

FEM-analyser av rörstödskonstruktioner

FEM-analysis of pipe support structures

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskiningenjörsprogrammet

Yashar Aslanzadeh

Stefan Venbrant

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik

Avdelningen för Avancerad oförstörande provning

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sweden, 2011

Examinator: Gert Persson

Examensarbete No. 55/2011

FÖRORD

Detta examensarbete är skrivet som en del av maskiningenjörsprogrammet vid Chalmers Tekniska högskola. Utbildningen är på 180 högskolepoäng och omfattar 3 års studier som mestadels förlagts på Campus Lindholmen

Examensarbetet har utförts på COWI AB i Göteborg, som ingår i den danska COWI-koncernen.

Vi vill tacka vår handledare på COWI AB, Sven Uhlin, och även Tomas Sundström, chefen för avdelningen Industri där vi satt, för att ha fått möjligheten att göra detta examensarbete samt för all hjälp och råd som vi fått under arbetets gång. Vi vill även tacka vår handledare på Chalmers, Gert Persson, för synpunkter och råd som han har givit oss.

Göteborg 2011-05-23

Stefan Venbrant

Yashar Aslanzadeh

SAMMANFATTNING

Det här examensarbetet har utförts på COWI AB. COWI är ett ledande konsultbolag i Sverige inom områdena teknik, miljö och ekonomi.

Inom området byggt teknik vid konstruktion av rörsystem är det av stor vikt att veta hur stora belastning de röstöd man avser att använda tål, så de rörsystem man bygger blir så säkra och hållbara som möjligt. I detta examensarbete har 4 röstöd med olika kombinationer av balkar och belastningar analyserats. Totalt 49 analyser gjordes för att hitta den maximala belastningen som stöden kan bära. Dessa har dimensionerats med avseende på tillåten von Mises spänning på 120-130 MPa. Syftet med detta är att ge konstruktörerna på COWI riktlinjer för vilken typ av stöd som rekommenderas vid kända laster.

Pro/ENGINEER har använts för modellering av balkarna samt Pro/MECHANICA för FEM-analyser. Med Pro/MECHANICA har max tillåtna laster räknats fram med avseende på max tillåten von Mises spänning samt deformation.

Dessa typer av FEM-analyser är ofta både tidskrävande och kräver stor datorkapacitet. Av denna anledning valdes endast det första av stöden att genomgå 3 olika analyser enligt nedan:

- 3D-modell
- Balk-modell
- handberäkningar

Resultatet mellan de tre metoderna visade sig bli ungefär detsamma. För att kunna analysera så många balkkombinationer som möjligt användes därför balkmodeller för resterande analyser. Denna typ av analys tar mindre tid och ger rimliga och korrekta värden. De slutliga resultaten av analyserna presenteras sedan i tabeller som kompletterande information till COWIS konstruktionsritningar.

SUMMARY

This Bachelor thesis has been done at COWI AB. COWI is one of the leading consultant company's in Sweden in the fields of Engineering, Environmental Science and Economics.

In the field of structural engineering it is of at most importance to know how much load your supports can carry in order to make the structures as safe and durable as possible. In this thesis a total amount of 4 pipe supports with different combinations of beams lead to a total of 49 analysis were made to find the max load they can carry in regards to the allowable von Mises stress of 120-130 MPa. The purpose of this is to give the engineers at COWI guidelines as to what kind of support to use in their structures.

The thesis has been done by using Pro/ENGINEER for modeling the support beams and using its sub module Pro/MECHANICA for the FEM-analysis. With Pro/MECHANICA the maximum allowable stress and deflection of the beams are calculated when applied a certain amount of load.

These kind of FEM-analysis based on 3D models are usually very time consuming and need great processor power from the computer. The first of the analysis was made in 3 different ways:

- 3D model
- Beam-model
- Calculations on paper

The results were roughly the same. To be able to analyse as many beam combinations as possible we have used beam-models in Pro/MECHANICA which take less time and gives reasonable and accurate values. The final results of the analysis are then presented in tables as a supplementary information to the drawings of COWI.

INNEHÅLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställning	2
1.5 Mål	2
2 TEORETISK REFERENSRAM	3
2.1 FEM program	3
2.2 Rörstödstyper	5
2.3 Material	7
2.4 Balktyper	7
2.5 Lastfall	7
2.6 Metoder	8
3 ANALYSER OCH BERÄKNINGAR	8
3.1 FBS 70	8
3.1.2 Resultat	11
3.2.1 FBS 59	15
3.2.2 Resultat	15
3.3.1 FBS 73	20
3.3.2 Resultat	20
3.4.1 FBS 8	25
3.4.2 Resultat	25
4 RESULTAT OCH SLUTSATS	27
5 REFERENSER	28
6 BILAGOR	29

1 INLEDNING

Rörstöd är något som finns inom i princip alla anläggningar. Det finns alltid rör som transporterar någon slags vätska, allt från vatten till olja. För att hålla upp/fast rören behövs i de flesta fallen rörstöd. Rörstöden måste vara rätt konstruerade så att de klarar att hålla upp rören. Om ett rörstöd skulle gå sönder kan detta bli katastrofalt för anläggningen och personalen beroende på vad för vätska som finns i rören. Om inte annat är det kostnadskrävande att reparera. Därför måste beräkningar och analyser göras på stöden så att man vet att dessa klarar att hålla upp vikten av röret/rören som ligger på stödet. Dessa analyser görs vanligtvis med olika FEM-program. Beroende på vad det är för anläggning krävs olika noggrannhet på analyserna. Det vanligaste brukar vara att införa en säkerhetsfaktor så att det finns plats för beräkningsfel. Håller man dock på med rör och rörstöd inom t.ex. en kärnkraftsanläggning är det oerhört viktigt att man tar med allt i beräkningarna, ventiler som öppnas/stängs, vibrationer som uppstår p.g.a. olika anledningar, m.m. I vanliga anläggningar så brukar det dock räcka med en FEM-analys och att ha en säkerhetsfaktor, t.ex. på hur stor förskjutning av stödet som fås ha eller att det stannar upp när en viss procent av sträckgränsen för materialet som används i rörstödet har uppnåtts.

1.1 Bakgrund

COWI är ett konsultföretag som jobbar inom flera olika grenar av industrin och har anställda över hela världen. En del av deras uppdrag är att för olika företags räkning konstruera rör och rörstödskonstruktioner. Eftersom rören har olika dimensioner och tyngd beroende på bransch och användningsområde försöker man standardisera utformningen av de rörstöd som ska användas. Detta för att få en begränsad variation av stödtyper vilket underlättar vid tillverkning och montage.

1.2 Syfte

Att för ingenjörtekniska området rörstödsprojektering:

1. Utredda vilka beräkningsverktyg och normer som är gällande idag.
2. Bestämma tillåtna krafter, samt rörelser i olika rörstöd som används idag med hållfasthetsmässigt erkända metoder och verktyg.

Genom FEM-modellering samt beräkningar för hand skall förslag utformas för förbättrad hållfasthet samt tillåten last för ett antal olika stöd som COWI AB förser oss med. Målet är att utvärdera fyra av de vanligaste rörstöden.

1.3 Avgränsningar

Följande avgränsningar kommer göras

1. Beräkningar kommer göras på de rörstöd som specificeras av COWI AB.
2. Ingen hänsyn kommer att tas till de fluider som strömmar genom rören, d.v.s. inga eventuella termiska och dynamiska beräkningar kommer att genomföras.
3. Alla ingående delar i stöden anses vara korrekt producerade och monterade.

1.4 Precisering av frågeställning

Följande frågor kommer att behandlas under arbetets gång.

1. Utredda vilka FEM-verktyg som finns och är bäst lämpade idag
2. Metoder och tillvägagångssätt för det program som används för att göra detta arbete .
3. Max tillåten last för de olika stöden.
4. Förslag på förbättringar i hållfasthet.

1.5 Mål

Som nämnts ovan så försöker man standardisera utformningen av olika rörstöd. Detta för att få en lätt överblick över vilka stöd som finns, för att det är lättare och billigare vid konstruktion av stöden om det inte finns för många att välja mellan samt att man i någon sorts katalog ska kunna se vad de olika stöden tål för belastningar.

Målet med arbetet är att analysera fyra olika rörstöd och se hur stora krafter man kan lägga på stöden, alltså hur tunga rören kan vara innan stödet överskrider de krav som finns på max förskjutning och max von Mises spänningar. I de fall där röret är fast inspänt måste förutom tyngden på röret också en axialkraft i rörets axel läggas på för att simulera vätskan som strömmar genom röret. Även en horisontell kraft används för att simulera rörets rörelse i sidled. Dessa uppgifter redovisas i en tabell, på detta vis kan konstruktören lätt se hur mycket krafter ett stöd tål, och kan då välja ett passande stöd utefter tabellvärden. Dessa tabeller gör det lätt och smidigt att se vilket stöd som passar vid olika belastningar. Rapporten till COWI kommer se ut enligt bilaga 6.

2 TEORETISK REFERENS RAM

Det är främst kunskaper inom CAD-modellering samt FEM-analyser som tillämpats för att göra detta projekt. Även viss hållfasthetsberäkning har använts. Det program som användes för FEM-analyserna var Pro/ENGINEER och Pro/MECHANICA.

2.1 FEM program

Finita elementmetoden (FEM) har sitt ursprung i behoven att lösa elasticitets- och strukturanalysproblem och används inom stora delar av industrin. FEM är en numerisk metod för att lösa partiella differentialekvationer och är implementerad i en stor mängd datorprogram. Tillsammans med CAD är det ett ovärderligt ingenjörsvärktyg för analys och konstruktion inom många teknikområden. Med förenklade problem kan handberäkningar utföras för att jämföra resultatet från FEM-analysen för att därigenom se om värdena är rimliga.

Förutom statiska och dynamiska problem kan man göra analyser av vätskedynamik, elektromagnetism och vibrationsanalyser. Med stora bibliotek av materialdatabaser kommer man närmare och närmare det fysiska problemet. Tack vare detta kan man idag beräkna avancerade problem som för 30-40 år sedan verkade tillsynes närmast omöjliga.

Principiellt används två olika lösningsmetoder vid FEM-analyser, implicit och explicit.

Implicita metoden: Bäst lämpad för enklare geometriska problem med stora krav på noggrannhet. Denna metod ger noggrannare resultat men ställer större krav på RAM-minne och kan vid avancerade analyser ta lång tid. Resultatet som fås är dock bättre än vid den explicita metoden. Man brukar själv kunna välja konvergenskrav och polynomgrad.

Explicita metoden: Lämpar sig bättre för problem med stora olinjäriteter, t.ex. vid beräkning av stora deformationer. Denna metod ställer mindre krav på datorkapacitet och man får lättare konvergens. Exempel på analyser som använder explicita metoden är krock-, slag- och explosionsanalyser.

Övergripligt går det till i tre steg när man ska göra en FEM-analys:

1. Skapande av modell som ska analyseras.
2. Material väljs, krafter, termiska eller dynamiska, samt randvillkor läggs på.
3. Analys körs och datorn löser ekvationer. Beroende på hur stort problemet är samt vilken metod som används fås fler ekvationer och längre körtid.

Det finns många Fem-program, nedan är fyra av dem. Dessa har valts ut på följande grunder: ABAQUS är ett mångsidigt program som går att använda inom de flesta delar av industrin. NASTRAN och ANSYS är de program som främst används av COWI AB. Pro/Mechanica är vårt val av FEM-program för detta examensarbete då vi arbetat med detta verktyg förut och är väl införstådda med hur det fungerar och används.

ABAQUS

Abaqus är ett väldigt kraftfullt FEM-program som används mycket i olika industrier, t.ex. flygplan-, bil- och oljeindustrin. Abaqus främsta tillgång är dess stora bibliotek av materialmodeller som sträcker sig till ämnen såsom olika skummaterial, betong, piezoelektriska material m.m. Dessa fyra punkter är bland ABAQUS fördelar.

1. Möjligheten att modellera stora deformationer I både 2D och 3D.
2. Ett omfattande bibliotek med element, t.ex. olika typer av solider, balkelement, skalmodeller etc.
3. Avancerat materialbibliotek.
4. Möjligheten att göra analyser på ett stort urval av fysiska fenomen. Några exempel på detta är vibrationsanalyser, akustiska analyser samt fluid och struktur samspel.

På grund av dessa fördelar är Abaqus ett väldigt säkert program att använda som ger ett bra resultat av det verkliga problemet.

ANSYS

Fördelen med ANSYS programvara för FEM-analys är dess lättförståeliga och användarvänliga gränssnitt samt dess förmåga att importera och analysera CAD-ritningar från andra program. Design- och beräkningsingenjörer har förmågan att importera och köra analyser i ANSYS från CAD-modeller som gjorts i följande program:

- Pro/ENGINEER
- Autodesk Inventor
- SolidWorks
- CATIA V5
- NX
- Solid Edge

ANSYS har flera moduler för olika ändmål. Det finns bl.a. annat **ANSYS structural Mechanics** som används till att göra icke-linjära analyser med spänningar som överstiger flytgränsen, friktionskontakt mellan ytor och material samt vibrations- och dynamiska analyser. Med **ANSYS fluid Dynamics** kan man göra strömnings- och erosions analyser samt

simulera vätskors och gasers beteende. Vill man göra analyser av fluid och solid samspel finns möjligheten till att integrera dessa båda moduler till ett kraftfullare FEM- program.

NASTRAN

MSC Nastran var från början utvecklat för NASA I slutet på 1960 talet. Idag är det ett av de mest använda FEM-analys programmen. I Nastran har man själv inte möjligheten att bygga modeller utan detta importerar från andra program. Nastrans styrka består av att det går att göra avancerade analyser, t.ex. går det att simulera spänningar, krafter, dynamik eller vibrationer. Programmet används inom bl.a. bil-, flyg- samt rymdfarkostsindustrin för att analysera allt från enskilda detaljer till avancerade modeller.

Pro/MECHANICA

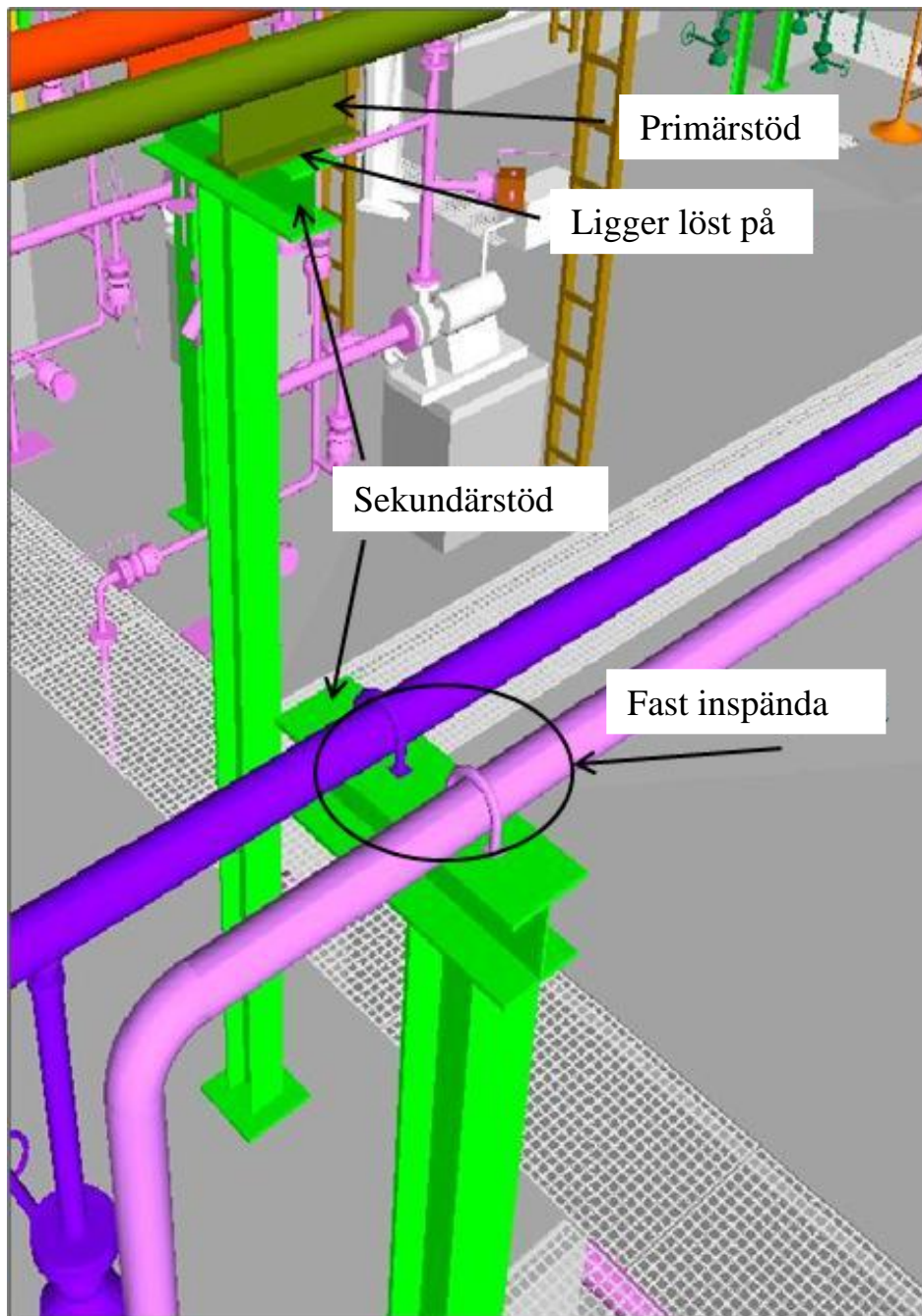
Pro/MECHANICA är ett beräkningsverktyg som används för analyser av olika strukturer och geometrier. Pro/M ingår i Pro/ENGINEER. I oktober 2010 ändrades namnet till Creo Elements/Pro då bolaget PTC som äger Pro/E ändrade namn. I nedan text kommer det benämnas som Pro/E. I Pro/E skapas de modeller och konverteras därefter till Pro/M där man lägger på villkor, laster mm som behövs för analysen. Man kan köra olika analyser beroende på vad man vill ha ut. Vanligast är att få ut spänningar eller deformationer men det går även att köra analyser för knäckning samt termiska analyser. Pro/MECHANICA är en av de moduler som finns i Pro/E, det finns en uppsjö av andra moduler för konstruktörens olika ändamål bl.a kan nämnas

- Pro/Welding (för svetsfogar)
- Pro/Cabling (för kablagemodellering)
- Pro/Piping (rördesign)

Pro/MECHANICA använder sig av den implicita metoden.

