP-C203.



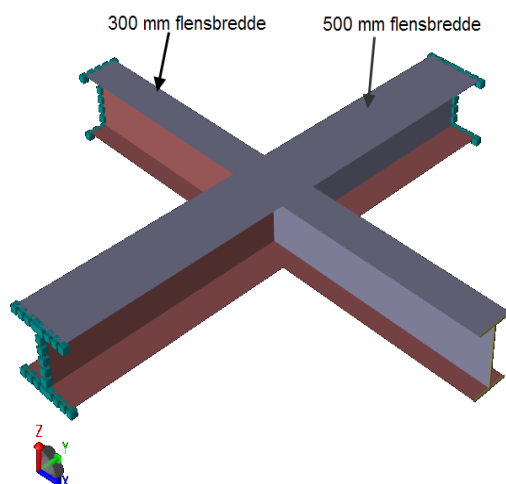
Figur 8.17 Figur av bjelkekryss fra DNV RP-C203

Utmattingskurve	Flensbredde [mm]
G	$l \leq 150$
W1	$150 \leq l \leq 300$
W2	$l > 300$

Tabell 8.7 Utmattingskurve avhengig av flensbredde

Analyse med flensbredde 500 mm

Den første analysen er gjort ved at flensen i global x - retning er beholdt med en bredde på 300 mm og flensen i global y – retning er forandret til en bredde på 500 mm, ref. figur 8.18. Denne forandringen medfører at detaljen faller innenfor kurve W2 i DNV RP-C203 som har en innebygd spenningskonsentrasjonsfaktor på 2,25. Med en flensbredde på 500 mm så er detaljen et godt stykke over nedre grense for beregning etter W2 kurven.



Figur 8.18 Endring av flensbredde i global y – retning til 500 mm

500 mm flensbredde			
Elementtype	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
Firkantelement, 4 knt.	2,55	2,28	0,90
Firkantelement, 8 knt.	3,85	2,22	0,58
Trekantelement, 6 knt.	3,82	2,26	0,59

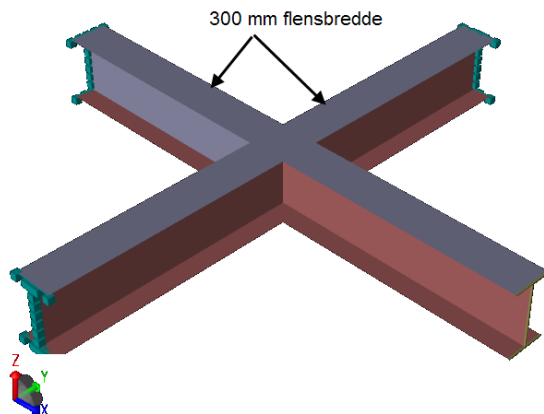
Tabell 8.8 Spenningskonsentrasjonsfaktor for flensbredde 500 mm

Når det i første tilfellet er valgt en detalj med flensbredde som ligger 200 mm over kriteriet for bruk av utmattingskurve W2, så er det gjort for å se hvilken virkning det har på spenningskonsentrasjonsfaktoren når man beveger seg et stykke over grensekriteriet.

Det syntes at et valg av flensbredde som er et stykke høyere enn grensekriteriet gir en beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor som er i område til den som er oppgitt i DNV RP-C203 på 2,25. Den høyeste får man ved bruk av firkantelement med 4 knutepunkt og den er 1.3 % høyere enn spenningskonsentrasjonsfaktoren som er lagt til grunn i DNV RP-C203. Det er en så liten variasjon fra det som er oppgitt at den kan antas å komme av avlesning eller numerisk avrunding under analysen.

Analyse med flensbredde 300 mm

Den andre analysen er gjennomført ved å bruke dimensjoner på bjelkekrysset som er spesifisert tidligere i oppgaven, ref. kap. 5.2. Analysen er utført med en flensbredde på 300 mm i både global x – retning og y - retning, ref. figur 8.19. Denne forandringen medfører at detaljen faller innenfor kurve W1 i DNV RP-C203 som har en innebygd spenningskonsentrasjonsfaktor på 2,00.



Figur 8.19 Like flensbredde i både global x og y akse

300 mm flensbredde			
Elementtype	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
Firkantelement, 4 knt.	2,20	1,90	0,87
Firkantelement, 8 knt.	3,15	1,72	0,55
Trekantelement, 6 knt.	3,23	1,89	0,58

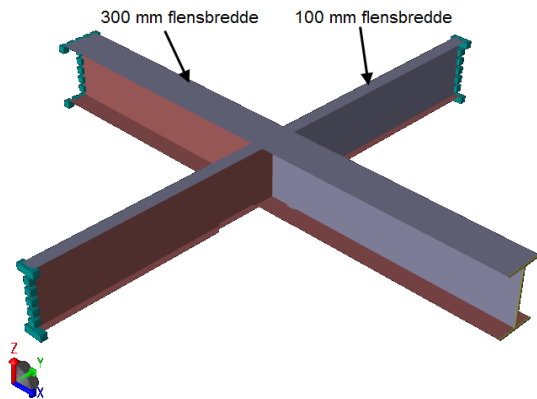
Tabell 8.9 Spenningskonsentrasjonsfaktor for flensbredde 300 mm

Når det i andre tilfellet er valgt en detalj med flensbredde som ligger på det øverste grensekriteriet for bruk av utmattingskurve W1, så er det gjort for å se hvilken virkning det har på spenningskonsentrasjonsfaktoren når man beveger opp mot grensen av intervallet.

Det syntes at et valg av flensbredde som er på grensekriteriet 300 mm gir en beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor som ligger i et område under det som er oppgitt i DNV RP-C203 på 2,00. Den høyeste spenningskonsentrasjonsfaktoren får man ved bruk av firkantelement med 4 knutepunkt og den er 5 % lavere enn spenningskonsentrasjonsfaktoren som er lagt til grunn i DNV RP-C203. Det kan virke som DNV legger seg på en konservativ linje når man ligger i nærheten av intervallgrensene.

Analyse med flensbredde 100 mm

Den siste analysen er gjort ved at flensen i global x - retning er beholdt med en bredde på 300 mm og flensen i global y – retning er forandret til en bredde på 100 mm, ref. figur 8.20. Denne forandringen medfører at detaljen faller innenfor kurve G i DNV RP-C203 som har en innebygd spenningskonsentrasjonsfaktor på 1,80.



Figur 8.20 Endring av flensbredde i global y – retning til 500 mm

100 mm flensbredde			
Elementtype	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
Firkantelement, 4 knt.	1,71	1,42	0,90
Firkantelement, 8 knt.	2,04	1,31	0,58
Trekantelement, 6 knt.	2,31	1,32	0,59

Tabell 8.10 Spenningskonsentrasjonsfaktor for flensbredde 100 med mer

Når det i tredje tilfellet er valgt en detalj med flensbredde som ligger 50 mm under kriteriet for bruk av utmattingskurve G, så er det gjort for å se hvilken virkning det har på spenningskonsentrasjonsfaktoren når man beveger seg et stykke under grensekriteriet for utmattingskurve G.

Det syntes at et valg av flensbredde som ligger 50 mm under grensekriteriet for kurve G gir en beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor som ligger i et område godt under det som er oppgitt i DNV RP-C203 på 1,80. Den høyeste spenningskonsentrasjonsfaktoren får man ved bruk av firkantelement med 4 knutepunkt og den er 27 % lavere enn spenningskonsentrasjonsfaktoren som er lagt til grunn i DNV RP-C203. Det kan virke som DNV legger seg på en veldig konservativ linje når man ligger i et stykke under grensekriteriet for kurve G.

Hvis man ser analysen under ett er det en trend der man ser at spenningskonsentrasjonsfaktoren som er lagt til grunn i kurvene som brukes DNV RP-C203 er mindre konservative ved en økende flensbredde og når flensbredden nærmer seg et grensekriterium. Reduserer man flensbredden kan kurvene bli veldig konservative i forhold til opptredende spenningskonsentrasjon.

8.3 Kvadratisk hulprofil festet til knuteplate

8.3.1 Generelt

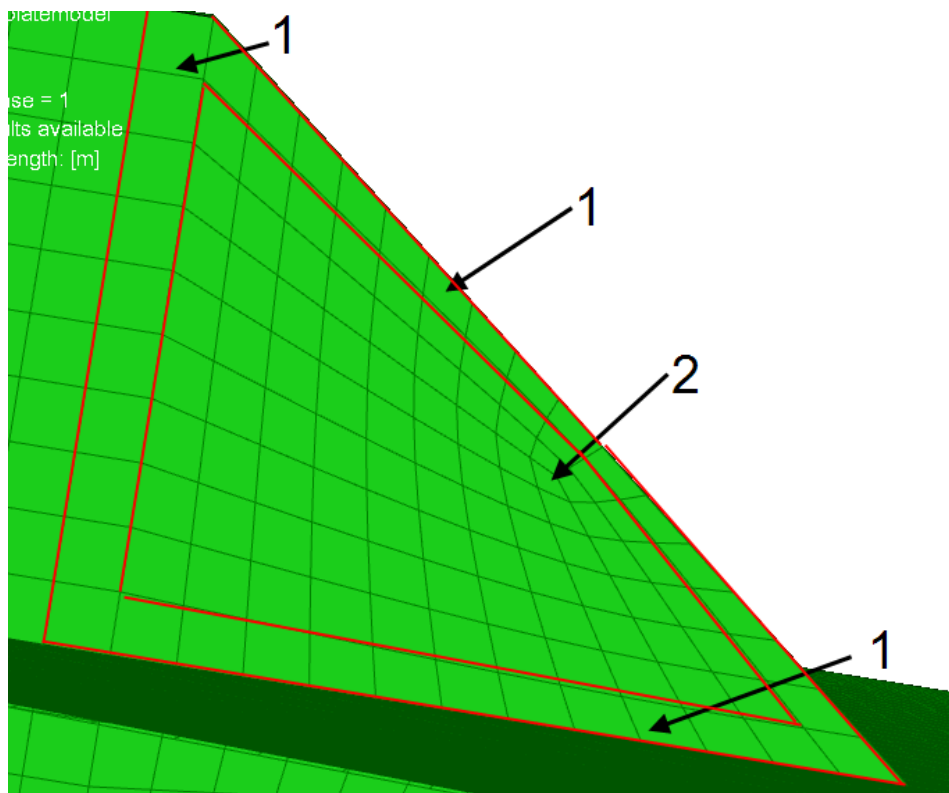
Forbindelsesdetaljen kvadratisk hulprofil festet til knuteplate kan være interessant i forhold til både utmatting og overbelastingsituasjoner. Det er i denne oppgaven fokusert på spenningskonsentrasjonsfaktorer tilknyttet utmatting for å få et grunnlag til sammenligning mot bjelkekryssforbindelsen, slik at man kan se om det finnes noen felles trender uavhengig av hvilken detalj som er analysert.

Det er benyttet hovedspenninger i analysen for å oppnå resultatene som for bjelkekrysset. For den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktor er interpolasjon i henhold til DNV RP C-203 utført, ref. kap. 4.2.2. For interpolasjon av den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren er hovedspenningen avlest i programvaren ved en funksjon som gir gjennomsnittlig hovedspenning i hvert enkelt element slik at interpolasjonen kan foretas på en enkel måte. Gjennomsnittlig hovedspenning er hentet fra det geometriske senteret til elementet og er et snitt av spenningene i Gauss-punktene. Det er i DNV RP C-203 anbefalt å utføre en slik analyse ved bruk av firkantelement med 8 knutepunkt, men i denne oppgaven er det også valgt å utføre analysen med 6 og 3 knutepunkts trekantelement for å forsøke å se hvilken virkning dette har på analysen. Man får da også en mulighet til å se hvilke analyseforskjeller et førsteordenselement gir i forhold til et andreordenselement. Regneark for interpolasjon av spenningskonsentrasjon er vedlagt i vedlegg C.

Grunnen til at 4 knutepunkts firkantelement er forkastet i analysen av hulprofildetaljen, er fordi DNV Genie ikke klarer å lage et elementnett der deformasjonen av et gitt antall elementer ikke overstiger grensene som er satt for å oppnå en god analyse. Elementdeformasjonen blir faktisk så stor at Genie ikke klarer å gjennomføre analysen med 4 knutepunktsfirkantelementer.

GeniE har en elementnettgenerator hvor det kan se ut som utgangspunktet blir tatt i sidekantene av modellen, og nettet blir generert fra sidekantene og innover mot senter av detaljen. Ved figur 8.21 så kan man observere at alle sidekantene merket med "1" har forholdsvis regulære firkantelementer. Ved område merket "2" møtes elementene fra sidekantene og man får en overgang der elementene har en svært uregulær form.

Feilmeldingen Geine da viser er at elementlinjene i dette området avviker for mye fra en rett linje til at analysen kan utføres. 4 knutepunkts firkantelement oppnår dermed en for dårlig elementgeometri til at analysen kan gjennomføres. Det må derfor brukes førsteordenstrekantelementer eller andreordenselementer som kan tilpasse seg den avanserte geometrien på en bedre måte.



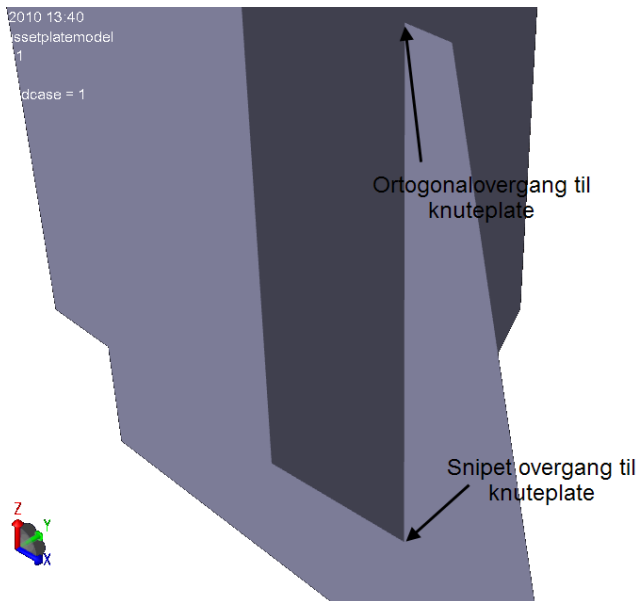
Figur 8.21 4 knutepunkts-elementer ved geometrisk overgang

Det skal i henhold til DNV RP C-203 være en elementstørrelse som er lik tykkelsen på detaljen som er under analyse. En elementstørrelse lik tykkelsen har blitt brukt i analysene som er gjennomført med hensyn til endring av geometri på knuteplaten, endring av sveiselengde og innføring av tettingsplate i enden, men i analysen for å studere elementstørrelsens virkning er det valgt både større og mindre elementer enn tykkelsen på detaljen som er under analyse.

For å oppnå en god spenningskonsentrasjonsanalyse så burde man tilstrebe et mest mulig regulært elementnett slik at man oppnår lik spenningskonsentrasjonsfaktor i hvert symmetriske overgangspunkt som er av interesse. Hvis man oppnår regulært elementnett og en lik spenningsfordeling i hvert symmetriske overgangshjørne så kan man være tryggere på at modellen gir et godt analyseresultat, men det er vanskeligere å oppnå et helt regulært elementnett når geometrien blir mer avansert.

8.3.2 Element størrelsens påvirkning på spenningskonsentrasjon

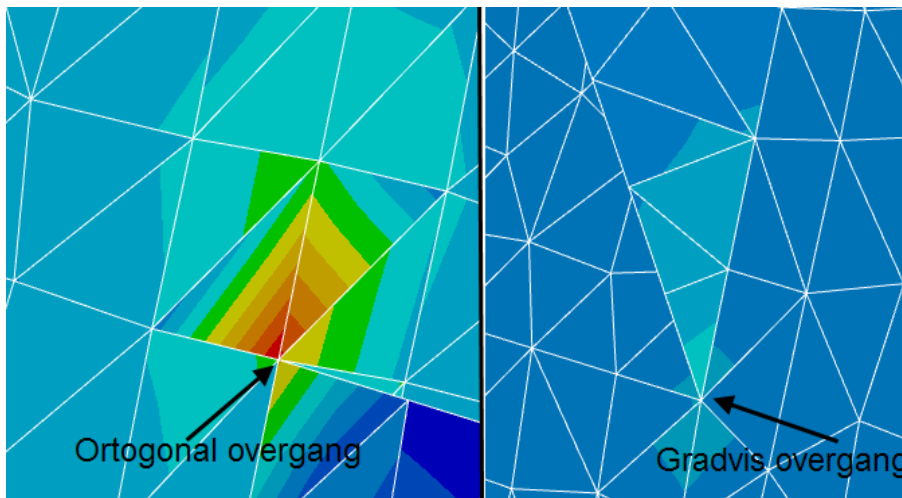
Parameteranalyse for elementstørrelsens påvirkning er gjennomført for å se hvilken innvirkning elementstørrelsen har på spenningskonsentrasjoner ved geometriske overganger. I hulprofilen som er festet til en knuteplate har man to områder med spenningskonsentrasjoner som er av interesse. Overgangene av interesse er den ortogonale overgangen mellom hulprofilen – knuteplate, og overgangen som er snipet mot knuteplaten, ref. figur 8.22.



Figur 8.22 Punkter som er analysert i oppgaven

Et regulært elementnett oppnås i DNV Genie med trekantelementer på grunn av større evne til å tilpasse seg mer avanserte geometrier. Ved bruk av 8 knutepunktsfirkantelementene så er det oppnådd et symmetrisk elementnett selv om formen på elementene ikke er helt regulære med begrunnelsen i geometrien, og det medfører at resultatene burde bli tilsvarende gode med firkantet andreordenselement.

Elastisitetsteorien bak elementmetoden predikerer en matematisk singularitet ved en brå geometrisk endring, og med singularitet menes det at spenningene i det singulære punktet vil øke mot uendelig når elementstørrelsen reduseres mot null. Det vil være to singulære punkt i detaljen med hulprofil festet til knuteplate. Det vil være ett singulært punkt i den ortogonale overgangen mellom knuteplate og hulprofil, ref. fig. 8.22. Det andre singulære punktet vil oppstå i overgangen som er snipet. Den spisse overgangen er mer gradvis og spenningene vil da overføres på en mer gradvis måte til knuteplaten som gir lavere spenningskonsentrasjonsfaktor, men det vil uansett oppstå en singularitet i spissen der overgangen avsluttes, ref. fig. 8.22. Figur 8.23 viser illustrativt hvordan spenningskonsentrasjonsfaktoren endrer seg ved en ortogonal overgang jevnført med en gradvis avtrappet overgang.



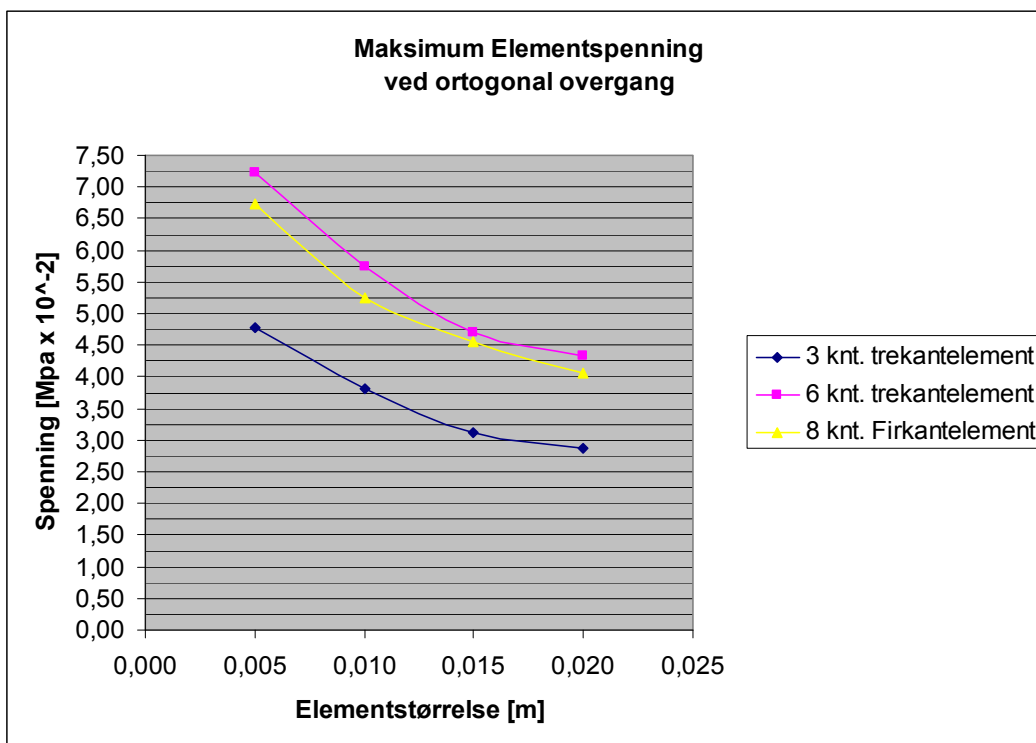
Figur 8.23 Illustrasjon av spenningsbild ved en ortogonal overgang jevnført med en gradvis overgang

Det skal først sees nærmere på det singulære punktet i den ortogonale overgangen mellom hulprofil og knuteplate, ref. fig 8.22. I figur 8.24 er det vist at ved en endring mot mindre elementstørrelse vil den maksimale elementspenningen øke, og det er i tråd med elementmetodeorien. Singulariteten viser at en elastiskanalyse ikke tar hensyn til flytespenning som oppstår i de ytterstefiberne ved den geometriske overgangen, og den omfordelingen av spenning som er resultatet i en virkelig belastingsituasjon når det oppstår flytespenning. Det fører til en kunstig høy spenningstopp i det ortogonale overgangspunktet.

Dette samsvarer godt med resultatene fra analysen av bjelkekrysset, men spenningskonsentrasjonsfaktorene er vesentlig høyere for den ortogonale overgangen mellom hulprofil og knuteplate enn den ortogonale overgangen i bjelkekrysset, selv om belastningen i profilet er av samme størrelse. Det som trolig er årsaken til at spenningskonsentrasjonen er høyere i tilfellet med hulprofilet enn i bjelkekrysset er at platen som spenningen blir overført til i hulprofildetaljen er vesentlig tynnere enn flensen på bjelkekryssdetaljen. Det fører til et mindre areal som spenningen overføres på og dette kan være grunnen til høyere spenningskonsentrasjonsfaktor, men effekten av tykkelsen på knuteplaten kunne vært aktuelt å anbefale som en parameter ved en videreføring av oppgaven. Tykkelsen til knuteplaten er ikke vurdert videre i denne oppgaven.

