



MASTER/BACHELOROPPGAVE:

TITTEL

Sammenligning av finite element method programvare

FORFATTER(E): GLENN THOMAS JAHR

Dato: 12.05.2012

SAMMENDRAG

Tittel:	Sammenligning av finite element method programvare	Dato : 12.05.12
Deltaker(e)/	Glenn Thomas Jahr	
Veileder(e):	Svein Gautestad	
Evt. oppdragsgiver:	Eget	
Stikkord/nøkkel ord (3-5 stk)	Analyse,FEM,FEA,programvare	
Antall sider/ord:36/ 5188 ord	Antall vedlegg: 0	Publiseringsavtale inngått: ja/nei JA

Kort beskrivelse av master/bacheloroppgaven:

Denne bacheloroppgaven handler om sammenligning av 2 programvarer basert på finite element method. Sammenligningen tar utgangspunkt i 4 forskjellige analyser innen lineær elastisk analyse som kjøres i begge systemene. Begge systemne har fått vise hvordan de tilnærmer seg analysene på en mest mulig realistisk måte. Deretter har jeg sammenlignet oppsettet og resultatene til begge systemene.



Forord

Etter å ha arbeidet noen år innen dataassistert engineering har jeg sett at det er mange aktører på markedet med forskjellige programvarer av varierende kvalitet. Da jeg nå skulle skrive en avsluttende bacheloroppgave dukket ideen opp med å kunne sammenligne 2 forskjellige FEM programvarer. For sammenligningen har jeg lagt til grunn å sammenligne en etablert programvare som er spesialisert mot analyse og et system som er integrert i en CAD-løsning. FEM programvarer som er integrerte i CAD-løsninger har blitt mer og mer populære de siste årene. Men det er også spørsmål å stille ved disse løsningene. Hvor realistiske forutsetninger kan man gjøre? Hvor representative resultater kan de vise?, osv. Dette er spørsmål jeg ønsker å belyse i denne oppgaven. Da valget om hvilke programvare som skulle testes skulle avgjøres falt valget på SolidWorks Simulation og Ansys.

SolidWorks Simulation fordi dette er et program som stadig for flere brukere og er et integrert system i SolidWorks sin CAD-løsning. Ansys fordi dette er et dedikert system med over 40 års forskning og utvikling av FEM analyse programvare. Jeg vil også rette en takk til EDR Medeso AS sin tekniske avdeling på Ansys for å ha vært behjelpelig med og svare på spørsmål jeg har hatt angående Ansys.

Glenn Thomas Jahr, Maura, 12.05.2012



Innholdsfortegnelse

1. Definerings av oppgaven	7
1.1 Bakgrunn og organisering	7
1.1.1 Prosjektorganisasjon.....	7
1.1.2 Organisering av oppgaven.....	7
1.2 Bakgrunn	7
1.3 Utvalg av programvare.....	7
1.4 Modeller	8
1.5 Ansys Workbench vs Ansys Mechanical APDL	8
1.6 Kompetanse	8
1.7 Problemstilling og mål	8
1.7.1 Problemstilling	8
1.7.2 Definerings av begreper i problemstilling	8
1.7.3 Mål	9
1.8 Teoretiske og operasjonelle variabler	9
1.8.1 Teoretiske variabler.....	9
1.8.2 Operasjonelle variabler.....	10
1.9 Analysene	10
2. Teori	11
2.1 Elementmetoden.....	11
2.2 Lineær elastisk analyse.....	11
3. Generelt om analysene	12
3.1 Oppsett	12
3.2 Validitet.....	12
3.3 Reliabilitet	12
3.4 Resultater.....	12
4. Analyse I: Solidmodell.....	13
4.1 Beregningsituasjon	13
4.2 Ansys.....	14
4.2.1 Valg av elementtype.....	14
4.2.2 Elementstrørrelse.....	14
4.2.3 Generering av nettverk	14
4.2.4 Grensebetingelser	15
4.2.5 Krefter	15
4.2.6 Resultater.....	15
4.2.7 Differensiering av nettverk.....	16
4.2.8 Resultater.....	17



4.3 SolidWorks Simulation	18
4.3.1 Valg av elementtype	18
4.3.2 Elementstrørrelse	18
4.3.3 Generering av elementnett	18
4.3.4 Grensebetingelser	19
4.3.5 Krefter	19
4.3.6 Verifisering av resultat	19
4.3.7 Differensiering av nettverk	20
4.3.8 Resultater	20
4.4 Sammenligning Analyse I	21
5. Analyse II: Fagverk	22
5.1 Beregningssituasjon	22
5.2 Ansys	22
5.2.1 Elementtype	22
5.2.2 Elementstrørrelse	22
5.2.3 Generering av nettverk	23
5.2.4 Grensebetingelser	23
5.2.5 Krefter	23
5.2.6 Resultater	24
5.3 SolidWorks Simulation	25
5.3.1 Elementtype	25
5.3.2 Elementstrørrelse	25
5.3.3 Generering av nettverk	25
5.3.4 Resultater	26
5.4 Sammenligning analyse II	26
6. Analyse III: Rørknutepunkt	27
6.1 Beregningssituasjon	27
6.2 Ansys	27
6.2.1 Elementtype	27
6.2.2 Elementstrørrelse	28
6.2.3 Generering av nettverk	28
6.2.4 Grensebetingelser	28
6.2.5 Krefter	28
6.2.6 Resultater	28
6.3 SolidWorks Simulation	30
6.3.1 Elementtype	30
6.3.2 Elementstrørrelse	30
6.3.3 Generering av nettverk	30
6.3.4 Grensebetingelser	31
6.3.5 Krefter	31



6.3.6 Resultater.....	31
6.4 Sammenligning Analyse III	32
7. Analyse IV: Sammenstilling	33
7.1 Beregningsgrunnlag	33
7.2 Ansys.....	34
7.2.1 Kontaktsett	34
7.2.2 Elementtype.....	34
7.2.3 Elementstrørrelse.....	35
7.2.4 Grensebetingelser	36
7.2.5 Krefter	36
7.2.6 Resultater.....	36
7.3 SolidWorks Simulation	37
7.3.1 Kontaktsett	37
7.3.2 Elementtype.....	38
7.3.3 Elementstrørrelse.....	38
7.3.4 Generering av nettverk	38
7.3.5 Grensebetingelser	39
7.3.6 Krefter	39
7.3.7 Resultater.....	39
7.4 Sammenligning analyse IV	40
8. Sammenligning.....	41
8.1 Elementtyper	41
8.2 Nettverk.....	41
8.3 Materialer	41
8.4 Grensebetingelser	41
8.5 Krefter	41
8.6 Resultater.....	41
9. Konklusjon	42
Referanseliste	43



1. Definerings av oppgaven

1.1 Bakgrunn og organisering

1.1.1 Prosjektorganisasjon

Prosjekttittel: Sammenligning av finite element method programvare

Deltagere: Glenn Thomas Jahr

Klasse: 09HBTEKDA

Oppdragsgiver: Eget

Veileder: Svein Gautestad

1.1.2 Organisering av oppgaven

Opgaven er organisert igjennom forskjellige kapitler. Der kapittel 1-2 beskriver oppgavens definerings og aktuell teori, men kapittel 3-7 omhandler de ulike analysene, kapittel 8 er en total sammenligning og kapittel 9 er en hovedkonklusjon.

Det vil være en delkonklusjon/sammenligning etter vær analyse.

1.2 Bakgrunn

Bakgrunnen for prosjektet er et ønske om å undersøke påliteligheten til finite element method programvare. Det finnes i dag mange programvarer som tar utgangspunkt i finite element method (FEM). Enkelte av disse er dedikerte systemer der man kun foretar oppsett og vurdering av analysen, mens andre er integrerte systemer med CAD programvare. Prosjektet vil gå ut på å sammenligne 2 ulike FEM programvarer og se på likheter og ulikheter.

1.3 Utvalg av programvare

Jeg har valgt ut programsystemene Ansys og SolidWorks Simulation. Dette fordi Ansys har mer en 40 års forskning og utvikling av FEM programvare, og er et dedikert system og regnes derfor som det spesialisert og "troverdige" systemet. SolidWorks Simulation har jeg valgt siden de får en større og større brukergruppe og flere tar i bruk SolidWorks Simulation og det vil være interessant å undersøke validiteten til SolidWorks Simulation i forhold til Ansys.

Ansys Skoleversjon har en begrensning på ca. 32000 noder, mens SolidWorks Simulation ikke har noen begrensning. Dette kan selvfølgelig ha innvirkning på resultatet. Jeg vil forholde meg til dette når jeg gjør analysene og optimalisere analysen i forhold til dette.

Versjoner som vil bli teste:

- Ansys Workbench 13.0.0 Academic
- SolidWorks Student Edition 2011/2012



1.4 Modeller

Alle modellene er modellert av undertegnede (Glenn Thomas Jahr) og modellert i SolidWorks 3D CAD. Jeg vil herved presisere at dette ikke vil ha noen betydning for selve analysen at modellene er modellert i CAD modulen til SolidWorks. Da Ansys leser originale SolidWorks filer. Dette vil da ikke ha noe innvirkning på den aktuelle geometrien som skal analyseres.

1.5 Ansys Workbench vs Ansys Mechanical APDL

Ansys har grovt sett 2 hovedmoduler. Den ene kalles Ansys Mechanical APDL og er en modul for ulike analyser og er programmeringsbasert hvor all input blir gjort av brukeren. Fordelen med å kjøre analyser i denne modulen er at man har full kontroll på alle variabler av pre og post prosessering. I Ansys Mechanical APDL har man ca. 150 forskjellige elementtyper å velge i mellom. Ansys Workbench er en platform bygd oppå Ansys APDL som et grafisk brukergrensesnitt. Ansys Workbench har integrasjoner mot de fleste CAD systemer og har et mer grafisk orientert brukergrensesnitt enn, Ansys APDL. Ansys Workbench bruker APDL som motor til å løse ligningene.

Jeg kommer til i denne oppgaven å bruke Ansys Workbench til å gjennomføre analysene, siden jeg her kan importere SolidWorks filene direkte og slipper å konvertere til nøytrale filformater. All inputdata vil bli kvalitetssikkert igjennom at jeg nøye kontrollerer at all input data er riktig.

1.6 Kompetanse

Jeg har min kompetanse innen styrkeberegning og elementanalyse fra skolesammenheng, samt flere års erfaring med bruk av FEM- programvare som applikasjonsingeniør hos ulike forhandlere av teknisk programvare.

1.7 Problemstilling og mål

1.7.1 Problemstilling

Hvor realistisk oppsett har SolidWorks Simulation i forhold til Ansys, og finnes det avvik på resultatene av analysene?

1.7.2 Definerer av begreper i problemstilling

SolidWorks Simulation: En integrert FEM-analyse modul i SolidWorks med mulighet for ulike analyser.

Ansys: FEM-analyse program som brukes til analyse av ulike konstruksjoner innen mekanisk, struktur og fluid analyse.



Realistisk: Med dette menes hvor virkelighetsnært klarer de 2 systemene å tilnærmer seg forutsetningene som er gitt i de ulike analysene.

Oppsett: Dette defineres som forarbeidet til selve analysen. Som definering av materiale, grensebetingelser, laster og definering av elementnettet (også omtalt som mesh).

Avvik: Med dette menes om det finnes forskjeller på resultatene av de ulike analysene.

1.7.3 Mål

- Å komme fram til representative resultater som kan brukes til sammenligning av 2 FEM-analyse programmer.
- Å Sammenligne de 2 FEM-analyse programmene på en slik måte at både validitet og reliabilitet blir i vare tatt, og konklusjonen representativ.

1.8 Teoretiske og operasjonelle variabler

1.8.1 Teoretiske variabler

Her vises en tabell over hvilke analyse metoder som kan brukes til validering av systemene.

Variabel	Beskrivelse
Lineær elastisk analyse	Analyse av konstruksjoner innen for det elastiske området. Materialer som følger Hookes lov som sier at kraft og deformasjon er proporsjonale. Her er også lastene statiske, de legges på og forblir konstante.
Dynamiske laster	Laster som varierer over tid.
Ikke-lineær analyse	Analyse av konstruksjoner som enten er laget av ikke-lineære materialer som f.eks. gummi eller analyse av hva som skjer med konstruksjoner som er belastet inn i det plastiske området.
CDF/Fluid analyse	Analyse av Fluider og gass.
Frekvensanalyse	Analyser av konstruksjonens egensvingninger
Knekking	Analyse av konstruksjoner som kan være utsatt for knekking. F.eks. Bjelker.



1.8.2 Operasjonelle variabler

Her har jeg gjort et utvalg av de teoretiske variablene og i tillegg har jeg tatt med validering som et sentralt punkt. De operasjonelle variablene vil bli behandlet i oppgaven.

Variabler	Beskrivelse
Validering	Det vil bli lagt vekt på hvilke forutsetninger som vil bli tatt for hver analyse samt om det er avvik i oppsett og resultater innen for samme analyse samt en total vurdering av analysene og systemene.
Lineær elastisk analyse	Analyse av konstruksjoner innen for det elastiske området. Materialer som følger Hookes lov som sier at kraft og deformasjon er proporsjonale. Her er også lastene statiske, de legges på og forblir konstante.

1.9 Analysene

Basert på definering av oppgaven og de operasjonelle variablene har jeg valgt ut 4 analyser jeg ønsker å teste systemene i.

Analyse	Beskrivelse
Analyse I: Solidanalyse	Analyse av en modell med solidelementer. Oppsett og resultater (maks summespenning og maks deformasjon) vil inngå i sammenligningsgrunnlaget.
Analyse II: Bjelkeanalyse	Her vil det bli analysert en bjelkemodell med Bjelkeelementer bestående av flere bjelker f.eks. (fagverk, ramme, osv.) Oppsett og resultater (maks deformasjon) vil inngå i sammenligningsgrunnlaget.
Analyse III: Skallanalyse	Det vil bli analysert en tynnvegget konstruksjon med skallelementer. Oppsett og resultater (maks spenning og deformasjon) vil inngå i sammenligningsgrunnlaget.
Analyse IV: Sammenstilling	Her vil det bli analysert en sammenstilling bestående av flere deler. Delene vil ha forskjellige kontakt betingelser mellom seg og dette vil være et sentralt punkt i denne analysen. Oppsett, kontaktsettene og resultatene (maks spenning og deformasjon) vil inngå i sammenligningsgrunnlaget.

2. Teori

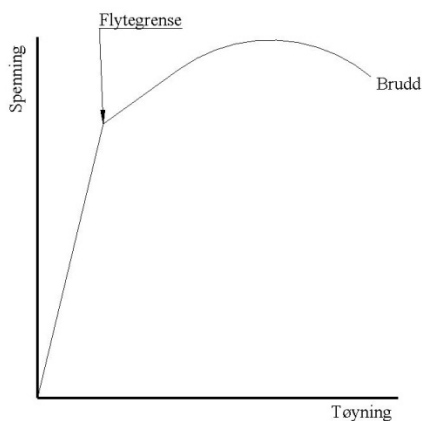
2.1 Elementmetoden

Elementmetoden (*Finite Element Method*) er i dag en av de viktigste numeriske løsningsmetoder innen en rekke problemstillinger som matematisk lar seg beskrive av partielle differensialligninger eller integralligninger. Metoden, slik vi kjenner den i dag, ble utviklet av ingeniører innen styrkeberegninger, som en generalisering av beregningsmetoder for ramme-type konstruksjoner, såkalt matrisestatikk, til 2- og 3-dimensjonale problemer. Utviklingen av metoden, som er nøye knyttet til utviklingen av den digitale datamaskin, startet på 1950-tallet. Flyindustrien ledet an, men også bygningsstatikken kom tidlig med. Anvendelsene spredte seg til andre ingeniørdisipliner, og etterhvert fattet også matematikerne interesse for metoden. Tidlig på 1970-tallet fikk metoden et solid matematisk fundament. *Store Norske leksikon, Elementmetoden [Internettside]. <http://snl.no/elementmetoden> , [Sitert 19.02.2012, oppdatert 02.10.2009]*

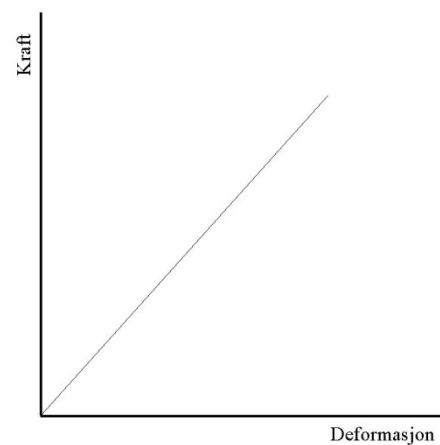
I elementmetoden definerer vi elementstivhet. Det som skjer er at stivhet k defineres for relasjonen mellom hver node på hvert element. Vi tenker oss at hver node forbindes med andrenoder med en fjær som oppfører seg ifølge $F=kx$. Modellen reduseres da til et stort system av fjærer. Når analyse gjøres finnes en verdi for forskyvningen x og kraften F for hver node. Til slutt finnes lokale spenninger i elementet ut fra kraft på hver node og geometri til hvert element (kraft/areal). *Gautestad S, Høgskolen i Gjøvik, [Undervisningsnotat] SolidWorks Simulation FEM, Elementmetoden, [Sitert 19.02.12, utgitt 2009]*

2.2 Lineær elastisk analyse

I lineær elastisk analyse ser vi på konstruksjoner som er belastet innen for flytegrensa. Det elastiske området er definert som det området hvor spenningen ikke fører til varig deformasjon av konstruksjonen. På figur 1 vises sammenhengen mellom spenning og tøyning. Mens på figur 2 vises et eksempel på en sammenheng mellom kraft og deformasjon som er lineær. Det forutsettes at lastene som settes forblir konstante.