2.2 Rörstödstyper

Den vanligaste typen av rörstöd brukar bestå av två delar, ett primärstöd och ett sekundärstöd. Primärstödet sitter fast i röret (se figur 1 på sida 6) och ligger fritt på sekundärstödet så att det kan röra sig när vätska strömmar genom röret. En annan typ av rörstöd finns där röret ligger direkt på sekundärstödet (se figur 1 på nästa sida). Denna typ används inte lika mycket eftersom stödet då klarar mindre påfrestningar men förekommer ibland. Som nämnts förut så är det fyra olika rörstödstyper som analyseras och utvärderas i denna rapport. Dessa är FBS 70, FBS 59, FBS 73 samt FBS 8. Se bilaga 1 för att få en bättre överblick över samtliga stöd.



Figur 1. Vy över två olika stöd, ett med primär- och sekundärstöd (det i bakgrunden) och ett med bara sekundärstöd (närmast).

2.3 Material

Materialtyperna som används vid konstruktion av rörstöden är inom kategorin allmänna konstruktionsstål, Low Carbon steel. Low Carbon steel används inom ett stort område, allt från t.ex. gem till 100- våningsbyggnader. Skälen till detta är många, bl.a. har materialet en stor seghet, god svetsbarhet, det är billigt samt hållbart.

Inom kategorin allmänna konstruktionsstål finns en uppsjö olika stålsorter. Två olika ståltyper ska användas, dessa är bestämda och är S235JRG2 samt S275JR. Dessa två ståltyper skiljer sig inte nämnvärt från varandra, det senare har något större sträck- och brottgräns och används i de stöd som utsätts för större påfrestningar. I bilaga 2 finns en tabell med materialdata för de två olika materialen.

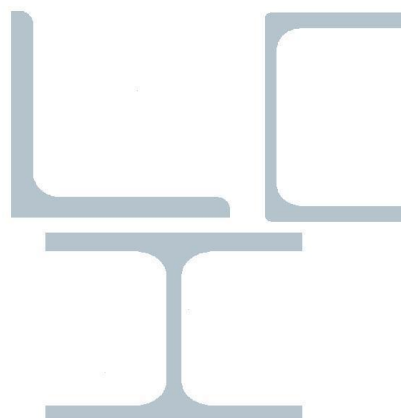
2.4 Balktyper

Vid konstruktion av rörstöden används olika balktyper. Dessa är L-balkar, U-balkar samt H-balkar. Vissa av rörstöden består av endast en balk medan andra består av 2-3 hopsatta balkar. De tre nämnda balktyper är de som har används i rörstöden som denna rapport berör. Se figur 2 för exempel på balktypernas profiler.

L-balk: En L-balk används vid mindre påfrestningar, d.v.s. där krafterna som påverkar balken inte är så stora.

U-balk: När påfrestningen blir för stor för L-balk brukar man gå över till en U-balk som tål större påfrestningar då samma dimensioner ska användas.

H-balk: Samma gäller här som för U-balk. Man går från U-balk till H-balk när det behövs, eftersom H-balk är den kraftigaste balktypen av de tre nämnda.



Figur 2. Exempel på profiler för L-, U- och H-balkar.

2.5 Lastfall

Rören kan ligga på rörstöden på olika sätt. I figur 1 (sid 6) visas två fall, det ena där rören sitter fast i ett primärstöd som ligger fritt på sekundärstödet. Detta leder till att endast en vertikal kraft uppstår (rörets + vätskans tyngd) eftersom primärstödet ligger fritt och rör på sig när vätska strömmar genom röret. I det andra fallet är röret/rören fastsatta direkt på sekundärstödet. Detta gör att tre krafter uppkommer. En vertikalkraft, samma som ovan, men även en i axialled som uppstår då vätska strömmar genom röret, samt en i horisontalled då röret vibrerar.

Det kan också ligga flera rör på stödet jämte varandra, eller ett ensamt rör. Dessa simuleras med en utbredd last respektive en punktlast. Bilaga 3 visar hur krafterna ligger i de olika lastfallen.

De analyser som har gjorts är på tre punktlaster, tre utbredda laster samt endast en vertikal utbredd last.

Det samband som gäller när alla tre krafterna ligger på stödet är följande:

Axialkraften är störst.

Vertikalkraften är hälften av den axiella kraften.

Den horisontella kraften är 1/3 av den axiella kraften.

Sambanden har bestämts tillsammans med COWI. Dessa stämmer självklart inte exakt med verkligheten, men ligger tillräckligt nära för att ge en riktlinje för att bestämma krafterna.

2.6 Metoder

Det finns flera olika sätt att göra analyser för att simulera de olika lastfallen. I det första stödet som skulle analyseras användes tre metoder. En solidmodell, en balkmodell samt handberäkningar. Balkmodellen är en enklare modell än solidmodellen, där linjer ritas upp. Sedan tilldelas en balkprofil för varje linje i Pro/M .

3 ANALYSER OCH BERÄKNINGAR

Varje stöd ska analyseras med olika balkprofiler, t.ex. i fallet FBS70 används först en USP 80 balk till den nedre delen och en L 80*80*8 till överdelen, för att sen ändras till USP 100 samt L 100*100*10. Balkarna ändras till en grövre profil då påfrestningarna blir för stora på använd balk. Vilka kombinationer av balkar som används i varje stöd visas i en tabell i början av kapitlet för varje stöd.

Det som är av störst intresse är att se hur stora förskjutningar som uppkommer vid olika varianter av stöd och balkar. Krav finns på vad största förskjutning samt von Mises-spänning får vara, och i detta arbete gäller följande värden:

Max förskjutning (δ_{\max}): 2 % av längden av den påverkade balken.

Max von Mises (σ_{vM}^{\max}): 50 % av sträckgränsen för materialet som används.

3.1 FBS 70

För FBS70 ska 2 balkar användas som nämndes ovan, en för vertikaldelen och en för horisontaldelen. Balken för vertikaldelen är olika variationer av en UPE-balk, där siffrorna

efter UPE syftar till dimensionerna på balken. För horisontaldelen används L-balkar. Dimensionerna för de olika balkarna är fastställda och kan ses i bilaga 4.

3 olika varianter av FBS 70 ska analyseras med följande hopsättning:

Tabell 1. Visar balktyper för de tre olika FBS 70 stöden som ska analyseras.

Profil 'A' vertikal	Profil 'B' horisontell	FBS 70 Nummer
UPE 80	L 80*80*8	1
UPE 100	L 100*100*10	2
UPE 120	L 150*150*12	3

Figur 3 på nästa sida visar vilken profil som är vilken.

Analys FBS 70 nummer 1

Punktlast:

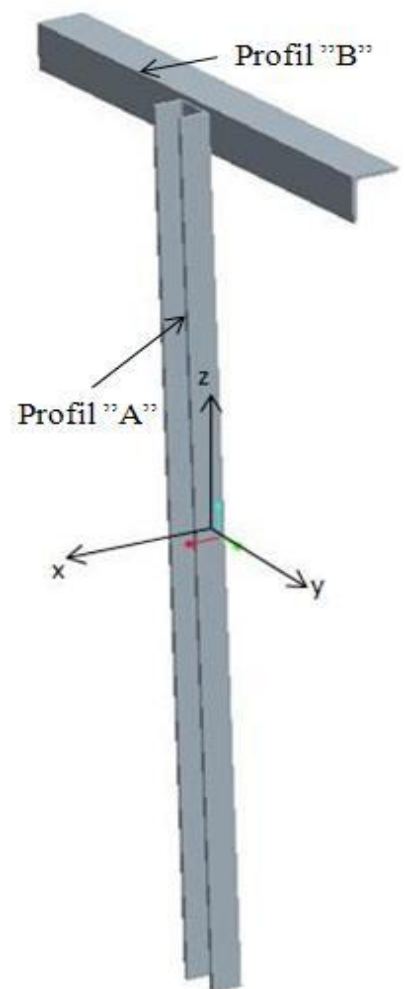
Två solidmodeller av de två olika balkarna skapas i ProE och sätts ihop i en assembly. Modellen konverteras till Pro/M och materialet S235JRG2 (stål) väljs. Randvillkor för fast inspänd läggs på USP-balkens ändyta samt krafter i vertikal-, axial- samt horisontal-led på mitten av L-balken enligt bilaga 2. En analys körs och resultat fås.

Sen skapas en balkmodell av två stavar. Modellen konverteras till Pro/M där profilen för stavarna sätts, den övre till en L-balk och den undre till en U-balk. Material väljs och samma villkor som i solidmodellen väljs, alltså samma storlek på krafter. En analys görs och resultat fås. Se figur 3 för ett exempel på utformande av en balkmodell.

För att bekräfta värdena från FEM-analyserna görs handberäkningar. Förskjutning och VM-spänning är vad som ska beräknas. Castigliano's sats används för att få ett värde på förskjutningen och spänningsekvationer för spänningarna. En jämförelse mellan resultaten från analyserna och handberäkningarna kan ses i tabell 2 nedan.

Tabell 2. Visar resultaten från de tre olika metoder som används.

	Handberäkningar	Solidmodell	Balkmodell
δ_{\max} (mm)	12,56	12,05	11,95
σ_{VM}^{\max} (MPa)	120	120	120



Figur 3. Visar koordinatsystemets placering samt profiler.

Metod 1: Solidmodellen är vanligtvis den som stämmer bäst överens med verkligheten då fler element har använts i beräkningarna. Detta är dock en mer tidskrävande metod vilket kan medföra problem vid stora beräkningar.

Metod 2: Balkmodellen använder sig av Euler-Bernoullis balkteori. Endast tre element har använts vid beräkningarna. Detta ger en mycket låg beräkningsbelastning och beräkningstid, men resultaten kan skilja något sig från verkligheten.

Metod 3: Handberäkningarna har utförts enligt Euler-Bernoullis balkteori och ger ett bra riktvärde att jämföra med FEM-beräkningarna. Se bilaga 5 för handberäkningar.

Eftersom analyser ska genomföras på flera stöd med olika balkar i varje stöd är det en tidskrävande process att använda alla tre metoderna för varje stöd. Analyserna ovan med de tre olika metoderna visar att resultaten blir i princip överensstämmande (se tabell 2 ovan). Därför används hädanefter att endast använda balkmodellen i resterande analyser av alla stöden. Detta för att det är enkelt att göra samt ger goda resultat. Då många analyser skall göras på många olika röstöd är detta det optimala sättet att hinna med flertalet analyser utan att behöva ödsla tid på tidskrävande handberäkningar.

En beräkning på första analysen gjordes även med egenvikt pålagd. Den kommer att bortses ifrån i resterande analyser då egenvikten inte påverkade resultatet nämnvärt eftersom den i jämförelse med storleken på de pålagda krafterna är väldigt liten.

Utbredd last:

För analyserna med en utbredd last istället för punktlast användes samma balkmodell där krafterna istället lades som utbredda krafter på den vertikala balken (se bilaga 3). Sedan användes en balkmodell för att göra analyserna.

Vertikal last:

Här lades endast en kraft, den vertikala kraften, som en utbredd last på samma balkmodell som används innan. Sedan gjordes analyserna.

För de resterande analyserna (nummer 2 och 3 enligt tabell 1) är tillvägagångssättet samma som för den första. En balkmodell skapas för varje analys och de tre olika lastfallen läggs på. Analyser körs och resultat fås. Se avsnitt 3.2 för resultaten.

3.1.2 Resultat

Tabellerna nedan visar vilka balkar som används i stödet samt vilka krafter som lagts på och beräknad förskjutning δ och von Mises spänning σ_{vM} .

Punktlast pålagd på mitten:

Tabell 3. Resultat för punktlast pålagd på mitten på profil B (L-balken).

Profil A	Profil B	Axiell kraft (N)	δ_{ax} (mm)	Horisontell kraft (N)	δ_h (mm)	Vertikal Kraft (N)	δ_v (mm)	δ_{tot} (mm)	σ_{vM} (MPa)
UPE 80	L 80*80*8	572	12,39	191	0	286	0,1158	12,506	120,0
UPE 100	L 100*100*10	770	11,01	257	0	385	0,10	11,11	119,4
UPE 120	L 150*150*12	1010	9,96	337	0	505	0,14	10,1	119,6

Utbredd last:

Tabell 4 Resultat för jämt utbredd last på profil B (L-balken).

Profil A	Profil B	Axiell kraft (N)	δ_{ax} (mm)	Horisontell kraft (N)	δ_h (mm)	Vertikal Kraft (N)	δ_v (mm)	δ_{tot} (mm)	σ_{vM} (MPa)
UPE 80	L 80*80*8	572	12,44	191	0,118	286	0,1159	12,56	120,0
UPE 100	L 100*100*10	770	10,963	257	0,8086	385	0,1073	11,07	119,4
UPE 120	L 150*150*12	1010	9,9909	337	0,65	505	0,101	10,01	119,6

Vertikal utbredd last:

Tabell 5. Resultat för jämt utbredd vertikal kraft pålagd på profil B (L-balk).

Profil A	Profil B	Vertikal kraft (N)	δ_v (mm)	σ_{vM} (MPa)
UPE 80	L 80*80*8	10538	4,409	120,0
UPE 100	L 100*100*10	20500	6,028	119,8
UPE 120	L 150*150*12	56200	11,46	120,0

Resultaten från de två olika analyserna, punktlast och utbredd last, gav samma värden. Detta för att i fallet utbredd last så ligger L-balken symmetriskt runt UPE-balken. Detta gör att den utbredda lasten blir jämt fördelad och UPE-balken påverkas likadant som i fallet med punktlast. Hade däremot L-balken inte legat symmetriskt utan stuckit ut en bit längre på endera sidan av UPE-balken hade resultaten blivit annorlunda.

Förskjutningar:

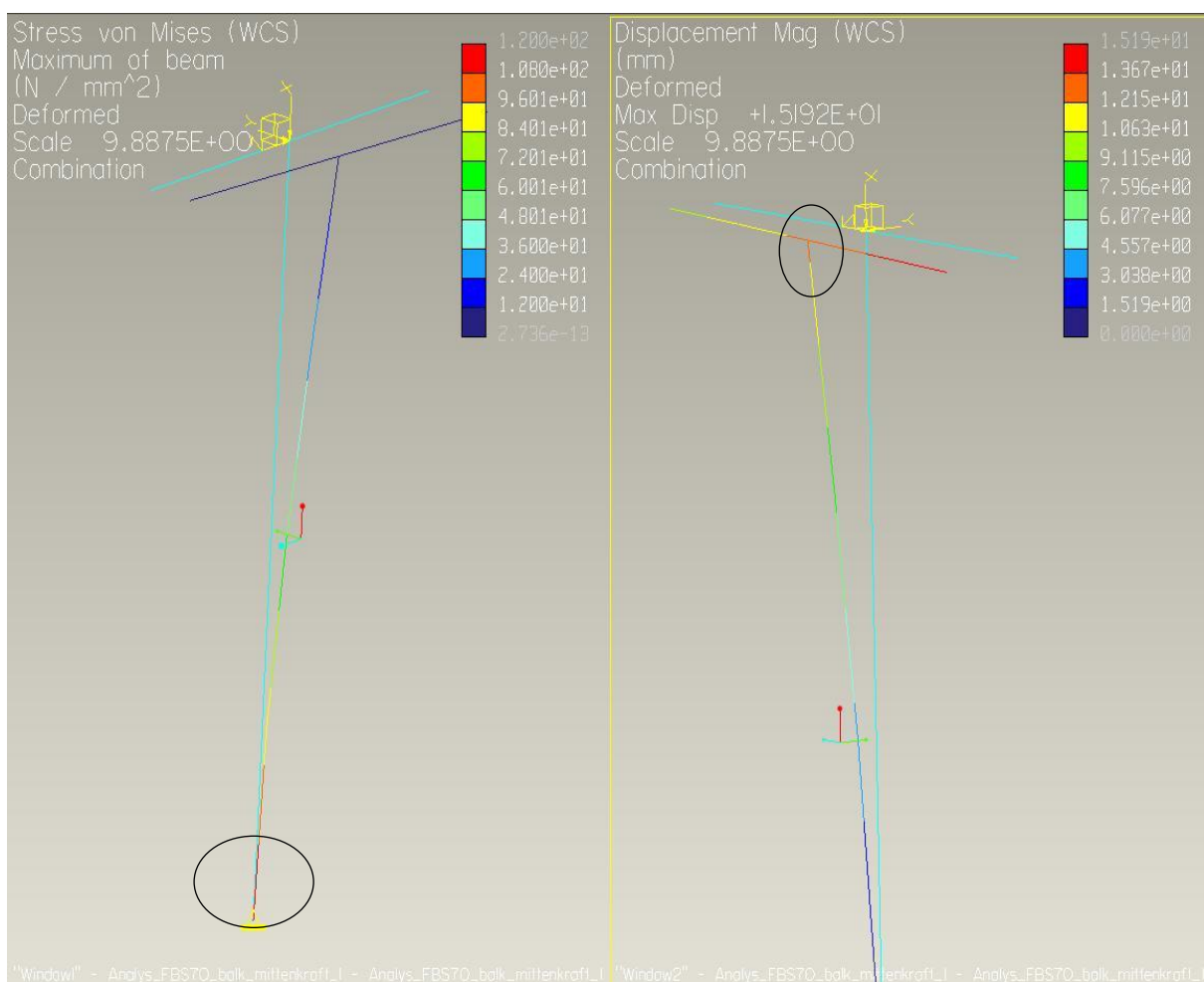
Tre förskjutningar uppkommer enligt nedan.

δ_h : Förskjutningen p.g.a. den horisontella kraften. Förskjutningen blir i Z-led, samma håll som kraften ligger. Minimal förskjutning eftersom kraften som lades på var liten i jämförande till de andra krafterna.