Figur 8.24 viser at de predikerte maksimale elementspenningene er vesentlig lavere for førsteordenstrekantelement med 3 knutepunkt enn andreordensfirkant og trekantelement. For gjennomføring av analyse etter DNV RP-C203 anbefales hovedsakelig et andreordenselement med 8 knutepunkt ved analyse av en geometri med brå endringsgradient. Dette er gjeldene for den ortogonale overgangen mellom hulprofil og knuteplate. Man får helt tydelig en mer konservativ maksimalspenning og et mer konservativt anslag av maksimalspenningen hvis man bruker andreordenselementer og det samsvarer godt med resultatene fra bjelkekryssdetaljen.

Analysen viser at andreordenselementene er nokså like når det kommer til maksimalelementspenning, men at andreordenstrekantelementer gir en litt høyere maksimal spenning, og det er mest sannsynlig fordi trekantelementene har en bedre tilpassningsevne til mer avansert geometri. Det er nok derfor det skiller mer mellom andreordenstrekant og firkantelementer i analysen av hulprofildetaljen enn bjelkekrysset der firkantelementene hadde en like god tilpassing til detaljen.



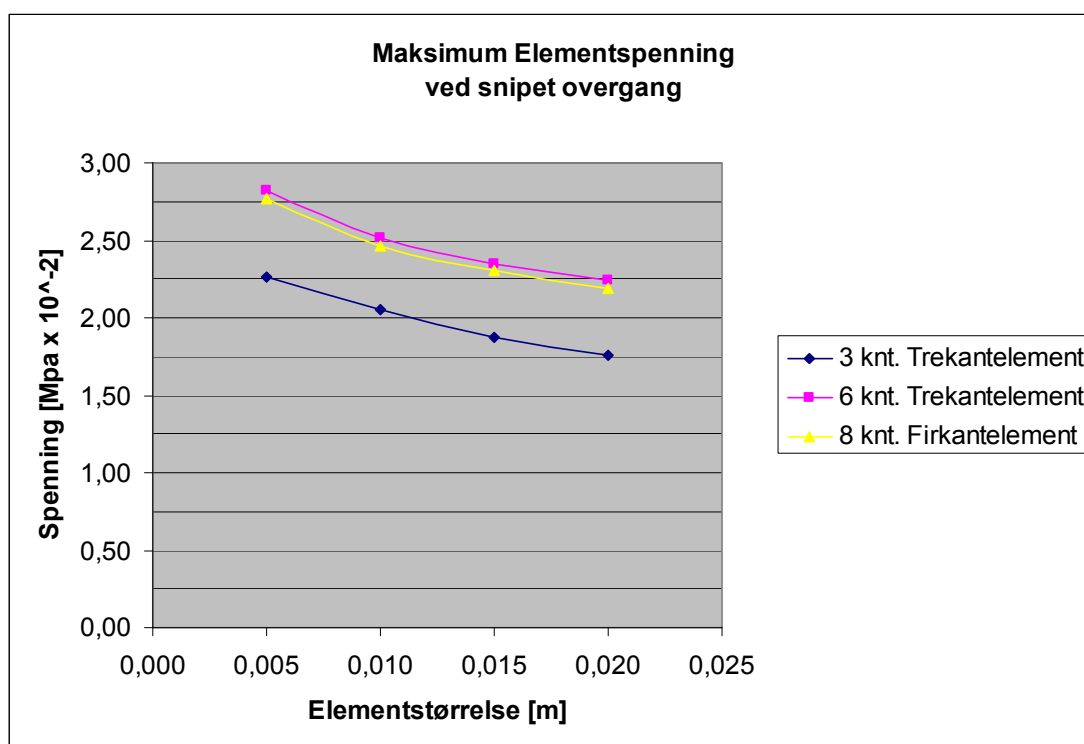
Figur 8.24 Maksimal elementspenning ved ortogonal overgang

Når man ser på den overgangen som er snipet fra hulprofilet til knuteplaten predikerer elementmetodeteorien at det skal være lavere spenningskonsentrasjonsfaktor i denne overgangen. Den gradvise overgangen fører til at spenningen blir overført på en mer gradvis måte til knuteplaten enn ved en brå geometriskending, og det fører til at spenningstoppen i en gradvis overgang er mye mindre enn ved brå geometriske overganger. Det er derfor ”myke” overganger bør tilstrebnes i konstruksjonsdetaljer som er utsatt for en utmattingsbelastning.

Fra figur 8.25 kan man observere at den maksimale elementspenningen er vesentlig lavere enn i figur 8.24 som illustrer spenningen i den ortogonale overgangen. Dermed ser man at ved en utforming som er ”mykere” vil spenningstoppen reduseres drastisk.

Det kan observeres en trend som er tydelig i både figur 8.24 og 8.25, ved at førsteordenstrekantelement med 3 knutepunkt predikerer en vesentlig lavere maksimalelementspenning enn andreordenstrekantelementer og firkantelementer med henholdsvis 6 og 8 knutepunkter.

Andreordenstrekant og firkantelementer gir nesten identiske maksimale elementspenninger ved overgangen som er snipet og det tyder på at begge elementtypene klarer å beskrive overgangen på en nøyaktig måte, selv om andreordenstrekantelement er marginalt mer konservativt.



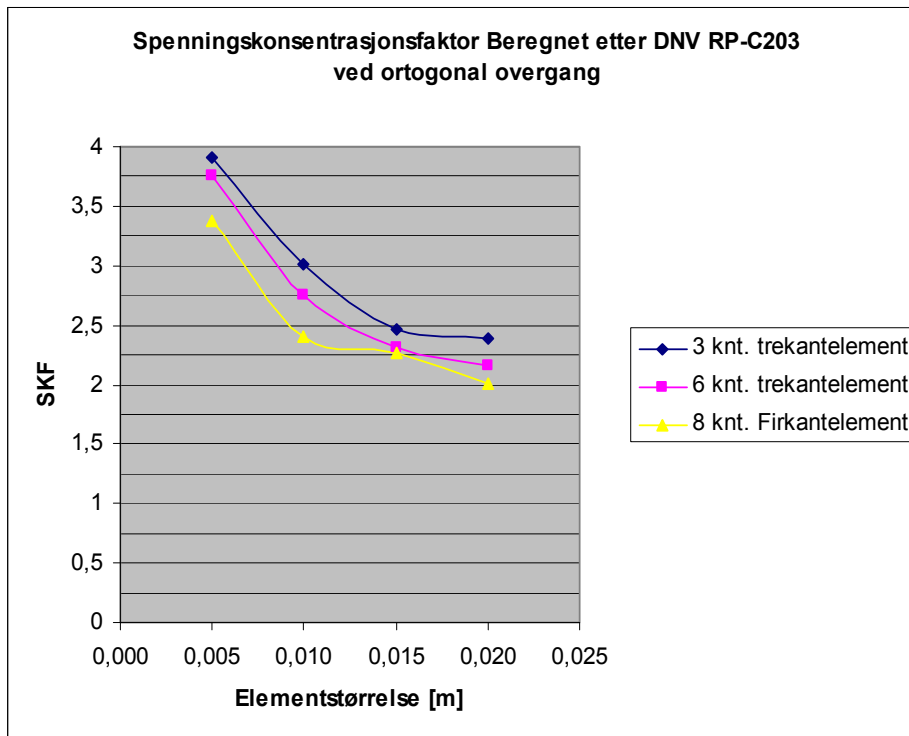
Figur 8.25 Maksimal elementspenning ved snipet overgang

Analysen som viser den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203 med tilhørende effekt av endringen mot mindre elementstørrelsen må ses på som veiledende. Dette er fordi DNV RP C-203 tar utgangspunktet i at man skal ha en elementstørrelse lik tykkelsen på detaljen som er undersøkt, og at man skal interpolere slik at man bruker to interpoleringspunkt som definert i kapittel 4.2.2. Det fører til at den beregnede spenningen er mer veiledende i analysen som omfatter endring i elementstørrelse, men det viser allikevel hvilken effekt et finere elementnett har på analysen.

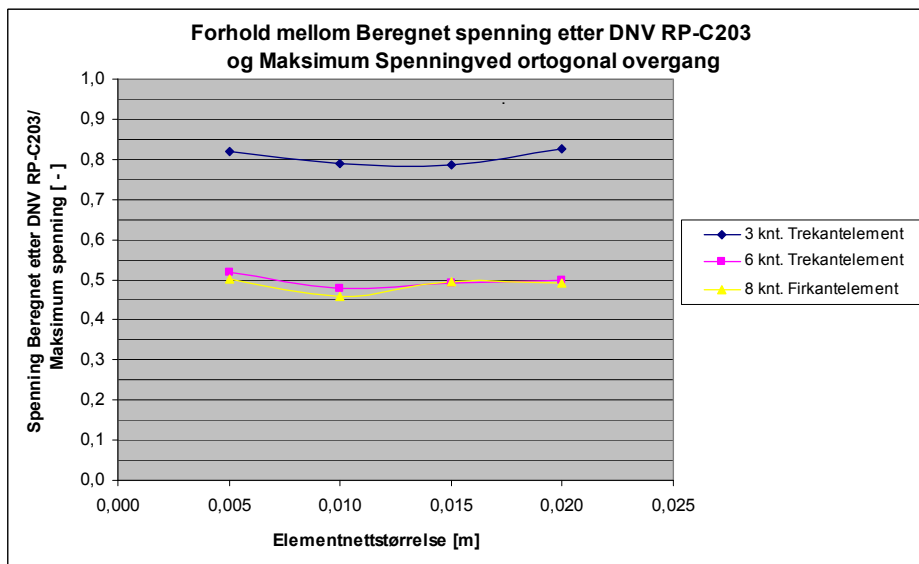
Spenningskonsentrasjonsfaktoren beregnet etter DNV RP-C203, ref. figur 8.26, viser at det blir mye mindre forskjell på elementtypene når man bruker interpolasjonsmetoden for å predikere spenningskonsentrasjonsfaktoren. Det viser seg at spenningen blir redusert mye mindre fra den maksimalelementspenningen til den beregnede spenningen etter DNV RP C-203 ved bruk av førsteordenstrekantelement, enn ved bruk av et andreordenselement, ref. figur 8.27 og tabell 8.11-8.13. Andreordenselementene har mye større endring fra maksimalspenning til den beregnet spenning/spenningskonsentrasjonsfaktor ved interpolasjon, men variasjon fra andreordensfirkantelement til andreordenstrekantelement er også i dette tilfellet liten, ref. figur 8.26 og tabell 8.11-8.13.

Grunnen til det er at andreordenselementene sprer spenningene mer utover slik at ved beregningspunktene har man spenninger i samme område som for et førsteordenselement. Dette vises godt i tabell 8.11-8.13 der man ser at beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203 er i samme størrelsesorden for alle elementtypene som er brukt i denne oppgaven både første og andreordenselementer. Det er allikevel førsteordenselementet som gir den mest konservative spenningskonsentrasjonsfaktoren. Denne tendensen er også helt klar når man ser på analysen av bjelkekrysset.

Dette er en tendens som kom tydelig frem i bjelkekryss overgangen som er analysert. I bjelkekrysset ble det brukt et førsteordens firkantelement, mens i hulprofilsdetaljen ble det brukt et førsteordens trekantelement og det viser at hvilken orden elementet innehar har mer og si for resultatene enn formen på elementet. Dette medfører at det er mulig å forsvare bruk av et trekantelement i forhold til et firkantelement hvis det klarer å beskrive geometrien i detaljen bedre, og elementene er av samme orden. Selv om DNV RP-C203 anbefaler bruk av firkantelementer i analysebeskrivelsen.

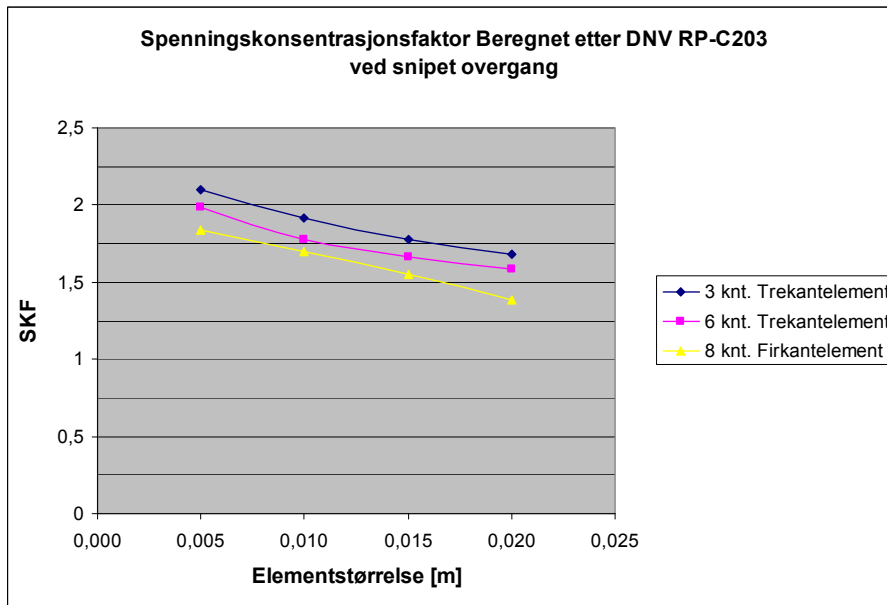


Figur 8.26 Spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet etter DNV RP-C203 ved ortogonal overgang



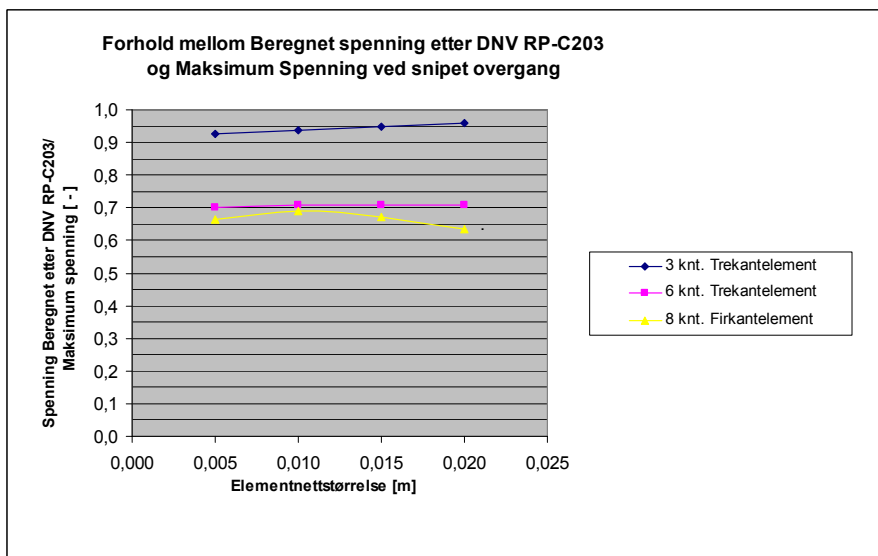
Figur 8.27 Forholdet mellom beregnet og maksimalspenning

Overgangen som er snipet inn mot knuteplaten viser akkurat samme tendenser som beskrevet over av den ortogonale overgangen i hulprofildetaljen. Overgangen viser at ved den beregnede spenningen etter DNV RP-C203 har mye mindre variasjon mellom elementtypene enn ved den maksimale spenningen. Dette viser at tendensen med at den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren etter DNV RP-C203 jevner ut forskjellen mellom første og andreordenselementer kan være uavhengig av utformingen på detaljens overganger ref. figur 8.8, 8.27 og 8.29. Førsteordenselementet gir også i dette tilfellet den mest konservative beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren.



Figur 8.28 Spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet etter DNV RP-C203 ved snipet overgang

Det viser seg at når det kommer til forholdet mellom maksimal og beregnet spenning ved snipet overgang så er det liten endring fra elementstørrelse til elementstørrelse, mens den ortogonale overgangen har en større endring fra elementstørrelse til elementstørrelse, ref. figur 8.27 og 8.29. Dette viser hvordan en myk overgang gir en mindre singularitet og er mindre følsom for elementstørrelse endring enn en ortogonal overgang.



Figur 8.29 Forholdet mellom beregnet og maksimalspenning

Tabeller for ortogonal overgang:

Endring av elementstørrelse med 3 knutepunkts trekantelement, ortogonal overgang			
Element - størrelse [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,020	2,883	2,383	0,83
0,015	3,124	2,458	0,79
0,010	3,816	3,016	0,79
0,005	4,784	3,913	0,82

Tabell 8.11 Endring av elementstørrelse ved bruk av trekantelement med 3 knutepunkt

Endring av elementstørrelse med 6 knutepunkts trekantelement, ortogonal overgang			
Element - størrelse [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,020	4,337	2,159	0,50
0,015	4,706	2,314	0,49
0,010	5,751	2,746	0,48
0,005	7,228	3,758	0,52

Tabell 8.12 Endring av elementstørrelse ved bruk av trekantelement med 6 knutepunkt

Endring av elementstørrelse med 8 knutepunkts firkantelement, ortogonal overgang			
Element - størrelse [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,020	4,064	2,004	0,49
0,015	4,556	2,259	0,49
0,010	5,236	2,405	0,46
0,005	6,741	3,380	0,50

Tabell 8.13 Endring av elementstørrelse ved bruk av firkantelement med 8 knutepunkt

Tabeller for snipet overgang:

Endring av elementstørrelse med 3 knutepunkts trekantelement, snipet overgang			
Element - størrelse [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,020	1,756	1,685	0,96
0,015	1,875	1,777	0,95
0,010	2,052	1,920	0,94
0,005	2,268	2,102	0,93

Tabell 8.14 Endring av elementstørrelse ved bruk av trekantelement med 3 knutepunkt

Endring av elementstørrelse med 6 knutepunkts trekantelement, snipet overgang			
Element - størrelse [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,020	2,241	1,587	0,71
0,015	2,344	1,663	0,71
0,010	2,515	1,778	0,71
0,005	2,826	1,985	0,70

Tabell 8.15 Endring av elementstørrelse ved bruk av trekantelement med 6 knutepunkt

Endring av elementstørrelse med 8 knutepunkts firkantelement, snipet overgang			
Element - størrelse [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,020	2,189	1,389	0,63
0,015	2,303	1,550	0,67
0,010	2,464	1,700	0,69
0,005	2,766	1,838	0,66

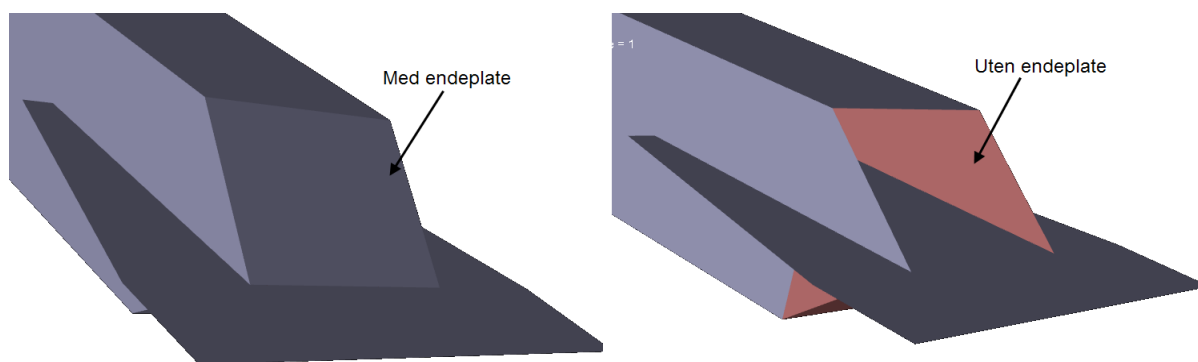
Tabell 8.16 Endring av elementstørrelse ved bruk av firkantelement med 8 knutepunkt

Med bakgrunn i analysen som fokuserer på elementstørrelsens innvirking for bjelkekrysset, ref. figur 8.5, 8.6 og 8.8, og analysen av hulprofil festet til knuteplate, ref. figur 8.24-29 og tabell 8.11-8.16, så har det vist seg at et andreordenselement gir i stor grad en mye høyere maksimal spenning enn et førsteordenselement med samme størrelse. Spesielt gjelder dette for vinkelrette overganger der forskjellen øker vesentlig mellom maksimal spenning for første og andreordenselementer når elementstørrelsen reduseres. Den maksimale spenningen får man ved begge overgangene når det brukes et andreordenstrekantelement, grunnet en bedre tilpassing til en mer avansert geometri og det forsvaret bruken av trekantelementer i en slik analyse. DNV RP C-203 anbefaler bruk av firkantelementer, men resultatene i denne analysen har ingen klare indikasjoner på at firkantelementer gir en bedre analyse. Ved overgangen som er snipet ser det ut til at det er en ganske konstant forskjell mellom den maksimale spenningen for første og andreordenselementer når elementstørrelsen varierer.

Hvis man ser på den beregnede spenningskonsentrasjonen etter DNV RP-C203 med bakgrunn i begge detaljene som har vært analysert så kan man observere at både første og andreordenselementer har liten forskjell i verdier på spenningene. Dette gjelder både for ortogonale overganger og den overgangen som er snipet. Det syntes da at den beregnede spenningen er mindre følsom for valg av elementtyper enn den maksimale spenningen i modellen. Det syntes av analysene at det faktisk er førsteordenselementet som er marginalt mer konservativt ved den beregnede spenningen. Grunnen til det er nok at et andreordenselement tilpasser seg spenningsgradienten på en bedre måte slik at interpolasjonen utføres mer nøyaktig, mens førsteordenselementet tilpasser seg dårligere og fører til en brattere spenningsgradient ved interpolasjon.

8.3.3 Påvirkning på spenningskonsentrasjon ved innføring av endeplate

Det har blitt foretatt en analyse av innvirkningen ved å innføre endeplate i modellen. Ved praktisk modellering i næringslivet blir ofte endeplaten neglisjert for å lage en enklest mulig modell som gir tilfredsstillende resultater. Det er også en konservativ antagelse med begrunnelse i at det er usikkerhet rundt hvor effektiv platen vil være i kraftoverføring. Det kan også være et problem med oppsprekking som gjør at platen ikke har noen effekt når det kommer til kraftoverføring. Det er derfor vært ønskelig å se hvilke effekter en endeplate har i analysen slik at man får litt mer kunnskap om hvordan den påvirker analyseresultatene, og om endeplaten egentlig burde være modellert inn i modellen. Figur 8.30 viser forskjellen på analysemodellene. Det er i denne analysen blitt brukt en elementstørrelse som er lik tykkelsen på hulprofilet og deretter er det kjørt analyse med og uten endeplate. Elementstørrelsen er i henhold til anbefalingene til DNV RP-C203.