Figur 1: Viser sammenheng mellom spenning og tøyning.



Figur 2: Viser sammenheng mellom kraft og deformasjon, lineært.



3. Generelt om analysene

Alle analysene vil bli gjennomført på en slik måte at begge programmene kan få vist sitt potensiale innen for de angitte analysene. Her vises en liste over hvilke parametere som vil bli vektlagt i sammenligningen.

3.1 Oppsett

- Materiale: Vil være det samme for analysene II-IV
 - Stål, E-modul: 210000 N/mm^2 , Poissons ratio: 0.3
 - Analyse I: Aluminium: E-modul: 70000 N/mm^2 , Poissons ratio: 0.33
- Lasttilfelle: Det vil bli vurder hvordan man kan simulere lasttilfellene som er spesifisert i kriteriene.
- Grensebetingelser: Det vil bli vurdert hvordan systemene klarer å simulere grensebetingelsene i forhold til de gitte kriteriene.
- Elementtype: Det vil bli vurdert hvilke muligheter det ligger i programmene til å velge egnet elementtype.
- Elementstrørrelse: Det vil bli vurdert i hvilken grad man kan differensiere nettverket, samt differensiere nettverket i områder med høye lokale spenninger.

3.2 Validitet

Med utgangspunkt i punkt 1.9 og 3.1 der jeg har definert hvilke parameterne jeg vil vurdere i sammenligningen, samt de 4 analysene mener jeg at det er mulig å få en representativ sammenligning av de 2 systemene. Dette på bakgrunn av at det er en variasjon i analysene som vil teste de ulike systemenes tilnærming til ulike konstruksjonstyper, samt at geometri, materiale og lastene vil være de samme for begge systemene som gir systemene et felles utgangspunkt.

3.3 Reliabilitet

Med tanke på reliabilitet så vil det være avhengig av hvordan man gjennomføre de ulike analysene. Jeg kommer til i denne oppgaven og se på hvordan de ulike systemene klarer å gjennomføre analysene på en mest mulig realistisk måte i forhold til de gitte kriteriene. Dette vil ikke nødvendigvis gi helt like forutsetninger i de 2 systemene. Dette vil bli gjort for å gi programmene de beste mulighetene til å vise sitt potensiale inne for de ulike analysene. De parameterne som vil kunne varier mellom de 2 systemene vil kunne være elementtype, elementstrørrelse, grensebetingelser og mulighet for å simulere krefter.

3.4 Resultater

- Resultatene vil bli vurdert i forhold til hverandre og sammenlignet for å se om det er noen avvik og eventuelt hva årsaken til avviket kan være.

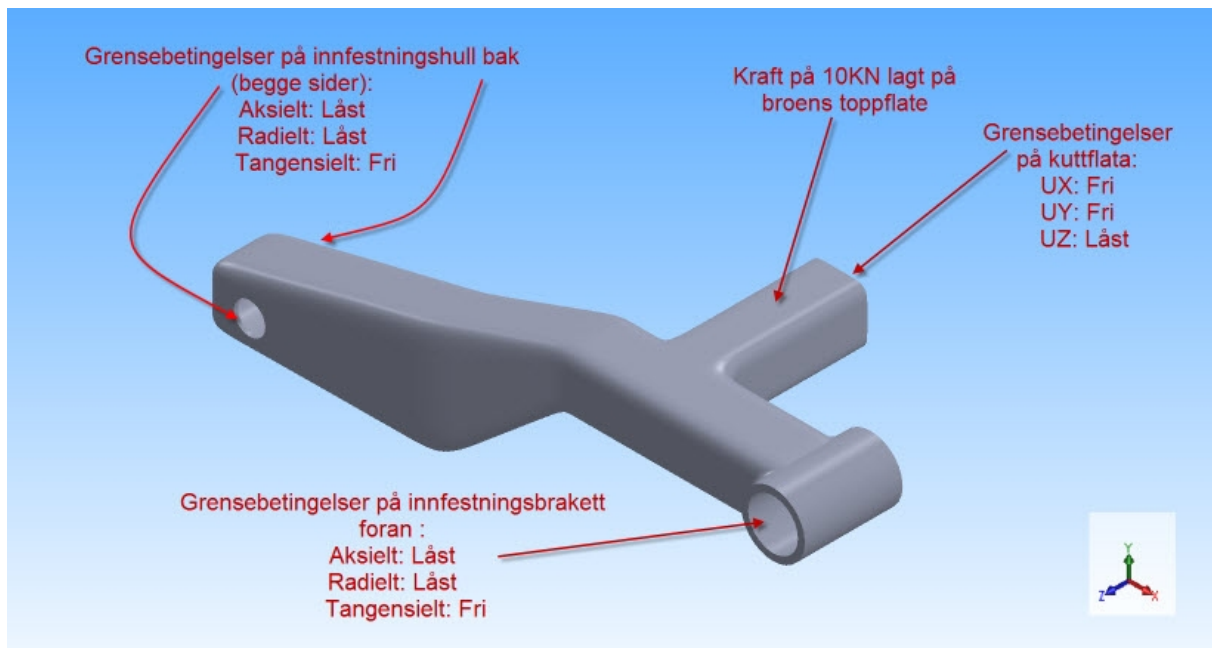
4. Analyse I: Solidmodell

4.1 Beregningsituasjon

Konstruksjonen som skal beregnes er et oppheng som er symmetrisk, derfor deler jeg den i 2 deler for å utnytte meg av dette. En fordel meg å benytte symmetri i denne oppgaven er nettopp å optimaliser nettverket p.g.a at Ansys har en node begrensing på 32000 noder.

Materiale: Aluminium

Figur 3 viser den aktuelle beregningsituasjonen.

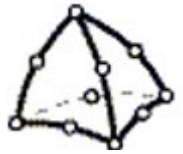


Figur 3: Viser beregningsituasjon for analyse I

4.2 Ansys

4.2.1 Valg av elementtype

Ut i fra elementbiblioteket [Ansys, Help] til Ansys har jeg kommet fram til at jeg ønsker å bruke et Solid187 element til denne analysen. Konstruksjonen er i hovedsak rektangulær, men den har ikke helt rette flater, derfor egner et Solid197 element seg bra fordi det er et fleksibelt element med 10 noder som reflekterer fysikken til konstruksjonen på en god måte.



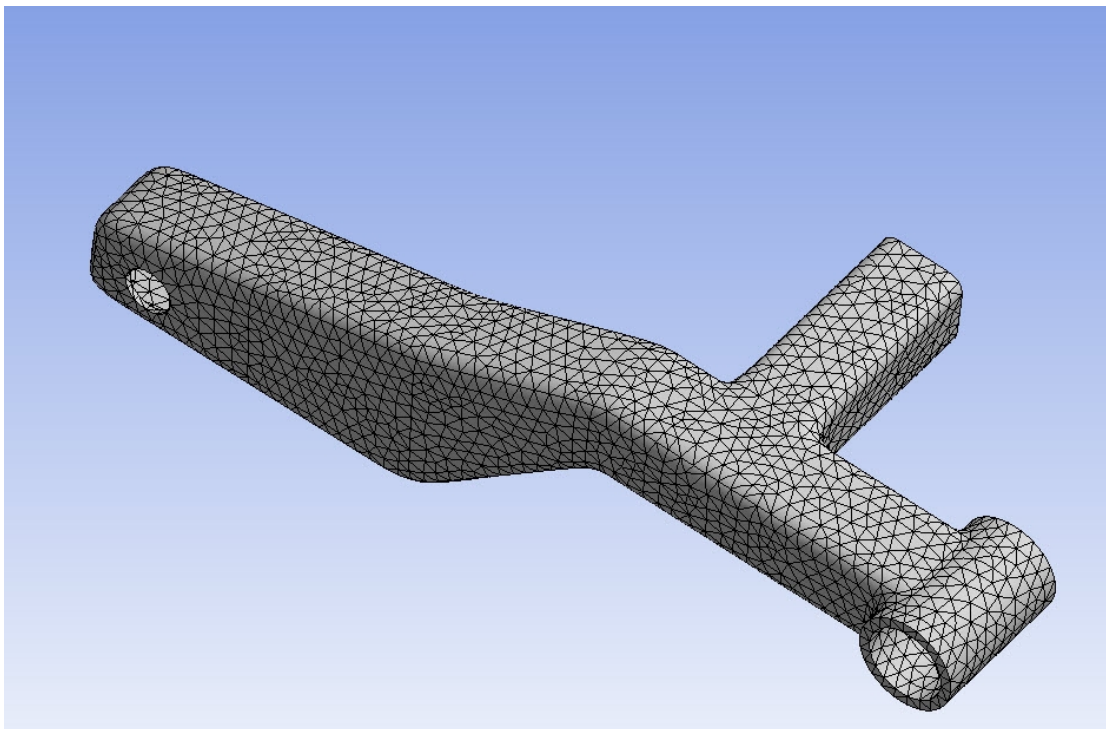
Figur 4: Solid187 element
Kilde: Ansys.

4.2.2 Elementstørrelse

Velger 10 mm som størrelse da er vi innen for grensa på 32000 noder.

4.2.3 Generering av nettverk

Jeg generer elementnettet og får et resultat som på figur 5.



Figur 5: Nettverk generert

4.2.4 Grensebetingelser

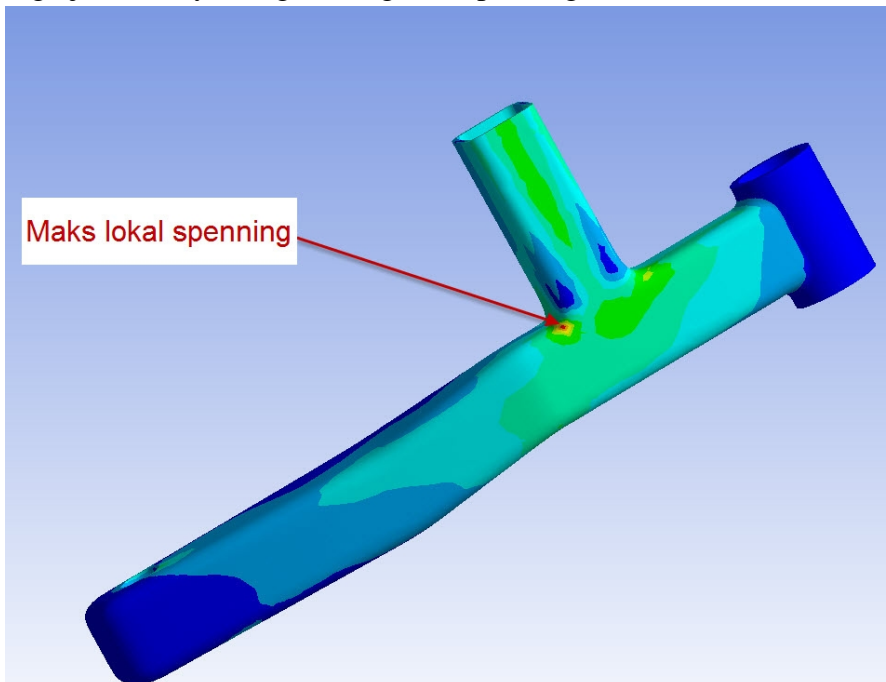
Jeg velger cylindrical support som grensebetingelse på de sylindriske flatene der de er låst i aksiell, radiell retning, men fri i tangentiell retning slik at konstruksjonen kan rotere om opplagringspunktene. På flata som er kuttet midt på broen velger jeg Displacement support med fri i UX,UY og låst i UZ. Da konstruksjonen er symmetrisk skal den ikke forskyve seg i z-retning altså ikke innover i planet.

4.2.5 Krefter

Kraften som virker på broens toppflate er totalt 20KN, siden vi å analysere halvparten passer jeg på å bruke halve kraften 10KN.

4.2.6 Resultater

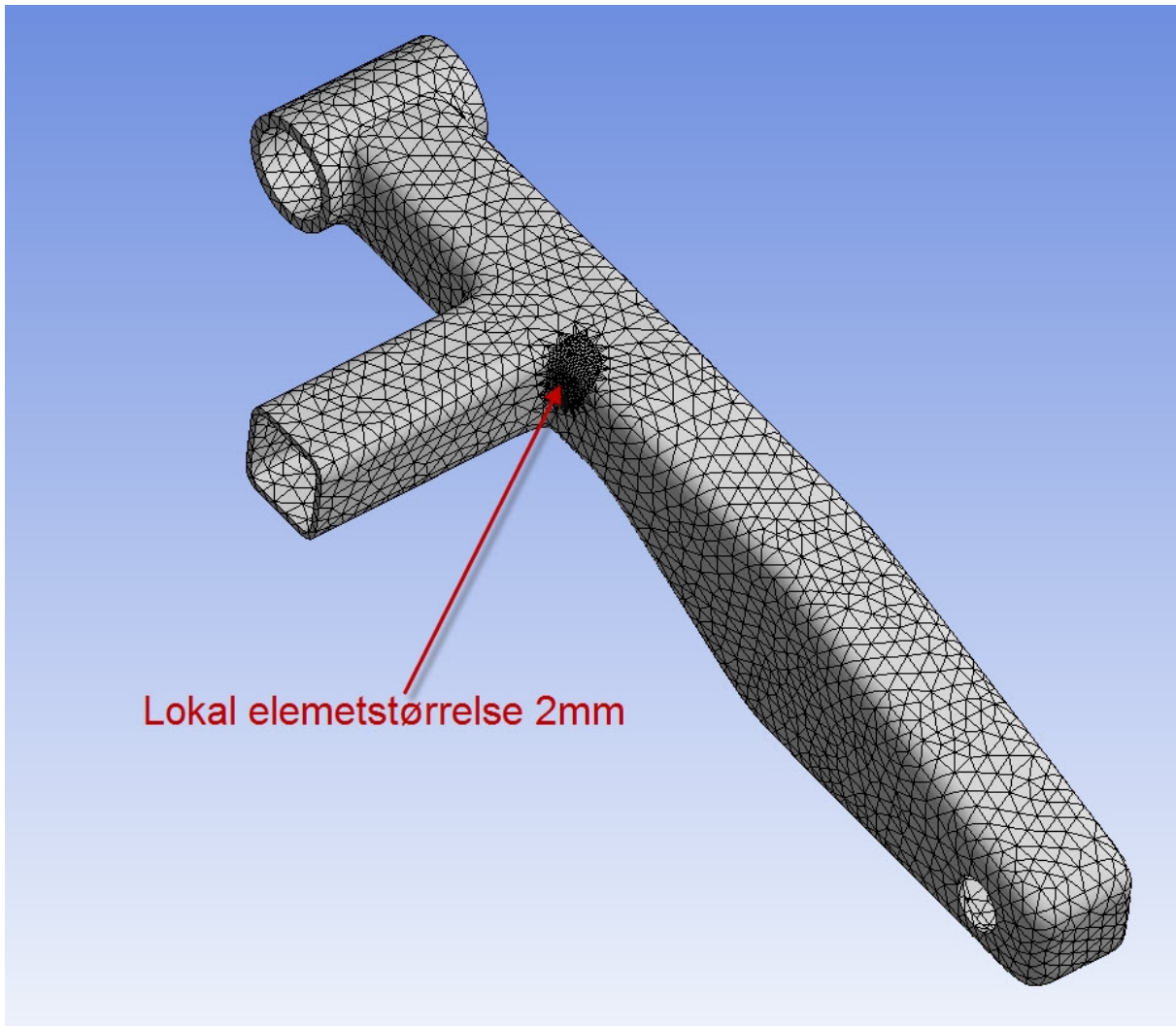
Jeg kjører analysen og for følgende spenningsbilde.