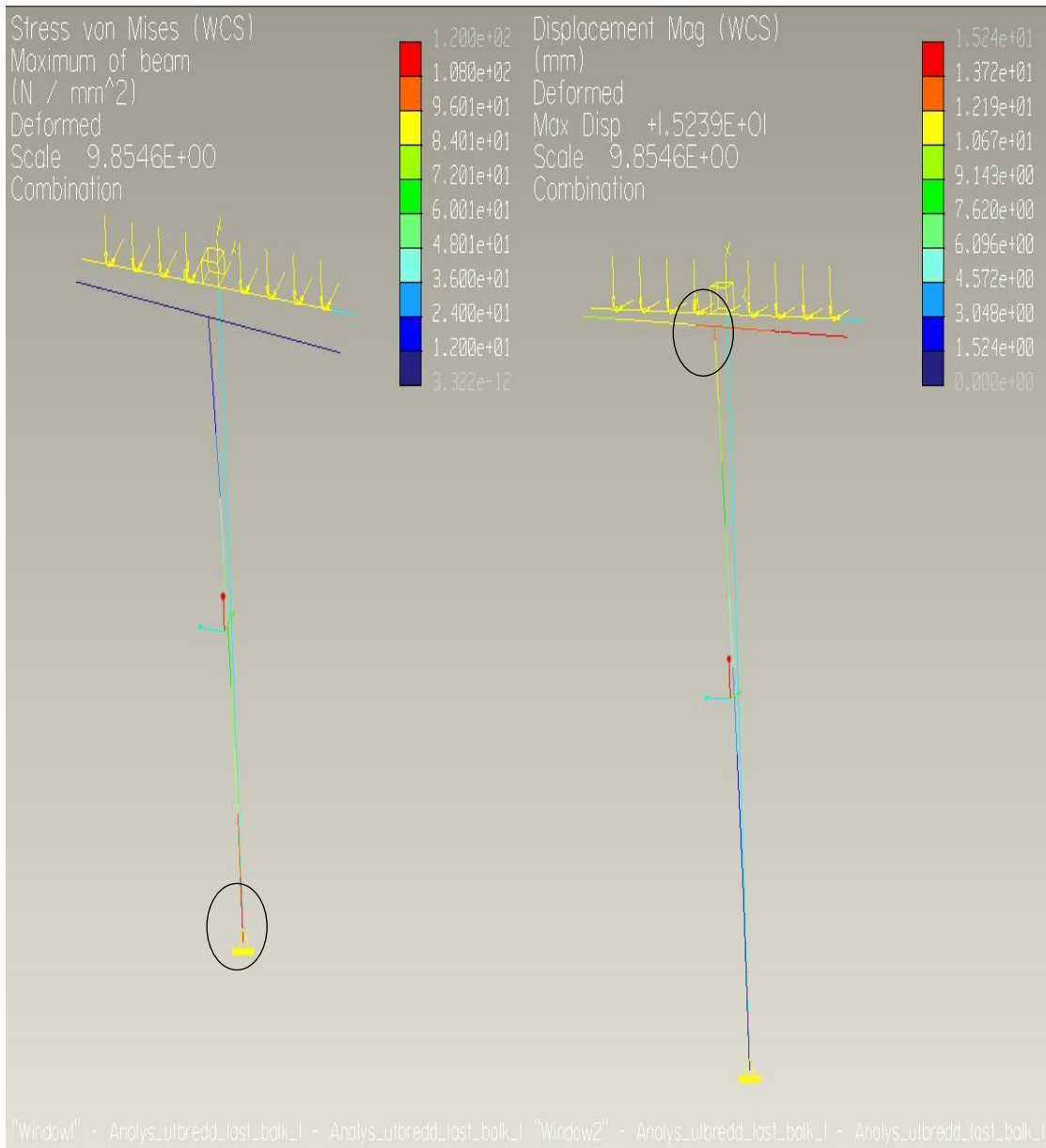
δ_v : Förskjutningen som uppstår p.g.a. den vertikala kraften. Förskjutningen uppstår i Y-led, den är så liten därför att L-balkens fläns skapar en liten hävarm.

δ_a : Förskjutningen som uppstår p.g.a. den axiella kraften. Den gav störst påverkan på förskjutning och även Von mises spänningen då denna kraft var den dimensionerande kraften. Nedan visas tre figurer (4-6) med spänning samt förskjutning i de tre olika lastfallen.

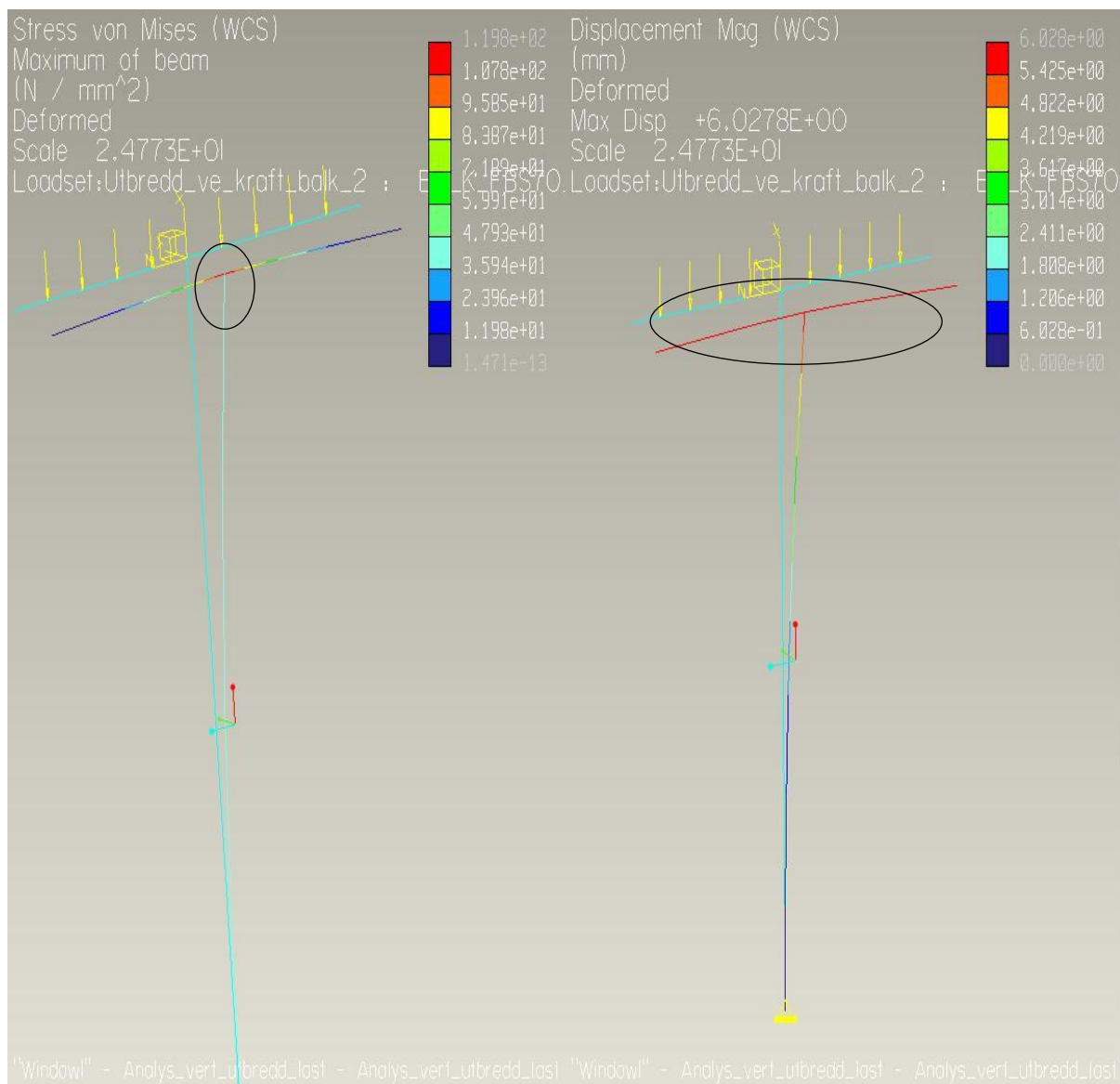
Figur 3 på sidan 9 visar koordinatsystemets placering i figuren.



Figur 4. Visar von Mises (till vänster) samt förskjutning (till höger) för punktlast samt var dessa är störst på stödet (se ringar).



Figur 5. Visar von Mises (till vänster) samt förskjutning (till höger) för utbredd last samt var dessa är störst på stödet (se ringar).



Figur 6. Visar von Mises (till vänster) samt förskjutning (till höger) för vertikal utbredd last samt var dessa är störst på stödet (se ringar).

UPE-balken är 1500 mm lång och max tillåten förskjutning är 2% av längden, alltså 30 mm. Max Von mises är halva sträckgränsen för materialet som i detta fallet blir 120 Mpa. I tabellerna 3-5 ser vi vilka maxkrafterna är. Det är lätt att se hur mycket stödet får belastas som mest med i de olika lastfallen. L-balken är 900 mm lång och ligger centrerad runt UPE-balken.

Tabell 6. Balkprofiler för de olika analyserna

3.2.1 FBS 59

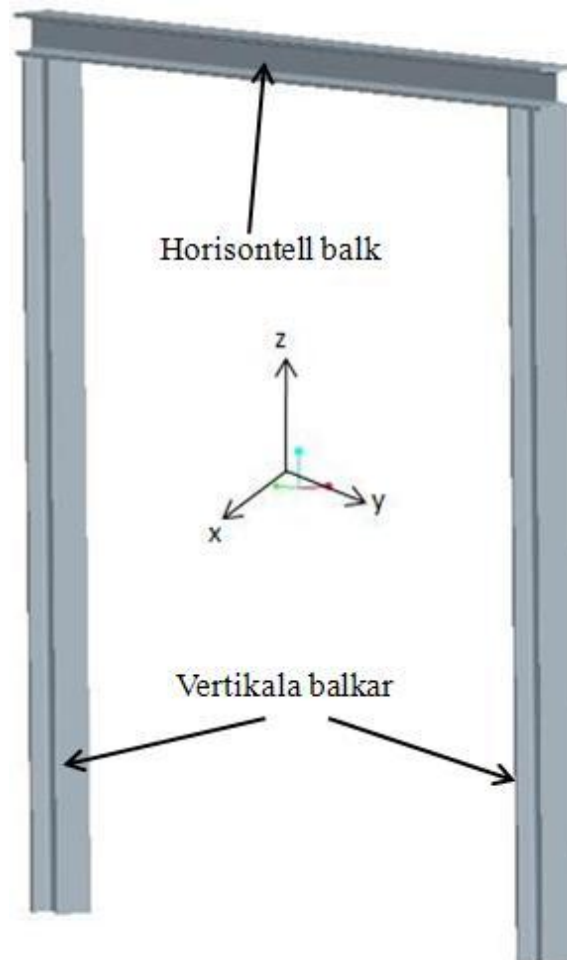
FBS 59 består av tre olika balkar, som bilaga 1 visar. Dessa balkar har samma profiler och 6 analyser ska göras enligt tabell 6.

Alla analyser sker med balkmodell, på samma sätt som i analyserna för FBS 70 ovan. Tre olika lastfall analyserades i var och en av analyserna. Materialet är i detta stödet S275JR, där sträckgränsen är 260 MPa (se bilaga 2) varför max tillåten von Mises blir 130 MPa.

Nummer	Balkprofil
1	HEB 100
2	HEB 140
3	HEB 180
4	UPE 100
5	UPE 140
6	UPE 180

3.2.2 Resultat

Resultaten mellan analys av punktlast och utbredd last blev även här samma. Detta beror på att i fallet med punktlast lades den på mitten av den horisontella balken och påverkade därmed de två vertikala stöden lika mycket. I fallet med den utbredda lasten så ligger lasten jämt utbredd på den horisontella balken och påverkar de två vertikala balkarna på samma sätt som i fallet med punktlast. Se figur 7 för benämning av balkarna. Resultatet visas i tabellerna 7-9 på nästa sida.



Figur 7. Visar koordinatsystemets placering samt benämningen på balkarna.

Punktlast:

Tabell 7. Resultat för punktlast pålagt på mitten av den vertikala balken (överdelen).

Balkprofil	Axiell kraft(N)	δ_{ax} (mm)	Horisontell kraft (N)	δ_h (mm)	Vertikal Kraft (N)	δ_v (mm)	δ_{tot} (mm)	σ_{vM} (MPa)
HEB 100	4170	13,65	1390	0	2085	0	13,65	130,00
HEB 140	9800	10,41	3270	0	4900	0	10,41	128,40
HEB 180	19600	7,024	6530	0	9800	0	7,024	128,90
UPE 100	1360	22,19	453	0	680	-0,13	22,06	129,90
UPE 140	2360	15,59	787	0	1180	-0,41	15,18	129,00
UPE 180	3800	12,87	1267	0	1900	-0,41	12,46	129,70

Utbredd last:

Tabell 8. Resultat för jämt utbredd last lagd på ytan av den vertikala balken.

Balkprofil	Axiell kraft (N)	δ_{ax} (mm)	Horisontell kraft (N)	δ_h (mm)	Vertikal Kraft (N)	δ_v (mm)	δ_{tot} (mm)	σ_{vM} (MPa)
HEB 100	4170	13,59	1390	0	2085	0	13,59	129,30
HEB 140	10070	9,41	3357	0	5035	0	9,41	129,90
HEB 180	19850	7,035	6617	0	9925	0	7,035	130,00
UPE 100	1360	19,76	453	0,503	680	-0,142	20,121	129,70
UPE 140	2360	15,61	787	0,27	1180	-0,130	15,75	128,5
UPE 180	3800	12,88	1267	0,315	1900	-01,30	13,065	128,9

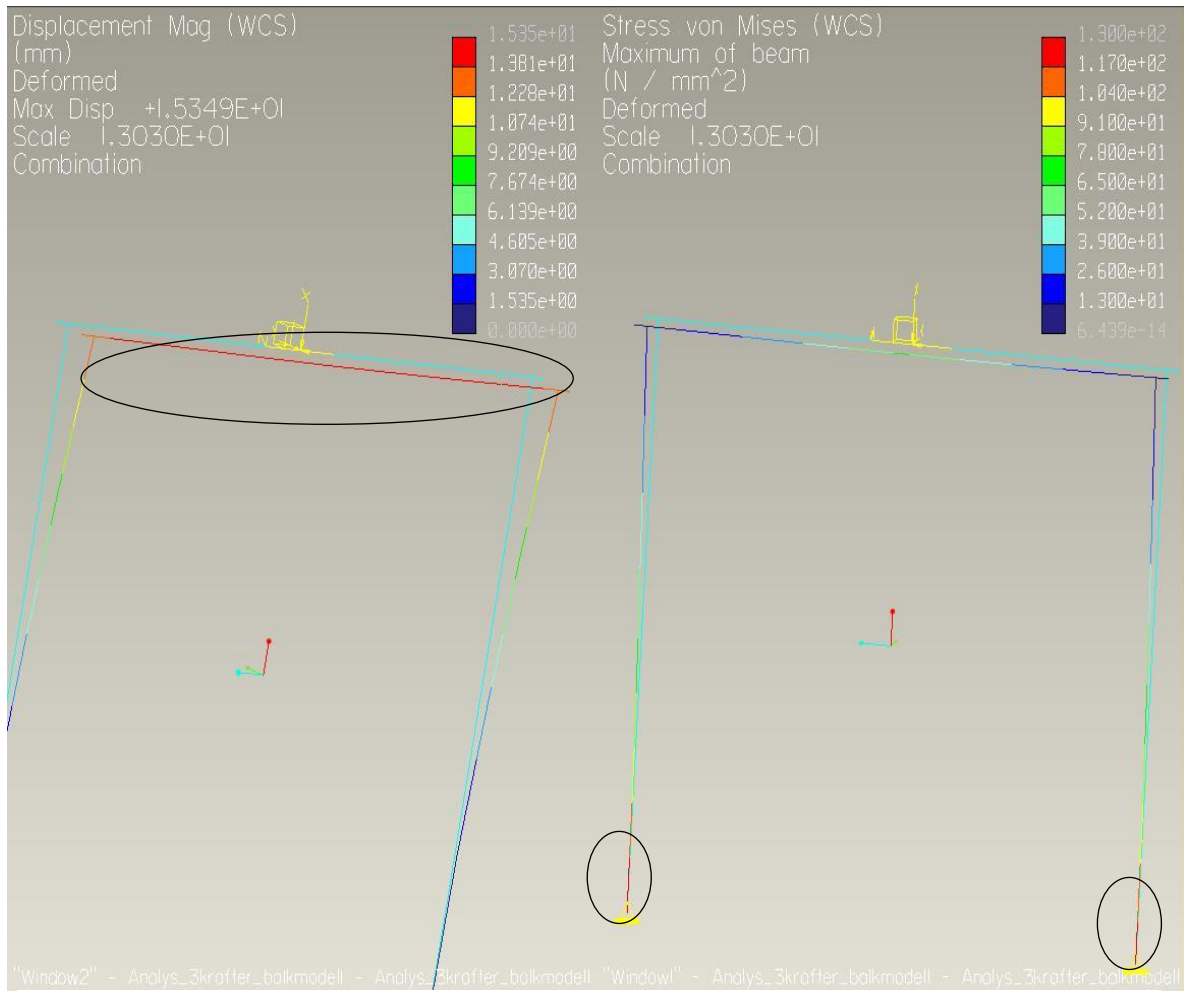
Vertikal utbredd last:

Tabell 9. Resultat för vertikal utbredd last på ytan av den vertikala balken.