Figur 8.30 Modell forskjell ved innføring av endeplate i analysen

Endeplaten har som hovedformål å tette mot klimapåkjenninger for å forhindre at det blir korrosjon på innsiden av hulprofilet. Endeplaten sveises på slik at hulprofilet blir hermetisk lukket.

Hvis man først tar for seg effekten av endeplaten på den ortogonale overgangen, ref. figur 8.22, så kan man se av tabell 8.17-19 at det er en reduksjon på 6 % i den maksimale spenningen fra en modell uten endeplate til en modell med endeplate. Selve den maksimale spenningen følger trenden med at andreordenselementene fortsatt predikerer en vesentlig mer konservativ maksimalspenning enn førsteordenselementene, og det er i tråd med analysene av foregående problemstillinger.

Når man ser på den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren etter DNV RP-C203 for førsteordenselementet, som i dette tilfellet er et 3 knutepunktstrekantelement, har førsteordenselementet den samme reduksjonsfaktor som den maksimale spenning på 6 % i den ortogonale overgangen. Den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren med andreordenselementer gir en reduksjonsfaktor på 10 % uavhengig om det er firkant eller trekantelementer. Det kan da virke som at det er mer å hente av reduksjon i spenningskonsentrasjonsfaktor på å innføre endeplate hvis man bruker andreordenselementer i den ortogonale overgangen.

Tabeller for ortogonal overgang:

Innføring av tettingsplate med 3 knutepunkts trekantelement, ortogonal overgang

Tettingsplate	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
Uten	3,816	3,017	0,79
Innført	3,576	2,817	0,79

Tabell 8.17 Innføring av tettingsplate ved bruk av trekantelement med 3 knutepunkt

Innføring av tettingsplate med 6 knutepunkts trekantelement, ortogonal overgang

Tettingsplate	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
Uten	5,751	2,746	0,48
Innført	5,383	2,459	0,46

Tabell 8.18 Innføring av tettingsplate ved bruk av trekantelement med 6 knutepunkt

Innføring av tettingsplate med 8 knutepunkts trekantelement, ortogonal overgang

Tettingsplate	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
Uten	5,236	2,406	0,46
Innført	4,902	2,155	0,44

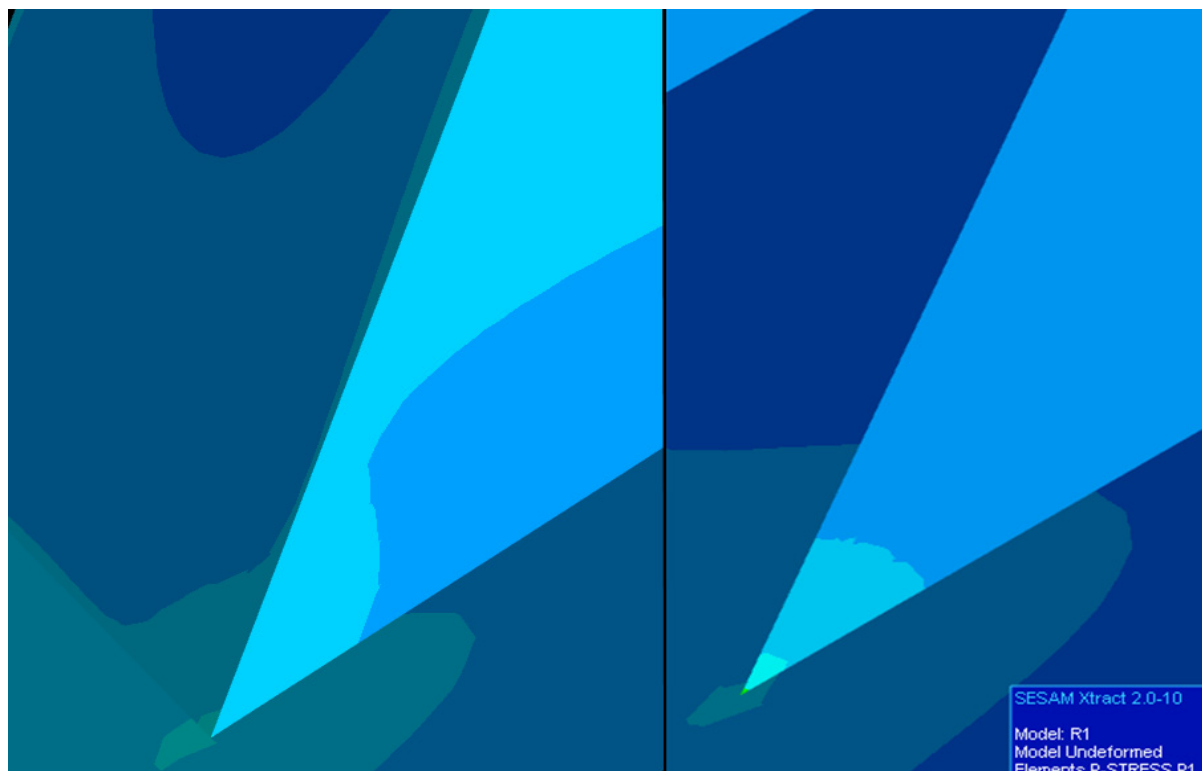
Tabell 8.19 Innføring av tettingsplate ved bruk av firkantelement med 8 knutepunkt

Når man skal se på resultatene fra den overgangen som er snipet til knuteplaten, så ga førsteordenselementet et resultat som er litt overraskende og ikke konsekvent i forhold til hva andreordenselementene gir, ref. tabell 8.20-22. Det viste seg i analysen med førsteordenselementer at den maksimale spenningen opptrer når endeplaten er innført i modellen, og den maksimale spenningen ved den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren etter DNV RP-C203 opptrer i modellen uten endeplate. Det er gjort flere forsøk på å bygge modellen på nytt, samt at det har vært gjort flere analyser og det samme resultatet dukker opp hver gang. Det er derfor litt uforståelig hva som skjer ved bruk av førsteordens trekantelement i overgangen som er snipet og det er ikke lagt noe videre vekt på disse resultatene.

Når det gjelder bruk av andreordenselementer så gir det et konsekvent analyseresultat. Den maksimale spenningen reduseres med 7 % ved innføring av endeplate og det er i samme resultatområde som for den ortogonale overgangen.

Når man ser på beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203 ved overgangen som er snipet, og når analysen er utført med andreordenselementer har man en vesentlig større spenningsreduksjon. Reduksjonen man oppnår ved bruk av andreordenselementer er på 24 % som er vesentlig bedre enn ved den ortogonale overgangen.

Spenningsforløpet i konstruksjonen blir vesentlig endret ved overgangen som er snipet når man innfører endeplate. Det opptrer en mindre konsentrert spenning i overgangen mellom snipet hulprofil og knuteplate ved innføring av endeplate. Man kan observere at spenningen får en større spredning og dermed en ”mykere” overgang med endeplaten i modellen. Det fører til at spenningen blir lavere i overgangen som er snipet med innføring av endeplate, ref. figur 8.31.



Figur 8.31 Spenningsforløp ved snipet overgang

Tabeller for snipet overgang:**Innføring av tettingsplate med 3 knutepunkts trekantelement, ortogonal overgang**

Tettingsplate	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
Uten	2,003	1,920	0,96
Innført	2,425	1,511	0,62

Tabell 8.20 Innføring av tettingsplate ved bruk av trekantelement med 3 knutepunkt**Innføring av tettingsplate med 6 knutepunkts trekantelement, ortogonal overgang**

Tettingsplate	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
Uten	2,513	1,776	0,71
Innført	1,728	1,340	0,78

Tabell 8.21 Innføring av tettingsplate ved bruk av trekantelement med 6 knutepunkt**Innføring av tettingsplate med 8 knutepunkts trekantelement, ortogonal overgang**

Tettingsplate	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
Uten	2,464	1,700	0,69
Innført	1,718	1,242	0,72

Tabell 8.22 Innføring av tettingsplate ved bruk av firkantelement med 8 knutepunkt

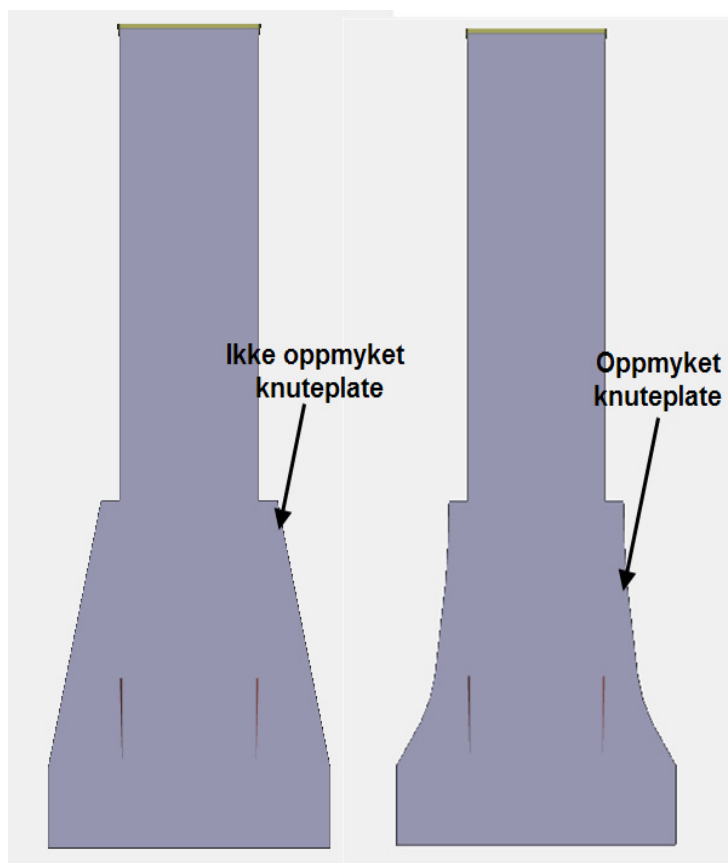
Det kan da virke som reduksjonen i maksimalspenningen ligger på et stabilt nivå for både den ortogonale overgangen og overgangen som er snipet til knuteplaten på ca 6-7 % reduksjon. Den beregnede spenningen etter DNV RP-C203 får en større reduksjon enn den maksimale både for ortogonal og snipet overgang. Reduksjonen ved den beregnede spenningen er 10 % for den ortogonale overgangen og 24 % ved overgangen som er snipet. Hovedfokuset er i denne oppgaven å se på hvordan resultatene av spenningskonsentrasjonsfaktoren endres ved endringer av modellen, men i dette tilfellet er det litt naturlig å si noe om utmattingslevetid. Levetiden kan antas som lineær på spenningen opphøyd i 3. Som eksempel vil en reduksjon av spenningskonsentrasjonsfaktoren på 10 % føre til at utmattingslevetiden økes med 27 % og det er en vesentlig forbedring i den teoretiske utmattingslevetiden.

Det er også en problemstilling når det kommer til å ta stilling til effektiviteten man kan anta at en endeplate har til å overføre spenninger. Endeplaten er sveist slik at den er utsatt for utmattingskader og kan sprekke opp. Det vil føre til at endeplaten ikke har den ønskede effekten og man er tilbake til en situasjon som er i nærheten av modellen uten endeplate. På grunn av at effekten til endeplaten er usikker så kan den konservative modellen som ofte benyttes forsvares med at man sørger for at man er på den sikre siden, selv om utmattingslevetiden reduseres.

8.3.3 Påvirkning på spenningskonsentrasjon ved endring av knuteplategeometri

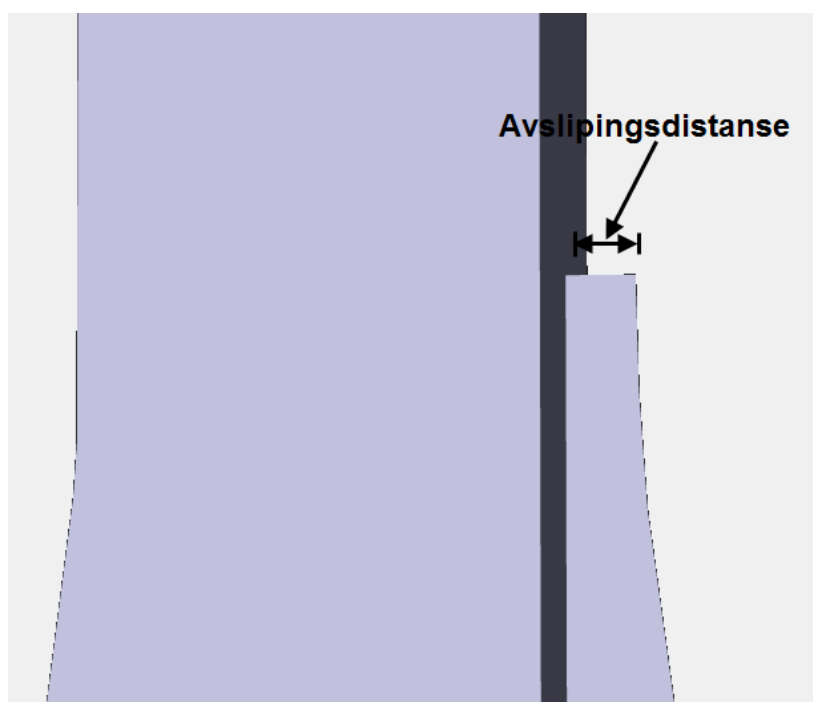
Det er foretatt en parameteranalyse for å se hvordan geometrien til knuteplaten vil påvirke spenningen i både den overgangen som er ortogonal og snipet. Det er utført forandringer av geometrien som er vist i DNV RP-C203, ref. kapittel 3.3.12, slik at man kan sammenligne oppnådde spenningskonsentrasjonsfaktorer i analysen med spenningskonsentrasjonsfaktorer som er oppgitt i DNV RP-C203 for detaljen med den gitt utformingen. Det er i denne analysen benyttet en elementstørrelse som er i henhold til DNV RP-C203.

Det er utført to forandringer av modellen for å oppnå denne parameteranalysen. Den første endring som er foretatt kalles en oppmykning for å oppnå en jevnere fordeling av spenningene i knuteplaten. Det er utført ved å legge en radius på knuteplaten som vist i figur 8.32.



Figur 8.32 Standard knuteplate jevnført med oppmyket knuteplate

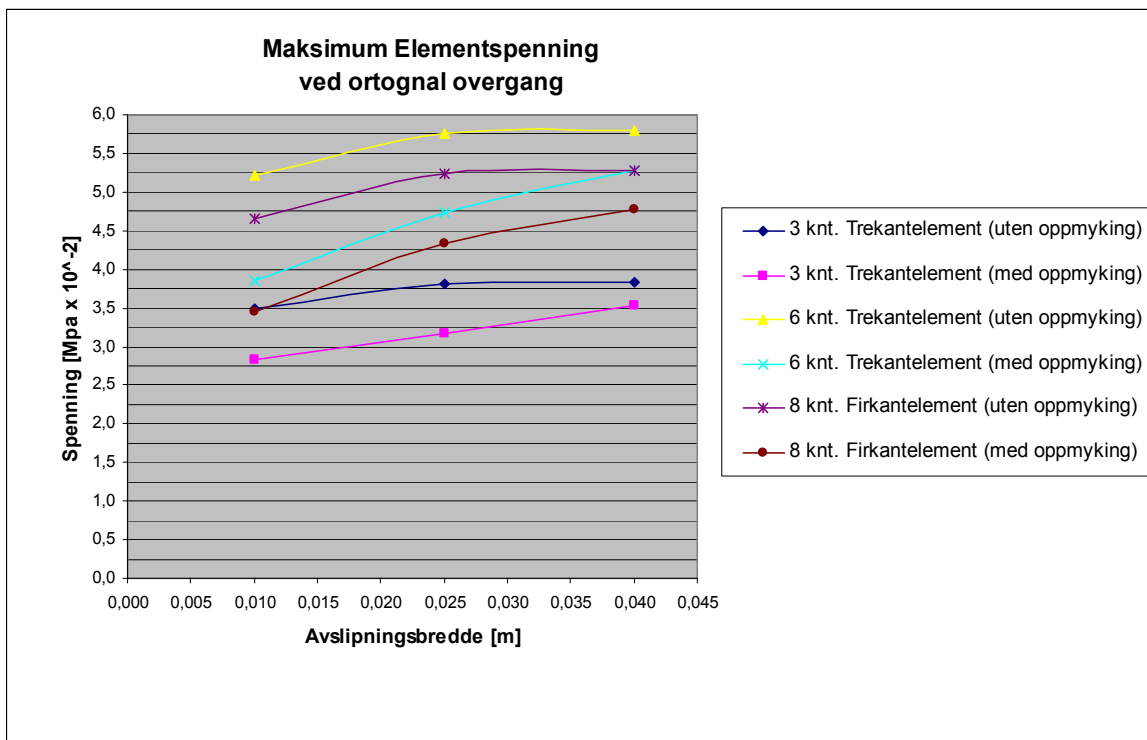
Den andre forandring som er foretatt i modellen er en variasjon av avslipningsdistansen, ref. figur 8.33. DNV RP-C203 har også anbefalinger for avslipningsdistanse hvis man designer en knuteplate med enkel standard geometri og hvis man designer en knuteplate med en oppmyket geometri. Med en standard geometri så er den typiske avslipningsdistansen 40 mm, men ved en oppmyket knuteplate geometri er den typiske avslipningsdistansen 10 mm. Parameteranalysen er det blitt gjennomført ved å variere avslipningsdistansen fra 10 mm til 40 mm for begge geometrier for å se hvilken effekt dette har på analyseresultatene.



Figur 8.33 Avslipningsdistanse

Parameteranalysen som tar for seg endring i maksimalspenningen ved den ortogonale overgangen både ved en enkel standard knuteplate og en knuteplate som er oppmyket viser at tendensen med at andreordenselementer predikerer en høyere toppspenning enn førsteordenselementer også gjelder i dette tilfellet. Det er fordi andreordenselementer kan beskrive brå spenningsgradienter på en bedre måte enn førsteordenselementer som medfører at de legger seg på et høyere spenningsnivå. Grunnen til at andreordens trekantelement gir den mest konservative maksimal spenningen er at det er elementet som har best tilpassningsevne til denne avanserte geometrien.

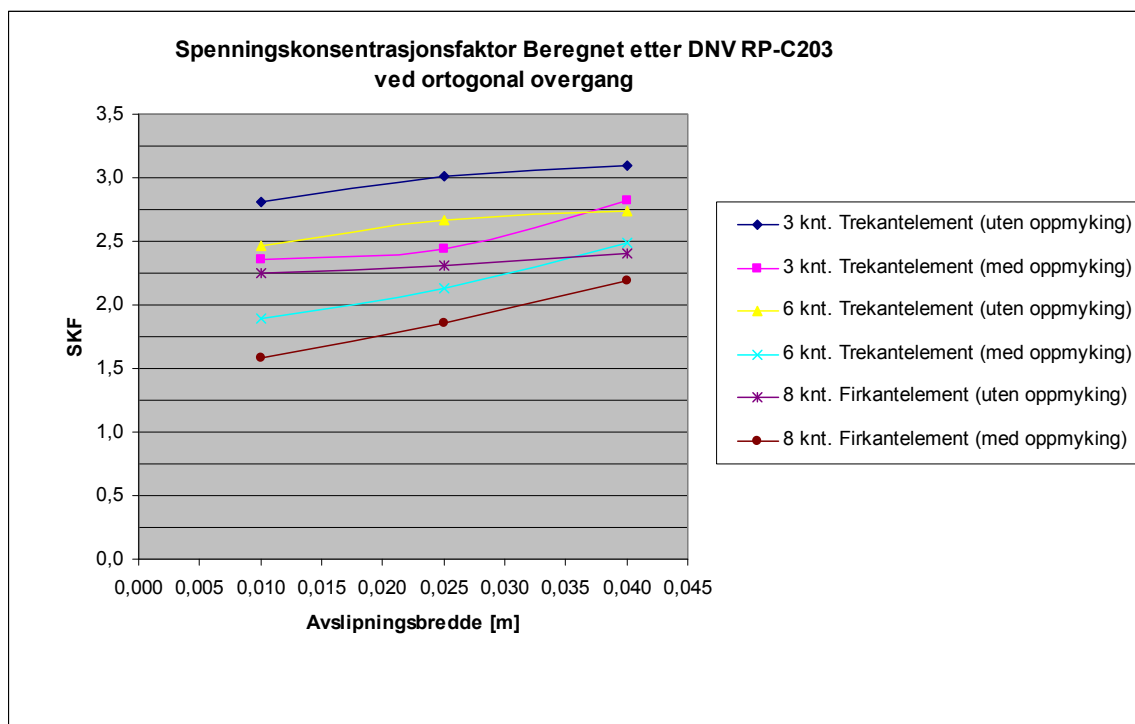
Effekten av å bruke en oppmyket knuteplate på den ortogonale overgangen er tydelig når man ser på figur 8.34. Det er en reduksjon av maksimalelementspenning på ca 50 Mpa allerede ved en avslipningsdistanse på 40 mm ved bruk av andreordenselementer, mens ved bruk av førsteordenselementer får man en reduksjon på ca 30 Mpa, ref. utregnet fra tabell 8.23-28. Ved en reduksjon av avslipningskanten fra 40 mm kan man observere at grafene som fremstiller knuteplaten som er oppmyket har et større stigningstall enn den enkle knuteplaten uten oppmykning. Dette fører det at en knuteplate som er oppmyket har en mer gunstig utvikling med hensyn til reduksjon i maksimalspenning ved en høyere avslipningsgrad enn en enkel knuteplate uten oppmykning. Derfor får man en reduksjon av maksimalspenningen på ca 66 Mpa med førsteordenstrekantelementer, ca 136 Mpa med andreordenstrekantelementer og 119 Mpa med andreordensfirkantelementer, ref. utregnet fra tabell 8.23-28. Dette viser at man får mer effekt i form av maksimal spenningsreduksjon når man reduserer avslipningskanten til en knuteplate som er oppmyket enn en enkel standard knuteplate som ikke er oppmyket.



Figur 8.34 Maksimum elementspenning ved ortogonalovergang

Spenningskonsentrasjonsfaktoren beregnet etter DNV RP-C203 ved den ortogonale overgangen, ref. figur 8.35, viser at det blir litt høyere spredning på den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren etter hvilke elementtyper som er brukt i denne analysen enn ved overstående analyser, men i forhold til plassering med hensyn til hvilke elementer som gir høyest og lavest spenningskonsentrasjonsfaktor oppnår man samme resultatet som i overstående analyser. Det vil si at det er førsteordenstrekantelement som gir den mest konservative beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren, mens det er andreordensfirkantelementer som gir beregningsmessig den mest gunstige spenningen.