Figur 6: Viser spenningsbilde.

4.2.7 Differensiering av nettverk

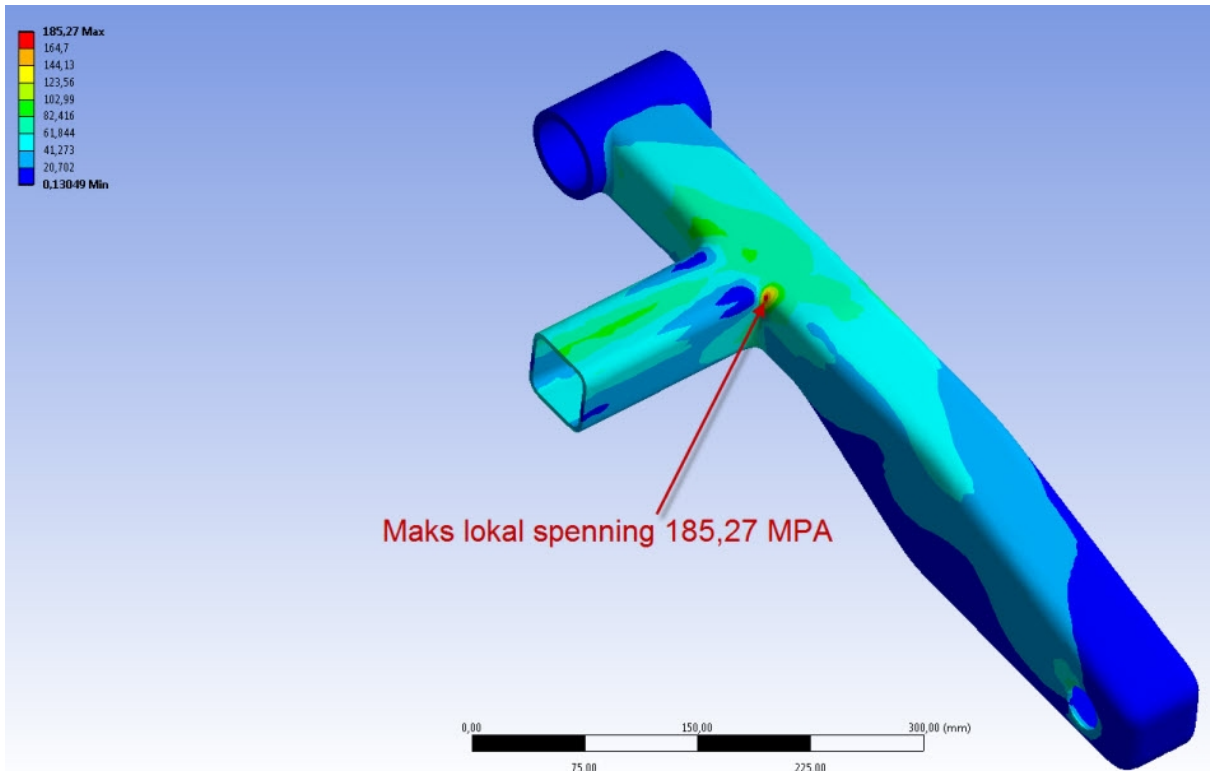
Jeg ønsker å lage et finere nettverk rundt det området med høyest spenning, Jeg avgrensner et område rundt der de høye lokale spenningen opptrer. Jeg endrer elementstørrelsen til 2mm rundt område med høy lokal spenning.



Figur 7: Viser lokal elementstørrelse 2mm

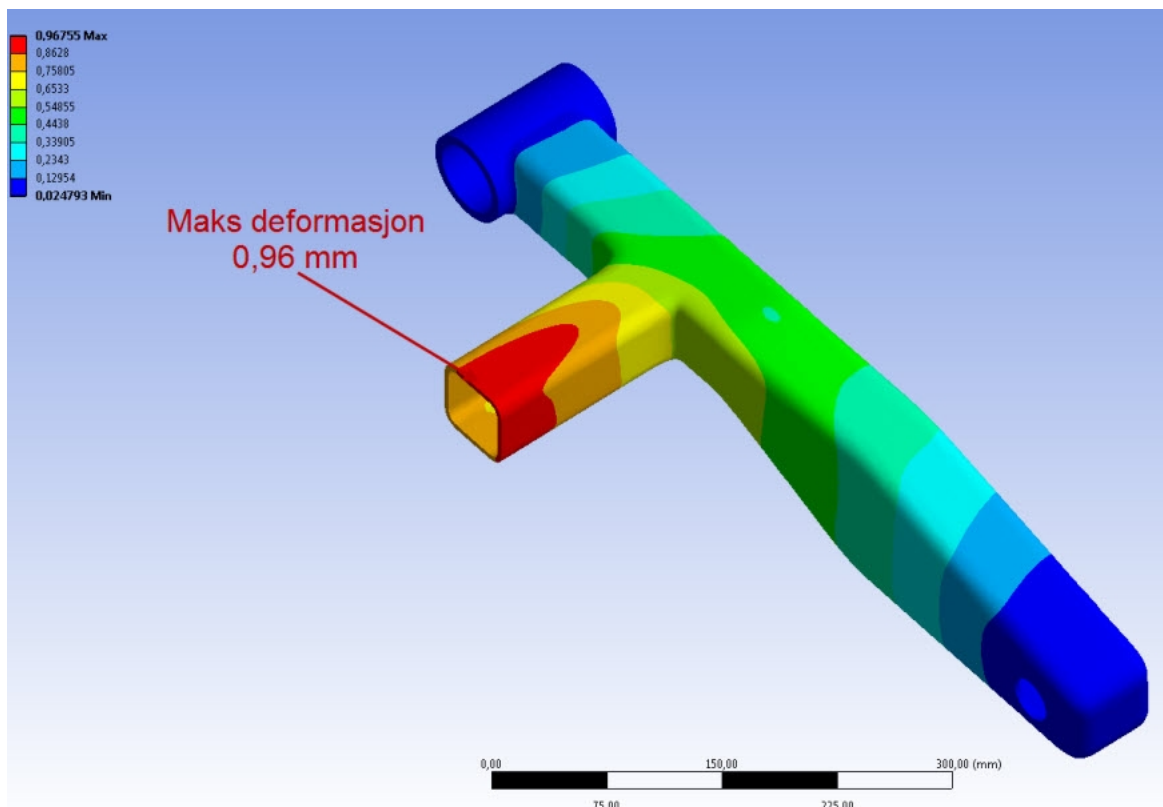
4.2.8 Resultater

Spenning: Jeg kjører analysen og for følgende resultat. Spenningsresultatet viser maks lokal spenning på 185,27 MPA.



Figur 8: Viser Maks lokal spenning

Deformasjon: Deformasjonsbilde viser maks deformasjon på 0,96 mm.

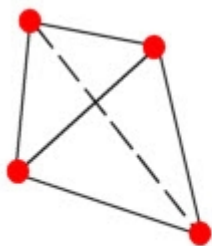


Figur 9: Viser deformasjonsbilde

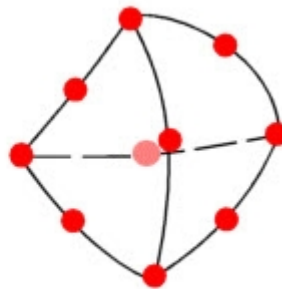
4.3 SolidWorks Simulation

4.3.1 Valg av elementtype

I SolidWorks Simulation kan kun velge i mellom 2 elementer innen de Solide elementtypene. Enten et lineært tetrahedral med 4 noder eller et parabolisk tetrahedral med 10 noder. Jeg velger her det parabolisk tetrahedral elementet med 10 noder fordi et element med flere nodervil fange fysikken til konstruksjonen på en bedre måte.



Linear solid element



Parabolic solid element

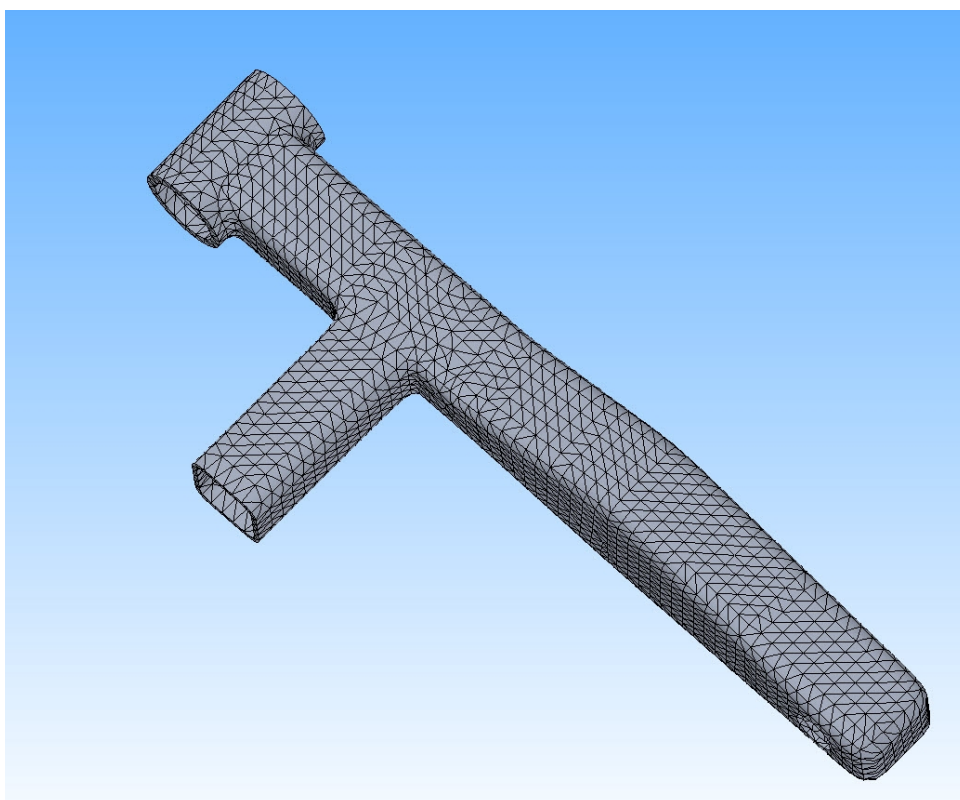
[Kilde: SolidWorks, SolidWorks help]

4.3.2 Elementstrørrelse

Jeg velger samme elementstrørrelse som i Ansys, 10mm og en lokal elementstrørrelse på 2mm i området med høy lokal spenning.

4.3.3 Generering av elementnett

Genererer først med en global elementstrørrelse på 10mm som vist på figur 10.



Figur 10: Global elementstrørrelse 10mm

4.3.4 Grensebetingelser

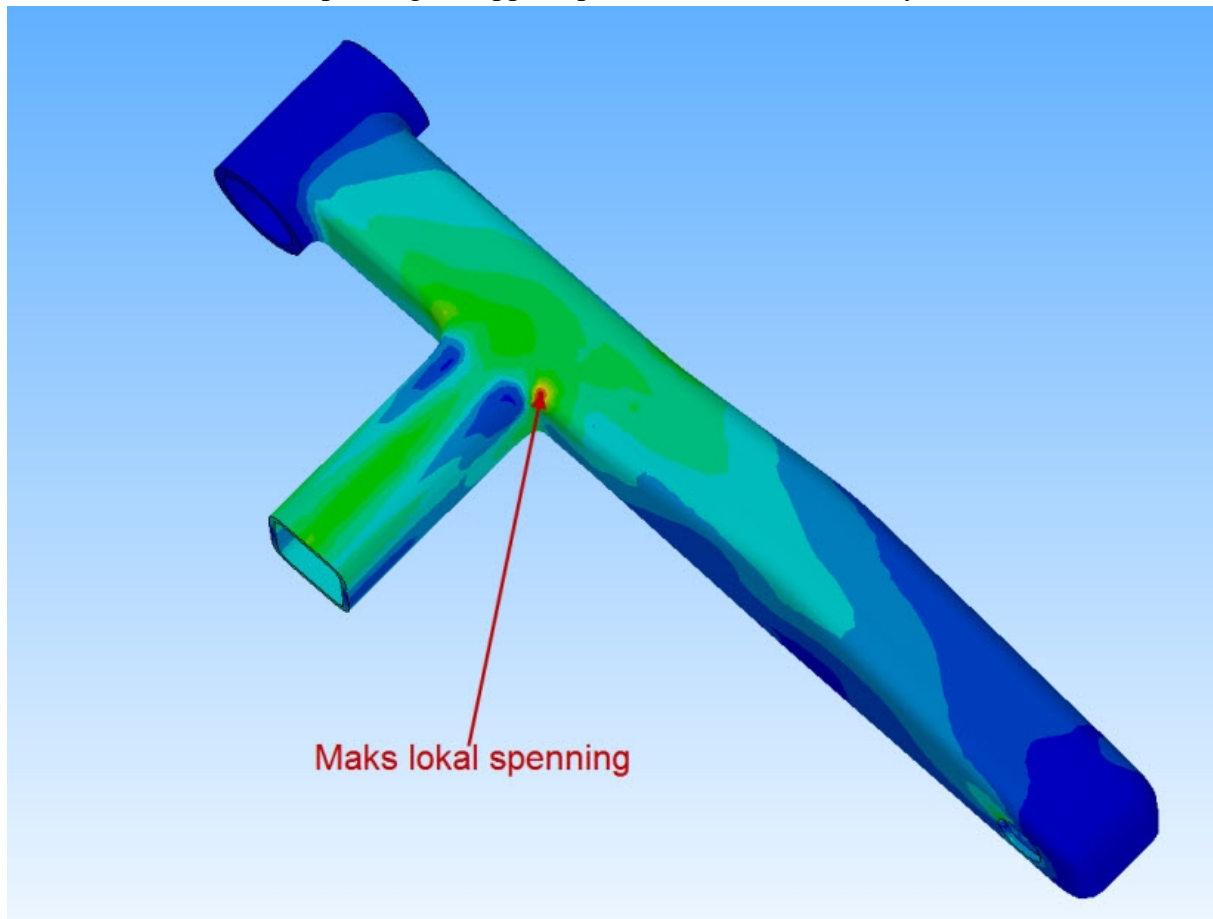
På de sylindriske flatene legger jeg på en fixed hinge som nettopp er til for å kunne simulere en hengsle forbindelse. På kuttflata velger on flat surface med låst i retningen normalt på flata.

4.3.5 Krefter

Kraften legges på topp flata av broen 10KN, hvor kraften virker normalt mot flata. Samme retning som i Ansys.