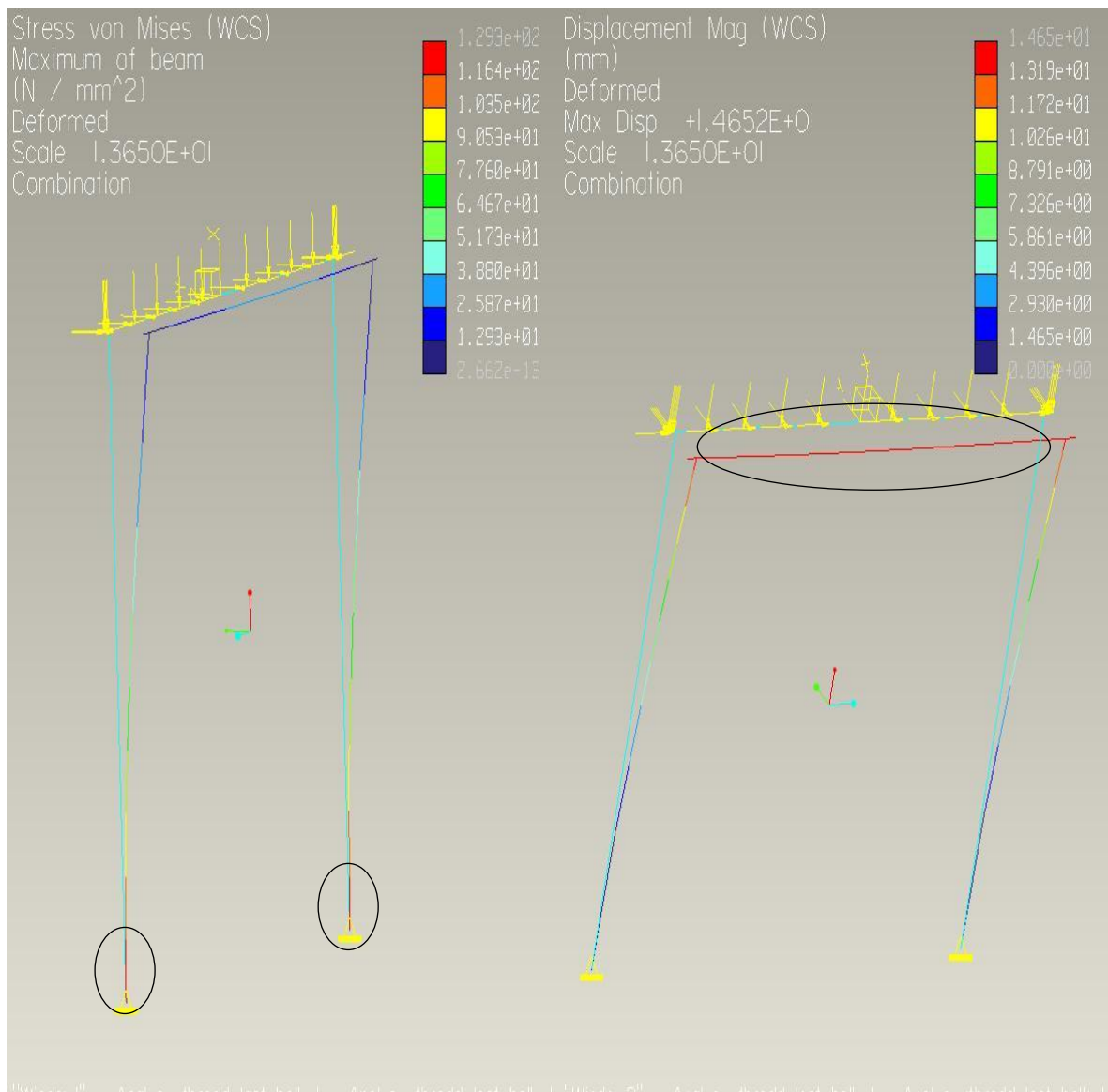
Balkprofil	Vertikal Kraft (N)	δ_v (mm)	σ_{vM} (MPa)
HEB 100	86500	4,417	129,5
HEB 140	215000	3,476	129,6
HEB 180	434000	3,035	129,7
UPE 100	15600	4,221	129,29
UPE 140	23700	3,247	129,8
UPE 180	33100	2,682	129,66

Deformationen på grund av den vertikala och horisontella kraften är minimala. Störst påverkan på detta stöd har den axiella kraften för de två första fallen.

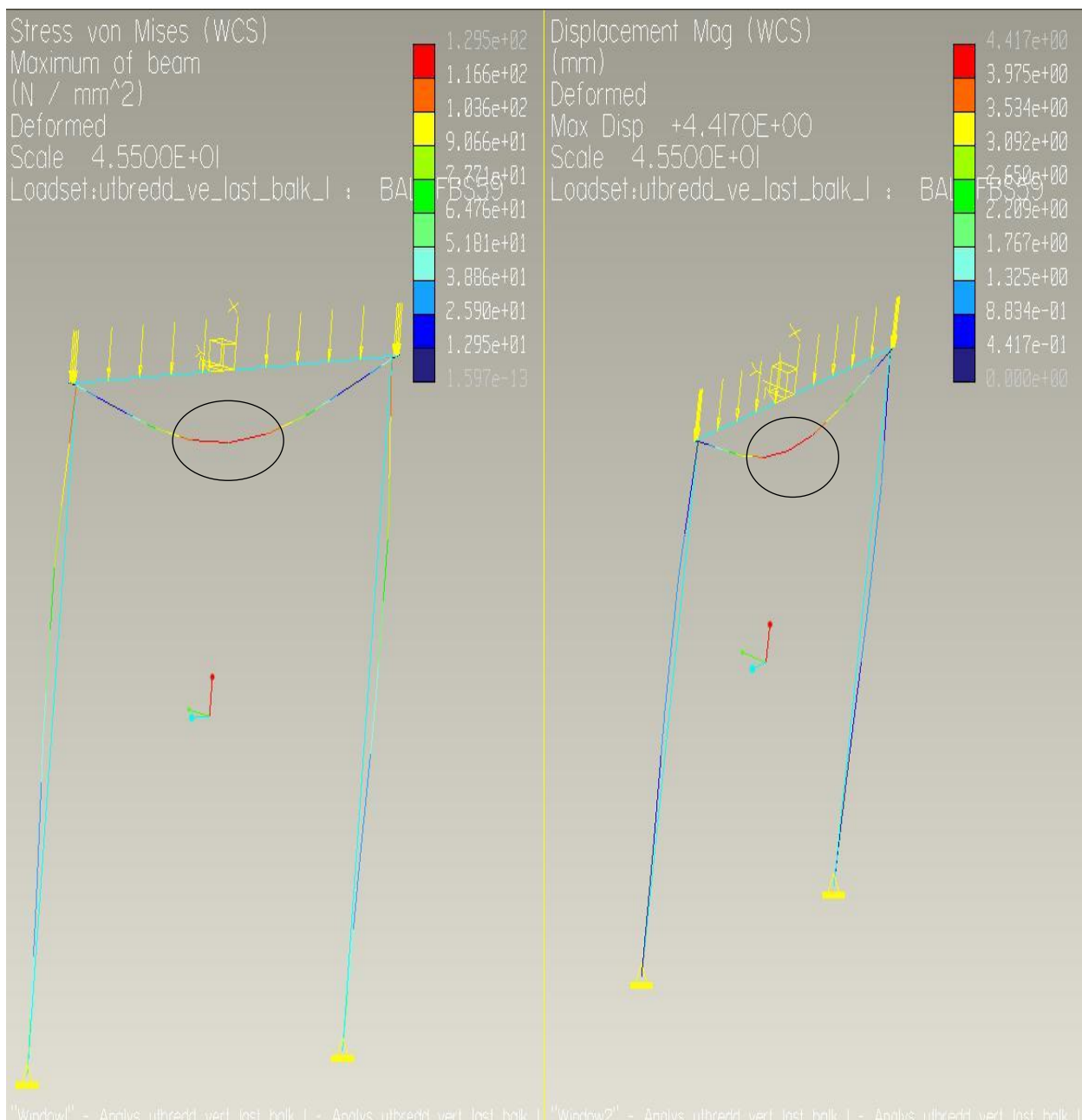
Nedan visas tre figurer (8-10) med var störst von Mises spänning samt förskjutning uppkommer i de olika lastfallen samt hur förskjutningen ser ut. Figur 7 visar koordinatsystemets placering i stödet.



Figur 8. Visar von Mises (till h gerer) samt förskjutning (till vänster) för fallet med punktlast. Visar även var max von Mises samt störst förskjutning uppstår (se ringar).



Figur 9. Visar von Mises (till vänster) samt förskjutning (till höger) för fallet med utbredd last. Visar även var max von Mises samt störst förskjutning uppstår (se ringar).



Figur 10. Visar von Mises (till vänster) samt förskjutning (till höger) för lastfallet med en utbredd vertikal last. Visar även var max von Mises samt störst förskjutning uppstår (se ringar).

Eftersom den axiella kraften är störst, som är bestämt sen tidigare, så uppstår största von Mises i infästningen av de vertikala balkarna och det var där som spänningen först uppmättes till 130 MPa. Se figur 8 och 9 på sidan 17 och 18 för att se var.

I fallet med endast en vertikal last uppstår förskjutningen och störst von Mises på den horisontella balken i mitten enligt figur 10 ovan.

Balkarna är 2000 mm långa och kravet på den största förskjutningen är 2% vilken ger en max tillåten förskjutning på 40 mm. Som tabellerna 7-9 visar så ligger förskjutningen väl inom tillåten gräns. I fallet med endast en vertikal utbredd last uppstår en annan förskjutning, se figur 10 för en bild av var spänningar och förskjutning uppstår.

3.3.1 FBS 73

FBS73 består av 2 balkar med samma profil, se bilaga 1 för en vy över stödet. Kombinationer av balkar som ska analyseras kan ses i tabell 10.

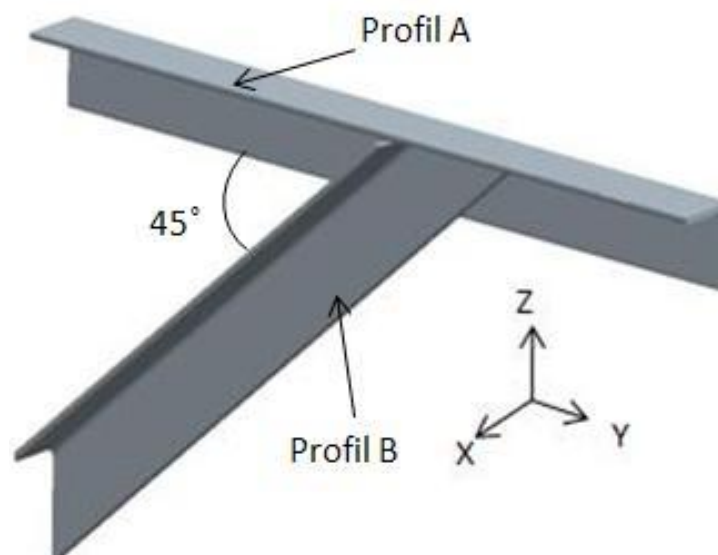
Alla analyser gjordes med balkprofiler. Punktlasten las mitt på där de två balkarna möttes (se figur 11) och den utbredda lasten över hela ytan på den vertikala balken. Materialet är i detta stödet S275JR, där sträckgränsen är 260 MPa (se bilaga 2) och max tillåten von Mises (σ_{VM}^{max}) därför 130 MPa.

Tabell 10. Balkprofiler för de olika analyserna av FBS 73.

Nummer	Balkprofil
1	L 80*40*8
2	L 100*65*9
3	L 150*100*12
4	HEB 100
5	HEB 120
6	U100

3.3.2 Resultat

På detta stöd fås inte samma förskjutningar och Von mises på lastfallen med punktlast och 3 utbredda laster, där krafterna är lika stora i båda fallen. Detta beror på att stödet inte är symmetriskt. Profil B ligger 45° mot profil A (den vertikala balken) och därför påverkar inte krafterna balken symmetriskt. Därav skiljer sig värdena mellan punktlasten och den utbredda lasten. Däremot uppstår största Von mises spänningen längst in på profil A i båda fallen, där den är fast inspänd. Detta beror på att den axiella kraften är störst och påverkar denna balk mest. Störst spänning uppstår på samma ställe även i det vertikala lastfallet, detta kan ses i figurer 12-14. På nästa sida visas resultaten från de tre olika lastfallen (tabell 11-13).



Figur 11. Visar koordinatssystemets placering samt vad balkarna kallas.

Punktlast:

Tabell 11. Resultat för punktlast lagd på den vertikala balken (överdelen).

Balkprofil	Axiell kraft (N)	δ_{ax} (mm)	Horisontell kraft (N)	δ_h (mm)	Vertikal Kraft (N)	δ_v (mm)	δ_{tot} (mm)	σ_{vM} (MPa)
L 80*80*40	643	4,48	215	0,027	322	0,010	5,00	130,0
L 100*65*9	1952	5,70	651	0,074	976	0,028	5,80	130,0
L150*100*12	6260	3,78	2087	0,078	3130	0,041	3,86	130,0
UPE 100	1950	4,92	650	0,046	975	0,015	5,03	129,4
HEB 100	6380	3,27	2127	0,006	3190	0,021	3,27	130,0
HEB 120	10000	2,70	5000	0,006	3333	0,025	2,700	129,3

Utbredd last:

Tabell 12. Resultat för utbredd last lagd på ytan av den vertikala balken (överdelen).

Balkprofil	Axiell kraft (N)	δ_{ax} (mm)	Horisontell kraft (N)	δ_h (mm)	Vertikal Kraft (N)	δ_v (mm)	δ_{tot} (mm)	σ_{vM} (MPa)
L 80*80*40	643	4,48	215	0,067	322	0,18	5,00	130,0
L 100*65*9	1952	5,70	651	0,074	976	0,028	5,80	130,0
L150*100*12	8200	3,26	2734	0,071	4100	0,048	3,37	130,0
UNP 100	2690	7,34	897	0,067	1345	0,087	7,41	129,7
HEB 100	9000	4,46	3000	0,006	4500	0,040	4,47	130,0
HEB 120	13500	3,88	4500	0,007	6750	0,045	3,88	129,7

Vertikal last:

Tabell 13. Resultat för en vertikal utbredd last på ytan av den vertikala balken (överdelen).

Balkprofil	Vertikal kraft (N)	δ_v (mm)	σ_{vM} (MPa)
L 80*80*40	18760	1,17	130,0
L 100*65*9	35380	1,27	130,0
L150*100*12	92850	1,09	130,0
UNP 100	29300	0,89	129,7
HEB 100	126200	1,22	129,8
HEB 120	183500	1,23	129,9

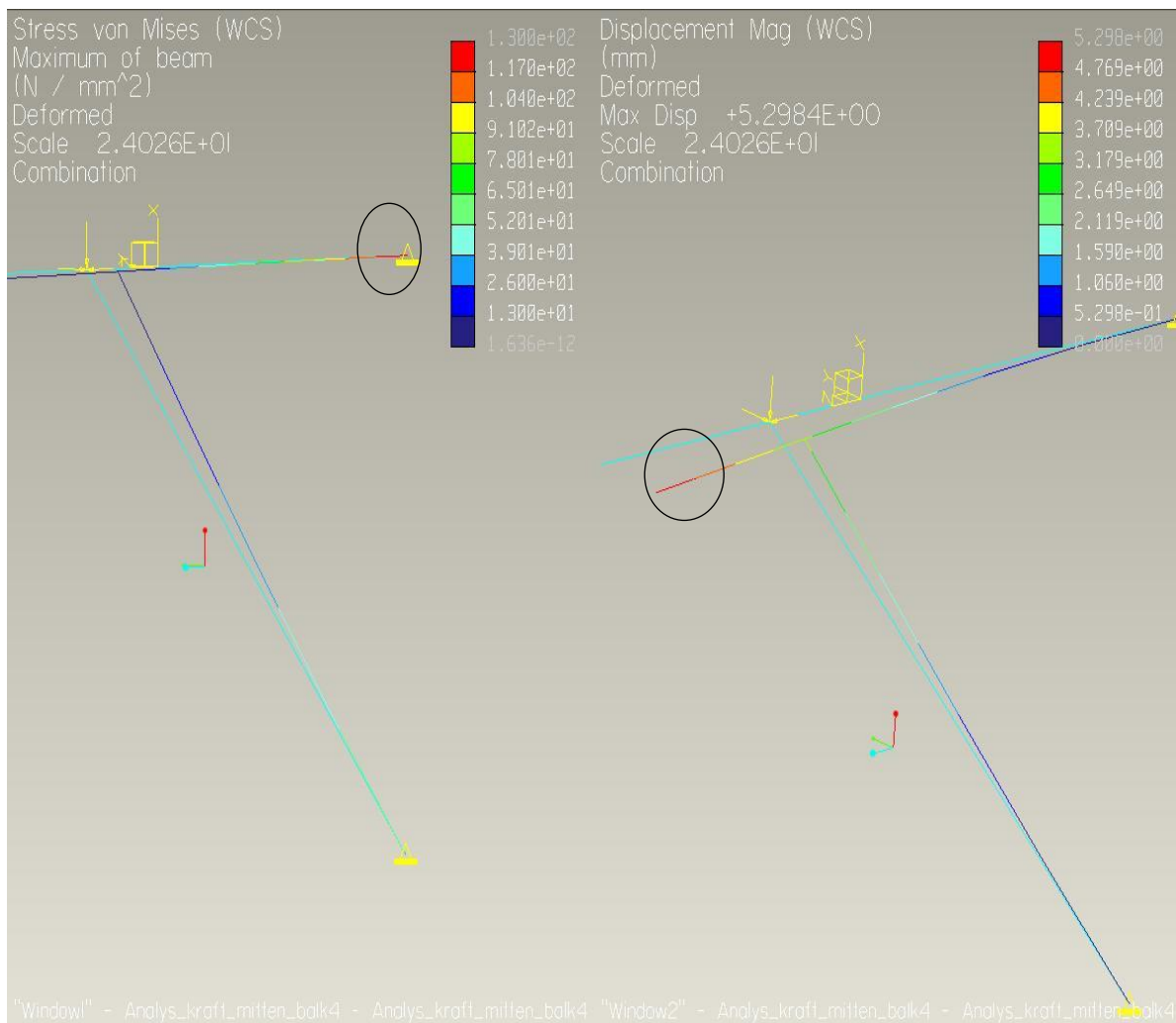
Tre förskjutningar uppstår på grund av de tre olika krafternas riktning.

δ_v : Förskjutning på grund av vertikal kraften.