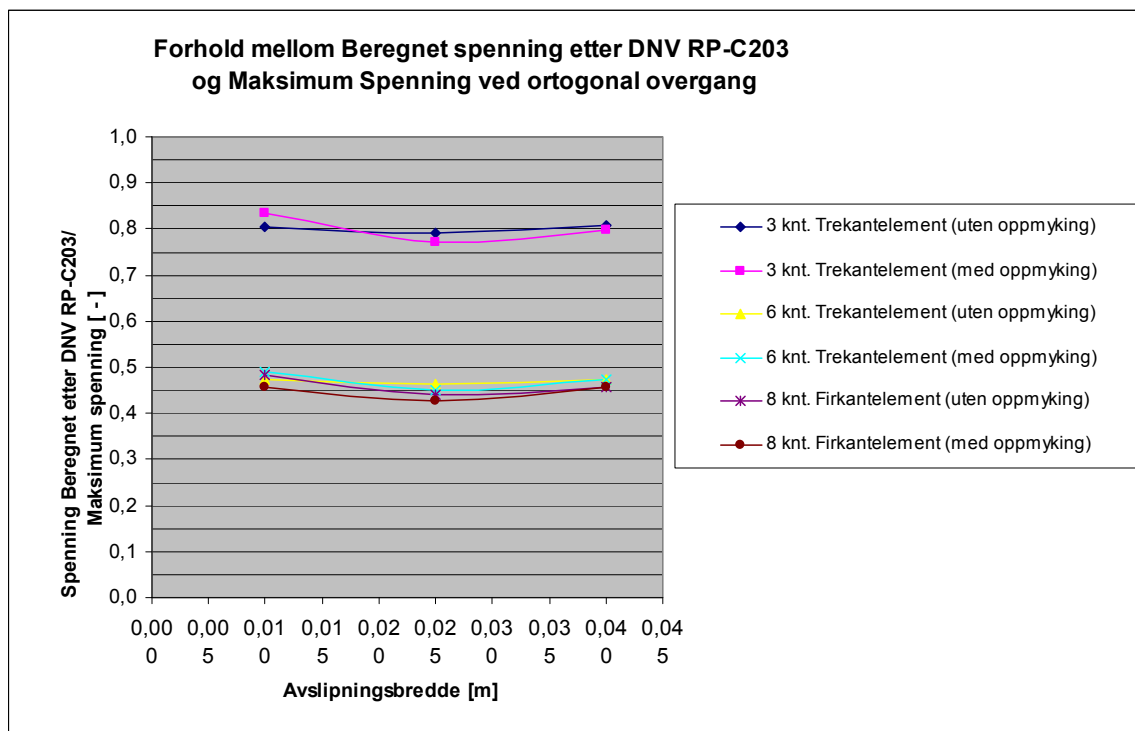
Med referanse i figur 8.35 kan man observere at en oppmyking av knuteplaten gir en mer gunstig spenningskonsentrasjonsfaktor i forhold til en knuteplate som ikke er oppmyket. Man kan observere i figur 8.35 at det er en mindre reduksjon av beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor ved en avslipningsavstand på 40 mm enn ved 10 mm og det er i tråd med analysen av maksimalspenning, men det er en mye mindre tydelig forandring i resultatene enn det som er observert ved grafene for maksimalspenning. Dette føyer seg inn i trenden av at den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren gir et mye mer nyansert bilde av spenningene, og glatter ut de klare forskjellene som blir observert i analysen av maksimalspenningene. Grunnen til at den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren nyanserer bildet som tegnes av maksimalspenningene er fordi man henter interpolasjonsspenningene et stykke fra spenningskonsentrasjonspunktet, og da er spenningsgradienten for første og andreordenselementer av samme størrelse. Dette fører til at resultatet etter interpolasjon er i et mer samlet område enn ved maksimalspenning uavhengig av elementtype.



Figur 8.35 Spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet etter DNV RP-C203 ved ortogonalovergang

Forholdet mellom spenning fra maksimalspenning til spenning/spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet etter DNV RP-C203 viser samme tendens som ved alle overstående analyser av en ortogonal overgang, og resultatet viser at andreordenselementene har en mye større endring ved endring av gjeldene parameter enn det man oppnår med et førsteordenselement. Grunnen til det er at andreordenselementer har en evne til å følge den brå spenningsgradienten på en mer nøyaktig måte og vil da forandre seg mer hvis man endrer inngangsparameteren.

Når det kommer til effekten av oppmykning på endringen i spenning ved den ortogonale overgangen så kan man observere at andreordenselementene har en større endring fra maksimal til beregnet spenning, ref. figur 8.36. Man kan også observere at det er en reduksjonsendring ved oppmykning allerede ved en avslipningsgrad på 40 mm når man bruker andreordenselementer på ca 27 Mpa, mens ved bruk av et førsteordenselement så får man bare en reduksjon på 1 Mpa når avslipningsgraden er 40 mm, ref. tabell 8.23-28. Endringen fra en knuteplate som ikke er oppmyket til en knuteplate som er oppmyket blir vesentlig større når avslipningsbredden blir redusert mot 10 mm. Det er andreordenselementene som får vesentlig størst endring når avslipningsbredden reduseres, mens førsteordenselementet får en vesentlig mindre endring enn andregradselementene selv om avslipningsgraden går mot 10 mm.



Figur 8.36 Forholdet mellom maksimal og beregnet spenning

Det er oppgitt noen veiledende eksempler for spenningskonsentrasjonsfaktorer for hulprofil festet til knuteplate i DNV RP-C203 kapittel 3.3.12. Det er riktig nok en litt annen dimensjon på hulprofilet enn det som er valgt i denne oppgaven, men det burde allikevel gi en indikasjon om standarden er konservativ eller ikke. Det er også gitt en typisk avslipningsbredde som indikeres å være 10 mm for en knuteplate som er oppmyket, og 40 mm for en knuteplate som ikke er oppmyket. Det er tatt hensyn disse parameterne i analysen ved å se på en avslipningsbredde som er variert fra 10 mm til 40 mm.

For et hulprofil festet til en knuteplate som ikke er oppmyket gir DNV en spenningskonsentrasjonsfaktor på 3,8, og da er det antatt en typisk avslipningsbredde på 40 mm. Med referanse i tabell 8.23-28 så kan man observere at ved en avslipningsbredde på 40 mm ligger den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren for førsteordens trekantelement på 3,1, andreordens trekantelement ligger på 2,7, og andreordens firkantelement ligger på 2,4. Det viser at DNV RP-C203 ligger godt på den konservative siden når det kommer til oppgitte spenningskonsentrasjonsfaktorer for en knuteplate som ikke er oppmyket. Med den mest ugunstige spenningskonsentrasjon som er oppnådd i denne analysen på 3,1 så vil det si ca. 18 % lavere enn det som er oppgitt i DNV RP-C203, og det blir enda mer konservativt hvis man reduserer avslipningsbredden fra 40 mm.

For et hulprofil som er festet til en knuteplate som er oppmyket gir DNV en spenningskonsentrasjonsfaktor på 2,9, og da er det antatt en typisk avslipningsbredde på 10 mm. Det er vesentlig lavere enn for en knuteplate som ikke er oppmyket. Med referanse i tabell 8.23-28 så kan man observere at ved en avslipningsbredde på 10 mm ligger den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren for førsteordenstrekantelement på 2,4, andreordenstrekantelement ligger på 1,9 og andreordens firkantelement ligger på 1,6. Det viser at DNV RP-C203 også ligger godt på den konservative siden når det kommer til oppgitte spenningskonsentrasjonsfaktorer for en knuteplate som er oppmyket. Med den mest ugunstige spenningskonsentrasjon som er oppnådd i denne analysen på 2,4 så vil det si at det er ca. 17 % lavere enn det som er oppgitt i DNV RP-C203. Men hvis man går opp fra den typiske avslipningsbredden til for eksempel 40 mm så kan man observere at den mest ugunstige spenningskonsentrasjonsfaktoren er 2,8 etter tabell 8.24, og det er bare 3 % under den oppgitte spenningskonsentrasjonsfaktoren i DNV RP-C203.

DNV ligger på den konservative siden med sine oppgitte spenningskonsentrasjonsfaktorer slik som det også ble antydnet i detaljen av bjelkekrysset. Grunnen til at DNV ligger en god del til den konservative siden er nok fordi man skal kunne være ganske trygg på at tallene i standarden skal kunne brukes å være gyldige, selv om geometrien på den oppgitte detaljen avviker ganske mye fra det som er oppgitt som spesifikasjoner i standarden.

Tabeller for ortogonal overgang**Enkel standard utførelse 3 knutepunktstrekanter, ortogonal overgang**

Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	3,491	2,804	0,80
0,025	3,816	3,016	0,79
0,040	3,829	3,099	0,81

Tabell 8.23 Tabell for enkel standard utførelse av knuteplaten med 3 knutepunktstrekanter**Oppmyket utførelse 3 knutepunktstrekanter, ortogonal overgang**

Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	2,828	2,356	0,83
0,025	3,170	2,444	0,77
0,040	3,539	2,824	0,80

Tabell 8.24 Tabell for oppmyket utførelse av knuteplaten med 3 knutepunktstrekanter**Enkel standard utførelse 6 knutepunktstrekanter, ortogonal overgang**

Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	5,225	2,446	0,47
0,025	5,751	2,662	0,46
0,040	5,798	2,738	0,47

Tabell 8.25 Tabell for enkel standard utførelse av knuteplaten med 6 knutepunktstrekanter**Oppmyket utførelse 6 knutepunktstrekanter, ortogonal overgang**

Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	3,861	1,891	0,47
0,025	4,743	2,130	0,46
0,040	5,276	2,490	0,47

Tabell 8.26 Tabell for oppmyket utførelse av knuteplaten med 6 knutepunktstrekanter**Enkel standard utførelse 8 knutepunktstrekantelement, ortogonal overgang**

Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	4,651	2,250	0,48
0,025	5,236	2,312	0,44
0,040	5,275	2,402	0,46

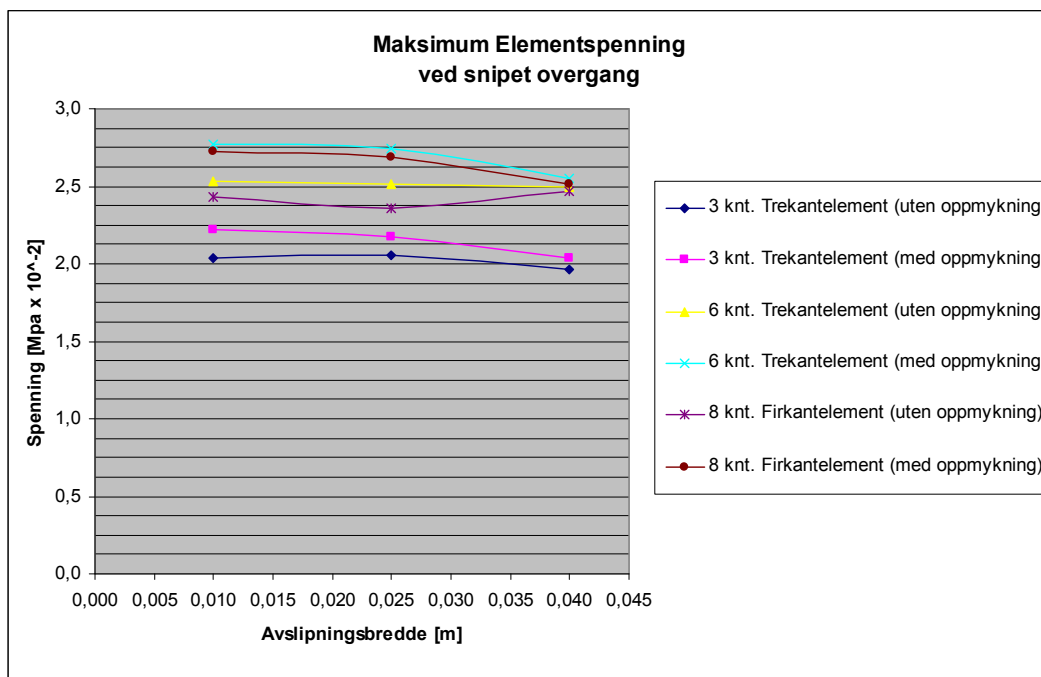
Tabell 8.27 Tabell for enkel standard utførelse av knuteplaten med 8 knutepunktstrekantelementer

Oppmyket utførsel 8 knutepunktstrekantelement, ortogonal overgang			
Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	3,459	1,579	0,46
0,025	4,326	2,854	0,43
0,040	5,785	2,187	0,46

Tabell 8.28 Tabell for oppmyket utførsel av knuteplaten med 8 knutepunktsfirkantelementer

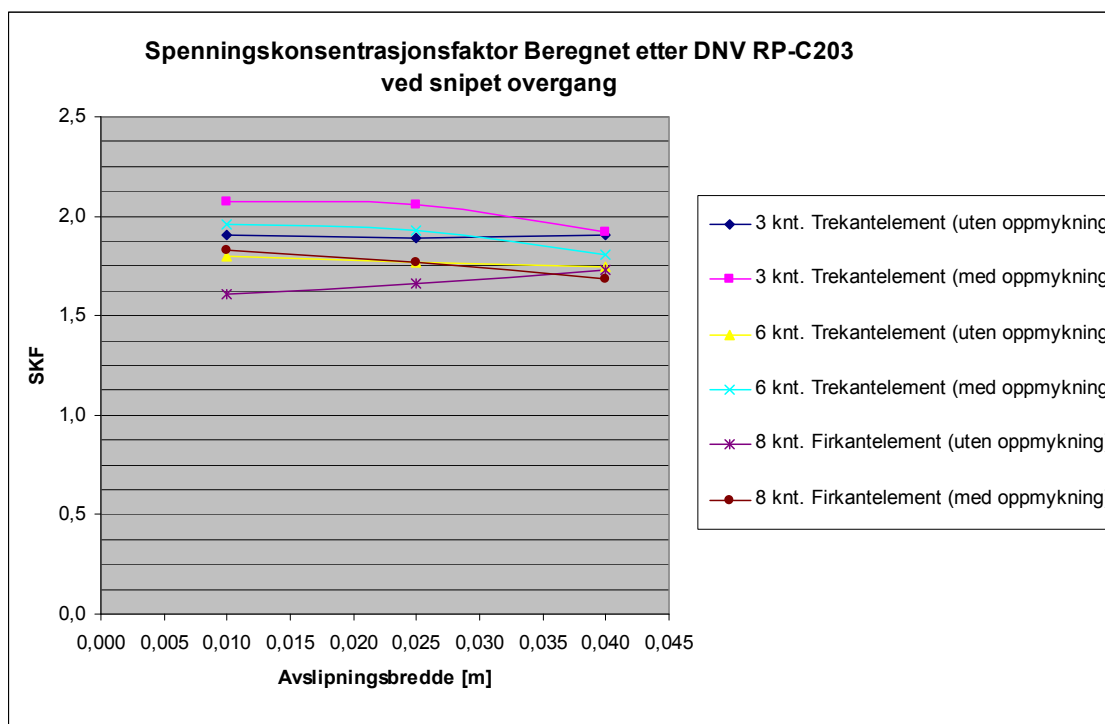
Ved overgangen som er snipet er den maksimale spenningen vesentlig lavere enn ved den ortogonale overgangen som skyldes at spenningen gradvis blir overført til knuteplaten. Det kan virke som analyse av en knuteplate som er oppmyket vil gi den høyeste maksimalspenningen ved snipet overgang, ref. figur 8.37. Dette gjelder for alle tre elementtypene som ser benyttet hvis man sammenligner med tilsvarende elementtype på modellen der det ikke er utført oppmyking av knuteplaten. Når oppmyking av knuteplaten er foretatt i modellen syntes det at en mindre avslipningsbredde ved den ortogonale overgangen vil gi en høyere maksimalspenning ved snipet overgang, men det er en beskjeden økning på ca 8 % fra en avslipningsbredde på 40 mm til en avslipningsbredde på 10 mm ved bruk av andreordenselementer, og mellom 8-9 % for modellen med førsteordenselementer, ref. tabell 8.29-34.

Hvis man skal se på forskjellen fra en detalj som har oppmyket knuteplate i forhold til en som ikke har oppmyket knuteplate ved snipet overgang så gir resultatene i figur 8.37 et litt mer utydelig resultat, men det er tydelig at man får en økning i den maksimale spenningen i overgangen som er snipet ved å innføre en oppmyket knuteplate. Maksimalspenningen oppnådd i overgangen som er snipet er mye lavere enn den tilsvarende maksimalspenningen i den ortogonale overgangen, og vil derfor ikke være dimensjonerende for utmattingslevetiden av hulprofildetaljen festet til knuteplaten.



Figur 8.37 Maksimalspenning ved snipet overgang

Spenningskonsentrasjonsfaktoren i overgangen som er snipet beregnet etter DNV RP-C203 gir jevnt noe lavere resultat enn den maksimale spenningen som også er vist i tidligere analyser. Ved dette tilfellet viser det seg at det er oppmyket knuteplate som er gir de høyeste spenningskonsentrasjonene sammenlignet med samme element brukt på en modell uten oppmykning av knuteplaten. Endring av avslipningsbredden ser også ut til å ha mindre effekt på den beregnede spenningskonsentrasjonen enn på den maksimale spenningen. Dette viser igjen av den beregnede spenningen har en effekt som tar bort ekstremiteten til maksimalspenningen, og gjør datasettet mer homogent i forhold til den elementtypen som brukes og hvilke parametre som er endret.



Figur 8.38 Spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet etter DNV RP-C203 ved ortogonalovergang

Den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren etter DNV RP-C203 ved overgangen som er snipet har en spenningskonsentrasjonsfaktor som i noen tilfeller kan overstige den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren ved den ortogonale overgangen. Det er en problemstilling som dukker opp med referanse til tabellene 8.26 og 8.28 for ortogonal overgang, og tabellene 8.32 og 8.34 for snipet overgang med avslipningsbredde 10 mm. Det viser seg at selv om den ortogonale overgangen har høyest maksimalspenning så er den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren for overgangen som er snipet høyere enn for den ortogonale overgangen. Dette er en problemstilling som rammer både andreordens firkant og trekantelement. Det fører til at spenningskonsentrasjonsfaktoren som er dimensjonerende for detaljen nå er funnet i overgangen som er snipet.

Det kan virke som ved en liten avslipningsbredde oppnår man en veldig god overgang som fordeler spenningene jevnt utover i knuteplaten ved den ortogonale overgangen slik at man får en lav spenningskonsentrasjonsfaktor ved interpolering. Dette viser at man kan få utfall som ikke er forventet og viktigheten av å se på analysen med et kritisk blikk for å oppdage disse utfallene.

Tabeller for snipet overgang

Enkel standard utførsel 3 knutepunktstrekantelement, snipet overgang			
Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	2,034	1,909	0,94
0,025	2,052	1,894	0,92
0,040	1,962	1,919	0,97

Tabell 8.29 Tabell for enkel standard utførsel av knuteplaten med 3 knutepunktstrekantelementer

Oppmyket utførsel 3 knutepunktstrekantelement, snipet overgang			
Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	2,219	2,076	0,94
0,025	2,178	2,058	0,95
0,040	2,035	2,919	0,94

Tabell 8.30 Tabell for oppmyket utførsel av knuteplaten med 3 knutepunktstrekantelementer

Enkel standard utførsel 6 knutepunktstrekantelement, snipet overgang			
Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	2,533	1,796	0,71
0,025	2,515	1,771	0,70
0,040	2,495	1,747	0,70

Tabell 8.31 Tabell for enkel standard utførsel av knuteplaten med 6 knutepunktstrekantelementer

Oppmyket utførsel 6 knutepunktstrekantelement, snipet overgang			
Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	2,768	1,956	0,71
0,025	2,747	1,926	0,70
0,040	2,553	1,806	0,71

Tabell 8.32 Tabell for oppmyket utførsel av knuteplaten med 6 knutepunktstrekantelementer

Enkel standard utførsel 8 knutepunktsfirkantelement, snipet overgang			
Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	2,435	1,612	0,66
0,025	2,359	1,658	0,70
0,040	2,464	1,732	0,70

Tabell 8.33 Tabell for enkel standard utførsel av knuteplaten med 8 knutepunktsfirkantelementer

Oppmyket utførsel 8 knutepunktstrekantelement, snipet overgang			
Avslipnings - bredde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,010	2,726	1,827	0,67
0,025	2,686	1,770	0,66
0,040	2,511	1,684	0,67

Tabell 8.34 Tabell for oppmyket utførsel av knuteplaten med 8 knutepunktsfirkantelementer

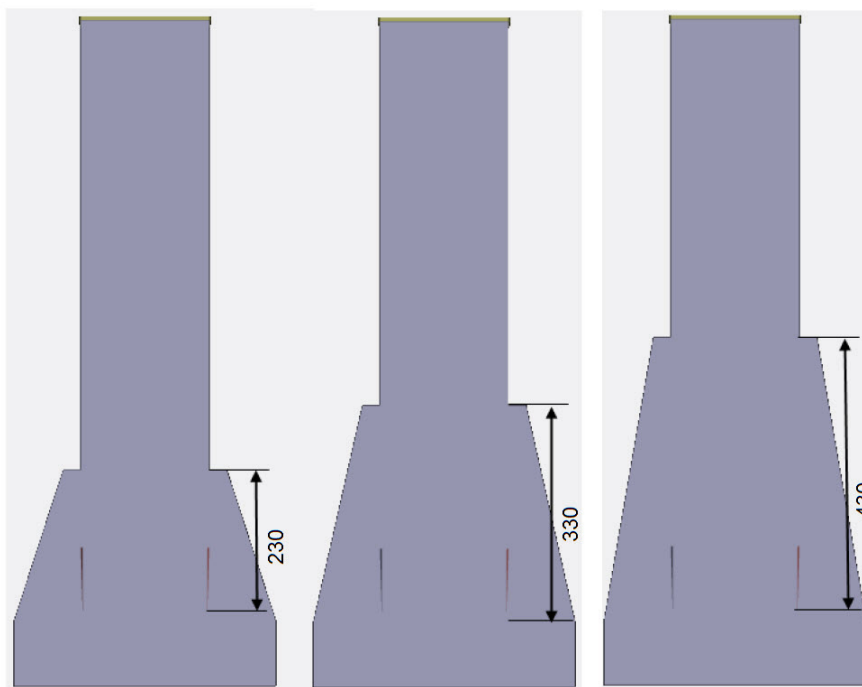
I et overblikk av analysen er det noen parametere som viser seg å ha innvirkning på spenningen eller spenningskonsentrasjonsfaktoren i analysen. Ved den ortogonale overgangen har både oppmykning og avslipningsbredde en effekt på spenningskonsentrasjonen i analysen. Ved en oppmykning vil toppspenningen reduseres, men effekten vil være vesentlig større hvis man også innfører en avslipningsbredde som er liten. Effekten av å redusere elementstørrelsen vil øke spenningskonsentrasjonen i den ortogonale overgangen og elementstørrelsen anbefalt i DNV RP-C203 burde nok benyttes for å oppnå en analyse som ikke gir for lave eller høye verdier av spenningskonsentrasjonen. Det er i all hovedsak spenningen i den ortogonale overgangen som er dimensjonerende.