4.3.6 Verifisering av resultat

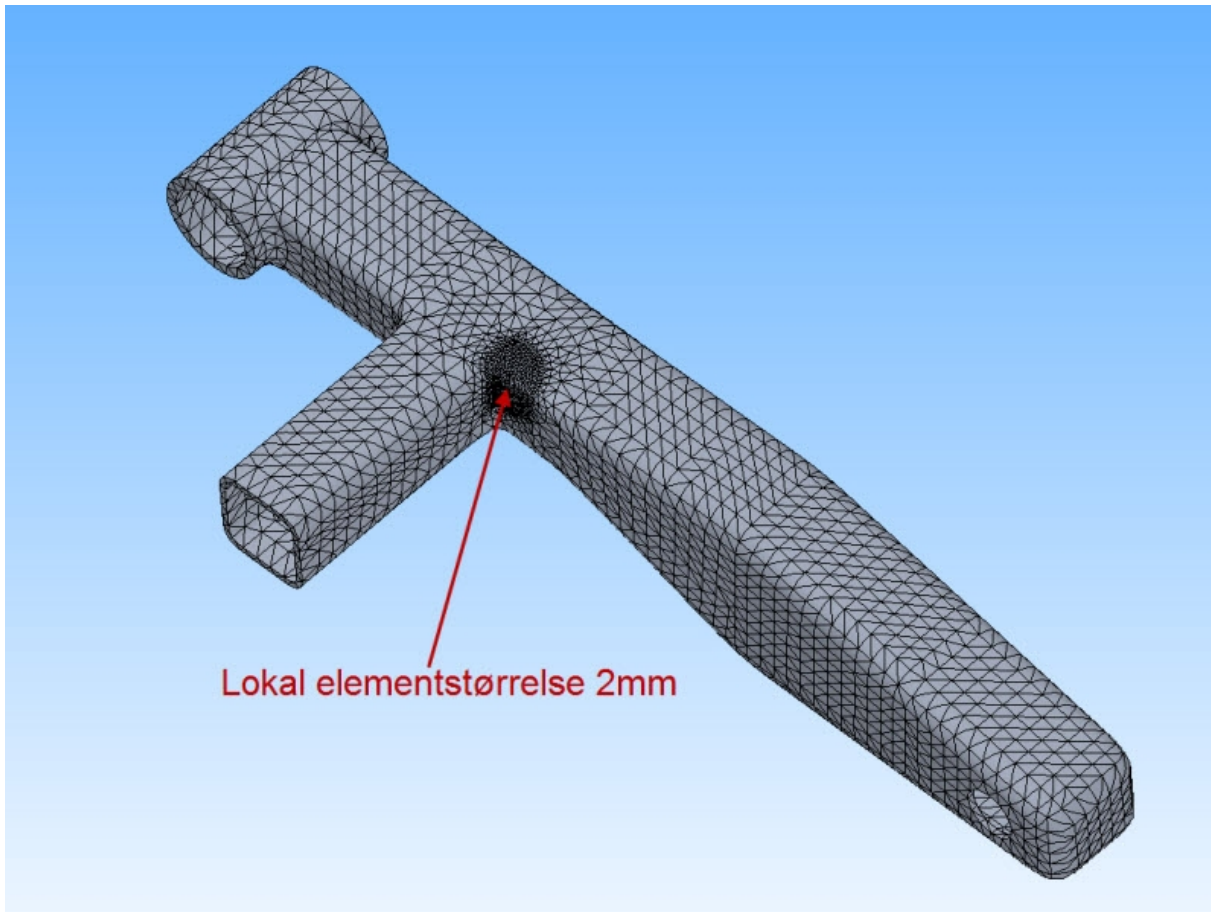
Verifiserer at de lokale spenningene opptrer på samme sted som i Ansys.



Figur 11: Maks lokal spenning

4.3.7 Differensiering av nettverk

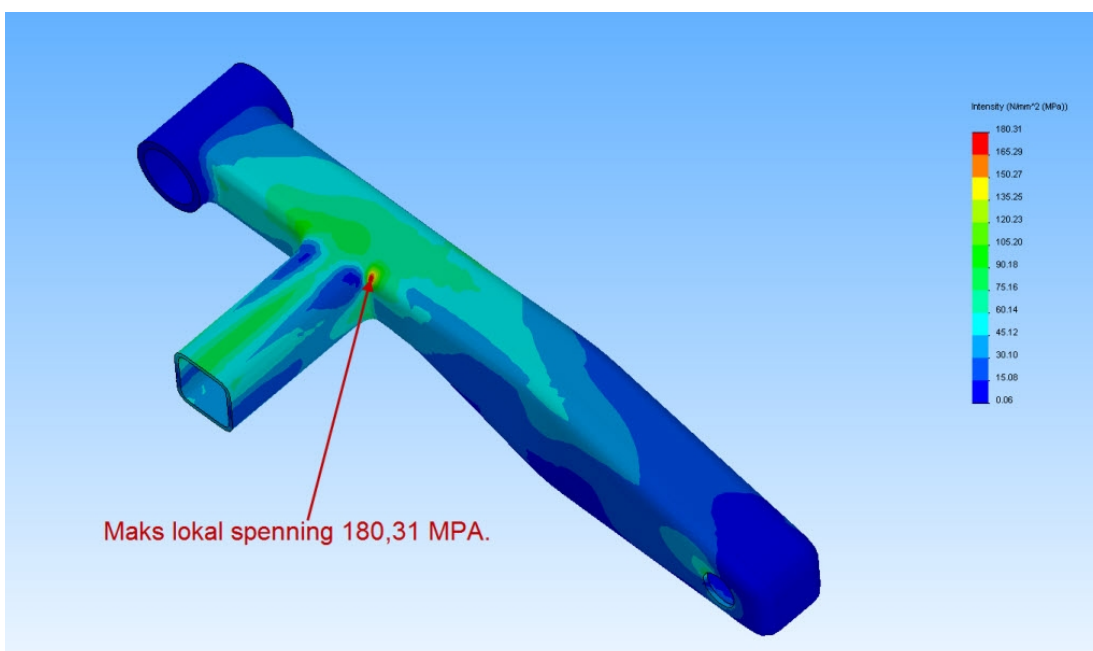
Differensierer nettverket rundt samme område og samme størrelse 2mm som i Ansys.



Figur 12: Viser nettverk med lokal elementstørrelse

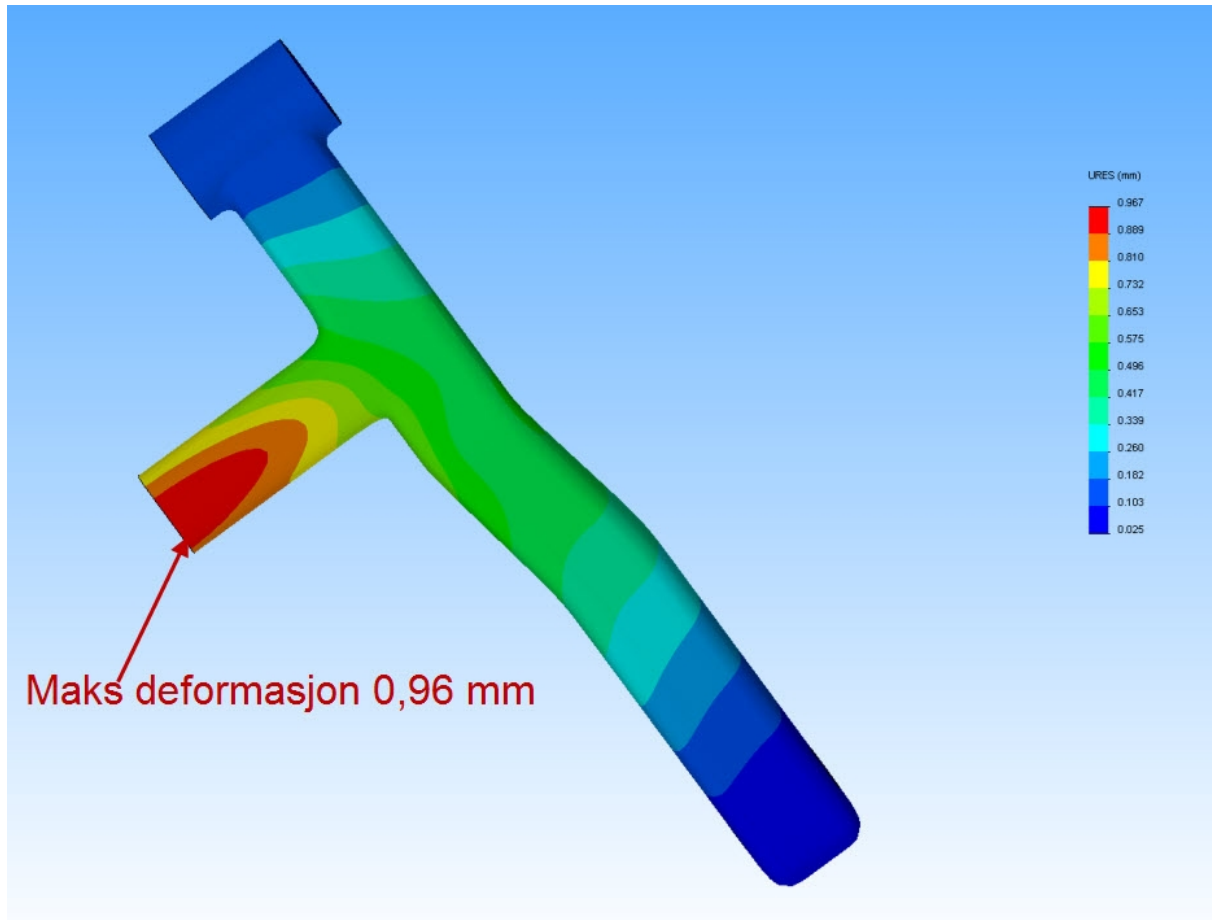
4.3.8 Resultater

Spenning: Figur 13 viser spenningen i konstruksjonen. Maks lokal spenning 180,31 MPA.



Figur 13: Viser maks lokal spenning

Deformasjon: Figur 14 viser maks deformasjon. Maks deformasjoner er 0,96 mm.



Figur 14: Maks deformasjon

4.4 Sammenligning Analyse I

Her er resultatene fra begge systemene satt inn i en tabell.

Spenning[MPa]	Deformasjon[mm]
Ansys: 185,27	Ansys: 0,96
SolidWorks Simulation: 180,31	SolidWorks Simulation: 0,96

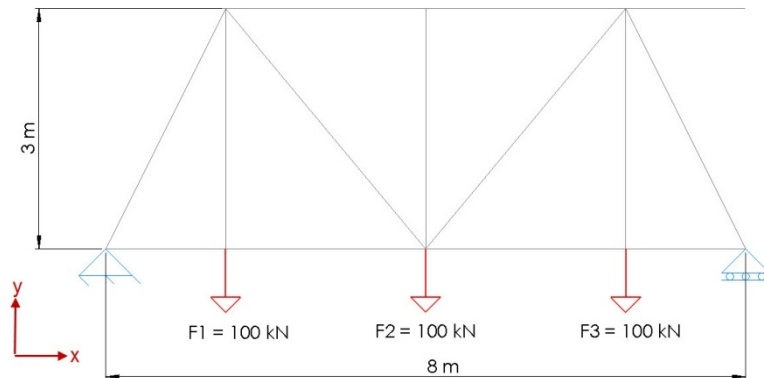
Av oppsett av selve analysene var det ingenting som skiller de 2 systemene fra hverandre begge klarer å simulere både grensebetingelser og krefter på en tilfredsstillende måte i forhold til beregningssituasjonen. Når det gjelder elementtype er det heller ikke store forskjeller i denne analysen da begge er et tetrahedral element med 10 noder. Både generering av elementnett og differensiering fungerer tilfredsstillende og fungerer på samme måte i begge systemene. Når det gjelder resultatene kan vi se at på deformasjon er det ingen forskjell, mens når det gjelder spenningen viser Ansys ca. 5 MPA høyere enn SolidWorks Simulation. Med tanke på at forutsetningen og elementtypen er lik kan nok forskjellen ligge i selve ligningsløseren og nøyaktigheten. Jeg vil allikevel her i denne analysen ikke karakterisere avviket som så stort at det vil være forskjell på påliteligheten til SolidWorks Simulation.

5. Analyse II: Fagverk

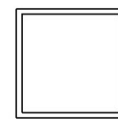
5.1 Beregningsituasjon

Figur 15 viser den aktuelle bereningssituasjonen.

Materiale: Stål



Tverrsnitt :



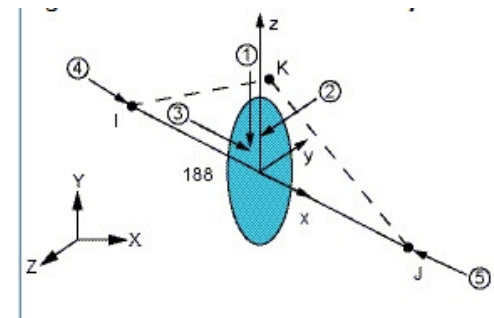
Høyde: 20 cm
Bredde: 20 cm
Tykkelse: 1 cm

Figur 15: Viser Beregningsituasjon for analyse II

5.2 Ansys

5.2.1 Elementtype

Ut i fra elementbibliotek [Ansys, Help] til Ansys ser vi at vi kan velge i mellom 2 elementtyper Beam188 og Beam189. Den vesentlige forskjellen på disse elementene er at Beam189 elementet har en ekstra node på midten, mens Beam188 har 2 noder, 1 på hvert endepunkt. Elementet er formet som en linje. Jeg velger Beam188.



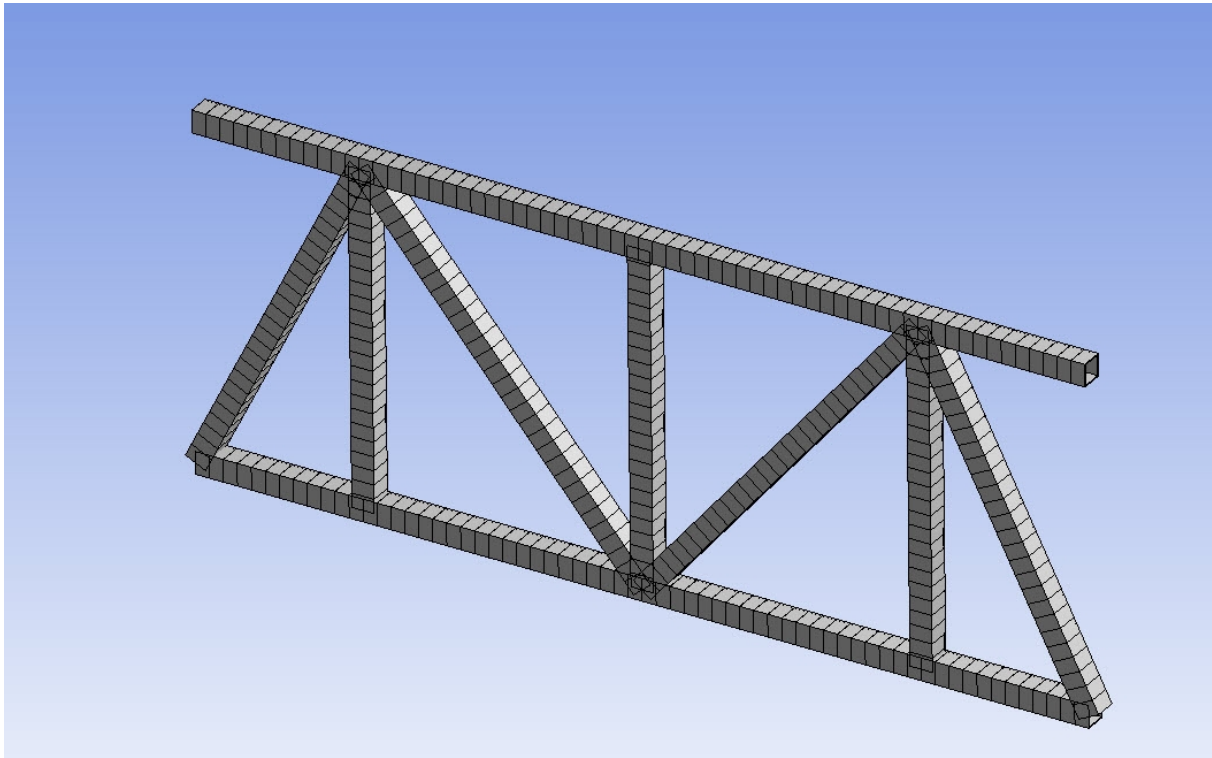
Figur 16: Viser Beam188 elementet. Kilde: Ansys.

5.2.2 Elementstrørrelse

Velger elementstrørrelse på 100mm. Da elementet kun har 2 noder vil det ikke være noe problem med elementstrørrelse i forhold til nodebegrensningene her.