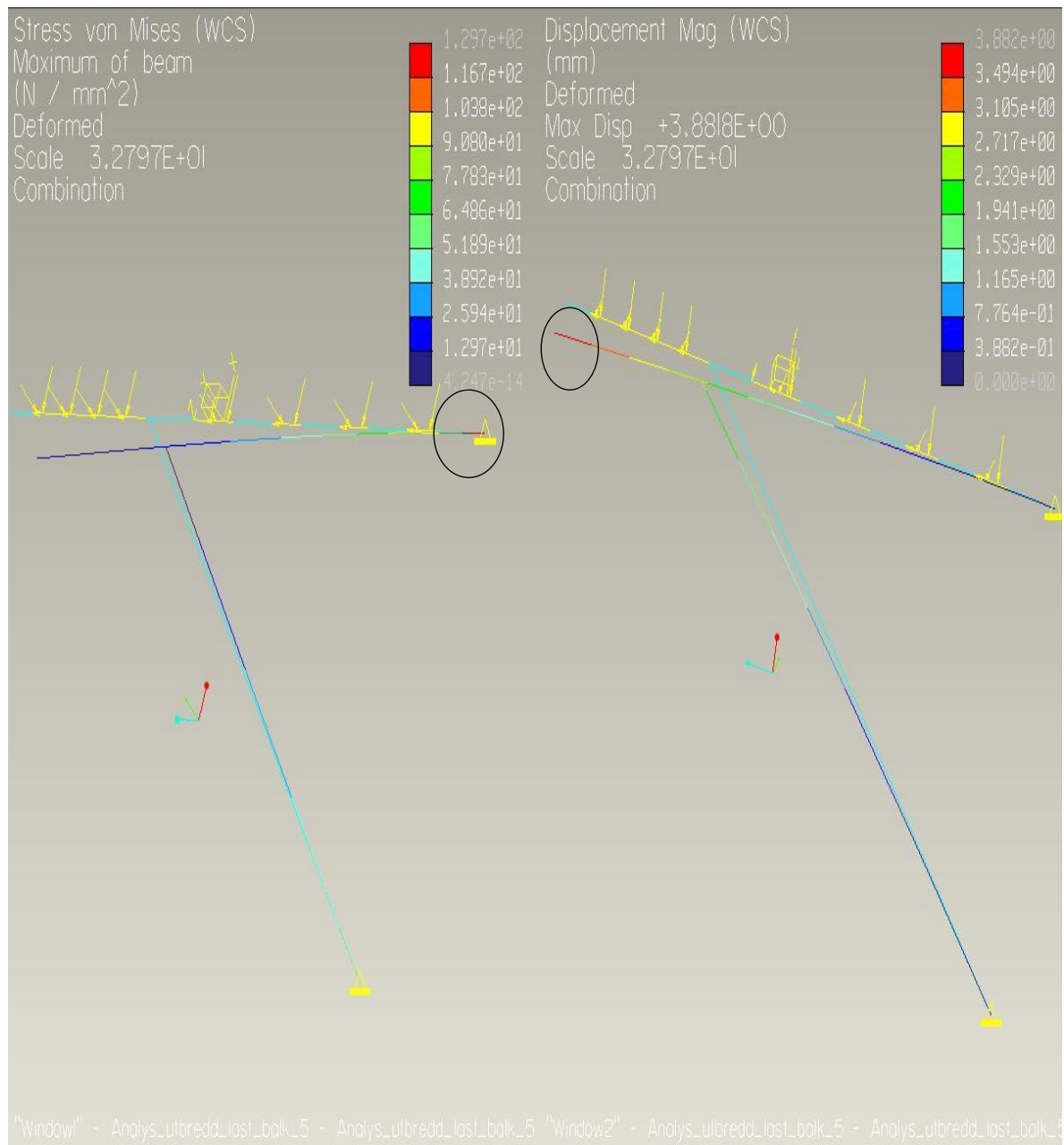
δ_h : Förskjutningen på grund av den horisontella.

δ_a : Förskjutningen på grund av den axiella kraften.

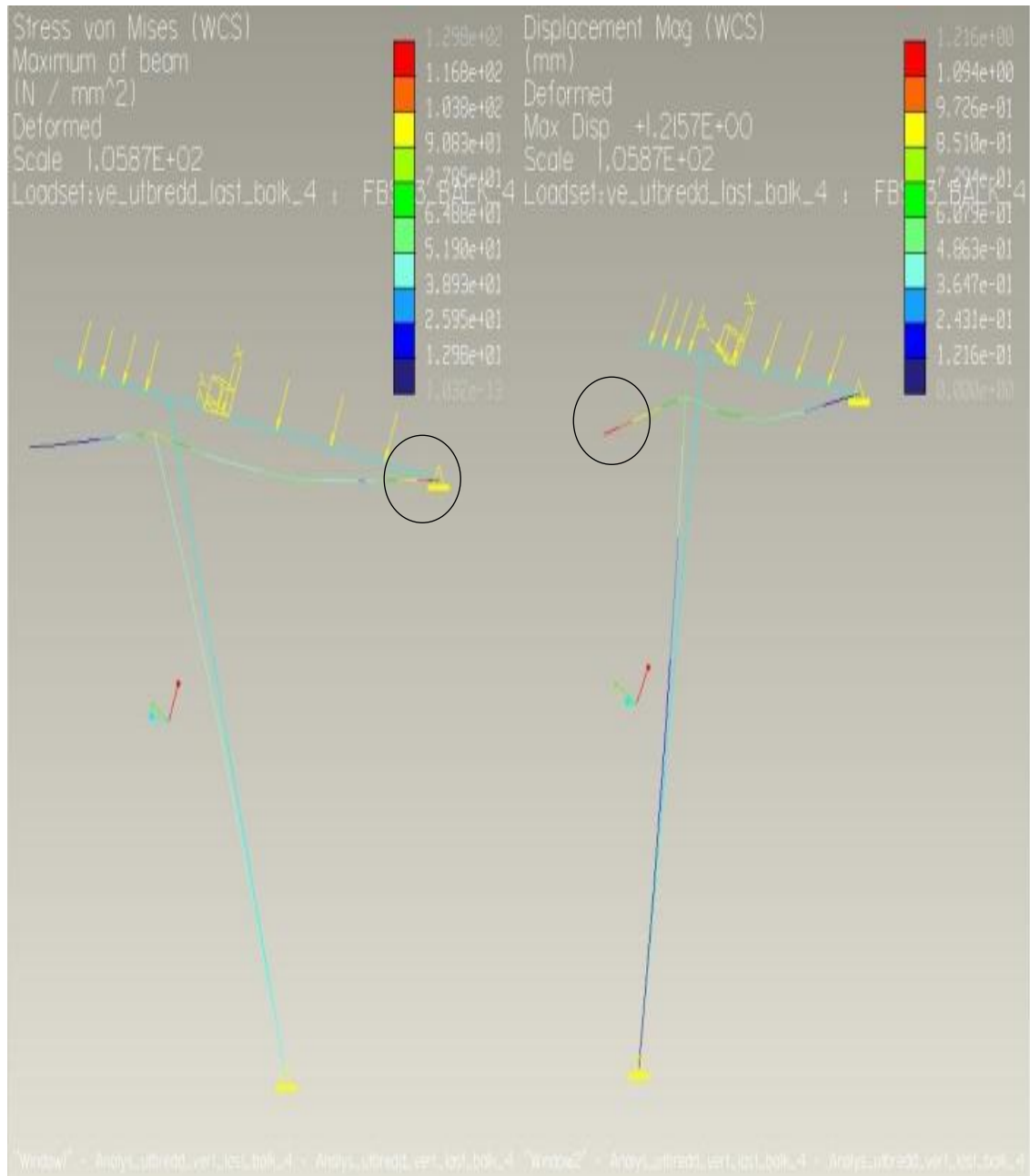
Nedan visas tre figurer (12-14) med var störst von Mises spänning samt förskjutning uppkommer. Figur 11 visar koordinatsystemets placering.



Figur 12. Visar von Mises (till vänster) samt förskjutning (till höger) för fallet med punktlast. Visar även var störst förskjutning samt max von Mises uppstår (se ringar).



Figur 13. Visar von Mises (till vänster) samt förskjutning (till höger) för fallet med utbredd last. Visar även var störst förskjutning samt max von Mises uppstår (se ringar).



Figur 14. Visar von Mises (till vänster) samt förskjutning (till höger) för fallet med en vertikal utbredd last. Visar även var störst förskjutning samt max von Mises uppstår (se ringar).

Det är profil A (den vertikala balken) som får störst deformation och därför denna som max tillåten förskjutning och von Mises spänning räknas ut på. Balken är 1292 mm lång och max tillåten förskjutning blir därför 25,8 mm. Alla totaldeformationer ligger väl inom detta område. Max tillåten spänning på 130 MPa var det krav som uppnåddes först.

3.4.1 FBS 8

Detta rörstöd skiljer sig lite från de tre andra. Den består av en ensam balk som står upp enligt bilaga 1. På denna balk uppstår endast ett lastfall. Balken går ner i stödet och sitter fastsvetsat. Endast en vertikal last räknas med som ligger rakt ner på balken. Eftersom balken är urholkad för att röret ska passa in fick alla analyser göras med solidmodell då det inte går att göra urholkningen för röret med en balkmodell. Fyra analyser gjordes på detta stöd. Se tabell 14 bredvid.

Tabell 14. Tabell som visar vilka balkprofiler som används vid de olika analyserna

Balkprofil	Rördiameter Φ	Nummer
HEB 100	150	1
HEB 140	200	2
HEB 140	250	3
HEB 200	300	4

En solidmodell skapades med de olika balkprofilerna och urholkningen av röret gjordes. Materialet på dessa balkar är S235JRG2 (stål) med en sträckgräns på 240 MPa. Sedan lades randvillkor samt den vertikala kraften på samma sätt som tidigare och analyser kördes.

3.4.2 Resultat

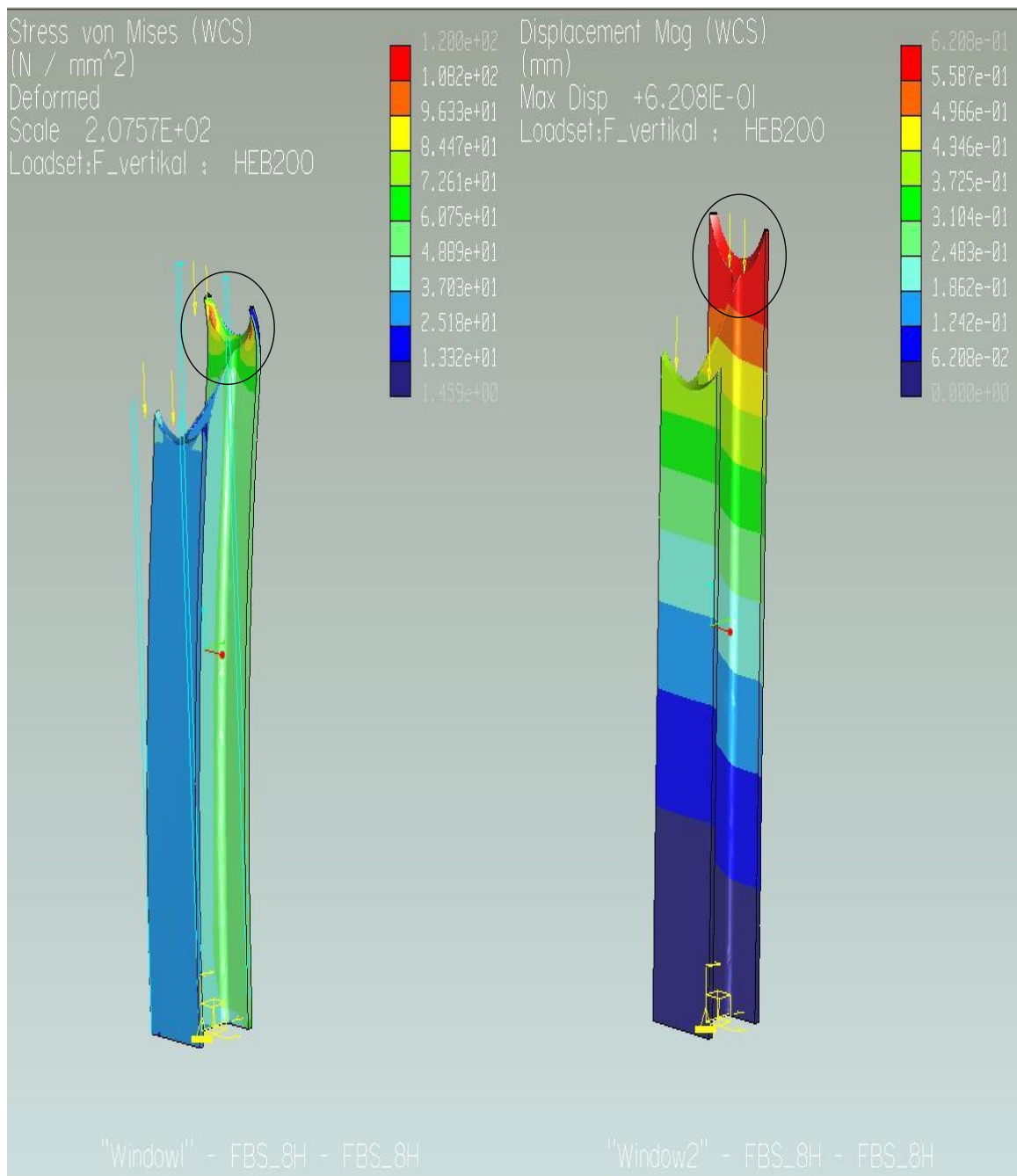
Resultaten från analyserna är följande:

Tabell 15. Resultat för den vertikala kraften.

Balkprofil	Vertikal kraft (N)	δ_v (mm)	σ_{vM} (MPa)
HEB 100	114400	1,187	120
HEB 140	179900	0,8135	120
HEB 140	225900	0,63580	120
HEB 200	326300	0,6208	120

På detta stöd ligger kraften på balken och därför uppstår ett annat fall än övriga. Normalt uppstår ingen förskjutning på balkar som står vertikalt och belastas med en kraft rakt ner på balken. Här fås en liten förskjutning på grund av urholkningen av balken. Vanligtvis kan en knäckningslast räknas ut på dessa fall. Dock uppnåddes max tillåten von Mises långt innan någon risk för knäckning förekom. Max tillåten von Mises är 120 MPa. Balken är nästan 1200 mm lång.

Krafterna som balken klarar innan max tillåtna värden uppnås beror på att balken är väldigt kort och kraften ligger mitt på. Inga beräkningar gjordes därför på detta fall. Hade balken däremot varit mycket längre, t.ex. 10-20 meter lång hade knäckningen varit av intresse. Figur 15 nedan visar var störst von Mises- spänning uppkommer samt även den minimala förskjutningen.



Figur 15. Visar von Mises (till vänster) samt förskjutning (till höger). Visar även var störst förskjutning samt max von Mises uppstår (se ringar).

4 RESULTAT OCH SLUTSATS

Hur man väljer vilket stöd som behövs beror på flera olika faktorer. Först och främst måste stödets hållbarhetsfunktion ses över. Om inte stödet klarar av de krafter som läggs på måste ett stabilare stöd väljas, alternativt samma stöd med kraftigare balkar. Även tillgänglighet av yta ses över, ibland kanske man inte får plats med ett FBS 59 stöd, då behövs kanske ett annat stöd, t.ex. FBS 70 väljas, och förstärkas. FBS 73 är lämpligt om man har en vägg att fästa detta i.

Resultatet av detta examensarbete är tänkt att hjälpa konstruktörer att lätt välja rörstöd och balkprofil när t.ex. en ny fabrik ska byggas eller en gammal ska modifieras. Innan FEM-analyser fanns och blev lätt att använda var handberäkningar och erfarenhet något som kunde användas för att välja dessa. Handberäkningarna brukade vara förenklade överslagsräkningar och kunde därför ge fel värden. På grund av detta användes en stor säkerhetsmarginal som gjorde att stöden blev grovt överdimensionerade. Det hände även ibland att stöd inte klarade tyngden och gick sönder.

Med FEM-program och analyser är det i dagens läge lätt att räkna ut och se hur stora krafter/tyngder som ett stöd klarar av. Med stora säkerhetsmarginaler finns det också plats för små fel. En säkerhetsmarginal på von Mises spänning som är 50 % av sträckgränsen för materialet har använts när samtliga rörstöd dimensionerats. Innan var det inte ovanligt att en säkerhetsmarginal på 20 % av sträckgränsen brukades användas. Att minska på säkerhetsmarginalen gör att mindre profiler kan användas och därmed mindre material. Detta gör att stöden blir billigare men fortfarande ligger väl inom bestämda säkerhetsmarginaler.

Fyra stöd analyserades i detta examensarbete, men det finns ett stort antal standardstöd som behöver analyseras. Detta för att få en katalog över de stöd som COWI erbjuder och för att alla parter lätt ska kunna se vad stöden tål, samt, för att konstruktören enkelt ska kunna se tillåtna krafter. I bilagorna 6-9 visas hur resultatet redovisas för COWI.

Fallet med endast en vertikal last är det allra vanligaste fallet och används i 80 % av de fallen man behöver ett rörstöd.

Några förslag på förbättringar har inte tagits fram i denna rapport. Eftersom rörstöd väljs beroende på laster så är det smidigare att byta balkprofiler eller rörstöd om man upptäcker att ett visst rörstöd inte håller. Om ett visst rörstöd måste användas så är en ide att stötta upp rörstödet med en till balk som lutar snett mot stödet.