Overgangen som er snipet gir noe mer uklare resultater, men det er en tendens som viser at spenningen i overgangen som er snipet ikke endrer seg mye når man endrer geometrien på knuteplaten. Det som man skal være litt observant på er hvis den ortogonale overgangen er optimalisert for å unngå spenningstopper, så kan det være at snipet overgang vil være dimensjonerende etter den beregnede spenningen/ spenningskonsentrasjonsfaktoren.

8.3.4 Påvirkning på spenningskonsentrasjon ved endring av sveiselengde

Det er foretatt en analyse hvor man endrer lengden av sveisen for å se hvilken effekt dette har på spenningen i henholdsvis overgangen som er ortogonal og snipet. Sveiselengden er endret på følgende måte 230 mm, 330 mm, og 430 mm, ref figur 8.39. Det er i denne analysen brukt elementstørrelse som er i henhold til DNV RP-C203.

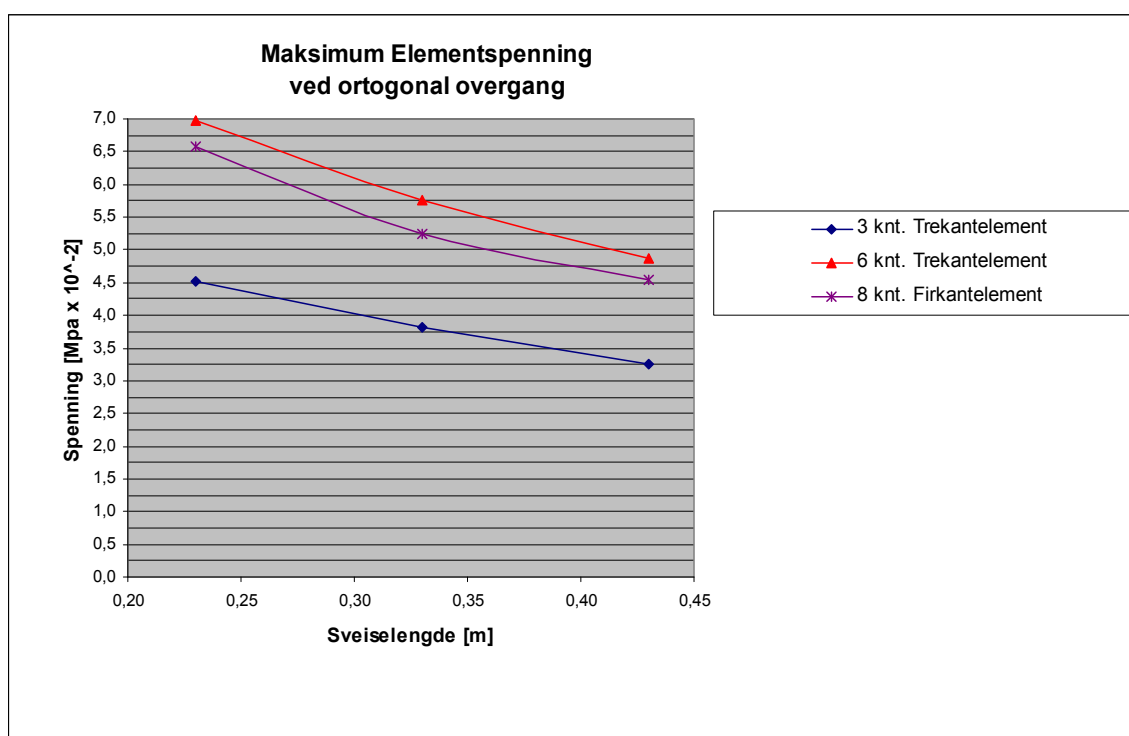
Modellen som er blitt brukt i denne analysen er lik utgangspunktet for detaljen og er ikke oppmyket. Det kunne derfor vært anbefalt å utføre tilsvarende analyse for en oppmyket detalj ved en oppfølgende oppgave for å se om sveiselengden har en større effekt på en oppmyket detalj. Det blir i dette tilfellet sett på hvilke resultater endring av sveiselengde medfører for både overgangen som er ortogonal og snipet.



Figur 8.39 Oversikt over gjennomføring av sveist lengde

Ved analyse av den ortogonale overgangen viser det seg at en økning i sveiselengden reduserer den maksimale spenningen vesentlig, ref. figur 8.40. I dette tilfellet vil en økning av sveiselengden med 200 mm gi en nedgang i den maksimale spenningen på ca 200 Mpa hvis analysen er gjennomført med andreordenselementer, og ca 130 Mpa hvis den er gjennomført med førsteordenselementer. Dette tilsvarer en 28 % reduksjon i forhold til maksimal spenning for trekantelementene av første og andre orden som er brukt i analysen og 30 % reduksjon for firkantelementene av andre orden, ref. tabell 8.35-37. Dette vil øke utmattingslevetiden betraktelig, men man burde se på kostnadseffekten ved å måtte ha en totalt lengre sveiselengde opp mot økt levetid. Det kan være slik at det ikke har så mye å si hvis det skal lages et lite antall detaljer, men ved et stort antall så vil sveiselengden helt klart ha noe å si for den totale kostnaden.

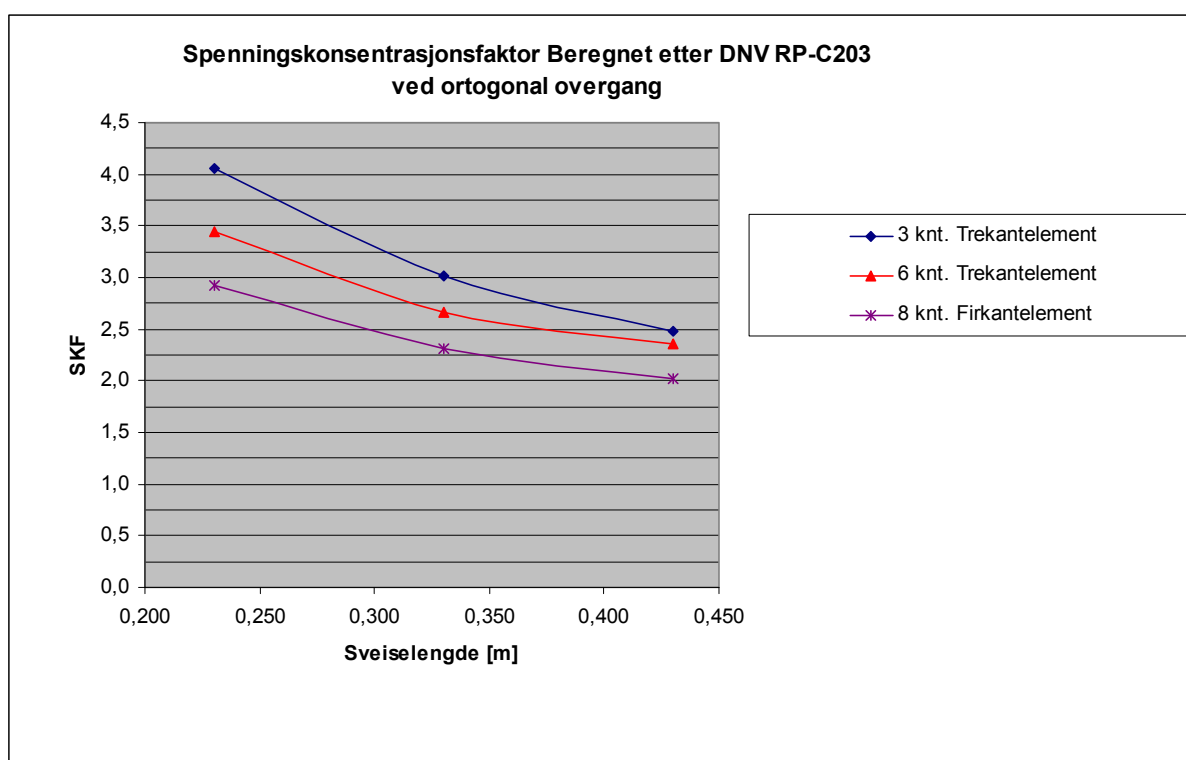
Det vises også i denne analysen at et andreordselement følger en brå spenningsgradient bedre, og dette gjør at andreordselementene oppnår en høyere maksimalspenning. Andreordens trekantelement gir det høyeste maksimale spenningen grunnet en økt tilpassningsevne til den avanserte geometrien i hulprofildetaljen. Det viser seg at både andreordens trekant og firkantelementer gir en kurve med veldig lik form når kurvene sammenlignes, og det virker da som at analysen gir et ganske nøyaktig resultat. Førsteordselementet ligger med en maksimalspenning langt under andreordselementene som overstående analyser har vist, grunnet en dårligere tilpassing til en brå spenningsgradient, ref. figur 8.40.



Figur 8.40 Maksimum elementspenning ved ortogonal overgang

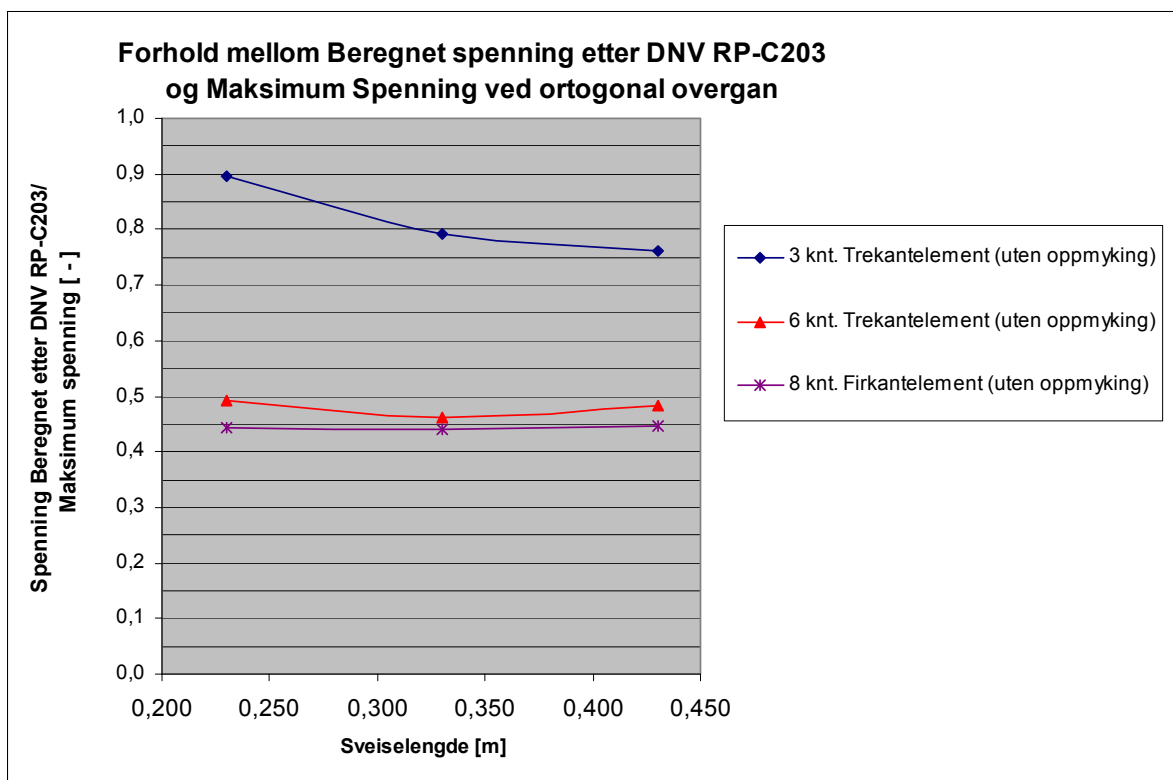
Endring i sveiselengden har også stor innvirkning på den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren etter DNV RP-C203 og viser samme tendens som maksimalspenning, ref. figur 8.41. I dette tilfellet vil en økning av sveiselengden med 200 mm gi en nedgang i den maksimale spenningen på ca 100 Mpa hvis analysen er gjennomført med andreordnstrekantelementer, ca 90 Mpa hvis analysen er gjennomført med andreordensfirkantelementer og ca 160 Mpa hvis den er gjennomført med førsteordselementer. Dette tilsvarer en 30 % reduksjon for andreordselementene som er brukt i analysen og 38 % reduksjon for førsteordselementene, ref. tabell 8.35-37. Så det er førsteordnstrekantelementet som har størst endring i spenningskonsentrasjonsfaktor beregnet etter DNV RP-C203 ved en endring av sveiselengden

Spenningen/spenningskonsentrasjonsfaktoren i den ortogonale overgangen som blir beregnet etter DNV RP-C203 ved interpolering følger tendensen med at den er vesentlig lavere enn maksimalspenningen. Den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren viser et resultat der førsteordens trekantelement gir den mest konservative beregnede spenningen, mens andreordenselementene er mindre konservative. Resultatene viser at ved interpoleringen etter DNV RP-C203 blir resultatene mindre differensierte og man oppnår faktisk mer konservativt resultat med førsteordenselement enn med andreordenselement, og dette kan forsvare bruken av et førsteordenselement selv om det ikke er anbefalt i DNV RP-C203. Dette er samme tendensen som alle overstående analyser har vist, men i dette tilfellet er det veldig tydelig, ref. figur 8.41.



Figur 8.41 Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203, ved ortogonal overgang

Figur 8.42 viser at andreordenselementet har en større endring fra maksimalspenning når sveiselengden varieres enn endringen hos førsteordenselementet. Denne endringsforskjellen gjør at elementene ikke er så forskjellige når det kommer til den beregnede spenningen/spenningskonsentrasjonsfaktoren, og det fører til at førsteordenselementet blir det mest konservative når det kommer til beregnet spenning, ref. figur 8.41-42.



Figur 8.42 Forhold mellom beregnet og maksimalspenning, ved orthogonal overgang

Tabeller for ortogonal overgang**Endring av sveiselengde 3 knutepunktstrekantelement, ortogonal overgang**

Sveiselengde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,230	4,527	4,050	0,89
0,330	3,816	3,019	0,79
0,430	3,260	2,481	0,76

Tabell 8.35 Tabell for endring av sveiselengde med 3 knutepunktstrekantelementer, ortogonal overgang**Endring av sveiselengde 6 knutepunktstrekantelement, ortogonal overgang**

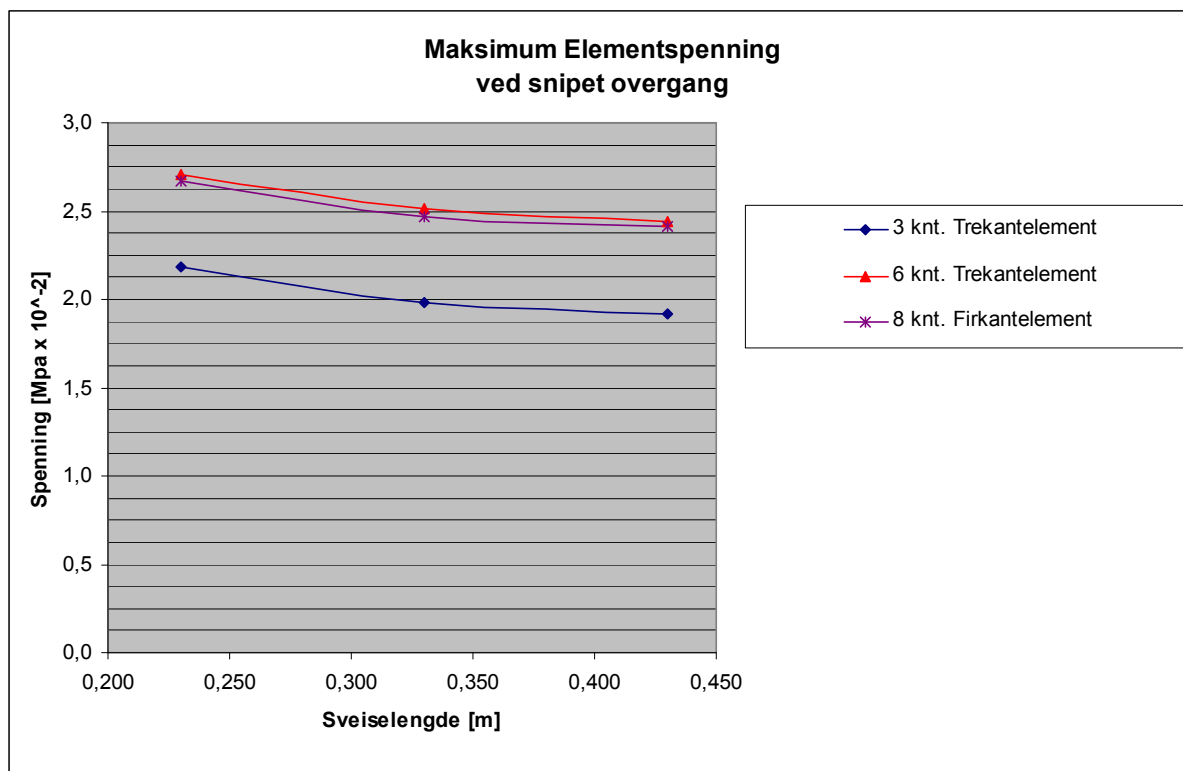
Sveiselengde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,230	6,977	3,440	0,49
0,330	5,751	2,664	0,46
0,430	4,880	2,351	0,48

Tabell 8.36 Tabell for endring av sveiselengde med 6 knutepunktstrekantelementer, ortogonal overgang**Endring av sveiselengde 8 knutepunktsfirkantelement, ortogonal overgang**

Sveiselengde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,230	6,576	2,921	0,44
0,330	5,236	2,304	0,44
0,430	4,546	2,026	0,45

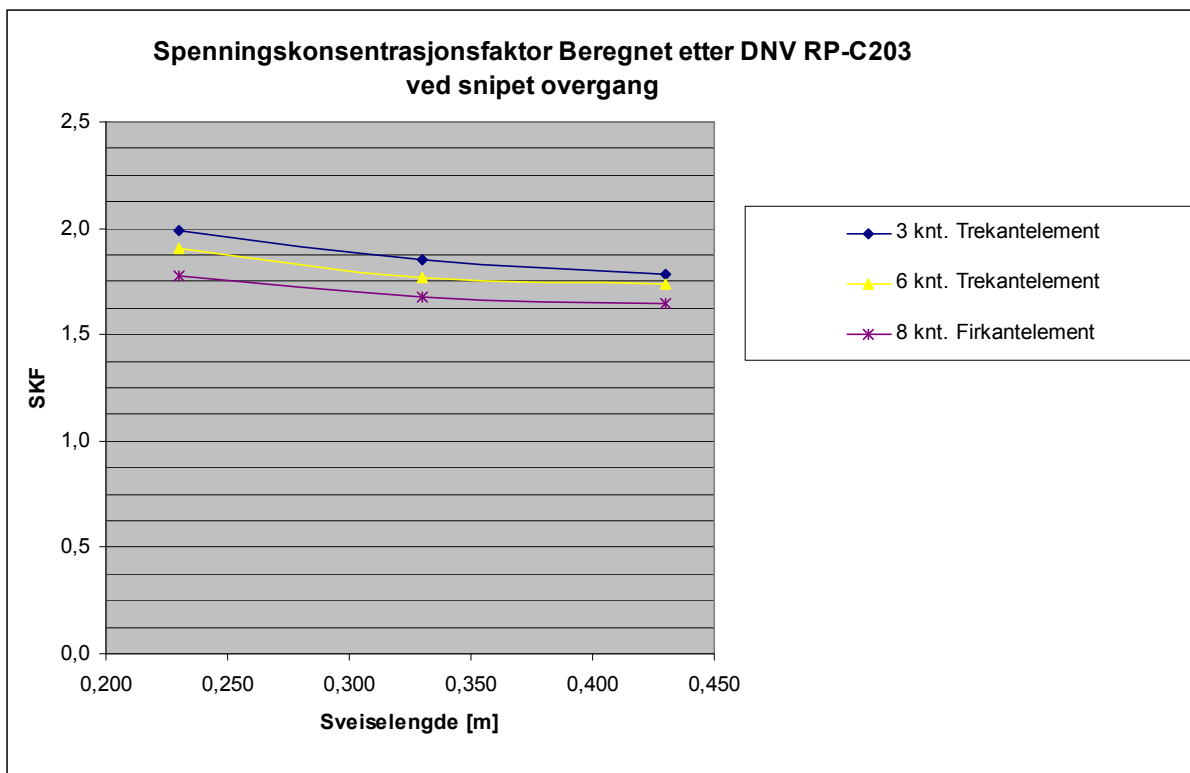
Tabell 8.37 Tabell for endring av sveiselengde med 8 knutepunktsfirkantelementer, ortogonal overgang

Ved overgangen som ser snipet er den maksimale spenningen vesentlig lavere enn ved den ortogonale overgangen. Det skyldes at spenningen gradvis blir overført til knuteplaten og dermed gir en lavere toppspenning. Det virker som at spenningen endres lite ved overgangen som er snipet ved endring av sveiselengden, men det kan se ut som at den maksimale spenningen øker noe med kortere sveiselengde. Den maksimale endringen er nesten det samme for alle elementene som er brukt i analysen på ca 26.5 Mpa, selv om førsteordenselementet fortsatt predikerer en lavere maksimalspenning enn andreordenselementene, ref. figur 8.44. Det fører til at det er en endring på 10 % for andreordenselementene, mens 12 % endring for førsteordenselementet når sveiselengden endres med 200 mm. Det kan også se ut som trenden flater ut når man nærmer seg en lengde på over 400 med mer, og at man ikke vil oppnå veldig mye lavere maksimalspenning ved å forlenge sveisen ytterligere når man ser på overgangen som er snipet, ref. figur 8.44.