5.2.3 Generering av nettverk

Genererer nettverket som vist på figur 17



Figur 17: Viser Fagverket med nettverk

5.2.4 Grensebetingelser

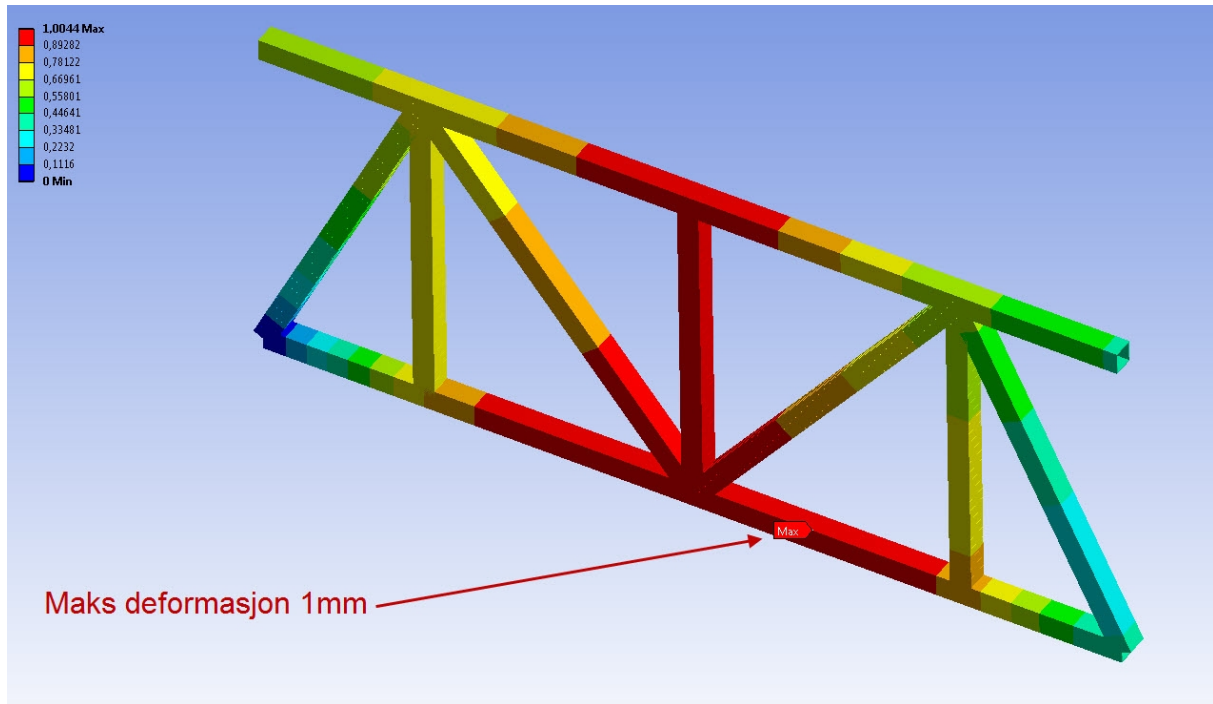
Grensebetingelsene blir satt på hver sin ende som angitt i beregningssituasjonen. På venstre side brukes simple support . Denne supporten er låst i alle translatoriske retning. Mens på høyre side settes det på Displacement support med låst i y-retning slik at konstruksjonen kun kan forskyve seg i x-retning på høyre side. Siden dette er en 3D analyse legges det også på en Displacement support med låst i z-retning på hele konstruksjonen for å definere at dette er en plan konstruksjon som ikke for lov til å bevege seg ut av planet.

5.2.5 Krefter

Kreftene legges på som angitt i beregningssituasjonen med kommandoen force.

5.2.6 Resultater

På figur 18 vises resultatet av deformasjonen.



Figur 18: Viser deformasjon

5.3 SolidWorks Simulation

5.3.1 Elementtype

SolidWorks Simulation har kun en type bjelkeelement [SolidWorks, Help, SolidWorks Help]. Dette elementet er et linjeelement med 2 noder, en på hvert endepunkt.



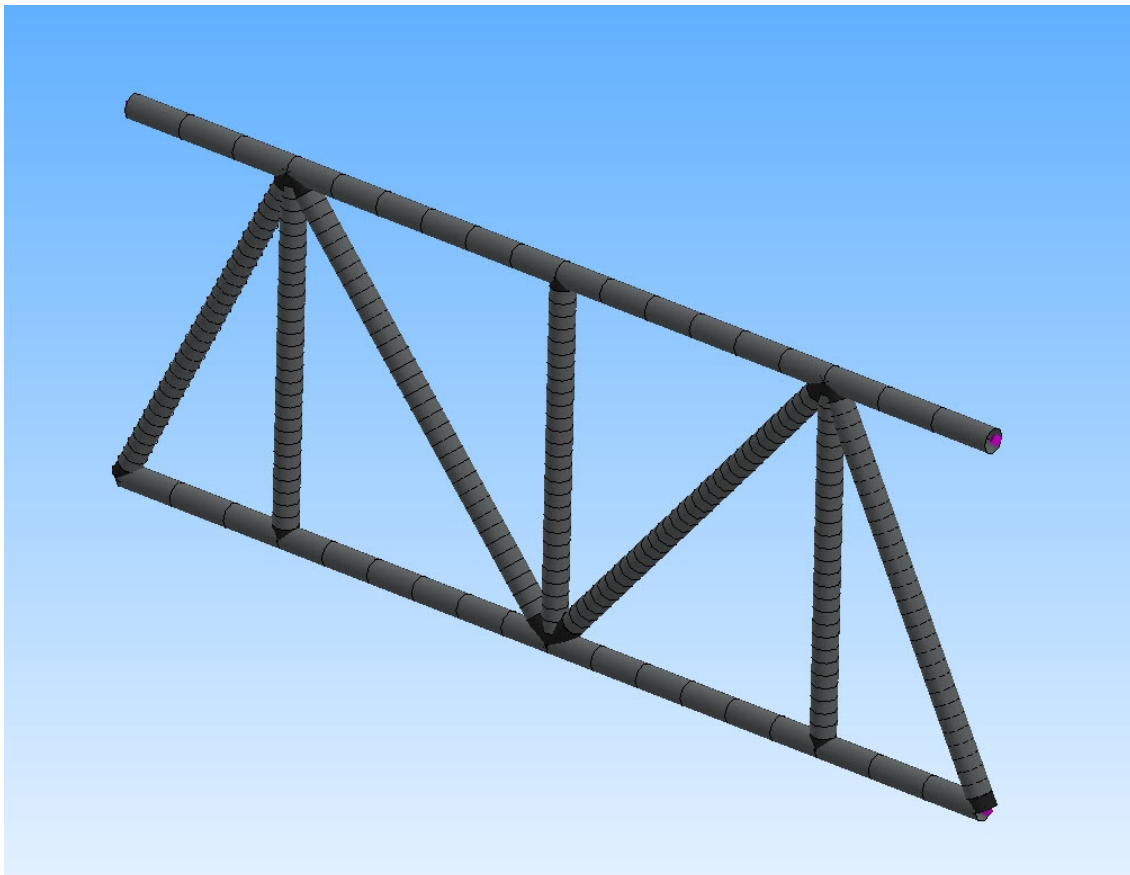
Figur 19: Viser et SolidWorks bjelkeelement Kilde: SolidWorks.

5.3.2 Elementstrørrelse

Bruker samme elementstrørrelse som i Ansys 100 mm.

5.3.3 Generering av nettverk

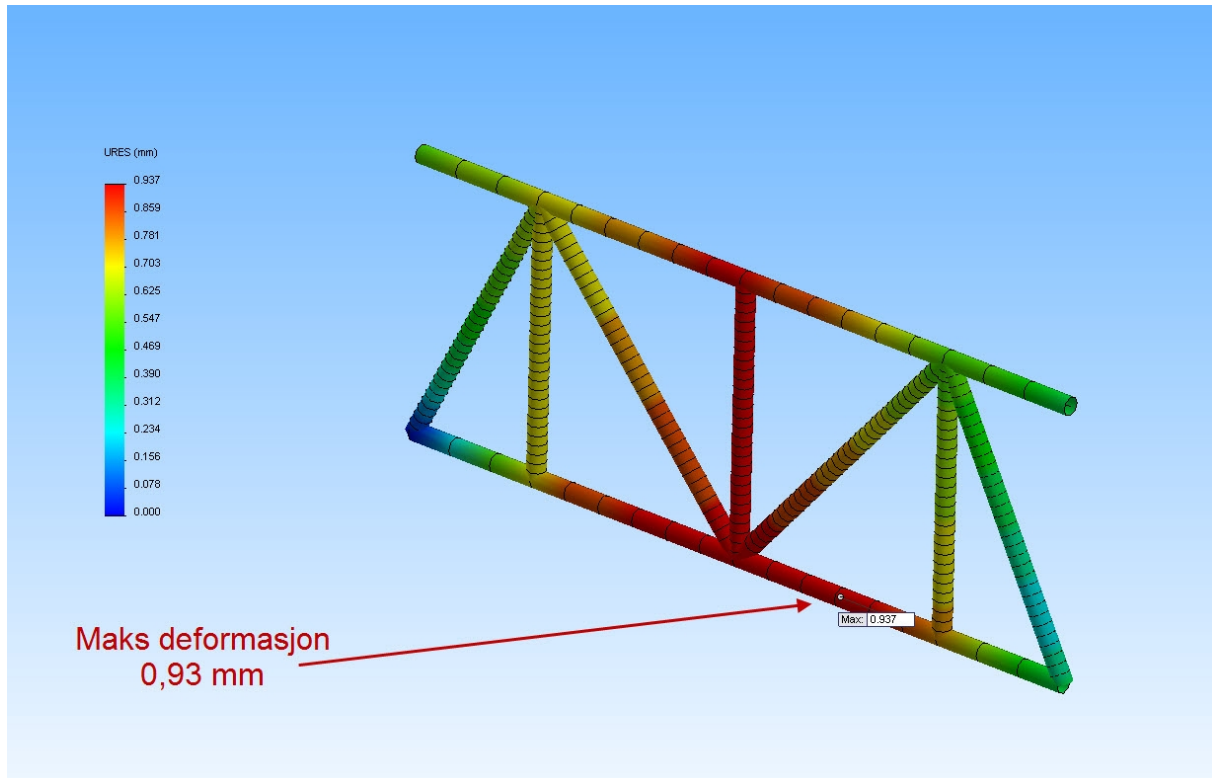
Modellen blir generert med angitt nettverk som vist på figur 20



Figur 20: Viser nettverk på fagverket

5.3.4 Resultater

Resultatet av deformasjonen vises på figur 21



Figur 21: Viser mask deformasjon av fagverket

5.4 Sammenligning analyse II

Her er resultatene fra analyse II

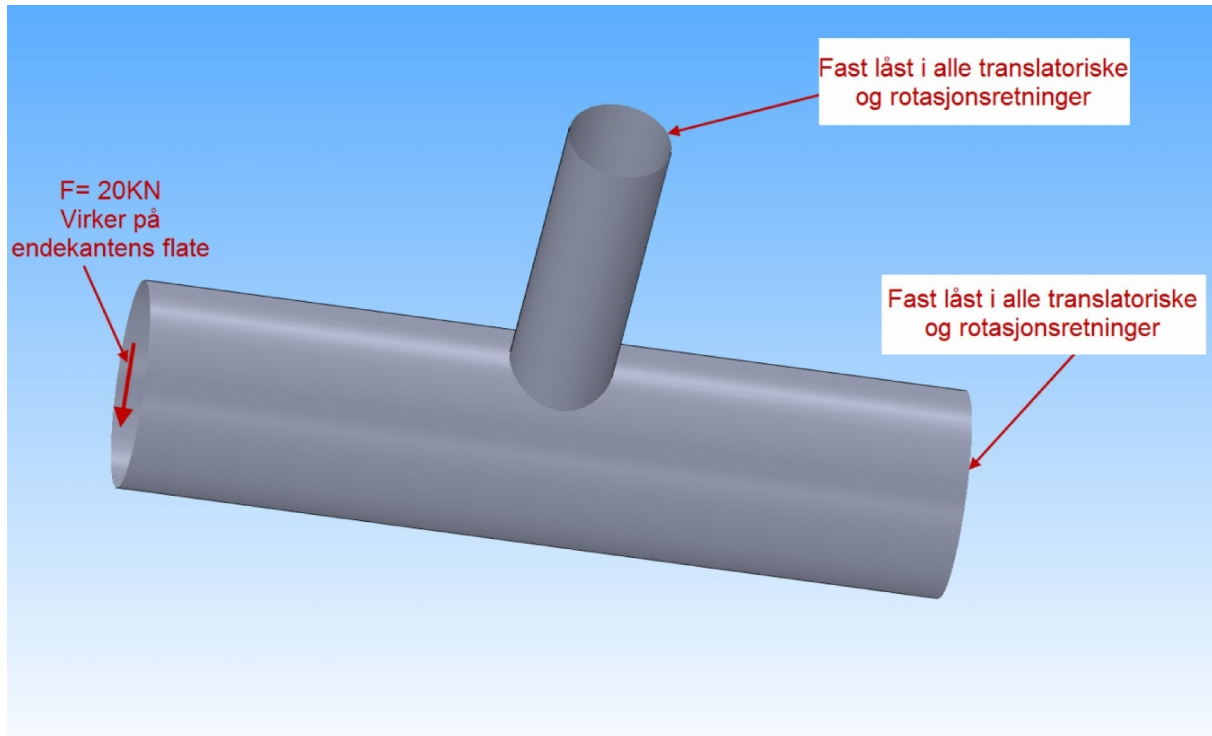
Deformasjon [mm]
Ansys: 1,00
SolidWorks Simulation: 0,93

Differansen i selve resultatene er ikke store i denne analysen 0,07 mm. En analyse av et fagverk er en enkel analyse. Da begge systemene tar utgangspunkt i linjer, hvor man definerer et tverrsnitt. Begge systemene hadde et likt element som utgangspunkt og vi ser at maks deformasjon opptrer ca på samme sted. Det er ikke noe spesielt å kommentere verken på oppsett eller resultater da begge systemer klarer å simulere dette på en tilfredsstillende måte.

6. Analyse III: Rørknutepunkt

6.1 Beregningsituasjon

Figur 22 viser beregningsituasjonen for analyse III.

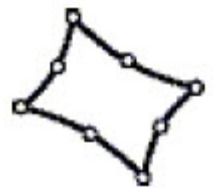


Figur 22: Viser beregningsituasjon for analyse III

6.2 Ansys

6.2.1 Elementtype

Ut i fra Ansys elementbibliotek [Ansys, Help] velger jeg et shell element som er beregnet for tynnveggede konstruksjoner som egner seg bra siden godstykkelsen herer 5 mm. Velger et Shell281 element da dette elementet har flest noder av shell elementene. Et Shell281 element har totalt 8 noder per element som vist på figur 23.



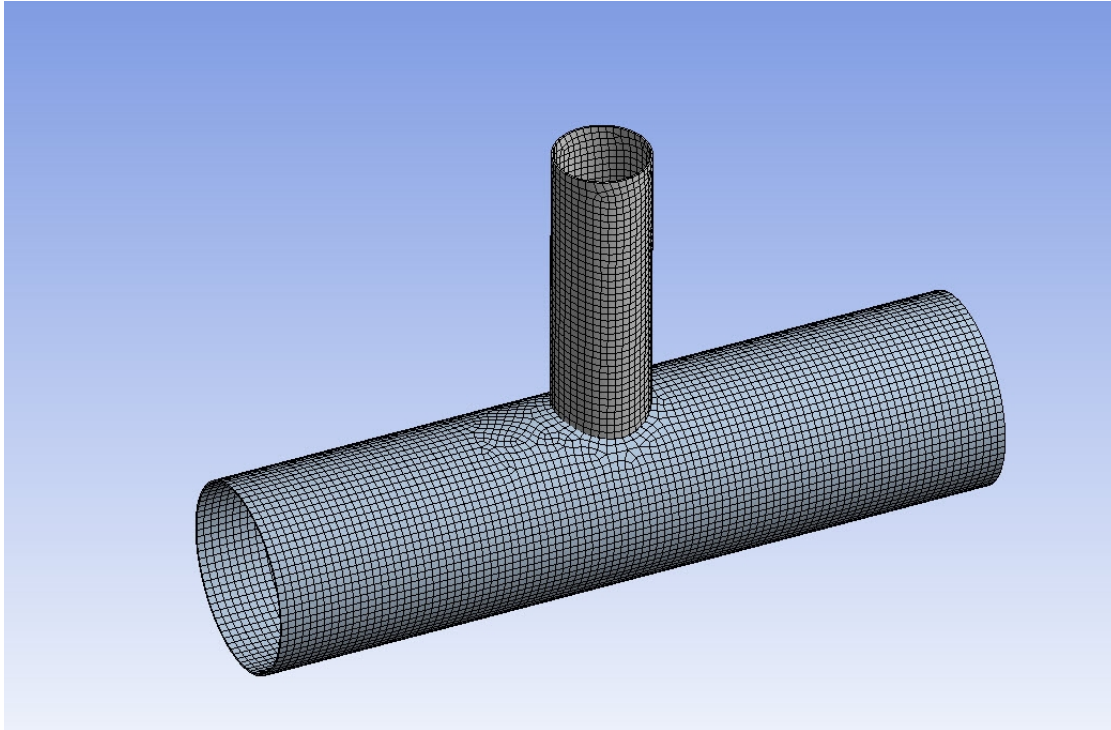
Figur 23: Viser Shell281 element. Kilde: Ansys.