5 REFERENSER

Bok:

1. Dahlén, F. Och Johansson, L. G., (2000) *Skapa solidmodeller med Pro/ENGINEER*. Lund, Studentlitteratur
2. Persson, G. (2010) *FEM-Modellering med Pro/Mechanica Wildfire V4.0*. Göteborg
3. Persson, G. (1999) *FEM-modellering med Pro/MECHANICA*, Lund, Studentlitteratur
4. Dahlberg, T. (2001) *Teknisk hållfasthetslära*. Tredje upplagan. Lund, Studentlitteratur
5. Grahn, R. och Janson, P-Å. (2002) *Mekanik*. Upplaga 2:6. Lund, Studentlitteratur
6. Fenster, S. K. och Ugural, A. C. (2008) *Advanced strength and applied elasticity. Fourth edition*. Upper Saddle River, NJ. Prentice Hall
7. Erlandsson, O., Lagerkrans, S., Näslund, R. och Vuorinen, E. (2000) *Maskinhandboken, Lund, Studentlitteratur*

Examensarbete:

8. Mörtzell, A. och Persson, D. (2004) *FEM-analys av trevers*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Examensarbete inom Institutionen för maskinteknik)

Internet:

9. MSC Software, *MSC Nastran Accurate, Efficient & Affordable Finite Element Analysis*.
<http://www.mscsoftware.com/Products/CAE-Tools/MSC-Nastran.aspx>

- 10: Bröderna Edstand, *Balk & Hålprofiler del 2 Produktdata Balk mm*.
<http://www.begroup.com/upload/Sweden/Lilla%20Röda%20PDF/Stål%20&%20Rör/Balk%200&%20Hålprofiler%20del%202%20Produktdata%20Balk%20mm..pdf>

6 BILAGOR

BILAGA 1 RÖRSTÖDSTYPER

BILAGA 2 MATERIAL

BILAGA 3 LASTFALL

BILAGA 4 BALKPROFILER

BILAGA 5 HANDBERÄKNINGAR FÖR FBS 70

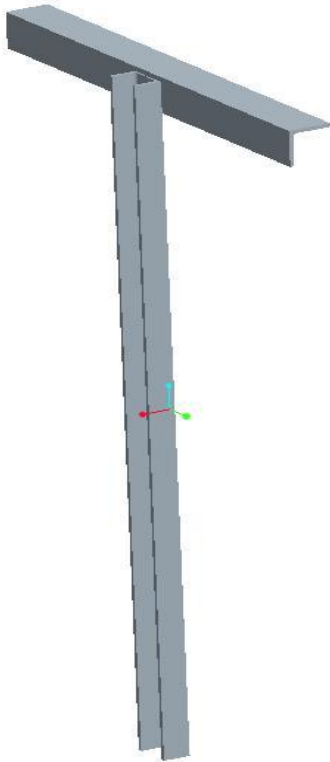
BILAGA 6 FBS 70

BILAGA 7 FBS 59

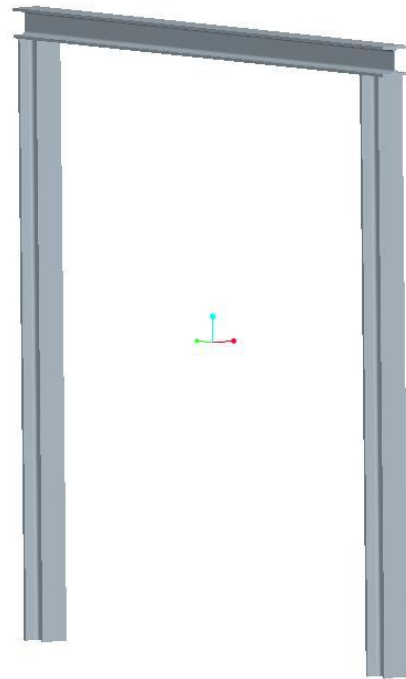
BILAGA 8 FBS 73

BILAGA 9 FBS 8

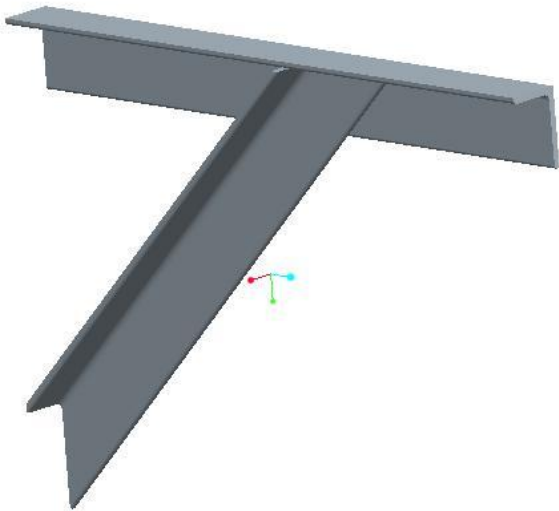
BILAGA 1 RÖRSTÖDSTYPER



Figur B1. Isovy över stöd FBS 70.



Figur B2. Isovy över stöd FBS 59.



Figur B3. Isovy över stöd FBS 73.



Figur B4. Isovy över stöd FBS 8.

BILAGA 2 MATERIAL

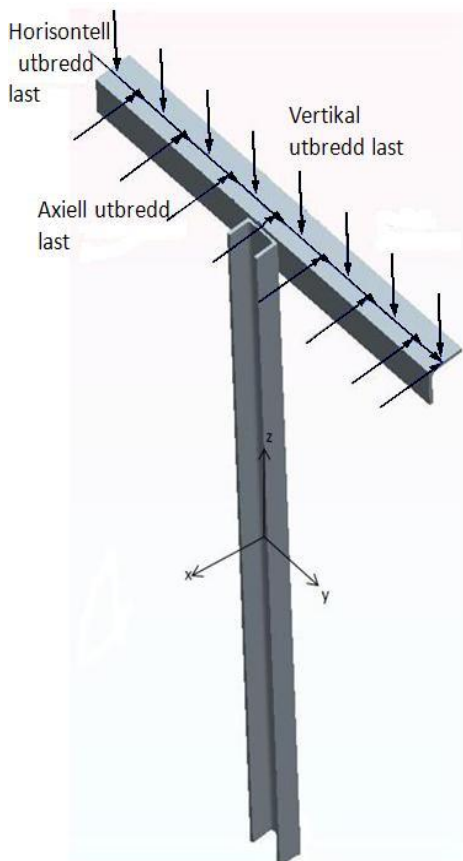
Nedan är en tabell över de två materialtypernas sträckgräns och brottgräns. Som kan utläsas i tabell B1 är det inga större skillnader mellan de två materialen. En viss skillnad finns mellan sträckgräns och brottgräns.

Tabell B1. Visar materialegenskaper för de två olika materialen.

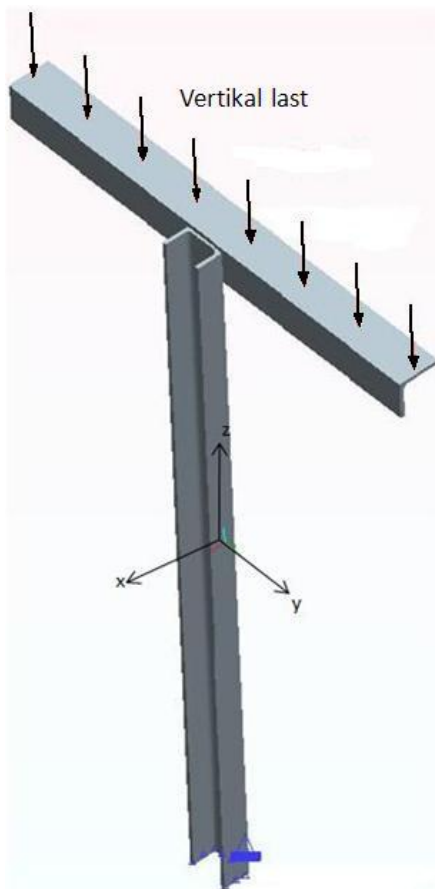
Material	Godstjocklek (mm)	Sträckgräns (Rm) (MPa) min	Brottgräns (ReL) (MPa) min	E-modul (GPa)	Poisson's konstant ν
SS 1312 – 00/S235JRG2	<40	220	360	210	0,27
SS 1412 – 00/S275JR	<40	260	430	210	0,27

BILAGA 3 LASTFALL

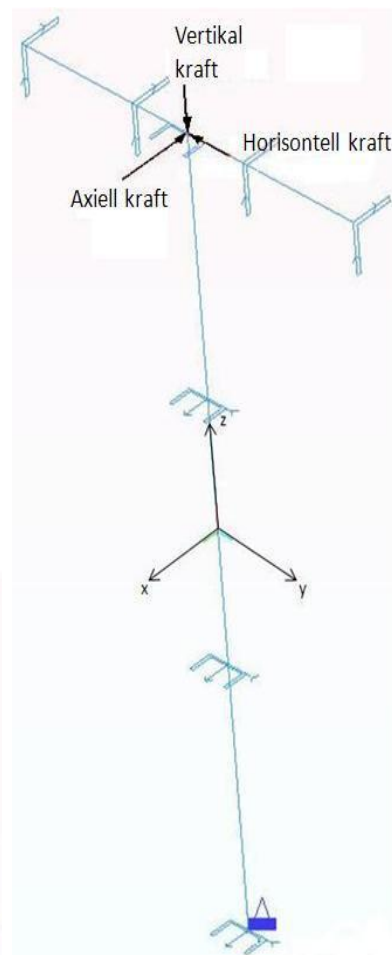
Figurer över hur de olika lastfallen ser ut, punktlast, utbredd last samt endast en vertikal last. Lasterna visas här endast på FBS 70 men samma princip gäller även för FBS 59 samt FBS 73.



Figur B5. Vy över hur de utbredda lasterna ligger.



Figur B7. Visar hur den vertikala utbredda lasten ligger.

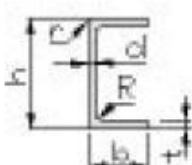


Figur B6. Vy över hur punktlasterna ligger.

BILAGA 4 BALKPROFILER

Detta är måtten för profilerna på de olika balkarna som har används. Dessa har hämtats ur Bröderna Edstrands katalog Balk och hålprofiler, och är en standard som används.

UPE-balk

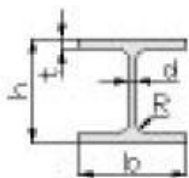


Figur B8. Visar profilen på UPE-balken.

Tabell B2. Visar måtten för de UPE-balkar som har används.

Dimension	h (mm)	b (mm)	d (mm)	t (mm)	R (mm)	r (mm)
80	80	50	4,0	7,0	10	2,0
100	100	55	4,5	7,5	10	2,5
120	120	60	5,0	8,0	12	2,5
140	140	65	5,0	9,0	12	2,5
180	180	75	5,5	10,5	12	3,0
200	200	80	6,0	11,0	13	3,0

HEB-balk



Figur B9. Visar profilen på HEB-balken

Tabell B3. Visar måtten för de HEB-balkar som har används.

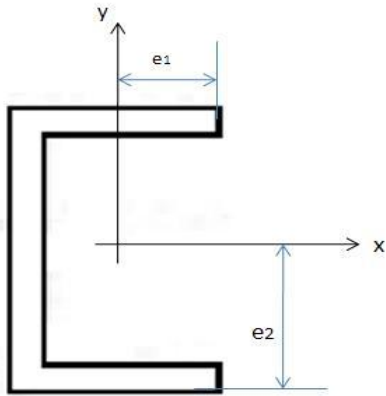
Dimension	h (mm)	b (mm)	d (mm)	t (mm)	R (mm)
100	100	100	6,0	10,0	12
120	120	120	6,5	11,0	12
140	140	140	7,0	12,0	12
180	180	180	8,5	14,0	15

L-balk

L-balkarna har de mått som namnet anger. T.ex. så har L 80*80*8 sidorna 80 mm samt tjockleken 8 mm.

BILAGA 5 HANDBERÄKNINGAR

$e_1=32 \text{ mm}$ $e_2=40 \text{ mm}$ (längen från tyngdpunkten till ändkanten, där störst spänning verkar)



Figur B10. TP-koordinater.

Ekvationen för böjspänning är:

$$\sigma_b = \frac{Mb + e}{I} \quad (1)$$

Numeriska värden:

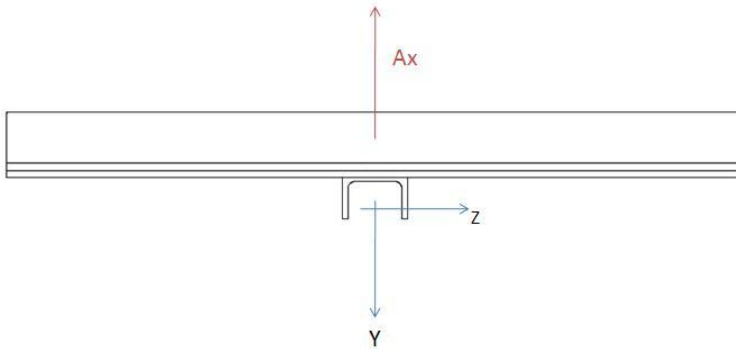
$I_y = 0,257 * 10^6 \text{ mm}^4$ $I_x = 1,06 * 10^6 \text{ mm}^4$ (yttröghetsmomenten i y- och x-led)

$A_1 = 1,02 * 10^3 \text{ mm}^2$ (Arean för UPE-balken) $A_2 = 1,23 * 10^3 \text{ mm}^2$ (Arean för L-balken.)

Eftersom T-stödet påverkas av tre krafter studeras 3 fall med varje kraft var för sig

Dela upp i 3 fall

Fall 1 Axiell kraft A_x



Figur B11. Vy FBS70 ovanifrån samt den axiella kraften.

$$\sigma_{Ax} = \frac{Mb_{Ax} * e_y}{I_z} = \frac{A_x * L}{I_z} * e_y$$

Där:

$$e_1 = 32\text{mm (enligt ovan)}$$

$$L = 1500\text{ mm}$$

$$A_x = 572\text{ N}$$

$$\Rightarrow \sigma_{Ax} = 106,83\text{ MPa (Uppstår i punkt A)}$$

Fall 2 Vertikal kraft

$$\sigma_F = \frac{Mb_F * e_y}{I_z} = \frac{F * b}{I_z} * e_F$$

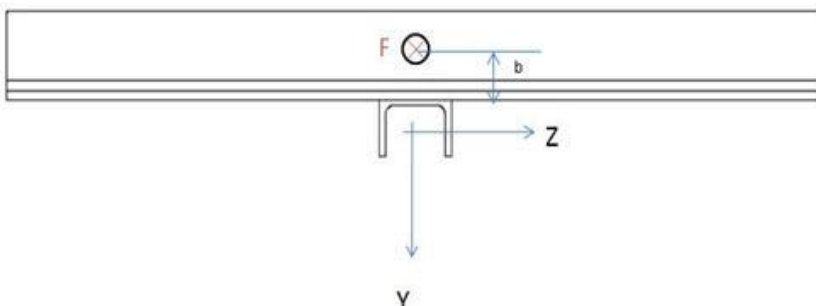
Där:

$$e_x = 1500/2 = 750\text{mm (tyngdpunkten ligger på mitten av UPE-balken)}$$

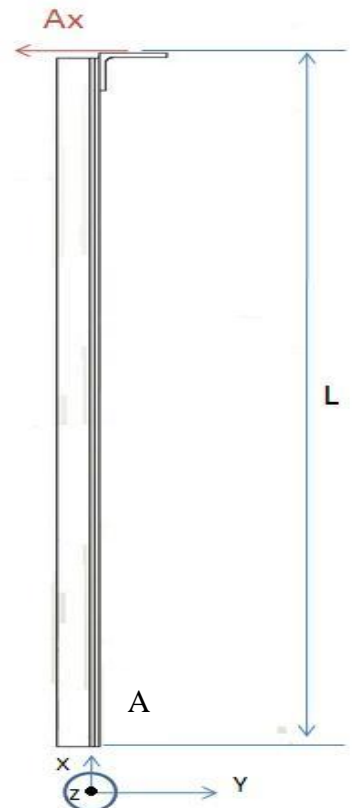
$$b = 40\text{ mm}$$

$$F = 286\text{ N}$$

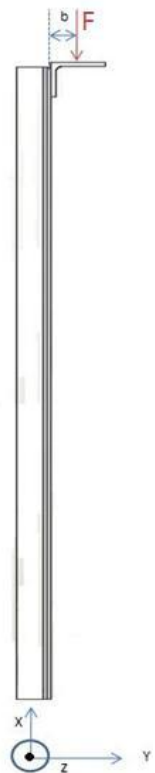
$$\Rightarrow \sigma_F = 33,385\text{ MPa (Uppstår i punkt A)}$$



Figur B13. Vy ovanifrån FBS 70 med vertikal kraft.



Figur B12. Sidovy FBS 70.



Figur B14. Sidovy FBS 70.

Fall 3 Horisontell last

$$\sigma_H = \frac{M b_H * e_z}{I_Y} = \frac{F * b}{I_z} * e_z$$

Där:

$e_2 = 80/2 = 40\text{mm}$ (bredden på UPE-balken delat på två eftersom tyngdpunkten ligger i mitten)

$L = 1500\text{ mm}$

$H = 191\text{ N}$

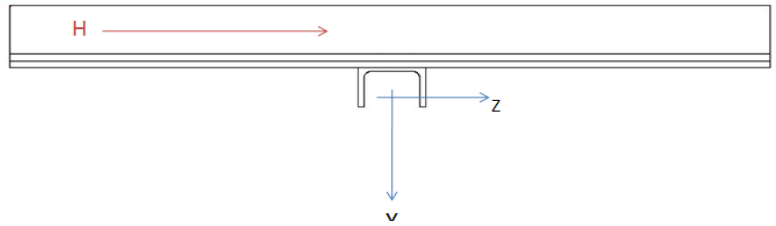
$\Rightarrow \sigma_H = 44,59\text{ MPa}$ (Uppstår i punkt A)

Normalspänning

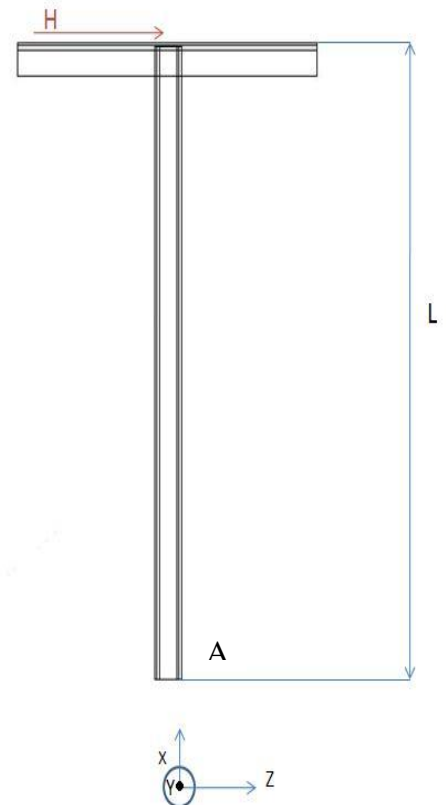
$$\sigma = \frac{F}{A_u} = \frac{1000}{1,02 * 10^3} = 0,28\text{ MPa} \Rightarrow$$

Von mises spänningen blir då:

$$\sigma^{Vm} = \sqrt{\sigma_{Ax}^2 + (\sigma_F + \sigma)^2 + \sigma_H^2} = 120,55\text{ MPa (I punkt A)}$$



Figur B15. Vy ovanifrån FBS 70 med vertikal kraft.