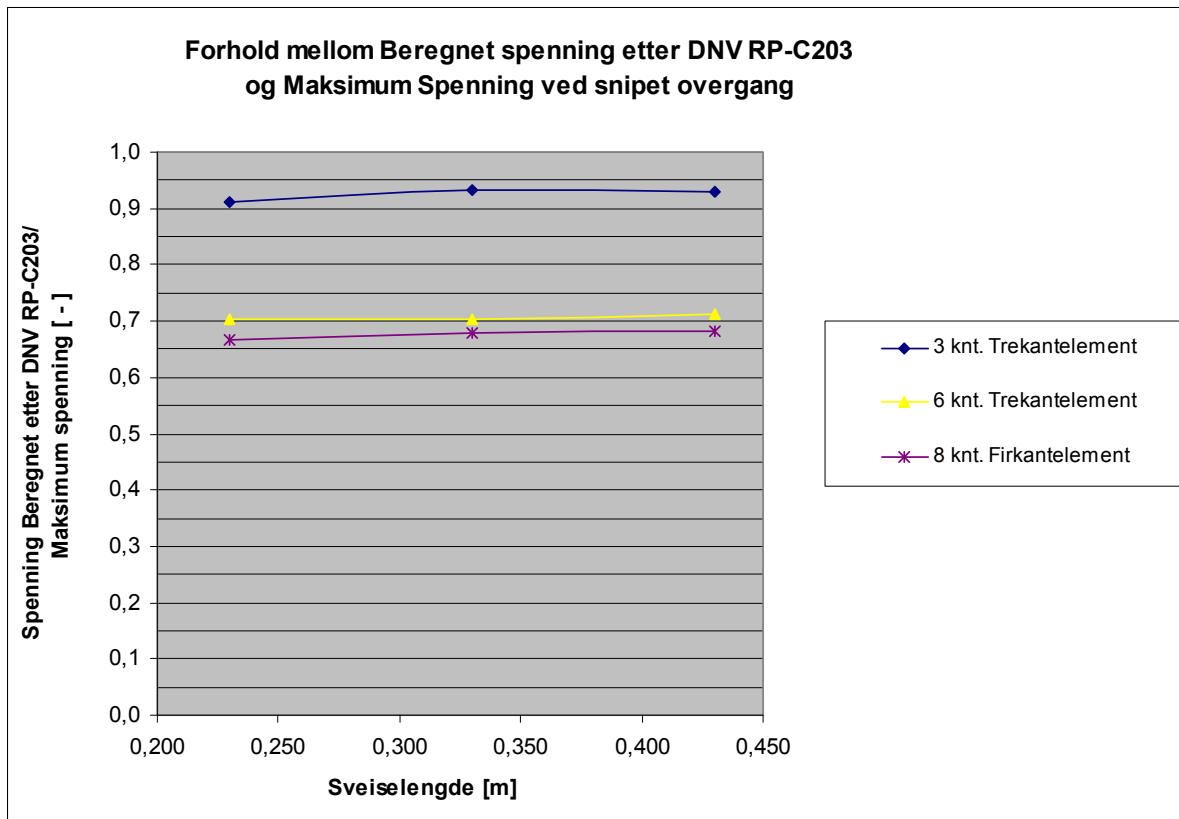
Figur 8.44 Maksimum elementspenning ved snipet overgang

Endring i sveiselengden har liten innvirkning på den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren ved snipet overgang, men viser samme tendens som maksimalspenning ved snipet overgang, ref. figur 8.45. I dette tilfellet vil en økning av sveiselengden med 200 mm gi en nedgang i den maksimale spenningen på ca 17 Mpa hvis analysen er gjennomført med andreordens trekantelementer, ca 14 Mpa hvis analysen er gjennomført med andreordens firkantelementer og ca 21 Mpa hvis den er gjennomført med førsteordens trekantelement. Dette tilsvarer en reduksjon fra den maksimale beregnede spenningen på 8-9 % for andreordens elementene som er brukt i analysen, og 11 % reduksjon for førsteordens elementet, ref. tabell 8.38-40. Dette er en endring som ligger i samme område sammenlignet med maksimalspenningen for snipet overgang, vist i figur 8.44, men med lavere spenningskonsentrasjonsfaktorer. Det er i dette tilfellet også førsteordenselementet som gir den høyeste spenningskonsentrasjonsfaktor når man beregner etter DNV RP-C203.



Figur 8.45 Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203, ved snipet overgang

Forholdet mellom maksimal og beregnet spenning viser den samme tendensen som ved den ortogonale overgangen. Resultatene av analysen viser at andreordenselementet har en større endring fra maksimalspenning når sveiselengden varieres enn endringen hos førsteordenselementet. Denne endringsforskjellen gjør at elementene ikke er så forskjelling når det ført kommer til den beregnede spenningen/spenningskonsentrasjonsfaktoren, og det fører til at førsteordenselementet blir det mest konservative når det kommer til beregnet spenning, ref. figur 8.45-46.



Figur 8.46 Forhold mellom beregnet og maksimalspenning ved snipet overgang

Tabeller for snipet overgang

Endring av sveiselengde 3 knutepunktstrekantelement, snipet overgang			
Sveiselengde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,230	2,179	1,987	0,91
0,330	1,982	1,851	0,93
0,430	1,920	1,782	0,93

Tabell 8.38 Tabell for endring av sveiselengde med 3 knutepunktstrekantelementer, snipet overgang

Endring av sveiselengde 6 knutepunktstrekantelement, snipet overgang			
Sveiselengde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,230	2,708	1,905	0,70
0,330	2,515	1,771	0,70
0,430	2,438	1,739	0,71

Tabell 8.39 Tabell for endring av sveiselengde med 6 knutepunktstrekantelementer, snipet overgang

Endring av sveiselengde 8 knutepunktsfirkantelement, snipet overgang			
Sveiselengde [m]	Maksimum elementspenning [Mpa x 10 ⁻²]	SKF ihh. DNV RP-C203	Beregnet Spenning/ Maksimum Spenning
0,230	2,674	1,779	0,67
0,330	2,464	1,674	0,68
0,430	2,409	1,643	0,68

Tabell 8.40 Tabell for endring av sveiselengde med 8 knutepunktsfirkantelementer, snipet overgang

Med et overblikk over analyseresultatene gitt ved endring av sveiselengden så kan man observere at både maksimal og beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor vil øke når lengden av sveisen reduseres. Det man kan observere er at andreordenselementene tilpasser seg spenningsgradienten på en bedre måte enn førsteordenselementene, og det medfører at ved den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren så er det førsteordenselementet som gir den mest konservative spenningskonsentrasjonsfaktoren. Resultatene fører til at man kan manipulere spenningskonsentrasjonsfaktoren til å bli mer gunstig i den ortogonale overgangen ved å øke lengden av sveisen.

Overgangen som er snipet viser at den er mindre påvirket av en endring i sveiselengden enn den ortogonale. Både ved den maksimale spenningen og ved den beregnede spenningskonsentrasjonen vises det en marginal økning når sveiselengden reduseres. Det kan derfor virke slik at det ikke er noe stor grunn til å dykke ned i dypere analyser av snipet overgang ved en endring av sveiselengden på grunn av at det kun oppstår en marginal endring i spenningen. Man oppnår nesten ingen reduserende spenningskonsentrasjonseffekt ved overgangen som er snipet ved å øke sveiselengden.

9 Diskusjon & Konklusjon

Dette kapittelet inkluderer en diskusjonsdel, hvor noen av elementene som har vist seg tvetydige blir diskutert. Den andre delen er en konklusjon, hvor undertegnede skal prøve å lage sine egne evalueringer og konklusjoner basert på kunnskapen som er tilegnet gjennom 5 år med studier.

9.1 Diskusjon

Det ble valgt to spesifikke detaljer i samråd med veiledere for å tilpasse arbeidsmengden, og da kan man jo stille spørsmålet om oppgaven representerer et utvalg som gjør at resultatene blir for spesifikke til at man kan trekke noen konklusjoner? Det er valgt to detaljer med forskjellige oppbygning og funksjon, men begge representerer detaljer som ofte er brukt i ulike typer offshorekonstruksjoner. Bjelkekryssdetaljen tar for seg en konstruksjonsdetalj med sveis som er ortogonalt på belastingsretningen, mens hulprofilsdetaljen som er festet til en knuteplate tar for seg en detalj med sveiseretning i belastingsretningen, og der har man jo allerede representert en rekke konstruksjonsdetaljer som passer innen for disse kategoriene. Videre er det sett på forskjellige overganger innen disse to detaljene både hvordan ortogonale overganger blir påvirket av spenningskonsentrasjoner, og hvordan en snipet overgang blir påvirket. Det er også gjort analyser av hvordan en ortogonal overgang påvirker overgangen som er snipet. Dette fører til at noen av analyseresultatene i denne oppgaven burde kunne videreføres til detaljer som har en lignende utførelse.

Lastkondisjonen som er valgt i denne oppgaven for å begrense analysemengden og tidsbruken er en aksial strekkraft. Det hadde vært en stor fordel å ha en tidsramme der det ble mulighet til å kjøre analyser med bøyemomenter, torsjonsmomenter og skjærkrefter for å se hvilken påvirkning dette ville hatt på spenningstoppene i gjeldene overganger. Det kunne ha ført til resultater der man hadde mulighet til å dra litt mer generelle konklusjoner. Det er allikevel gjort så mange forskjellige parameteranalyser av konstruksjonsdetaljene i denne oppgaven at det burde kunne gi nyttig informasjon om hva som påvirker spenningstopper i overganger på konstruksjonsdetaljer, men en verifikasjon av resultatene med andre lastkombinasjoner kunne vært nyttig.

Analysene er konsekvent utført med en variasjon av elementer både i orden og form for å se hvilken effekt dette har på spenningstoppene i gjeldende overganger. Det har vist at andreordens firkant eller trekantelement konsekvent gir den høyeste maksimale spenningen, men ved den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren er det førsteordenselementene som gir den mest konservative spenningen. Da kan man jo stille et spørsmål om hvorfor DNV RP C-203 anbefaler firkant andreordenselement? Det fører til at resultatene ved bruk av andreordens firkantelement gir den minst konservative beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren i alle tilfellene, selv om det i teorien skulle gitt samme resultater som et andreordens trekantelement. Forskjellen ligger nok i at trekantelementene har en bedre tilpassningsevne når det kommer til avanserte geometrier. Siden spenningskonsentrasjoner ikke er noe nøyaktig vitenskap virker det som DNV går for et element som har stor tilpassningsevne til forskjellige geometrier, enn å forta valget som gir den mest konservative beregnede spenningen. Det kan også være slik at selv om andreordens firkantelement er mindre konservativt enn et førsteordenselement beregnet etter DNV RP-C203 så gjengir andreordens firkantelement resultatene som er oppnådd i virkeligheten på en bedre måte. I tillegg viser analysene som er gjort mot oppgitte spenningskonsentrasjonsfaktorene i DNV RP-C203 at det kan virke som oppgitte spenningskonsentrasjonsfaktorer i DNV legger seg godt til den konservative siden, i forhold til spenningskonsentrasjonsfaktorene oppnådd ved analyse. Dette har nok med at DNV skal kunne dekke stort sett alle utforminger og størrelser på konstruksjonsdetaljen slik at DNV er trygge på at oppgitt spenningskonsentrasjonsfaktor dekker hele spekteret av variasjoner for konstruksjonsdetaljen.

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203 viser en trend der spenningen/spenningskonsentrasjonsfaktoren er lavere enn ved analyser som viser maksimal elementspenning, men det som er interessant er at det som skiller hver enkelt elementtype i verdi ved den beregnede spenningskonsentrasjonen er vesentlig mindre enn ved maksimal spenningsanalysen. Dette kan nok begrunnes med at førsteordenselement har en lineær forsyning mot spenningskonsentrasjonspunktet, og andreordenselementer har en andreordens forskyvning mot spenningskonsentrasjonspunktet. Når da spenningene tas et stykke fra dette spenningskonsentrasjonspunktet så har både første og andreordenselementet verdier i samme område. Dette vises også på grafene av forholdet mellom beregnet og maksimalspenning. Dette fører til en viss trygghet når det kommer til gjennomføring av elementanalyse fordi det gir et resultat som er uavhengig av elementtype, og burde gi en levetid i samme område. Det medfører at hvis det blir gjort feil i analysen med hensyn til elementtype så har det ikke store betydningen for resultatene. Det har seg faktisk slik at et førsteordenselement vil gi den mest konservative beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren når man legger til grunn analysene som er gjennomført i denne oppgaven.

Genie er ikke noe spesialisert elementprogram og lider nok litt under det i visse situasjoner. Det har oppstått litt problemer med å få den innebygde elementnettmotor til å gi et symmetrisk og regulært elementnett når geometrien begynner å bli noe mer avansert. Det har også vært problemer med å få førsteordens firkantelement til å fungere til hulprofilsdetaljen, og det er fordi det har oppstått deformasjoner på elementene som er for store til at analysen kan gjennomføres. Grunnen til dette problemet er at Genie har en veldig enkel funksjon for elementnettstyring, og det blir ofte et mer uoversiktlig elementnett hvis man prøver å overstyre den automatiske funksjonen. Når man møter på slike hindringer kan det forsvares at Genie har et lite stykke igjen for å kunne kalles et fullverdig elementprogram per dags dato, men det er et program som fint kan brukes på enklere detaljer. Brukerterskelen er bra for mennesker som skal begynne med elementanalyse og man kommer fort på et nivå der man kan gjennomføre analyser.

Xtract har vist seg ustabil og ukonsekvent under avlesing av resultater når man åpner og lukker programmet, selv om man benytter samme Genie modell kan resultatene endres fra gang til gang når Xtract startes på nytt. Det har i hovedsak vært et problem for detaljen av et hulprofil festet til en knuteplate som har en vesentlig mer avansert geometri enn bjelkekrysset. Det kan da virke som Xtract har problemer med avlesing av spenninger i geometrier som blir mer avanserte. Det er vanskelig å si om det eventuelt er noe galt med programmet eller om det er brukerfeil som har forårsaket disse variasjonene når man skal avlese resultatene i Genie modellene. Hvis det er en brukerfeil så kan det allikevel regnes for at feilen ligger hos Xtract, fordi brukerfeil ikke skal kunne oppnås i et så enkelt resultat avlesningsprogram som Xtract, og det skaper usikkerhet rundt avlesing av alle resultater. Det fører til at en påstand om at Xtract burde videreutvikles før det blir gjort til en del av Sesampakken kan legitimeres. Dette betyr kanskje at utviklingen av Sesam når det skal hånd i hånd med brukerønsker og krav fører til at man slipper programvare før alle feilene er oppdaget? Det kan se ut som man bruker industrien til å få tilbakemelding om feil i programvaren, men da dukker spørsmålet opp om hvilke konsekvenser dette kan få hvis slike feil ikke blir oppdaget av industrien.

Parameteranalysen som er gjennomført for å se på hvilke endringer elementstørrelsen har på analyseresultatene viser at en mindre elementstørrelse vil gi en større spenningskonsentrasjon i overgangen, uansett hvordan overgangen er utformet. Det er riktig nok en større forandring for en ortogonal overgang enn en overgang som er mykere eller snipet, men en finere elementinndeling gir høyere spenningskonsentrasjon. Det som kunne vært interessant å se på er hvilken elementstørrelse som gjengir virkeligheten på best mulige måte, og oppnår mest realistisk utmattingslevetid. DNV RP-203 gir en anbefaling om at elementet burde ha en størrelse lik tykkelsen av det om er under analyse, dvs. elementstørrelse $t \times t$, der t er tykkelsen. Denne anbefalingen må nesten godtas uten kritikk, men spørsmålet er da om dette er en veldig konservativ elementstørrelse eller ikke? Bakgrunn for dette spørsmålet dukket opp når man sammenligner oppnådd spenningskonsentrasjonsfaktor ved elementanalyse med oppgitt spenningskonsentrasjonsfaktor i DNV RP-C203, og den oppgitte var konservativ i forhold til alle analyseresultatene. Det fører det at man kan spekulere i om elementstørrelsen som er oppgitt i DNV RP-C203 er for lite konservativ til å kunne oppnå spenningskonsentrasjonsfaktoren som er oppgitt i DNV RP-C203. Det fører da i alle fall til at man under predikerer utmattingslivstiden vesentlig hvis man bruker oppnådd spenningskonsentrasjonsfaktor ved analyse mot en som er oppgitt i DNV RP-C203. Spørsmålet er da hvilken spenningskonsentrasjonsfaktor som er nærmest realiteten når det kommer til utmattingslevetid?

Hvis man generelt skal se på en geometriendring ved en elementanalyse så kan man si at en oppmyking vil være gunstig for å oppnå en lavere spenningsstopp, både maksimal og beregnet. Det viser seg at en ortogonal overgang får en mindre spenningskonsentrasjonsfaktor hvis man enten reduserer avslipningsbredden mot null eller klarer å legge inn en radius som hindrer den brå ortogonale overgangen. Det som var interessant vedrørende oppmykning, og som kom klart frem i detaljen for bjelkekrysset var at det som i utgangspunkt ved bruk av teorien vil være en bra løsning kan medføre problemer når det kommer til praktisk gjennomføring av analysen. Som eksemplet fra bjelkekrysset når radius ble mindre enn elementstørrelsen fikk elementet en deformasjon som førte til en høyere spenningsstopp enn ved en vinkelrett overgang. Det viser at man hele tiden må ha et kritisk blikk på hvilke effekter man pådrar seg ved å endre geometrien.

Avlesning og tolkning av spenninger som blir brukt til interpolasjonsberegning av spenningskonsentrasjonsfaktor, sammen med tolkning av regelverket vil kunne være en faktor som påvirker resultatet. Det er i denne oppgaven valgt å bruke hovedspenninger sammen med en funksjon som gir gjennomsnittet av spenningen i elementet slik at man får en spenning som antas å være i det geometriske senteret. Bruk av hovedspenninger er en normal fremgangsmåte i næringslivet for å løse interpolasjonsproblemstillingen, men det er mulighet for andre tolkninger som kan føre til andre resultater når det kommer til og bregne spenningskonsentrasjonsfaktoren. Hvilke metoder for avlesning og hvordan disse eventuelt påvirker resultatene burde vært aktuelt å undersøke i en oppfølgende oppgave.

9.2 Konklusjon

Det er veldig mange parametere som påvirker analyseresultatene i en elementanalyse, og derfor er det vanskelig å komme med bastante konklusjoner i en slik oppgave der små endringer i modellen kan gi store utslag, men i dette kapittelet vil det bli forsøkt å trekke noen overordnede linjer fra analysene som er gjennomført i denne oppgaven.

Elastisk elementanalyse vil ikke ta hensyn til at det oppstår flytespenning i geometriske overganger som omfordeler spenningene, slik et en elastisk elementanalyse vil gi kunstige høye spenningstopper i geometriske overganger.

Kvaliteten på elementnettet kan påvirke analyseresultatene både i en konservativ og ikke konservativ retning. Derfor må man påse at man oppnår et elementnett som har et mest mulig symmetrisk og regulært utseende. Det vil være veldig viktig for å kunne gjennomføre en analyse med god kvalitet og nøyaktige resultater.

Endring av elementstørrelse vil påvirke analyseresultatene med hensyn til maksimalspenning vesentlig, ved en reduisering av elementstørrelsen vil spenningstoppen i overgangene øke og det vil gi en lavere utmattingslevetid. Det blir da viktig med riktig valg av elementstørrelse. Elementstørrelsen har vesentlig mindre å si for maksimalspenning i en overgang som er ”myk” enn en overgang som har en brå geometrisk endring. Det fører til at elementstørrelsen har mindre å si for oppnådde resultater ved overganger som er ”myke”.

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP C-203 ved interpolering gir en lavere spenning enn den maksimalt oppnådde elementspenningen. Den beregnede spenningskonsentrasjonsfaktoren ved interpolering etter retningslinjene i DNV RP-C203 fører til at alle elementtypene ligger i et smalere spenningsområde enn ved analyse av maksimalspenningen. Det er faktisk førsteordenselementene som vil gi den mest konservative spenningskonsentrasjonsfaktoren med hensyn til utmattingslevetid med interpolering etter DNV RP-C203.

Ved geometrisk endringer som vil føre til et spenningsforløp med en mer jevnutbredelse, dette inkluderer endringer som sniping, reduksjons av avslipningsbredde og avrunding av geometrien, vil spenningskonsentrasjonen bli redusert både for maksimal og beregnet spenning. Dette vil stemme så lenge man holder seg innenfor begrensingene for tilpassningsevne til elementene som vist i kap. 8.2.3.

DNV RP-C203 har vist seg å være konservativ og til dels meget konservativ når det kommer til oppgitte spenningskonsentrasjoner i forhold til det som blir oppnådd ved en elementanalyse av tilsvarende detalj, og dermed kan en elementanalyse øke utmattingslevetiden.

Genie og Xtract har en god distanse igjen for å kunne oppnå status som et fullverdig elementprogram og har på nåværende tidspunkt noen klare begrensinger.

Det overstående viser at både elementmetode, tekniske løsninger og geometrisk utforming av modellen for konstruksjonsdetaljen vil ha stor innvirkning på hvilke resultater som vil bli gitt av analysen og tilslutt utmattingslevetiden. Det blir viktig med god forståelse av hvilke effekter som gitte parametre medfører på elementanalysen for å ha tillit til resultatene.

10 Anbefalinger til videre arbeid

10.1 Supplering av flere detaljer

Det ville vært en stor fordel med et større antall sveiste konstruksjonsdetaljer under analyse som kunne gitt mer informasjon. Det burde være både sveiste detaljer som kan sammenlignes med konstruksjonsdetaljene som det nå er gjennomført en analyse av, og det burde være konstruksjonsdetaljer som anses å være helt ulike i form, oppbygging og funksjon.

En slik utvidet analyse kan muliggjøre noen mer generelle konklusjoner som ikke avhenger av detaljtypen som blir analysert. Man kan også se på flere detaljer som er klassifisert av DNV RP-C203 for å kunne se om det er mulig å se hvor konservativ denne standarden er, og det vil da være større mulighet for en mer generell konklusjon.

10.2 Sammenligning med bruk av annen programvare

Det kunne vært en oppgave som gikk ut på å sammenligne resultatene oppnådd i DNV GeniE med resultatene som man får ved å bruke en elementprogramvare som regnes for mer avansert eller rendyrket.

Ved å gjennomføre en slik sammenligning så kan man se om en mer avansert programvare vil lage et mer symmetrisk og regulært elementnett, enn det som i enkelte analyser er oppnådd med GeniE. Man kan da også se på den eventuelle forandring i resultatene for å avgjøre hvor stor endring det blir med et elementnett som eventuelt er bedre. Det kan også være interessant å se om en bedre elementnettgenerator, eller muligheten til å styre elementnettet på en bedre måte vil muliggjøre bruk av førsteordens firkantelementer på hulprofilsdetaljen som er festet til en knuteplate, siden dette ikke var mulig å gjennomføre med GeniE og den enkle elementnettgeneratoren som følger programmet. Da hadde man også fått en målestokk på hvor resultatene oppnådd i Genie ligger i forhold til andre mer rendyrkede kommersielle elementprogrammer.