6.2.2 Elementstørrelse

Velger 20mm elementstørrelse. Slik at jeg får en høyoppløsning på nettverket.

6.2.3 Generering av nettverk

Genererer nettverket som vist på figur 24



Figur 24: Viser ferdig generert nettverk

6.2.4 Grensebetingelser

Grensebetingelsene blir satt på med fixed support som angitt i beregningssituasjonen.

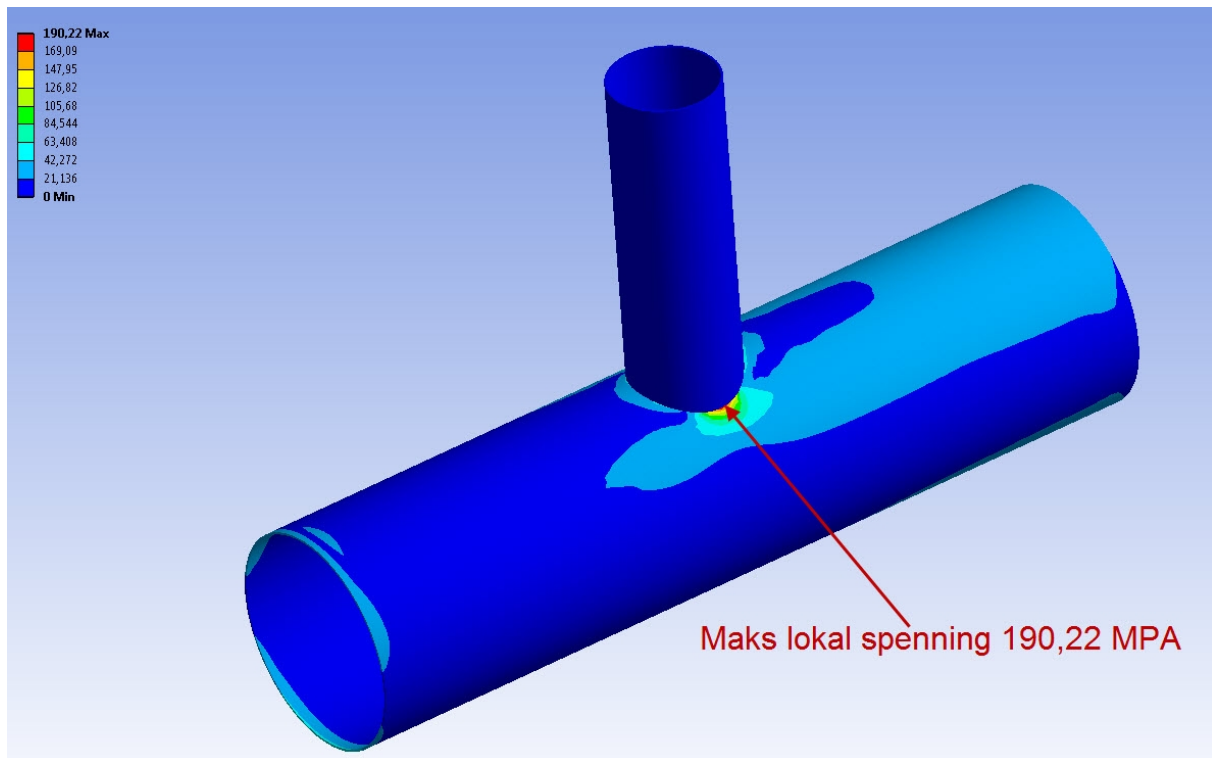
6.2.5 Krefter

Kraften blir satt på med kommandoen force med riktig angitt størrelse og retning.

6.2.6 Resultater

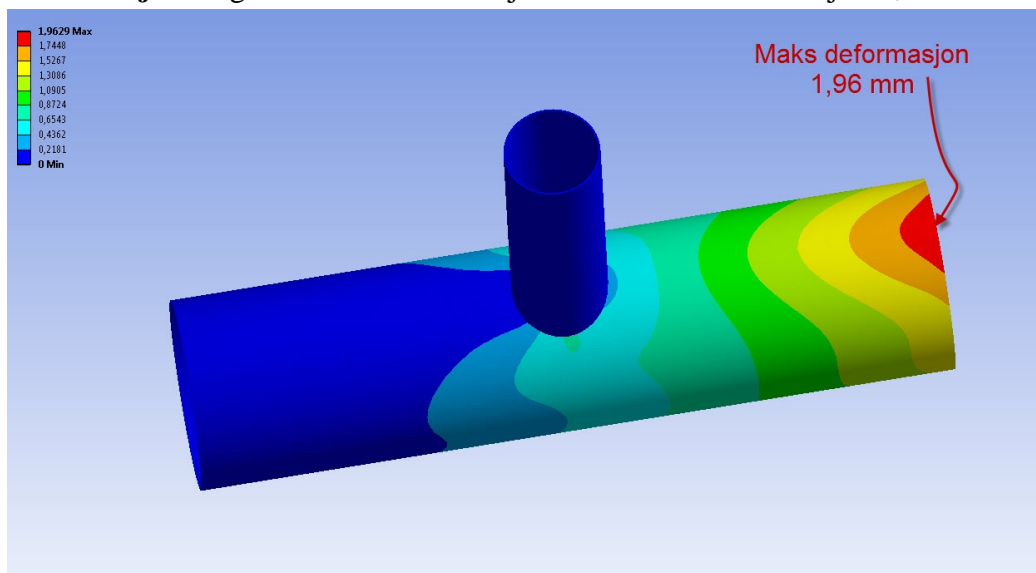
Jeg kjører analysen og for følgende resultat.

Spenning: Figur 25 viser spenningbilde med maks lokal spenning på 190,22 MPA.



Figur 25: Viser deformasjon av analyse III

Deformasjon: Figur 26 viser deformasjonsbilde maks deformasjon 1,96 mm.

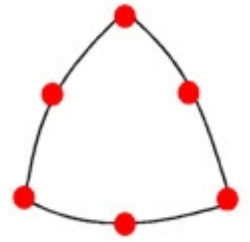


Figur 26: Viser deformasjonsbilde

6.3 SolidWorks Simulation

6.3.1 Elementtype

SolidWorks Simulation har 2 ulike shell elementer [SolidWorks, Help, SolidWorks Help]. Jeg velger det elementet med flest noder. Som er et element med 6 noder som har en parabolisk form som vist på figur 27.



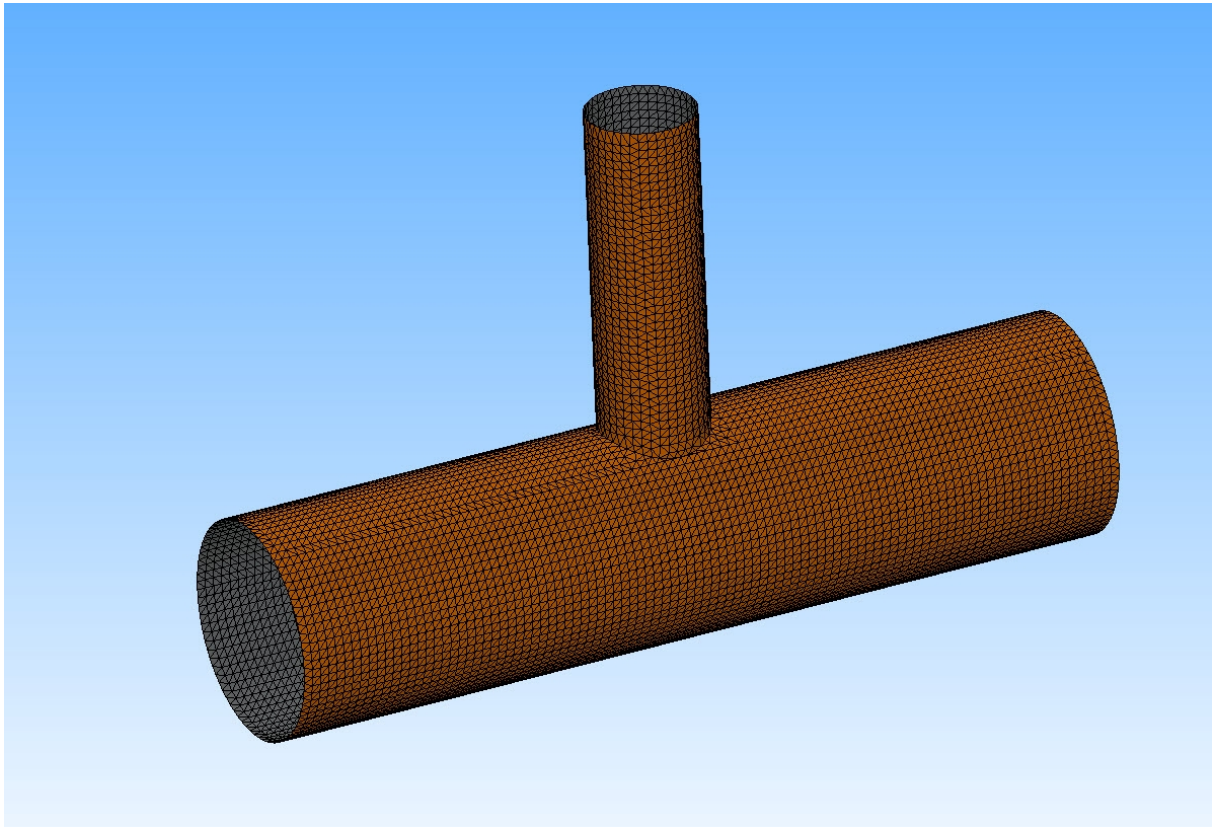
Figur 27: Parabolisk triangulært shell element.
Kilde: SolidWorks.

6.3.2 Elementstrørrelse

Bruker samme elementstrørrelse som i Ansys 20mm.

6.3.3 Generering av nettverk.

Genererer nettverk og får følgende resultat som vist på figur 28.



Figur 28: Viser ferdig generert nettverk

6.3.4 Grensebetingelser

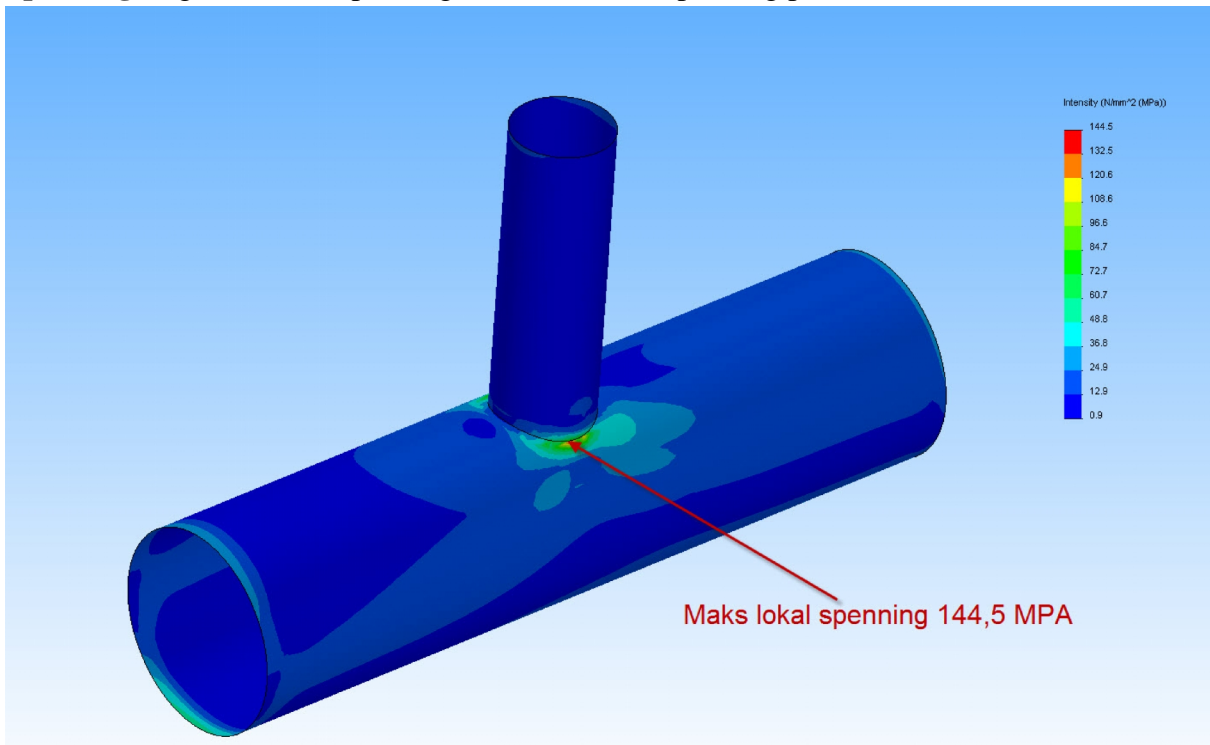
På samme måte som i Ansys bruker jeg `fixed` som grensebetingelse som angitte på kantene i beregningssituasjonen. Grensebetingelsen `fixed` er låst i alle translatoriske og rotasjonsretninger.

6.3.5 Krefter

Kommandoen `force` benyttes for å sette på kraften på 20KN på den ene endeflaten.

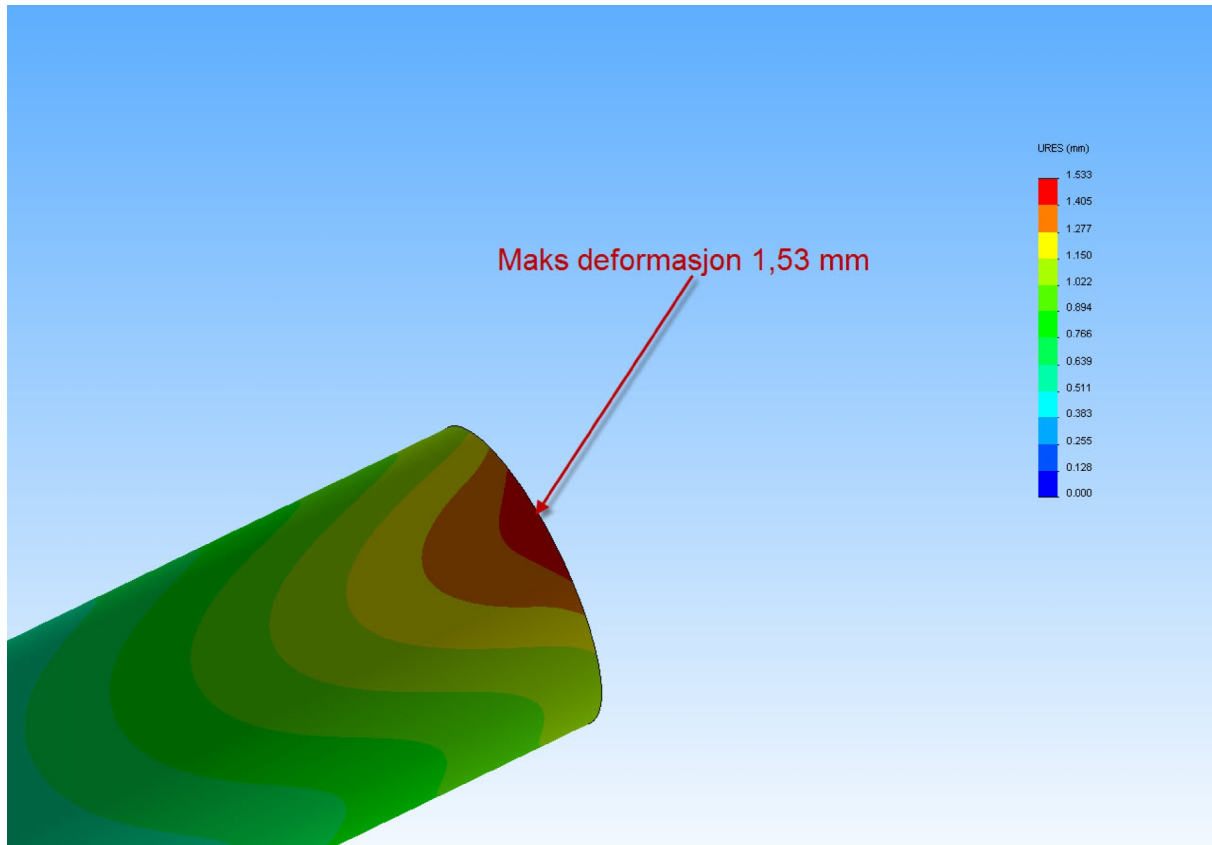
6.3.6 Resultater

Spenning: Figur 29 viser spenningbilde med maks spenning på 144,5 MPA.