Figur B16. Vy framifrån FBS 70.

Förskjutningar enligt Castiglianos sats

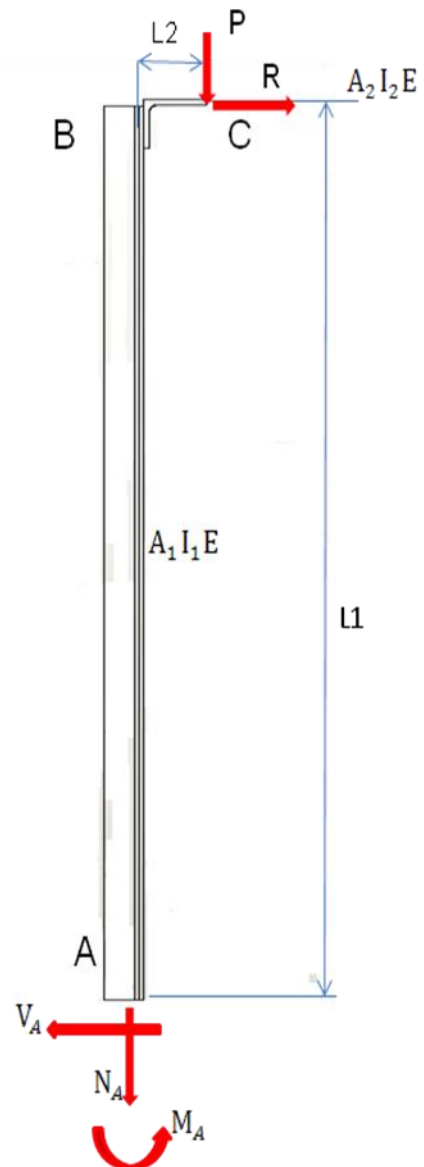
Förskjutningar har räknats på extremfall med lasten längst ut på L-balken (se figur B15 nedan).

Friläggning

$$\rightarrow: R - V_A = 0 \rightarrow R = V_A$$

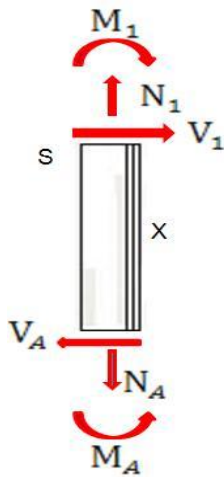
$$\uparrow: -P - N_A = 0 \rightarrow N_A = -P$$

$$\curvearrow A: -M_A + P \cdot L_2 + R \cdot L_1 = 0 \rightarrow M_A = P \cdot L_2 + R \cdot L_1$$



Figur B17. Vy från sidan FBS 70 samt krafter utlagda, samt krafter vid friläggning.

Snitta AB $0 < x \leq L1$



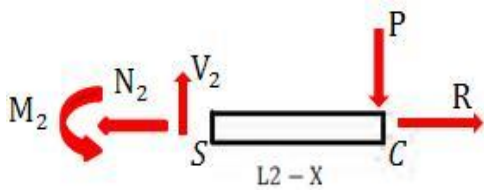
$$0 < x \leq L1$$

$$\uparrow : N_1 - N_A = 0 \rightarrow N_1(x) = -P$$

$$\curvearrowleft S : M_1 - M_A + V_A \cdot x = 0 \rightarrow M_1(x) = P \cdot L2 + R \cdot L1 - R \cdot x$$

Figur B18. Visar tvärsnittskrafter.

Snitta BC $L2/2 < x \leq L2$



Figur B19. Visar tvärsnittskrafter.

$$\uparrow : R - N_2 = 0 \rightarrow N_2(x) = R$$

$$\curvearrowleft S : -M_2 = P(L2 - x) \rightarrow M_2(x) = P(L2 - x)$$

Castiglianos sats:

$$\begin{aligned} \delta_{CP} &= \frac{1}{A_1 E} \int N_1 \frac{\partial N_1}{\partial P} dx + \frac{1}{A_2 E} \int N_2 \frac{\partial N_2}{\partial P} dx + \frac{1}{EI_1} \int M_1 \frac{\partial M_1}{\partial P} dx + \frac{1}{EI_2} \int M_2 \frac{\partial M_2}{\partial P} dx = \\ &= \frac{1}{A_1 E} \left(\int_0^{L_1} (-P) * (-1) dx \right) + \frac{1}{A_2 E} \left(\int_0^{L_2} (R * 0) dx \right) + \frac{1}{EI_1} \left(\int_0^{L_1} (P * L_2 + R * L_1 - R * x) L_2 dx \right) + \\ &+ \frac{1}{EI_2} \left(\int_0^{L_2} P(L_2 - x)(L_2 - x) dx \right) \Rightarrow \delta_{CP} = \frac{PL_2}{A_1 E} + \frac{1}{EI_1} \left(R \frac{L_2^2}{2} L_2 + PL_1 L_2^2 \right) + \frac{1}{EI_2} \left(\frac{PL_2^3}{3} \right) \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{CR} &= \frac{1}{AE} \left(\int N_1 \frac{\partial N_1}{\partial P} dx + \int N_2 \frac{\partial N_2}{\partial P} dx \right) + \frac{1}{EI} \left(\int M_1 \frac{\partial M_1}{\partial P} dx + \int M_2 \frac{\partial M_2}{\partial P} dx \right) = \\ &\frac{1}{A_1 E} \left(\int_0^{L_1} (-P * 0) dx \right) + \frac{1}{A_2 E} \left(\int_0^{L_2} (R * 1) dx \right) + \frac{1}{EI_1} \left(\int_0^{L_1} (PL_2 + RL_1 - Rx) ((L_1 - x) dx) \right) \\ &+ \frac{1}{EI_2} \left(\int_0^{L_2} P(L_2 - x)(0) dx \right) \Rightarrow \delta_{CR} = \frac{RL_2}{A_2 E} + \frac{1}{EI_1} \left(\frac{P}{2} L_1^2 L_1 + \frac{RL_2^2}{3} \right) \quad (3) \end{aligned}$$

Med värden:

R=572 N	P=286 N
L ₁ =1500 mm	L ₂ =800 mm
A ₁ =1.02*10 ³ mm ²	A ₂ =1.23*10 ³ mm ²
I _{z1} =0,257*10 ⁶ mm ²	I _{z2} =0,723*10 ⁶ mm ²

$$\begin{cases} \delta_{CP} = 0,9059 \text{ mm} \\ \delta_{CR} = 12,40 \text{ mm} \end{cases}$$

Dessa två förskjutningar är i x-led (δ_{CP}) respektive y led (δ_{CR}). Pythagoras sats används för att få fram den sammanlagda förskjutningen (hypotenusan) som blir:

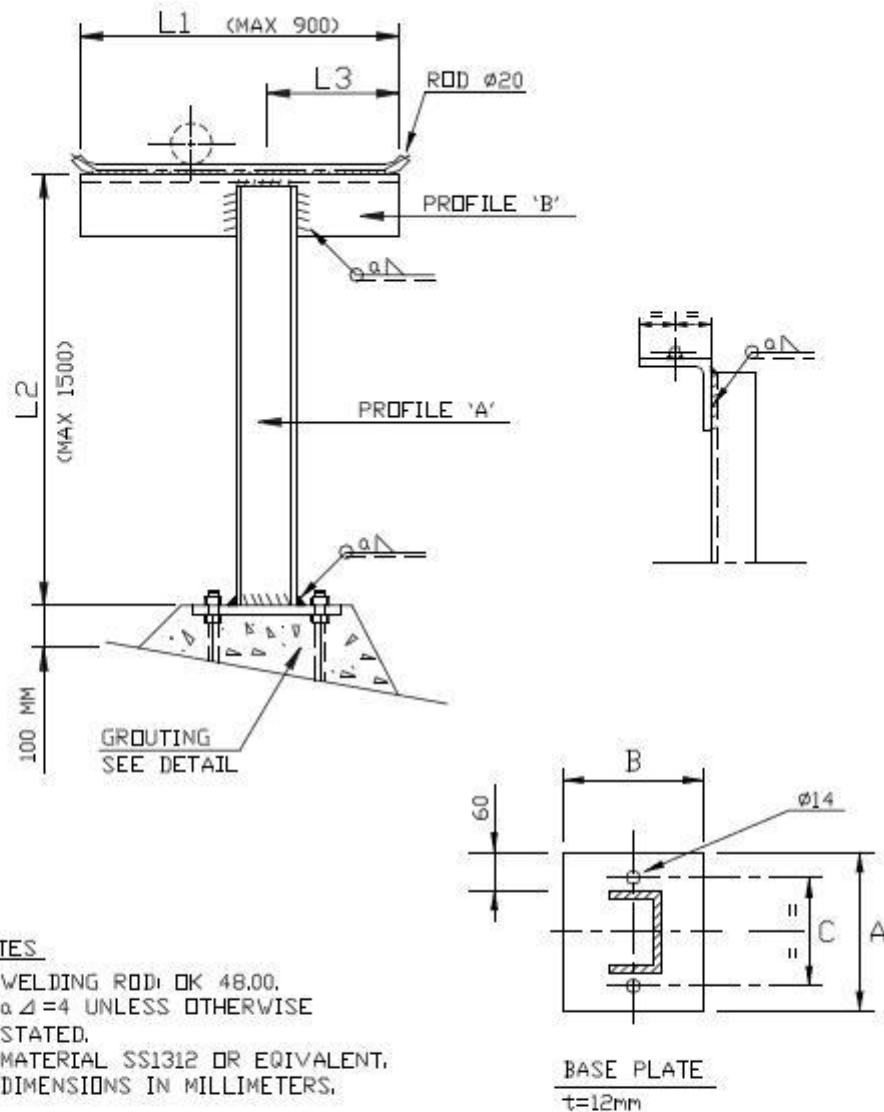
$$\Rightarrow \delta_{tot} = 12,433 \text{ mm}$$

BILAGA 6 FBS 70

Rapporten som skall lämnas till Cowi består av 2-4 sidor beroende på vilket stöd det gäller. Nästkommande två sidor är hur resultatet av FBS 70 stödet redovisas. På förstasidan visas en ritning över stödet med mått och annan relevant information. Denna ritning tillhandahålls av COWI. På den sidan har en kolonn bifogats till tabellen, en där enbart den utbredda vertikala kraften visas, hur stor den får vara som mest. Detta för att, som nämnts i huvudrapporten, det vanligaste belastningsfallet är att ett rör läggs fritt på sekundärstödet.

Sidan efter visar en tabell när tre utbredda laster har lagts på stödet och tillhörande deformationer samt en beskrivning av de olika deformationerna.

Den första sidan är avsedd för konstruktören att få en överblick på hur stor vertikal utbredd last som kan läggas på och nästföljande sida visar vilka krafter som kan användas om man vill ha tre utbredda krafter.



SUPPORT FROM EXISTING CONCRETE STRUCTURES OR PAVING

ISSUE	DATE	SHEET	DRG
1		1 OF 2	

Tabell för utbredd last lagd på den vertikala balken (överdelen) och tillhörande förskjutningar samt von Mises. Längder på balkarna som har används är de max längder som kan ses på ritningen för FBS 70. De två kolumnerna längst till höger visar lastfall med endast vertikal utbredd last.

Tabell B4. Visar hur tabellen ser ut som bifogas till COWI.

Profil A	Profil B	Axiell kraft (kN)	δ_{ax} (mm)	Horisontell kraft (kN)	δ_h (mm)	Vertikal Kraft (kN)	δ_v (mm)	δ_{tot} (mm)	σ_{vM} (MPa)	Vertikal kraft* (kN)	δ_v^{**} (mm)
USP 80	L 80*80*8	0,6	12,4	0,2	0,12	0,3	0,12	12,6	120	11	4
USP 100	L 100*100*10	0,8	11	0,3	0,81	0,4	0,11	11,0	120	21	6
USP 120	L 150*150*12	1,0	10	0,4	0,65	0,5	0,10	10,0	120	56	11

OBS! * Analys av lastfall med endast en vertikal kraft på den vertikala balken. Ingen axiell eller horisontell kraft medverkar. ** Förskjutningen (δ_v) på grund av lastfallet med enbart den vertikala kraften

Max tillåten förskjutning δ_{max} : 30 mm (2% av den berörda balken)

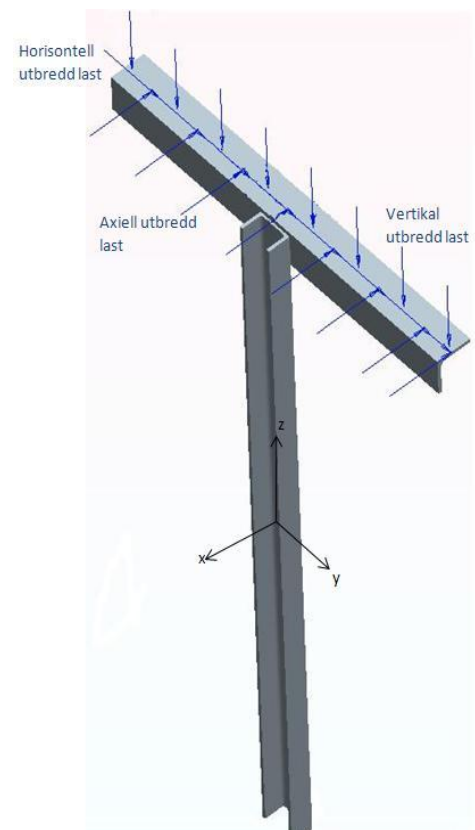
Max tillåten σ_{vM}^{max} : 120 MPa (50% av sträckgränsen av materialet SS1312 som är 240 MPa)

δ_{ax} : Förskjutning på grund av den axiella kraften.

δ_v : Förskjutning på grund av den vertikala kraften.

δ_h : Förskjutning på grund av den horisontella kraften.

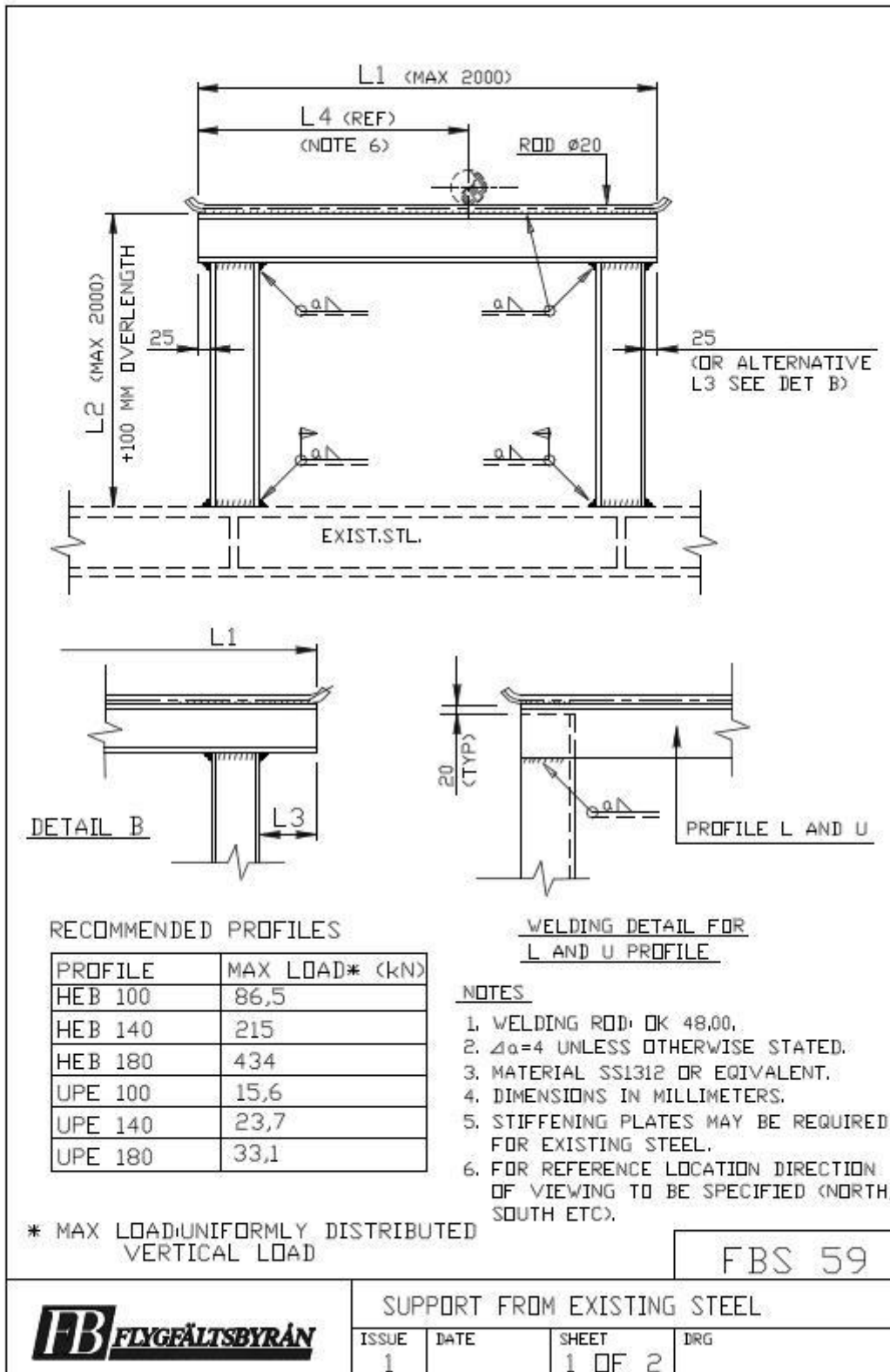
De krafter som ger någon förskjutning i x-led är den axiella kraften samt den vertikala. Den horisontella kraften ger en förskjutning i y-led och som kan ses i tabell B4 ovan är den liten. Dimensionering har gjorts utifrån max tillåten von Mises då det var det villkoret som uppnåddes först. Förskjutningar ligger väl under tillåtna värden.



Figur B20. Visar vyn på FBS 70 samt hur koordinatsystemet ligger.

BILAGA 7 FBS 59

Visar resultatet för stöd FBS 59. Rapporten för detta stöd ser ut på samma sätt som för det föregående stödet. En första sida med ritningen där även den största vertikala utbredda lasten som får användas visas. Efter den en sida med en tabell för tre utbredda krafter samt förklaring av relevanta beteckningar.