10.3 Utvidelse til å se på elementanalyse i bruk under dimensjonering

Det hadde vært en bra utvidelse av oppgaven ved å se på prinsipper for dimensjonering etter elementanalyse. Det som kunne vært interessant i dette tilfellet og som det ikke ble tid til i denne oppgaven er å se på hvilken type analyse som best gir samsvar med virkeligheten. Det er i dette tilfellet snakk om elastisk eller plastisk elementanalyse som igjen burde sammenlignes med hvordan man utfører manuelle beregninger av sveiste forbindelser.

11 Referanseliste

- [1] A. Almar-Næss "*Fatigue handbook, offshore steel structures*" – tredje reviderte utgave, 1 jan. 1985, Tapir akademiske forlag, ISBN:82-519-0662-8
- [2] DNV: RECOMMENDED PRACTICE DNV-RPC203, "*Fatigue design of offshore steel structures*" – april 2008
- [3] DNV: Sesam brukermanual for Genie vol. 1, "*Konsept design og analyse av offshorekonstruksjoner*" – 28 november, 2005
- [4] EUROCODE 3 NS-EN 1993-1-8:2005: "*Design of steel structures*"
Part 1-8: Design of joints
- [5] Per Kr. Larsen "*Dimensjonering av stå konstruksjoner*" – fjerde utgave, 2004, Tapir akademiske forlag, ISBN: 82-519-0946-5

Vedlegg

A	Fordeling av krefter i bjelkekryss.....	3
B	Interpolasjon av SKF i bjelkekryssdetalj.....	13
C	Interpolasjon av SKF i bjelkekryssdetalj.....	36

Vedlegg A – **Fordeling av krefter i Bjelkekryss**

Fremgangsmåte for fordeling av krefter:

Der er tatt utgangspunkt i hver enkelt sveisegruppes kapasitet ved en antatt stål kvalitet. Deretter er hver av kapasitetene i sveisegruppene sammenlignet med total kapasiteten for å se hvilken andel av total kapasiteten hver enkelt sveisegruppe kan oppta. Denne prosent andelen sveisegruppen kan oppnå av total kapasiteten blir så multiplisert med den opptredende kraften i profilet og gir hvilken kraft som sveisegruppen vil ta opp av belastningen.

Antagelser for kapasitetsberegningen:

$$f_y = 355 \frac{N}{mm^2} \quad \text{flytespenning}$$

$$\gamma_m = 1.10 \quad \text{Sikkerhetsfaktor for tverrsnittsanalyse}$$

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_m} = \frac{355}{1.10} = 322 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Dimensjonerende flytespenning}$$

Kapasitetsberegning for sveisegruppene:

Buttsveiskapasitet:

$$F_{maksButtsveis} = a_{Buttsveis} \cdot l_{Buttsveis} \cdot f_d = 2 \cdot (25 \cdot 300) \cdot 322 \cdot 10^{-3} = \underline{4830 \text{ kN}}$$

Vertikal kilesveiskapasitet langs steg:

$$\sigma_{Vertikal \text{ Kilesveis}} = \sqrt{\left(\frac{F_{maks \text{ vertikal}}}{2 \cdot 6 \cdot 450 \cdot \sqrt{2}}\right)^2 + 3 \left(\frac{F_{Maks \text{ vertikal}}}{2 \cdot 6 \cdot 450 \cdot 450 \cdot \sqrt{2}}\right)^2} = 322 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow F_{Maks \text{ Horizontal}} = \underline{1366 \text{ kN}}$$

Horisontalkapasitet av kilesveis mellom steg og flens:

$$\sigma_{Horisontal \text{ Kilesveis}} = \sqrt{3 \cdot \left(\frac{F_{Parallellt}}{4 \cdot 6 \cdot 142.5}\right)^2} = 322 \frac{N}{mm^2} \Rightarrow \underline{636 \text{ kN}}$$

Fordeling av krefter på sveisegruppene:

Fordeling av kreftene for beregning av spenninger				
Sveis	Kapasitet [kN]	Prosentandel av total kapasitet [%]	Opptredende kraft (100 Mpa i profilet)	Fordelt belastning pr. sveisegruppe [kN]
Buttsveis	4830	71	2175	1544
Vertikal kilesveis	1366	20	2175	435
Horisontal Kilesveis	636	9	2175	196
Totalt	6832	100	2175	2175

Vedlegg B –
Regneark for interpolasjon av SKF etter DNV RP-C203
Bjelkekryssdetalj

Skilleark

Endring av Elementstørrelse

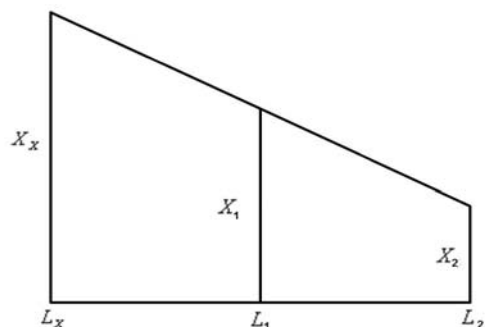
Bjelkekryssdetalj

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: Bjelkekryss

Parameteranalyse: Endring av elementstørrelse med 4 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0	x tykkelse
L1	0,5	x tykkelse
L2	1,5	x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

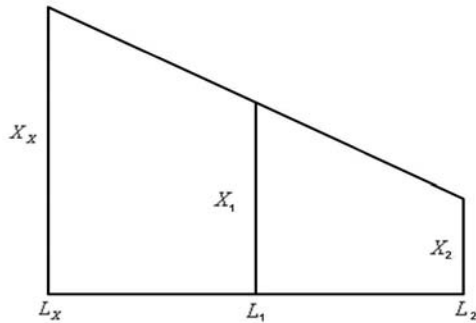
Akse retning	Elementnett [m]	X1	X2	Xx	SKF
x	0,075	1,192	1,026	1,275	1,313
y	0,075	1,192	0,875	1,351	
x	0,050	1,323	1,072	1,448	1,491
y	0,050	1,323	0,900	1,534	
x	0,025	1,643	1,222	1,853	1,902
y	0,025	1,643	1,029	1,950	
x	0,010	2,362	1,571	2,758	2,807
y	0,010	2,362	1,374	2,857	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: Bjelkekryst

Parameteranalyse: Endring av elementstørrelse med 6 kn. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

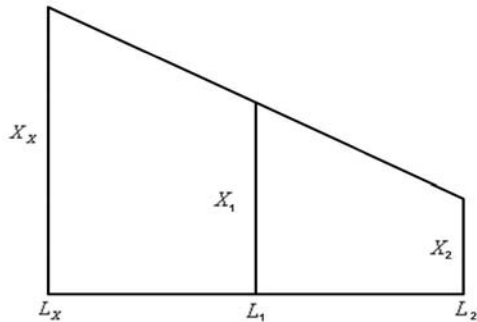
Akse retning	Elementnett [m]	X1	X2	Xx	SKF
x	0,075	1,140	1,019	1,201	1,229
y	0,075	1,140	0,906	1,258	
x	0,050	1,302	1,087	1,410	1,442
y	0,050	1,302	0,958	1,475	
x	0,025	1,663	1,269	1,860	1,891
y	0,025	1,663	1,144	1,922	
x	0,010	2,382	1,671	2,737	2,767
y	0,010	2,382	1,553	2,796	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: Bjelkekryst

Parameteranalyse: Endring av elementstørrelse med 8 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

Akse retning	Elementnett [m]	X1	X2	Xx	SKF
x	0,075	1,132	1,033	1,182	1,211
y	0,075	1,132	0,918	1,239	
x	0,050	1,248	0,879	1,433	1,415
y	0,050	1,248	0,951	1,397	
x	0,025	1,536	1,228	1,691	1,724
y	0,025	1,536	1,094	1,758	
x	0,010	2,235	1,615	2,545	2,583
y	0,010	2,235	1,464	2,621	

Skilleark

Endring av Geometri

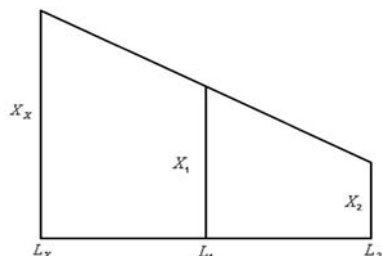
Bjelkekryssdetalj

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: Bjelkekryst

Parameteranalyse: Endring av geometri, 4 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5\ell - 0.5\ell} (0.5\ell - 0\ell) + X_2 = \underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell: Spennings parametre:

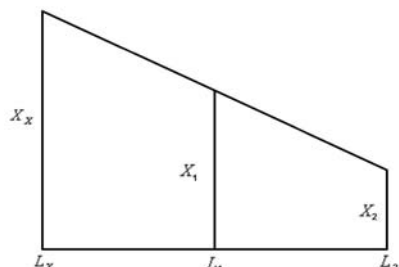
Akse retning	Avrundingsradius [m]	X1	X2	Xx	SKF
x+	0,100	1,472	1,286	1,565	1,549
x-	0,100	1,472	1,449	1,483	
y	0,100	1,472	1,218	1,599	
x+	0,075	1,461	1,358	1,513	1,581
x-	0,075	1,461	1,261	1,561	
y	0,075	1,461	1,045	1,669	
x+	0,050	1,458	1,226	1,574	1,586
x-	0,050	1,458	1,436	1,469	
y	0,050	1,458	0,942	1,716	
x+	0,025	1,540	1,419	1,601	1,711
x-	0,025	1,540	1,193	1,714	
y	0,025	1,540	0,986	1,818	
x+	0,010	1,717	1,150	2,001	1,983
x-	0,010	1,717	1,147	2,002	
y	0,010	1,717	1,261	1,945	
x	0,000	1,642	1,232	1,847	1,900
y	0,000	1,642	1,019	1,953	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: Bjelkekryst

Parameteranalyse: Endring av geometri, 4 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell: Spennings parametre:

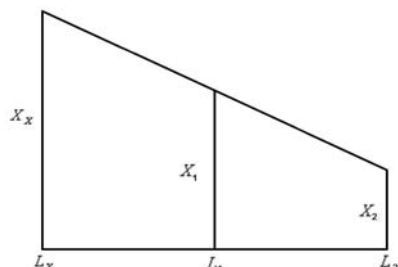
Akse retning	Avrundingsradius [m]	X1	X2	Xx	SKF
x+	0,100	1,324	1,258	1,357	1,411
x-	0,100	1,324	1,184	1,394	
y	0,100	1,324	1,009	1,481	
x+	0,075	1,422	1,306	1,480	1,514
x-	0,075	1,422	1,350	1,458	
y	0,075	1,422	1,060	1,603	
x+	0,050	1,412	1,066	1,585	1,579
x-	0,050	1,412	1,137	1,550	
y	0,050	1,412	1,036	1,600	
x+	0,025	1,608	1,192	1,816	1,863
x-	0,025	1,608	1,056	1,884	
y	0,025	1,608	1,045	1,889	
x+	0,010	1,831	1,367	2,063	2,135
x-	0,010	1,831	0,996	2,248	
y	0,010	1,831	1,300	2,096	
x	0,000	1,663	1,269	1,860	1,891
y	0,000	1,663	1,144	1,923	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: Bjelkekryst

Parameteranalyse: Endring av geometri, 4 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell: Spennings parametre:

Akse retning	Avrundingsradius [m]	X1	X2	Xx	SKF
x+	0,100	1,380	1,244	1,448	1,456
x-	0,100	1,380	1,341	1,399	
y	0,100	1,380	1,098	1,521	
x+	0,075	1,440	1,316	1,502	1,547
x-	0,075	1,440	1,287	1,517	
y	0,075	1,440	1,079	1,621	
x+	0,050	1,516	1,316	1,617	1,666
x-	0,050	1,516	1,256	1,647	
y	0,050	1,516	1,083	1,733	
x+	0,025	1,770	1,457	1,926	2,079
x-	0,025	1,770	1,008	2,151	
y	0,025	1,770	0,992	2,159	
x+	0,010	1,588	0,707	2,028	2,032
x-	0,010	1,588	0,337	2,213	
y	0,010	1,588	1,054	1,855	
x	0,000	1,536	1,228	1,690	1,724
y	0,000	1,536	1,094	1,757	

Skilleark

Endring av Flensbredde

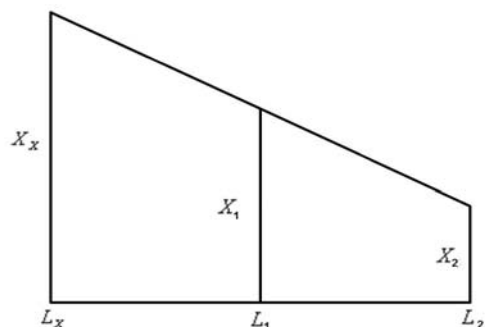
Bjelkekryssdetalj

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: Bjelkekryst

Parameteranalyse: Endring av flensbredde, 100 mm flensbredde

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0	x tykkelse
L1	0,5	x tykkelse
L2	1,5	x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

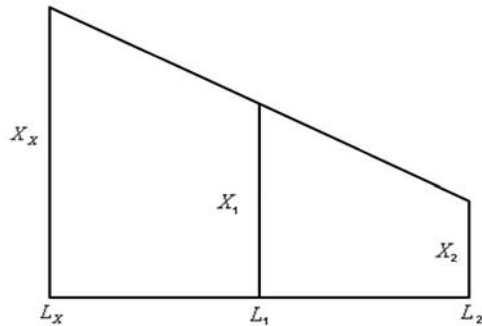
Akse retning	Element	X1	X2	Xx	SKF
x	Kvadratisk 4 pkt	1,290	1,101	1,384	1,415
y	Kvadratisk 4 pkt	1,290	0,977	1,446	
x	Kvadratisk 8 pkt	1,224	1,097	1,288	1,308
y	Kvadratisk 8 pkt	1,224	1,016	1,328	
x	Triangulært 6 pkt	1,233	1,094	1,303	1,321
y	Triangulært 6 pkt	1,233	1,020	1,340	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: Bjelkekryss

Parameteranalyse: Endring av flensbredde, 300 mm flensbredde

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0	x tykkelse
L1	0,5	x tykkelse
L2	1,5	x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

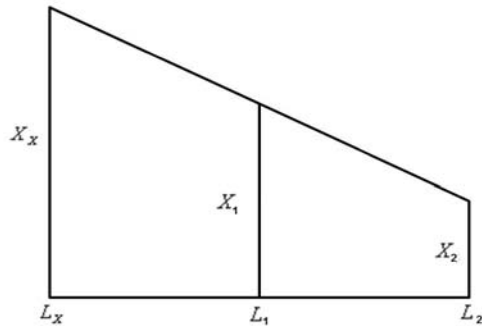
Akse retning	Element	X1	X2	Xx	SKF
x	Kvadratisk 4 pkt	1,643	1,222	1,854	1,902
y	Kvadratisk 4 pkt	1,643	1,029	1,950	
x	Kvadratisk 8 pkt	1,536	1,228	1,690	1,724
y	Kvadratisk 8 pkt	1,536	1,094	1,757	
x	Triangulært 6 pkt	1,663	1,269	1,860	1,891
y	Triangulært 6 pkt	1,663	1,144	1,923	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: Bjelkekryst

Parameteranalyse: Endring av flensbredde, 500 mm flensbredde

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell: Spennings parametre:

Akse retning	Element	X1	X2	Xx	SKF
x	Kvadratisk 4 pkt	1,898	1,290	2,202	2,283
y	Kvadratisk 4 pkt	1,898	0,964	2,365	
x	Kvadratisk 8 pkt	1,675	1,089	1,968	2,224
y	Kvadratisk 8 pkt	1,675	0,064	2,481	
x	Triangulært 6 pkt	1,883	1,058	2,295	2,256
y	Triangulært 6 pkt	1,883	1,215	2,217	

Vedlegg C –

Regneark for interpolasjon av SKF etter DNV RP-C203

Hulprofil Sveist til Knuteplate

Skilleark

Endring av Elementstørrelse

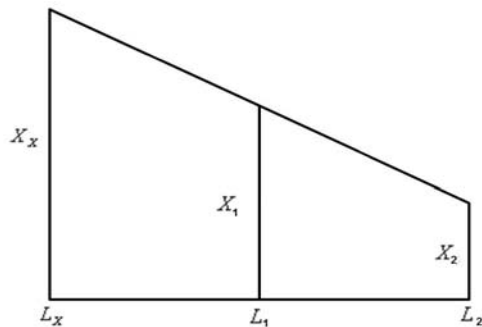
Hulprofil Sveist til Knuteplate

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: Endring av elementstørrelse med 3 kn. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

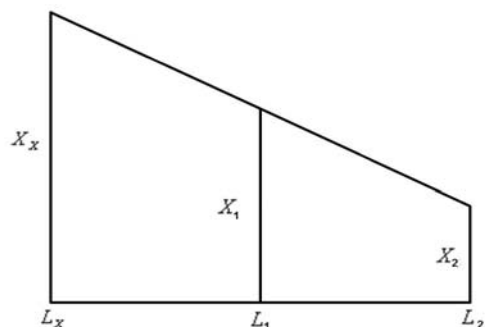
Akse retning	Elementnett [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,020	2,847	1,913	3,314	2,383
y	0,020	1,101	0,400	1,452	
z	0,015	3,013	2,191	3,424	2,458
y	0,015	1,112	0,353	1,492	
z	0,010	3,658	2,484	4,245	3,016
y	0,010	1,370	0,537	1,787	
z	0,005	4,461	3,202	5,090	3,913
y	0,005	2,036	0,635	2,736	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Endring av elementstørrelse med 3 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0	x tykkelse
L1	0,5	x tykkelse
L2	1,5	x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

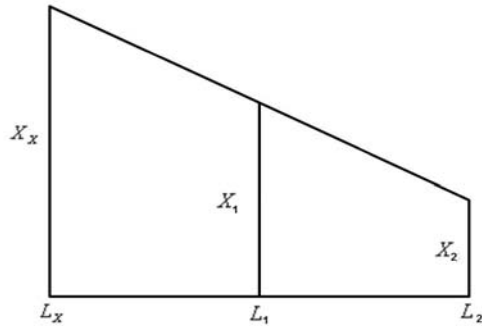
Akse retning	Elementnett [m]	X1	X2	Xx	SKF
z(ovenfra)	0,020	1,764	1,412	1,940	1,685
z(underfra)	0,020	1,341	1,163	1,430	
z(ovenfra)	0,015	1,864	1,477	2,057	1,777
z(underfra)	0,015	1,396	1,194	1,498	
z(ovenfra)	0,010	2,032	1,600	2,248	1,920
z(underfra)	0,010	1,485	1,271	1,592	
z(ovenfra)	0,005	2,224	1,791	2,441	2,102
z(underfra)	0,005	1,640	1,397	1,762	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: Endring av elementstørrelse med 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

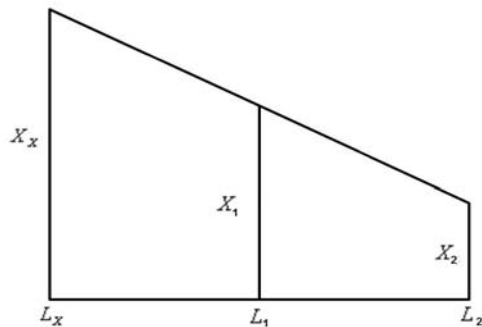
Akse retning	Elementnett [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,020	2,459	1,744	2,817	2,159
y	0,020	1,111	0,329	1,502	
z	0,015	2,591	1,862	2,955	2,314
y	0,015	1,249	0,402	1,673	
z	0,010	3,102	2,146	3,580	2,746
y	0,010	1,438	0,492	1,911	
z	0,005	3,886	2,710	4,475	3,785
y	0,005	2,320	0,769	3,096	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Endring av elementstørrelse med 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

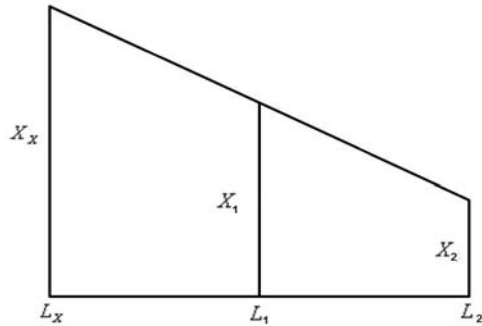
Akse retning	Elementnett [m]	X1	X2	Xx	SKF
z(ovenfra)	0,020	1,673	1,381	1,818	1,587
z(underfra)	0,020	1,277	1,120	1,356	
z(ovenfra)	0,015	1,755	1,437	1,915	1,663
z(underfra)	0,015	1,328	1,160	1,412	
z(ovenfra)	0,010	1,894	1,562	2,060	1,778
z(underfra)	0,010	1,410	1,237	1,497	
z(ovenfra)	0,005	2,131	1,779	2,307	1,985
z(underfra)	0,005	1,558	1,350	1,663	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: Endring av elementstørrelse med 6 kn. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

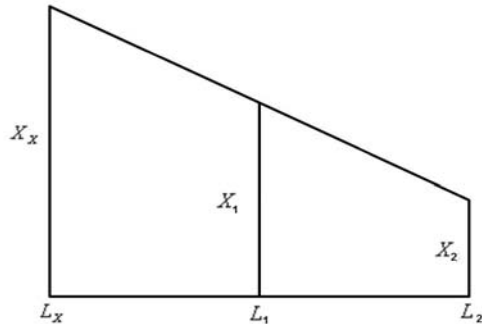
Akse retning	Elementnett [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,020	2,119	1,577	2,389	2,004
y	0,020	1,161	0,246	1,618	
z	0,015	2,367	2,488	2,306	2,259
y	0,015	1,560	0,257	2,211	
z	0,010	2,643	2,098	2,915	2,405
y	0,010	1,430	0,497	1,896	
z	0,005	3,408	2,693	3,766	3,380
y	0,005	2,245	0,749	2,994	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Endring av elementstørrelse med 8 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

Akse retning	Elementnett [m]	X1	X2	Xx	SKF
z(ovenfra)	0,020	1,547	1,249	1,696	1,389
z(underfra)	0,020	1,100	1,136	1,081	
z(ovenfra)	0,015	1,632	1,305	1,795	1,550
z(underfra)	0,015	1,254	1,150	1,306	
z(ovenfra)	0,010	1,751	1,224	2,015	1,700
z(underfra)	0,010	1,329	1,218	1,385	
z(ovenfra)	0,005	1,939	1,578	2,120	1,838
z(underfra)	0,005	1,480	1,329	1,555	

Skilleark

Modell med eller uten Endeplate

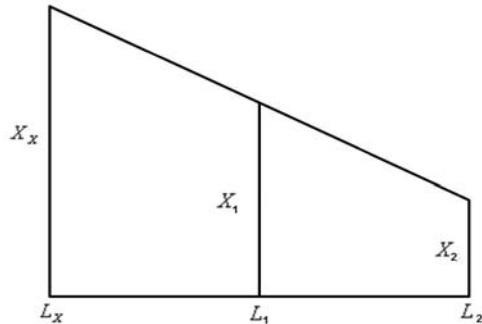
Hulprofil Sveist til Knuteplate

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, orthogonal overgang

Parameteranalyse: Med/uten endeplate, 3 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell: Spennings parametre:

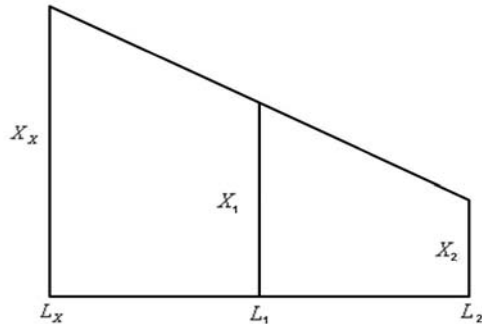
Akse retning	Tettningsplate [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	Nei	3,658	2,481	4,246	3,017
x	Nei	1,370	0,537	1,787	
z	Ja	3,431	2,345	3,974	2,817
x	Ja	1,271	0,495	1,659	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Med/uten endeplate, 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

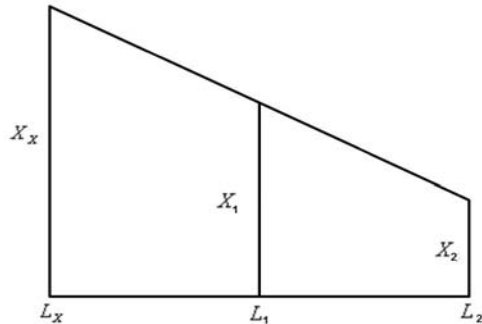
Akse retning	Tettningsplate	X1	X2	Xx	SKF
z overside	Nei	2,032	1,600	2,248	1,920
z underside	Nei	1,485	1,271	1,592	
z	Ja	1,346	0,896	1,572	1,511
x	Ja	1,374	1,221	1,450	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: Med/uten endeplate, 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsretning Endring av modell Spennings parametre:

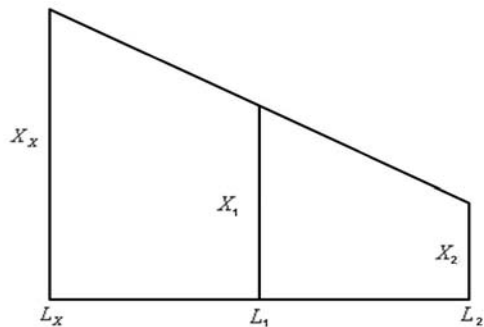
Akse retning	Sveiselengde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	Nei	3,102	2,146	3,580	2,746
x	Nei	1,438	0,492	1,911	
z	Ja	2,822	1,968	3,249	2,459
x	Ja	1,217	0,313	1,669	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: Med/uten endeplate, 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

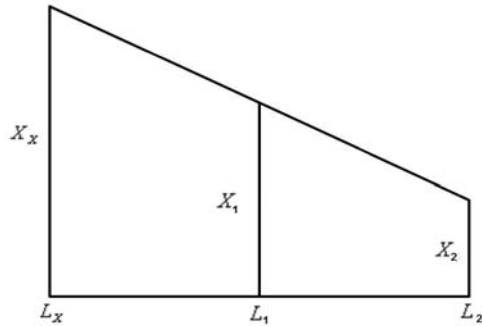
Akse retning	Tettningsplate	X1	X2	Xx	SKF
z (ovenfra)	Nei	1,894	1,566	2,058	1,776
z (underfra)	Nei	1,408	1,236	1,494	
z	Ja	1,205	0,965	1,325	1,340
z	Ja	1,290	1,157	1,356	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: Med endeplate, 8 knt. Firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretinger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

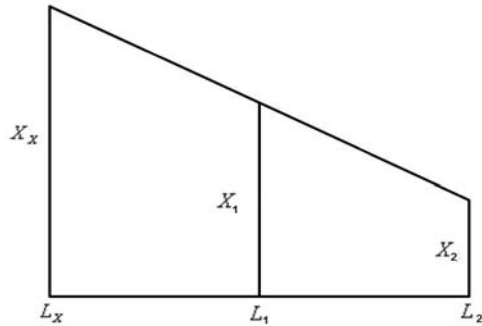
Akse retning	Tettningsplate	X1	X2	Xx	SKF
z	Nei	2,643	2,098	2,916	2,406
x	Nei	1,430	0,497	1,897	
z	Ja	2,490	1,991	2,739	2,155
x	Ja	1,154	0,321	1,571	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Med/uten endeplate, 8 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

Akse retning	Tettningsplate	X1	X2	Xx	SKF
z (ovenfra)	Nei	1,751	1,224	2,015	1,700
z (underfra)	Nei	1,329	1,218	1,385	
z	Ja	1,102	0,904	1,201	1,242
z	Ja	1,249	1,181	1,283	

Spissovergang når gusset platen er oppmyket med en radius

Skilleark

Oppmyket/Ikke Oppmyket Modell

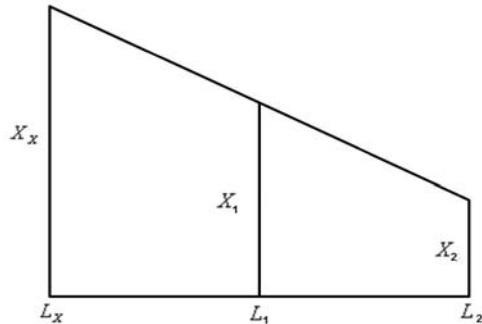
Hulprofil Sveist til Knuteplate

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: ikke oppmyket knuteplate, 3 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

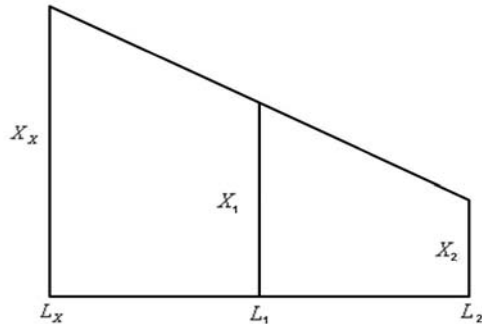
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,040	3,644	2,438	4,247	3,099
x	0,040	1,504	0,610	1,951	
z	0,025	3,658	2,484	4,245	3,016
x	0,025	1,370	0,537	1,787	
z	0,001	3,268	2,288	3,758	2,804
x	0,001	1,459	0,677	1,850	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Ikke oppmyket knuteplate, 3 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

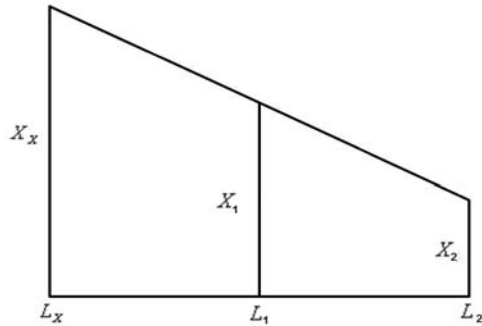
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z overside	0,040	2,005	1,618	2,198	1,909
z underside	0,040	1,507	1,280	1,621	
z	0,025	1,988	1,601	2,182	1,894
x	0,025	1,495	1,271	1,606	
z	0,001	2,005	1,618	2,198	1,909
x	0,001	1,507	1,280	1,621	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, orthogonal overgang

Parameteranalyse: Oppmyket knuteplate, 3 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

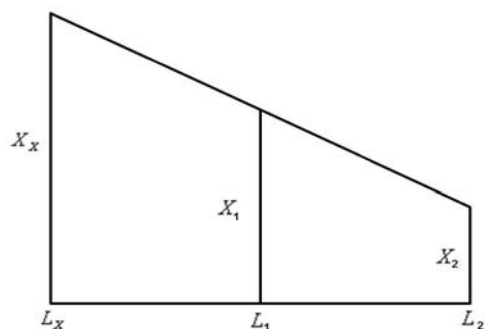
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,040	3,319	2,299	3,829	2,824
x	0,040	1,391	0,534	1,819	
z	0,025	3,024	2,144	3,464	2,444
x	0,025	1,038	0,266	1,424	
z	0,001	2,405	1,821	2,696	2,356
x	0,001	1,452	0,323	2,016	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Oppmyket knuteplate, 3 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

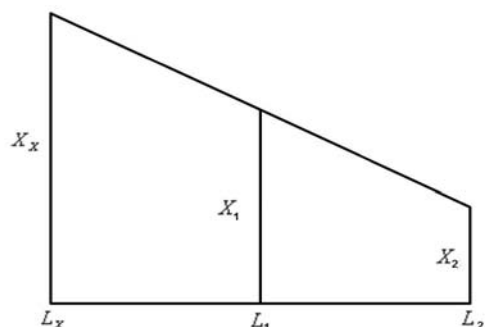
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,040	2,017	1,625	2,214	1,919
x	0,040	1,511	1,285	1,624	
z	0,025	2,179	1,761	2,388	2,058
x	0,025	1,601	1,345	1,729	
z	0,001	2,195	1,787	2,399	2,076
x	0,001	1,624	1,366	1,753	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: ikke oppmyket knuteplate, 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

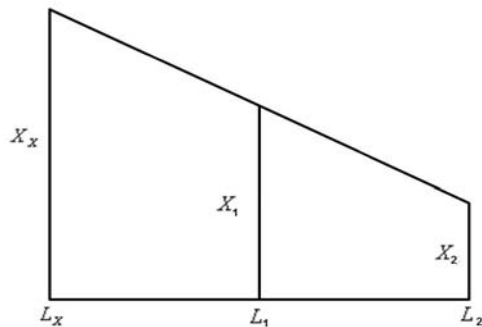
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,040	3,083	2,141	3,554	2,738
x	0,040	1,409	0,385	1,921	
z	0,025	3,067	2,135	3,532	2,662
x	0,025	1,310	0,349	1,791	
z	0,001	2,813	2,002	3,219	2,466
x	0,001	1,255	0,338	1,713	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Ikke oppmyket knuteplate, 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

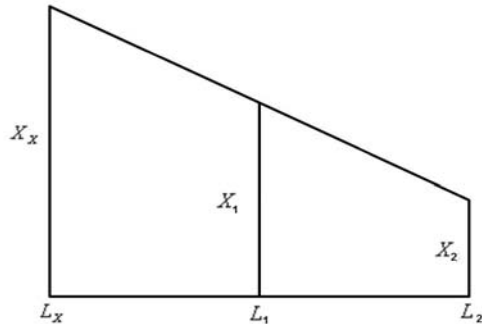
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z(ovenfra)	0,040	1,867	1,545	2,029	1,747
z (underfra)	0,040	1,385	1,222	1,466	
z	0,025	1,887	1,565	2,049	
z	0,025	1,408	1,236	1,494	
z	0,001	1,911	1,591	2,070	
z	0,001	1,426	1,236	1,521	
z	0,001	1,426	1,236	1,521	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: Oppmyket knuteplate, 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

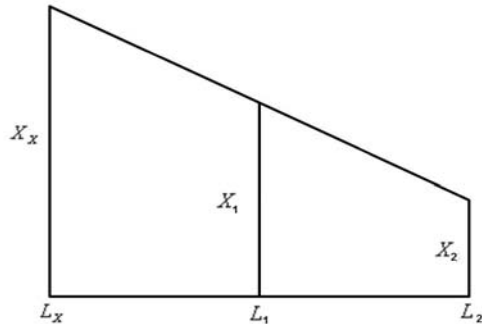
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,040	2,793	1,979	3,200	2,490
x	0,040	1,369	0,547	1,780	
z	0,025	2,590	1,880	2,945	2,145
x	0,025	0,931	0,102	1,346	
z	0,001	2,101	1,609	2,347	1,891
x	0,001	1,117	0,482	1,435	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Oppmyket knuteplate, 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

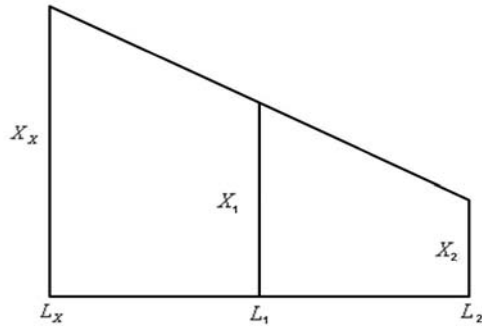
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,040	1,922	1,599	2,084	1,806
x	0,040	1,430	1,233	1,528	
z	0,025	2,068	1,722	2,240	1,926
x	0,025	1,505	1,295	1,611	
z	0,001	2,100	1,760	2,270	1,956
x	0,001	1,532	1,313	1,642	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: ikke Oppmyket knuteplate, 8 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

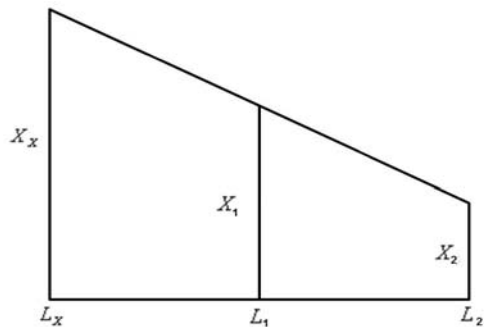
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,040	2,652	2,103	2,927	2,402
x	0,040	1,431	0,537	1,878	
z	0,025	2,643	2,098	2,915	2,312
x	0,025	1,255	0,350	1,708	
z	0,001	2,388	1,959	2,603	2,142
x	0,001	1,218	0,289	1,682	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Ikke oppmyket knuteplate, 8 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

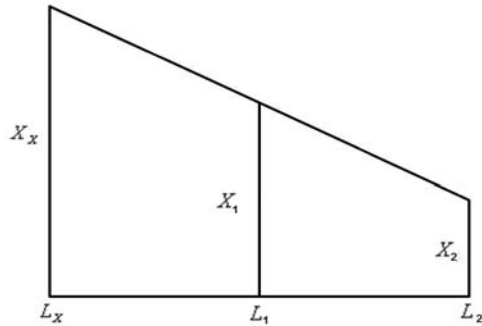
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z(ovenfra)	0,040	1,723	1,308	1,930	1,612
z (underfra)	0,040	1,323	1,383	1,294	
z	0,025	1,758	1,386	1,944	1,658
z	0,025	1,415	1,500	1,372	
z	0,001	1,906	1,591	2,064	1,732
z	0,001	1,344	1,230	1,400	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, ortogonal overgang

Parameteranalyse: Oppmyket knuteplate, 8 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

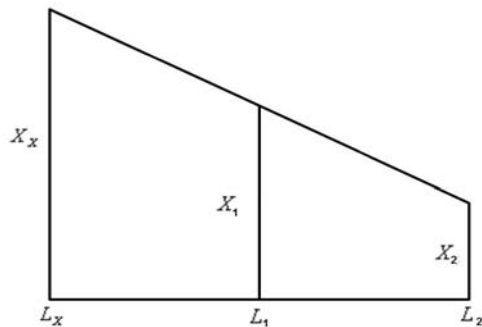
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,040	2,391	1,944	2,614	2,187
x	0,040	1,334	0,481	1,760	
z	0,025	2,244	1,850	2,441	1,854
x	0,025	0,893	0,145	1,267	
z	0,001	1,798	1,582	1,906	1,579
x	0,001	0,883	0,145	1,251	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Oppmyket knuteplate, 8 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av x og y retning
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,040	1,783	1,431	1,959	1,684
x	0,040	1,351	1,234	1,409	
z	0,025	1,916	1,550	2,098	1,770
x	0,025	1,437	1,429	1,442	
z	0,001	1,953	1,590	2,134	1,827
x	0,001	1,451	1,313	1,520	

Skilleark

Endring av Sveiselengde

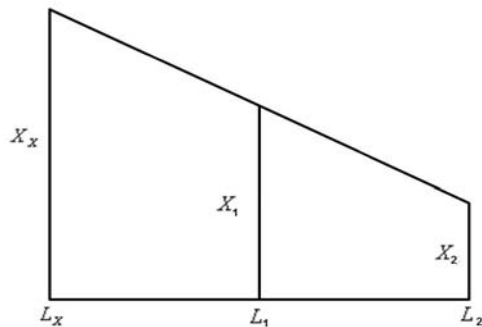
Hulprofil Sveist til Knuteplate

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, orthogonal overgang

Parameteranalyse: Endring av sveiselengde med 3 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretinger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

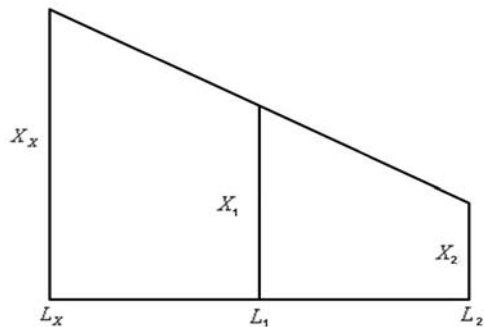
Akse retning	Sveiselengde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,230	4,381	2,971	5,086	4,050
x	0,230	2,170	0,483	3,013	
z	0,330	3,338	2,153	3,931	3,019
x	0,330	1,705	0,904	2,106	
z	0,430	2,713	2,187	2,975	2,481
x	0,430	1,425	0,302	1,987	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Endring av sveiselengde med 3 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjelende akseretinger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

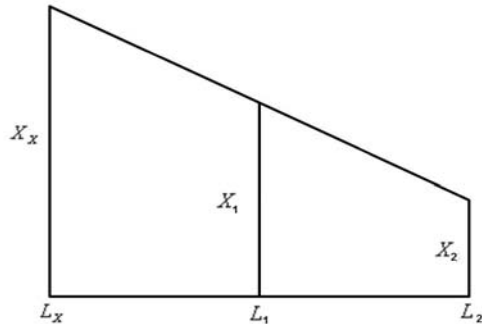
Akse retning	Bredde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z overside	0,230	2,165	1,789	2,353	1,987
z underside	0,230	1,544	1,389	1,622	
z	0,330	1,988	1,601	2,182	1,851
x	0,330	1,469	1,365	1,521	
z	0,430	1,920	1,755	2,002	1,782
x	0,430	1,457	1,251	1,561	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, orthogonal overgang

Parameteranalyse: Endring av sveiselengde med 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

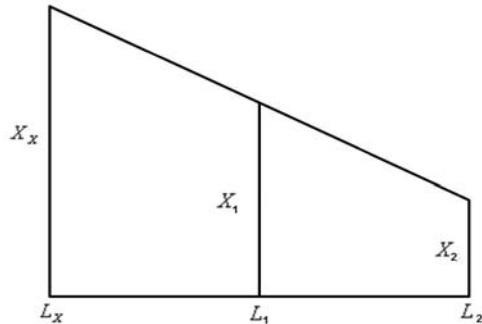
Akse retning	Sveiselengde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,230	3,749	2,585	4,331	3,440
x	0,230	1,910	0,631	2,549	
z	0,330	3,067	2,125	3,537	2,664
x	0,330	1,310	0,349	1,791	
z	0,430	2,686	1,918	3,070	2,351
x	0,430	1,191	0,308	1,633	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Endring av sveiselengde med 6 knt. trekantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

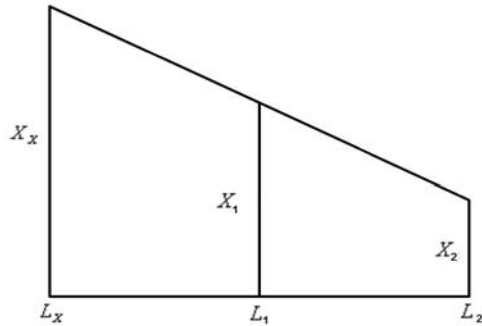
Akse retning	Sveiselengde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z (ovenfra)	0,230	2,077	1,766	2,232	1,905
z (underfra)	0,230	1,477	1,274	1,578	
z	0,330	1,887	1,565	2,049	1,771
z	0,330	1,408	1,236	1,494	
z	0,430	1,810	1,422	2,003	1,739
z	0,430	1,380	1,191	1,474	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, orthogonal overgang

Parameteranalyse: Endring av sveiselengde med 8 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

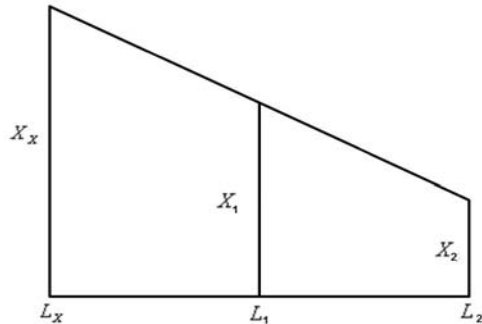
Akse retning	Sveiselengde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z	0,230	3,269	2,555	3,626	2,921
x	0,230	1,651	0,523	2,215	
z	0,330	2,643	2,098	2,915	2,304
x	0,330	1,245	0,350	1,693	
z	0,430	2,330	1,892	2,549	2,026
x	0,430	1,463	1,382	1,503	

Beregnet spenningskonsentrasjonsfaktor etter DNV RP-C203

Konstruksjonsdetalj: RHS sveist til knuteplate, snipet overgang

Parameteranalyse: Endring av sveiselengde med 8 knt. firkantelement

Linearinterpolasjon av geometriskspenning:



$$X_x = \frac{X_1 - X_2}{L_2 - L_1} (L_2 - L_x) + X_2 = \frac{X_1 - X_2}{1.5t - 0.5t} (0.5t - 0t) + X_2 = \underline{\underline{(X_1 - X_2) \cdot 0.5 + X_2}}$$

SKF	Spenningskonsentrasjonsfaktor gj.snitt av gjeldende akseretninger
X1	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L1 (fylles inn av bruker)
X2	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
L1	Punkt 1 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
L2	Punkt 2 for av lesning av spenning (fylles inn av bruker)
Lx	Spenningskonsentrasjonsfaktor av lest i punkt L2 (fylles inn av bruker)
Xx	Spenningskonsentrasjonsfaktor Beregnet i punkt Lx

Beregnet Geometriskspenning:

Parametre Tatt fra DNV RP-C203

Lengde parametre:

Lx	0 x tykkelse
L1	0,5 x tykkelse
L2	1,5 x tykkelse

Spenningsparametre:

Interpoleringsreting Endring av modell Spennings parametre:

Akse retning	Sveiselengde [m]	X1	X2	Xx	SKF
z (ovenfra)	0,230	1,943	1,624	2,102	1,779
z (underfra)	0,230	1,386	1,246	1,456	
z	0,330	1,747	1,400	1,921	1,674
z	0,330	1,441	1,467	1,427	
z	0,430	1,795	1,478	1,954	1,643
z	0,430	1,298	1,227	1,333	