Figur 29: Viser maks deformasjon

Deformasjon: Figur 30 viser deformasjonsbilde med maks defomasjon 1,53 mm.



Figur 30: Viser maks deformasjon

6.4 Sammenligning Analyse III

Her vises resultatene i tabellform

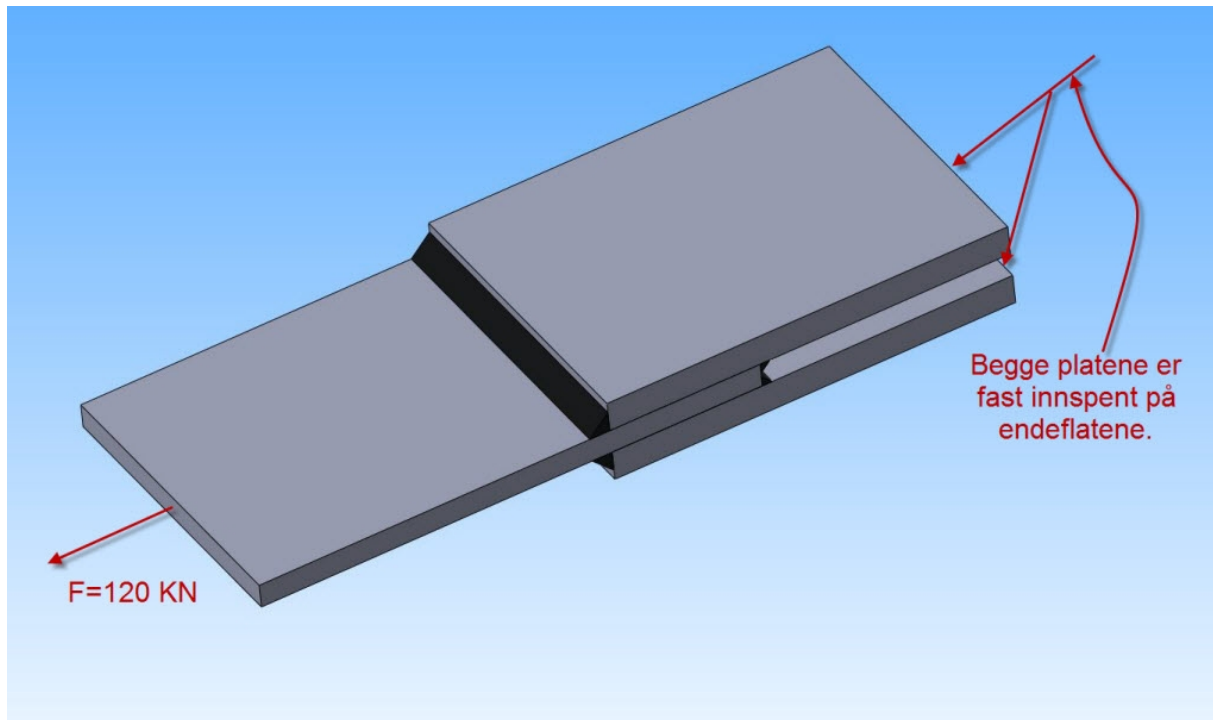
Spenning [MPa]	Deformasjon [mm]
Ansys: 190,22	Ansys: 1,96
SolidWorks Simulation 144,5	SolidWorks Simulation: 1,53

I denne analysen ser klart forskjeller i resultatene. Forskjellen i spenning er på 45,72 MPA og forskjellen i deformasjon er 0,43 mm. Årsaken til dette vil jeg påstå ligger i elementtypen. Shell281 elementet som ble brukt i Ansys har 8 noder og klarer derfor å fange opp de lokale spenningen på en bedre måte siden det har flere noder. Desto flere noder et element har desto større sannsynlighet er det for at man klarer å fange opp de høyeste spenningsgradientene. I denne analysen var det ingen forskjell verken på hvordan de 2 systemene tilnærmer seg bruken av grensebetingelser eller påsetting av krefter.

7. Analyse IV: Sammenstilling

7.1 Beregningsgrunnlag

Konstruksjonen på figur 31 viser en sveist konstruksjon som skal analyseres. Konstruksjonen består av 3 deler, i tillegg er sveisestrengen modellert som egen deler. Dette er gjort med den hensikt å kunne kjøre en kontaktanalyse hvor jeg ser hvor godt de 2 systemene klarer å gjenskape virkeligheten.



Figur 31: Beregningssituasjon analyse IV

7.2 Ansys

7.2.1 Kontaktsett

Ansys importerer denne modellen som en sammenstilling og genererer automatisk kontaktsett for meg. Jeg går igjennom kontaktsettene og redigerer dem slik at kontaktforholdene i mellom de ulike delene blir riktig.

Ansys har ulike typer kontaktsett og i denne analysen skal vi bruke 2 forskjellige.

Bonded: Smelter sammen to flater. Tillater ingen separasjon av flater.

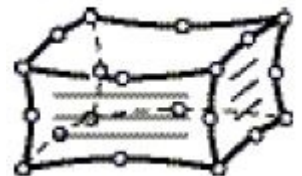
Frictionless: Lar 2 flater skli mot hverandre, men tillater ingen penetrering. Flatene kan separeres.

Følgende kontaktsett vil bli generert i sammenstillingen:

Bonded	Alle kontaktflater i mellom sveisestrengene og plate delene.
Frictionless	Kontaktflatene i mellom plate delene(plate mot plate).

7.2.2 Elementtype

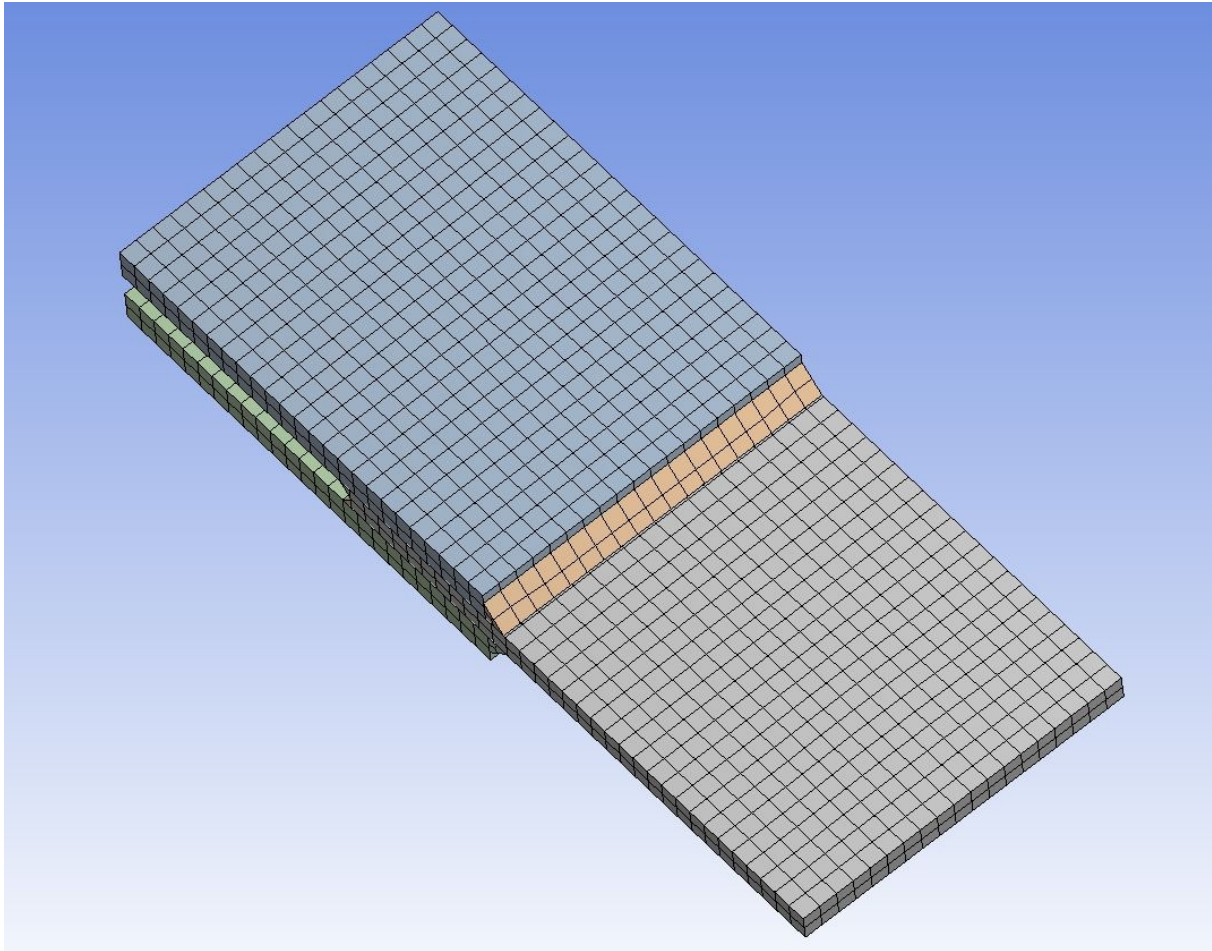
Basert på Ansys elementbibliotek [Ansys, Help] velger jeg å bruke et Solid186 element. Da dette elementet har en regulær form som passer til konstruksjonen og har 20 noder pr element noe som er med på å gi en større mulighet til å fange opp lokale spenninger.



Figur 32: Solid186 element med 20 noder. Kilde: Ansys.

7.2.3 Elementstørrelse

Elementstørrelsen er satt til 8mm som gererer et rektangulært nettverk.



Figur 33: Viser analyse IV med nettverk

7.2.4 Grensebetingelser

Grensebetingelsene blir satt på de 2 platenes ytterkant med kommandoen fixed support som er låst i alle translatoriske og rotasjonsretninger.

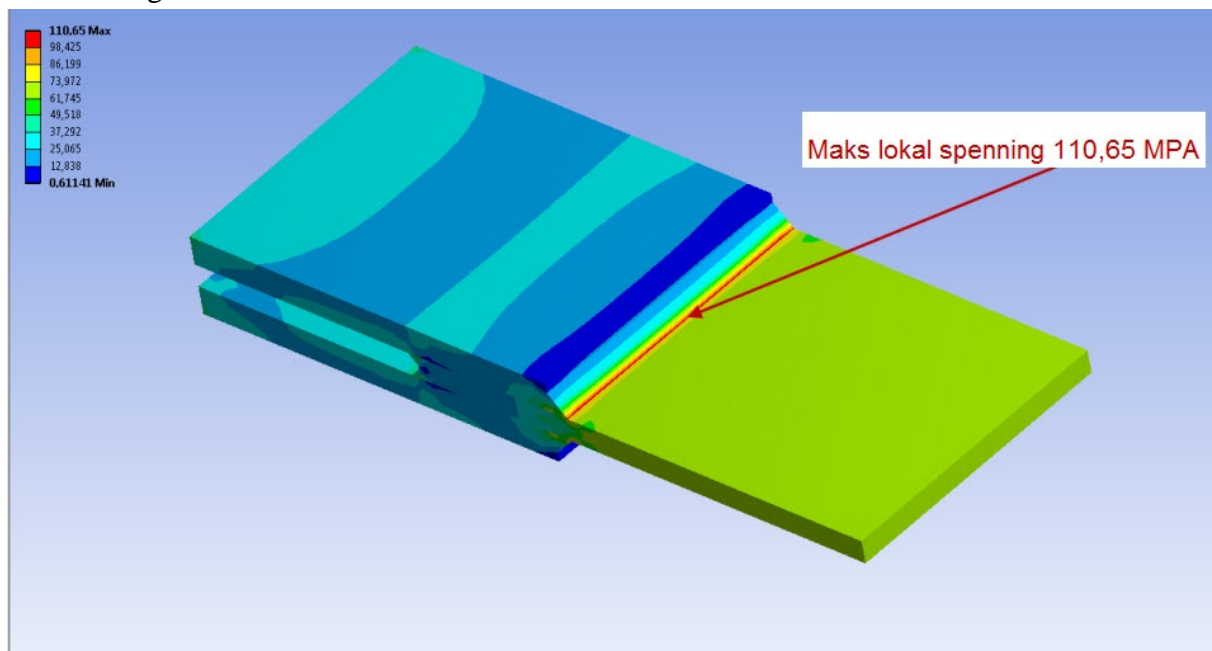
7.2.5 Krefter

En kraft på 120 KN blir satt på mellomplaten med kommandoen force.

7.2.6 Resultater

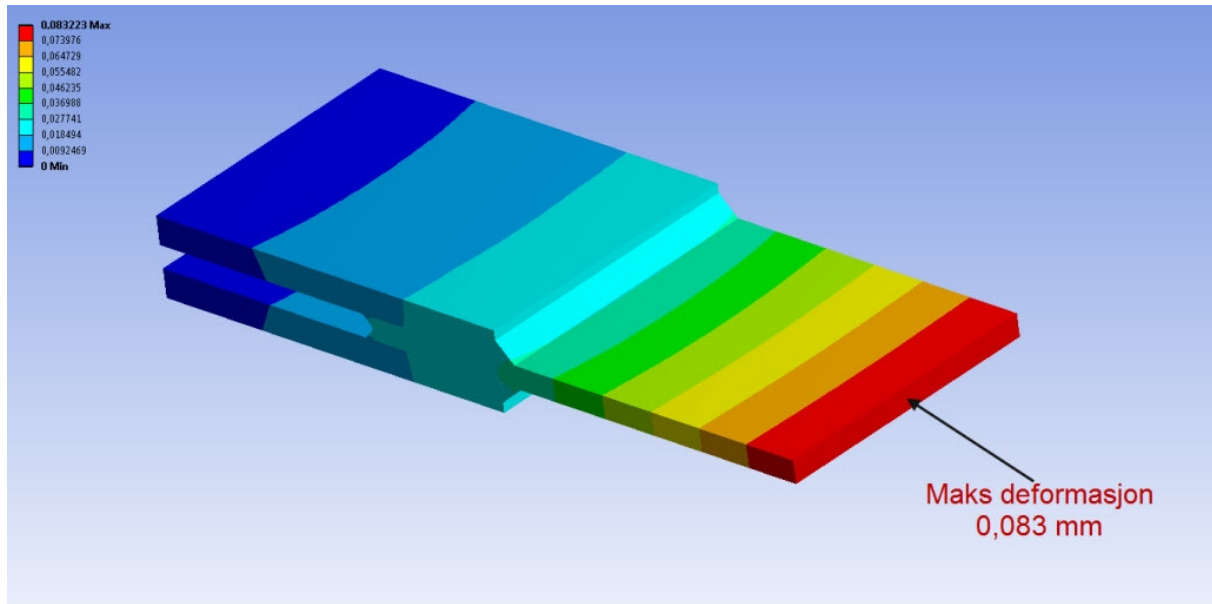
Analysen blir kjørt og det blir generert følgende resultater.

Spenning: Maks summespenning er som vist på figur 33. Spenning kom som for ventet i sveisestrengen.



Figur 34: Viser maks lokal spenning i analyse IV

Deformasjon: Maks deformasjon kommer på enden av platen som blir strekt og er på 0,083 mm. Noe som også var forventet.



Figur 35: Viser maks deformasjon på analyse IV

7.3 SolidWorks Simulation

7.3.1 Kontaktsett

På samme måte som i Ansys setter jeg opp kontaktsett mellom de ulike kontaktflatene. SolidWorks Simulation har samme type kontaktsett som Ansys i dette tilfellet.

Bonded: Smelter sammen to flater. Tillater ingen separasjon av flater.