Tabell för utbredd last lagd på den vertikala balken (övre balken) och tillhörande förskjutningar samt von Mises. Längder på balkarna som har används är de maximala längder som kan ses på ritningen för FBS 59.

Tabell B5. Visar hur resultatet redovisas till COWI.

Balkprofil	Axiell kraft (kN)	δ_{ax} (mm)	Horisontell kraft (kN)	δ_h (mm)	Vertikal Kraft (kN)	δ_v (mm)	δ_{max} (mm)	σ_{vM} (MPa)	Vertikal kraft* (kN)	δ_v^{**} (mm)
HEB 100	4	14	1,4	0	2,1	0	14	130	87	4,4
HEB 140	10	10	3,4	0	5,0	0	10	130	215	3,5
HEB 180	20	7	6,6	0	10	0	7	130	434	3,0
UPE 100	1	20	0,5	0,5	0,7	0,1	20	130	16	4,2
UPE 140	2	16	0,8	0,3	1,2	0,1	16	130	24	3,3
UPE 180	4	13	1,3	0,3	1,9	0,1	13	130	33	2,7

OBS! * Analys av lastfall med endast en vertikal kraft på den vertikala balken. Ingen axiell eller horisontell kraft medverkar. ** Förskjutningen (δ_v) på grund av lastfallet med enbart den vertikala kraften

Max förskjutning δ_{max} : 40 mm (2% av längden på berörd balk)

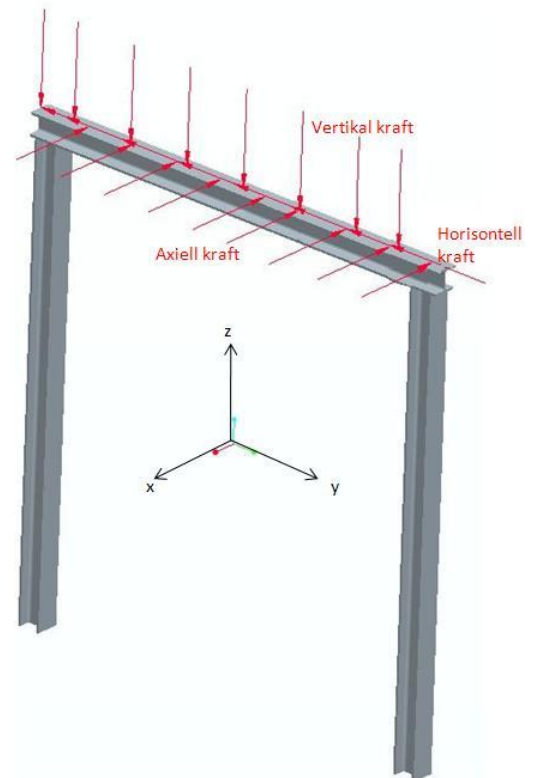
σ_{vM}^{max} : 130 Mpa (50% av sträckgränsen för materialet SS1412-00 som är 260 MPa)

Tabellen ovan visar hur stor förskjutningen blir under påverkan av de olika krafterna samt av enbart en vertikal utbredd last. På de tre första analyserna står det att deformationen som beror på den horisontella och vertikala kraften är noll, detta kan vara missvisande. Det som menas är att deformationen i x-led är noll, och i de andra leden är den såpas liten att den inte står med. Den största deformationen beror av den axiella kraften, som uppstår i x-led (den riktning den axiella kraften ligger i). Se figur 1 för att se koordinatsystemets placering i figuren. Dimensionering av krafterna har bestämts utifrån max von Mises, då detta villkor var det som uppnåddes först. Förskjutningen på samtliga röstöd ligger väl inom tillåtna gränser.

δ_{ax} : Förskjutning på grund av den axiella kraften.

δ_v : Förskjutning på grund av den vertikala kraften.

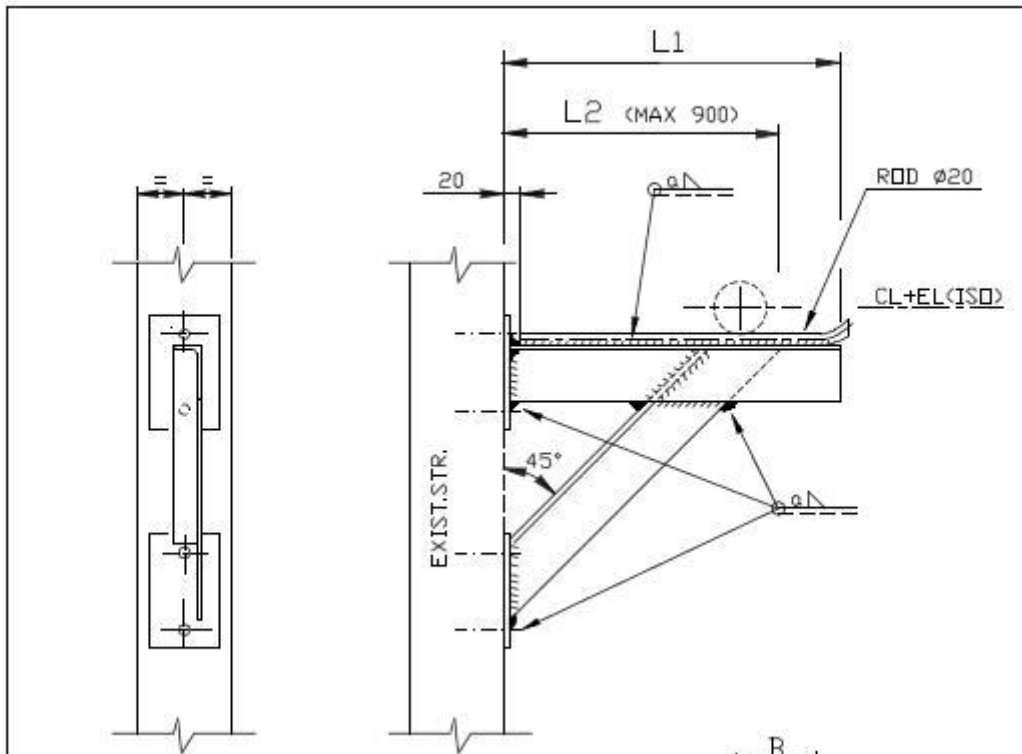
δ_h : Förskjutning på grund av den horisontella kraften.



Figur B21. Vy över röstöd FBS59 samt axlarnas riktning i koordinatsystemet och krafter.

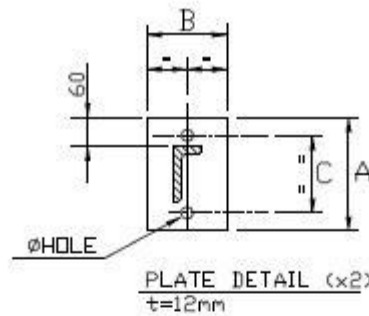
BILAGA 8 FBS 73

Visar resultatet för stöd FBS 73. Rapporten för detta stöd ser ut på samma sätt som för det föregående stödet. En första sida med själva ritningen där även den största vertikala utbredda lasten som får användas visas. Efter den en sida med en tabell för tre utbredda krafter samt förklaring av relevanta beteckningar.



NOTES

1. WELDING ROD: DK 48,00, OR EQUIVALENT
2. $a \geq 4$ UNLESS OTHERWISE STATED.
3. MATERIAL SS1412-00, OR EQUIVALENT
4. DIMENSIONS IN MILLIMETERS.
5. LOADING TO BE CALCULATED TOGETHER WITH STRUCTURE DEPT.



RECOMMENDED PROFILES WITH PLATE

PROFILE	A	B	C	BOLT	ø HOLE	MAX LOAD* (kN)
L 80x40x8	200	120	140	M12 EXP.BOLT	13	18,8
L100x65x9	220	140	160	M12 EXP.BOLT	13	35,4
L150x100x12	270	200	200	M12 EXP.BOLT	13	92,9
HE100B	220	140	160	M16 EXP.BOLT	17	126,2
HE120B	240	160	180	M16 EXP.BOLT	17	183,5
U100	220	140	160	M12 EXP.BOLT	13	29,3

*MAX LOAD: UNIFORMLY DISTRIBUTED VERTICAL LOAD

FBS 73



SUPPORTS FROM EXISTING CONCRETE STR.

ISSUE	DATE	SHEET	DRG
1		1 OF 2	

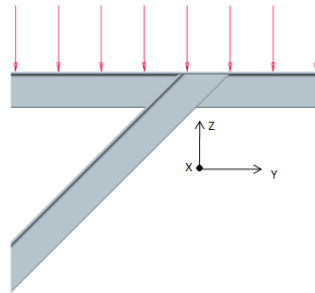
NOTERA

1. MATERIAL: **S275JR**
2. STRÄCKGRÄNS: **Re = 260 MPa**
3. MAX VON MISES SPÄNNING : $\sigma_{Vm}^{max} = 130 \text{ MPa}$ (50% av sträckgränsen för materialet)
4. MAX FÖRSKJUTNING: $\delta_{max} = 25,6 \text{ mm}$ (2% av längden på berörd balk)
5. LÄNGDEN PÅ BALKARNA ÄR MAX LÄNGD SOM ÄR SPECIFIERAD ENLIG RITNING FÖR FBS 73
6. DIMENSIONERING AV KRAFTER HAR BESTÄMTS UTIFRÅN MAX VON MISES (σ_{Vm}^{max}), DÅ DETTA VAR DET VILLKOR SOM UPPNÅDDES FÖRST.

Tabell B6 nedan visar lastfall med endast vertikal kraft påverkan.

Ingen axiell eller horisontell kraft medverkar.

Förskjutningen δ_v beror endast på den vertikala kraften



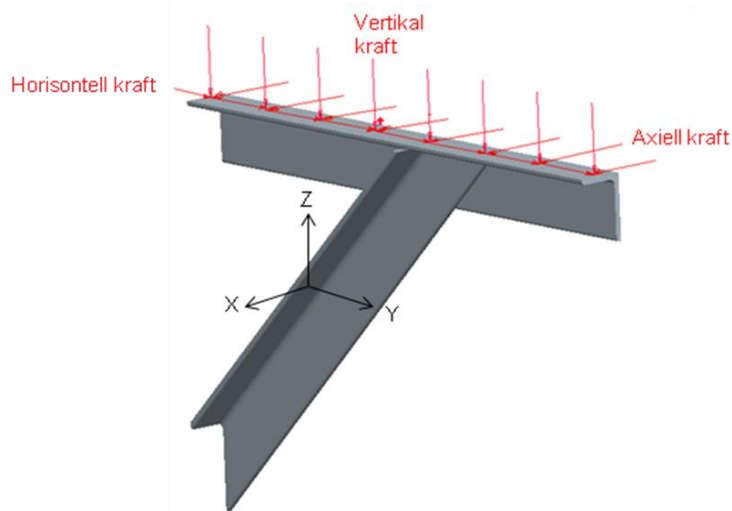
Figur B22. Vy över röstöd FBS 73 samt påverkande vertikal last.

Tabell B6. Påverkan av endast Vertikal last samt tillhörande förskjutning för de olika balkprofilerna.

Balkprofil	Vertikal kraft (kN)	δ_v (mm)	σ_{vM} (MPa)
L 80*80*40	19	1,17	130
L 100*65*9	35	1,27	130
L150*100*12	93	1,09	130
UNP 100	29	0,88	130
HEB 100	126	1,22	130
HEB 120	184	1,23	130

Tabell B7. Utbredd last i 3 riktningar samt tillhörande förskjutningar.

Balkprofil	Axiell kraft (kN)	δ_{ax} (mm)	Horisontell kraft (kN)	δ_h (mm)	Vertikal Kraft (kN)	δ_v (mm)	δ_{tot} (mm)	σ_{vM} (MPa)
L 80*80*40	086	7,9	0,3	0,07	0,4	0,03	8	130
L 100*65*9	2,3	4,9	0,9	0,07	1,3	0,04	5	130
L150*100*12	8,2	3,3	2,7	0,07	4,1	0,05	3,4	130
UNP 100	2,7	7,5	0,9	0,07	1,5	0,09	7	130
HEB 100	9	4,5	3	0,01	4,5	0,04	4,5	130
HEB 120	14	3,9	4,5	0,01	6,8	0,05	3,9	130



Figur B23. Vy av 3 påverkande krafter på röstöd FBS 73.

δ_{ax} : Förskjutning på grund av den axiella kraften i X-led.

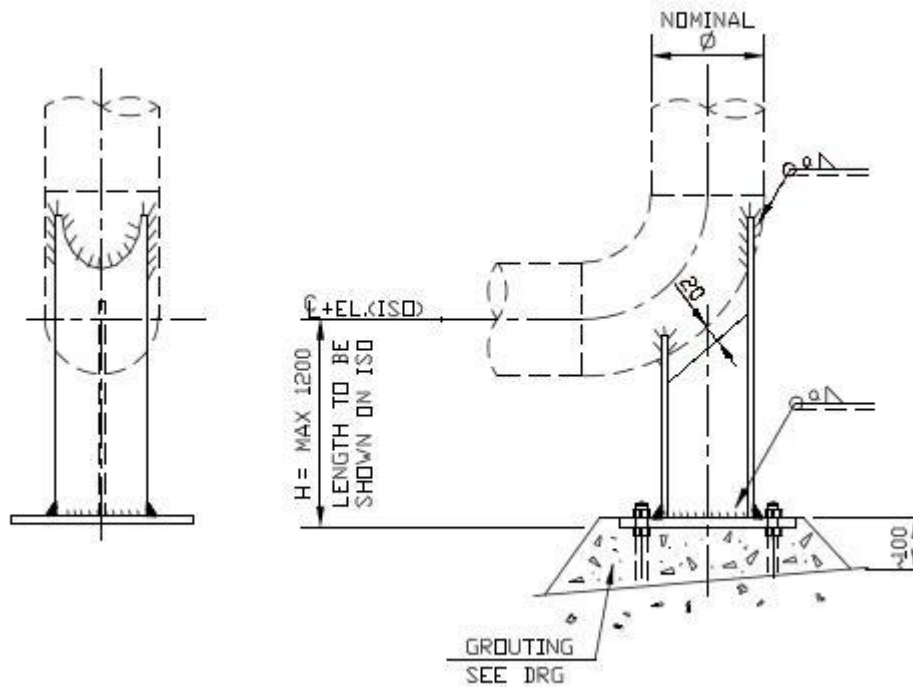
δ_h : Förskjutning på grund av den horisontella kraften i Y-led.

δ_v : Förskjutning på grund av den vertikala kraften i Z-led.

Förskjutningen på samtliga röstöd ligger väl inom tillåtna gränser gränser.

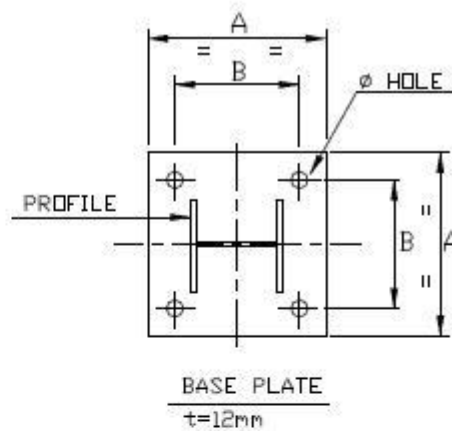
BILAGA 9 FBS 8

Visar resultatet för stöd FBS 8. Rapporten för detta stöd ser i princip ut likadant som för de föregående stöden. En första sida med ritningen där även den största vertikala utbredda lasten som får användas visas. Eftersom detta stöd är ett specialfall och endast en vertikal utbredd last har används här, så har ingen tabell med tre utbredda laster redovisats. Andra sidan innehåller information om material, sträckgräns, förklaring av deformation o.s.v.



NOTES

1. WELDING ROD: OK 48.00,
2. $\Delta\alpha=4$ UNLESS OTHERWISE STATED.
3. MATERIAL TO SUIT PIPE MTRL.
4. DIMENSIONS IN MILLIMETERS.



TYPE	ø	PROFILE	A	B	ø HOLE	ø BOLT	MAX LOAD* (kN)
FBS 8E	6"	HEB 100	220	160	13	M12	114,4
FBS 8F	8"	HEB 140	260	200	13	M12	179,9
FBS 8G	10"	HEB 140	300	240	13	M12	225,9
FBS 8H	12"	HEB 200	340	280	13	M12	326,3

*MAX LOAD: UNIFORMLY DISTRIBUTED VERTICAL LOAD

FBS 8



FLOOR STAND - (ANCHOR) 6"-12"

ISSUE	DATE	SHEET	DRG
1		1	

NOTERA1. MATERIAL: **S235JRG2**2. STRÄCKGRÄNS: **Re = 240 MPa**3. MAX VON MISES SPÄNNING : $\sigma_{Vm}^{max} = 120 \text{ MPa}$ (50% av sträckgränsen för materialet)4. MAX FÖRSKJUTNING: $\delta_{max} = 24 \text{ mm}$ (2% av längden på berörd balk)

5. LÄNGDEN PÅ BALKARNA ÄR MAX LÄNGD SOM ÄR SPECIFIERAD ENLIG RITNING FÖR FBS 8

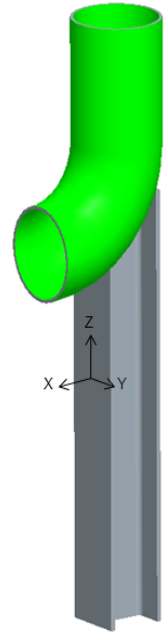
6. DIMENSIONERING AV KRAFTER HAR BESTÄMTS UTIFRÅN MAX VON MISES(σ_{Vm}^{max}), DÅ DETTA VAR DET VILLKOR SOM UPPNÅDDES FÖRST.

Tabellen nedan visar lastfall med endast vertikal kraft påverkan.

Ingen axiell eller horisontell kraft medverkar.

Förskjutningen δ_v beror endast på den vertikala kraften (se figur B25)

Figur B24. FBS 8 med rör.



Tabell B4. Vertikallast pålagd på FBS 8.

Balkprofil	Vertikal Kraft (kN)	δ_v (mm)	σ_{vM} (MPa)
HEB 100	114	1,2	120
HEB 140	180	0,8	120
HEB 140	226	0,6	120
HEB 200	326	0,6	120

Figur B25. vertikal kraftpåverkan.