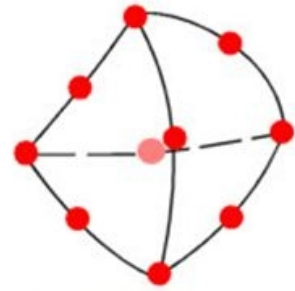
No Penetration: Lar 2 flater skli mot hverandre, men tillater ingen penetrering. Flatene kan separeres.

Jeg setter opp samme kontaktforhold som i Ansys.

Bonded	Alle kontaktflater i mellom sveisestrengene og plate delene.
No Penetration	Kontaktflatene i mellom plate delene(plate mot plate).

7.3.2 Elementtype

SolidWorks Simulation har som nevnt i analyse I kun 2 elementtyper for solid elementer. Jeg velger her det parabolisk tetrahedral elementet med 10 noder fordi et element med flere noder vil ha et bedre utgangspunkt for å fange opp lokale spenninger.



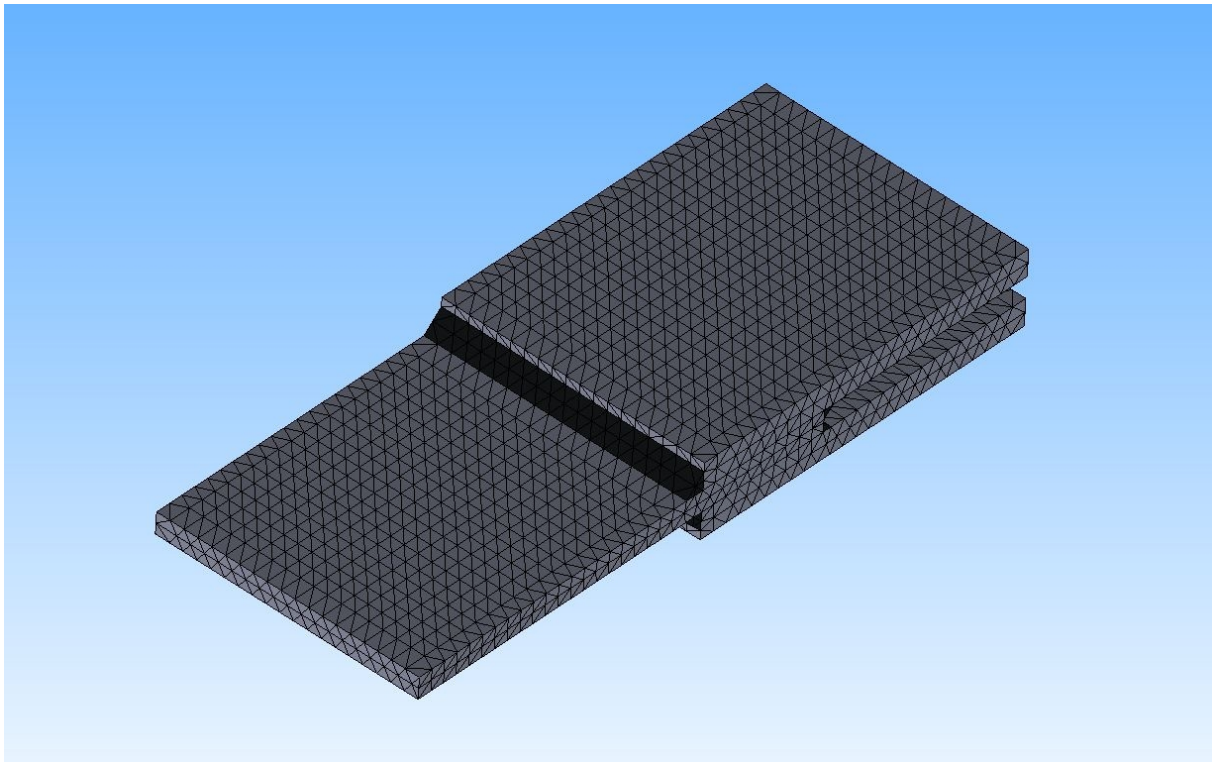
Figur 36: 10 noded parabolisk tetraedisk element. Kilde: SolidWorks.

7.3.3 Elementstrørrelse

Jeg velger samme elementstrørrelse som i Ansys 8mm.

7.3.4 Generering av nettverk

Generer nettverket som blir som vist på figur 37.



Figur 37: Viser nettverk på analyse IV i SolidWorks Simulation

7.3.5 Grensebetingelser

Grensebetingelsene blir satt på de 2 platenes ytterkant med kommandoen fixed geometry somer låst i alle translatoriske og rotasjonsretninger.

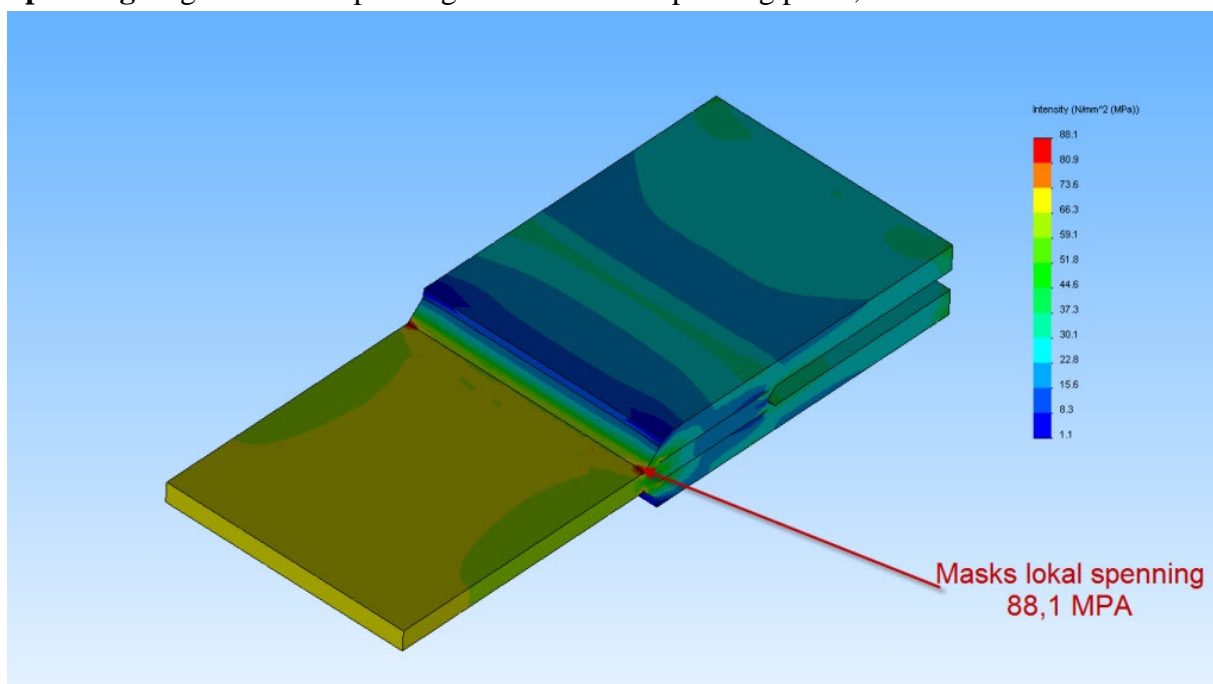
7.3.6 Krefter

En kraft på 120 KN blir satt på mellomplaten med kommandoen force.

7.3.7 Resultater

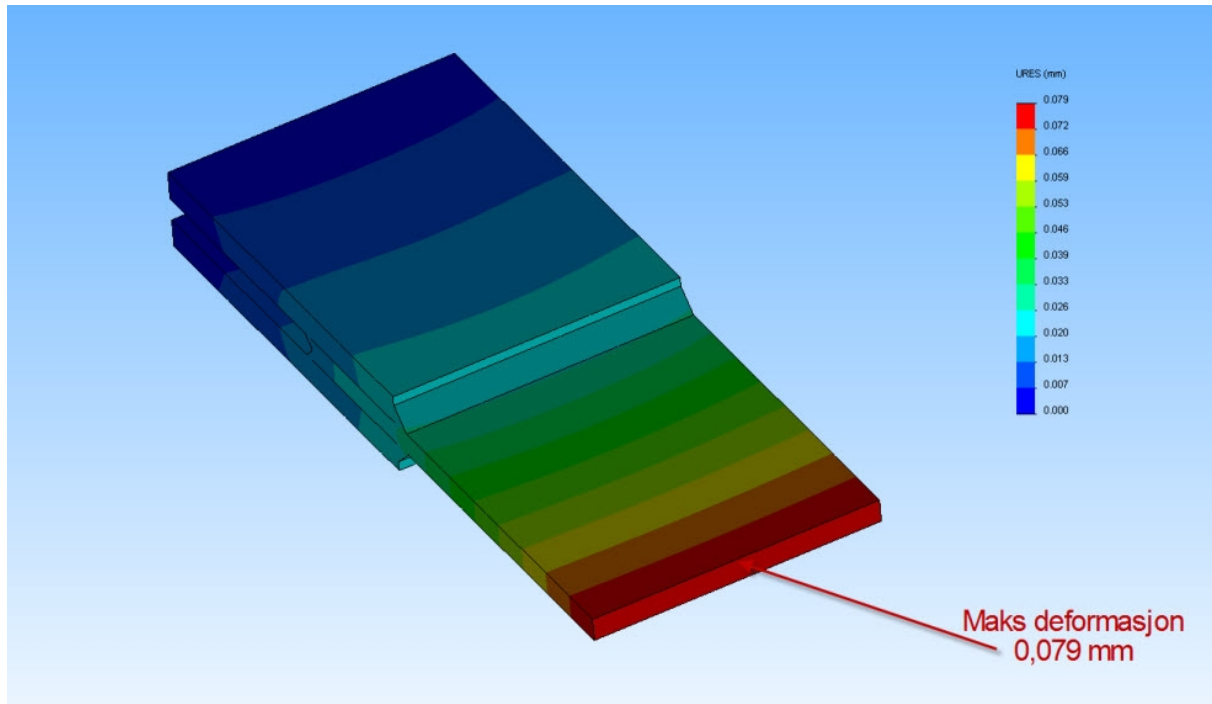
Analysen blir kjørt og jeg for følgende resultater.

Spenning: Figur 38 viser spenningbilde med maksspenning på 88,1 MPA



Figur 38: viser maks lokal spenning i analyse IV SolidWorks Simulation

Deformasjon: Maks deformasjon er 0,079 mm som vist på figur 39.



Figur 39: Viser mask deformasjon analyse IV SolidWorks Simulation

7.4 Sammenligning analyse IV

I denne analysen ser det samme som i analyse III. Ansys har et bedre spekter med elementer noe som i dette tilfellet lar meg velge et element med flere noder som igjen klarer å fange opp de lokale spenningsgradienten bedre enn SolidWorks Simulation. En av de viktigste test punktene i analyse IV var å se hvordan de 2 systemene klarte å håndtere kontaktsettene i analysen. Begge systemene klarte dette på en tilfredsstillende måte. Det var heller ingen avvik når det gjaldt påsetting av kraft eller grensebetingelser.



8. Sammenligning

Her vil jeg sammenligne og se begge programvarene etter en helthetsvurdering av alle analysene.

8.1 Elementtyper

Jeg har igjennom de 4 analysene sett at Ansys med sitt elementbibliotek med ca. 150 elementtyper har et klart bredere spekter av elementer å spille på en SolidWorks Simulation. Tross dette har jeg sett at elementene i SolidWorks Simulation er ganske fleksible og kan brukes i veldig mange sammenhenger. Men med Ansys sitt store register av elementer vil man kunne analysere flere typer konstruksjoner med mer nøyaktighet siden man da har et flere antall elementtyper å velge mellom.

Da jeg vet at elementtypen er veldig avgjorde for konstruksjonens fysikk er dette et avgjorde punkt når man skal velge et analyseverktøy.

8.2 Nettverk

Begge systemene genererer et nettverk som er tilfredsstillende ved at man får et klart inntrykk av hvordan nettverket representerer konstruksjonen. I tillegg har begge systemene flere muligheter for differensiering av nettverket.

8.3 Materialer

Begge systemene tilbyr å legge inn materialer i et bibliotek som kan benyttes i analysene. Det forutsettes her at man har aktuell materialdata.

8.4 Grensebetingelser

Når det gjelder grensebetingelsene har begge systemene hatt et rikt spekter i utvalg av ulike grensebetingelser som verken har utskilt seg hos noen av programmene. Begge systemene har klart å simulere grensebetingelsene på en riktig måte.

8.5 Krefter

Påsetting av laster i form av krefter har heller ikke skilt seg ut mellom de 2 systemene. Begge systemene har et bredt spekter av ulike laster og dette har fungerte tilfredsstillende i begge systemene.

8.6 Resultater

Når det gjelder resultatene er dette i hovedsak et resultat av de overnevnt punktene 8.1-8.5. Jeg har sett at der det er forskjeller i elementtype mellom systemene er det også betraktelige forskjeller i resultatene. Ellers så har visning av resultatene i begge systemene hvert tilfredsstillende. Begge systemene har et bredt spekter av visningsalternativer for resultatene.

9. Konklusjon

Jeg har igjennom 4 ulike analyser sett hvordan de 2 systemene har løst de forskjellige analysene. Generelt sett viker systemene på samme måte og framstår som moderne og innovative i form av at de begge kan importere og gjøre nytte av det meste av filformater som finnes av moderne CAD systemer i dag. I tillegg har begge systemene grafiske og lett forståelige brukergrensesnitt. I tross for mange likheter i systemene er det dog spesielt et punkt som skiller de fra hverandre. Som tidligere nevnt i punkt 8.1 ligger den store forskjellen i elementtypene. Med Ansys sitt bibliotek på ca. 150 elementtyper vil man kunne analysere flere konstruksjonstyper med større nøyaktighet.

Nettverket av elementer utgjør tilnærming av konstruksjonens fysikk og er helt avgjørende for at man skal kunne få riktige resultater. Etter å ha arbeidet med denne oppgaven har jeg kommet fram til at et pålitelig analyseverktøy trenger et stort register av elementtyper for å dekke flest mulig konstruksjonstyper. Ved å velge en elementtype som ikke er egnet til konstruksjonen på grunn av programsystemets manglende elementtyper kan i enkelte tilfeller være katastrofalt. Jeg stiller meg undrende til hvorfor ikke SolidWorks Simulation har valgt å satse mer på et bredere utvalg av elementtyper.

Nettverket med sine fysiske egenskaper er en del av oppsettet for en analyse. Og med dette vil jeg si at SolidWorks Simulation ikke klarer å tilfredsstille de kravene som man må forvente av et pålitelig analyseverktøy. Da en av de mest sentrale punktene (elementtypen) ikke kan sies å være tilfredsstillende utbygget i SolidWorks Simulation. Som vist gjør dette også utslag på resultatene som da ikke vil kunne være pålitelige til å bruke til dimensjonering av konstruksjoner.

Referanseliste

- Ansys, Ansys Workbench Help, Element Reference, I. Element Library, BEAM188
- Ansys, Ansys Workbench Help, Element Reference, I. Element Library, SHELL281
- Ansys, Ansys Workbench Help, Element Reference, I. Element Library, SOLID186
- Ansys, Ansys Workbench Help, Element Reference, I. Element Library, SOLID187
- Ansys, Ansys Workbench Help, Mechanical User's Guide, Features, Contact :: 0, Contact Region Settings , Definition Settings
- Ansys, Ansys Workbench Help, Mechanical User's Guide, Features , Applying Loads, Types of Loads, Force
- Ansys, Ansys Workbench Help, Mechanical User's Guide, Features , Applying Loads, Types of Supports , Displacement for Faces
- Ansys, Ansys Workbench Help, Mechanical User's Guide, Features , Applying Loads, Types of Supports, Fixed Face
- SolidWorks, SolidWorks Help, Simulation , Meshing , Solid Meshing
- SolidWorks, SolidWorks Help, Simulation , Meshing , Shell Meshing , Shell Meshing
- SolidWorks, SolidWorks Help, Simulation , Analysis Background , Beams and Trusses , Beams
- Gautestad S, Høgskolen i Gjøvik,[Undervisningsnotat] SolidWorks Simulation FEM, Elementmetoden, [Sisert 19.02.12, utgitt 2009]
- Store Norske leksikon, Elementmetoden [Internettside].
<http://snl.no/elementmetoden>,[Sisert 19.02.2012, oppdatert 02.10.2009]