

Ersättande element för traditionella fackverk i global analysmodell

Tim Sjögren

Examensarbete för (YH)-examen

Byggnads- och samhällsteknik

Vasa 2022

EXAMENSARBETE

Författare: Tim Sjögren

Utbildning och ort: Byggnads- och samhällsteknik, Vasa

Inriktning: Konstruktionsteknik

Handledare: Anders Borg (Novia)

Markus Rönn (Nordec Oy)

Titel: Ersättande element för traditionella fackverk i global analysmodell

Datum: 20.5.2022 Sidantal: 30

Bilagor: 2

Abstrakt

Detta examensarbete har utförts åt Nordec Oy. Syftet har varit att optimera globala analysmodeller genom att ersätta traditionella fackverk med en förenklad lösning i form av en enkel profil. Konstruktioner såsom transportterminaler, affärscentrum, lagerbyggnader och liknande konstruktioner innehåller ofta ett stort antal fackverk i takkonstruktionerna. Detta belastar beräkningsprogrammen och kan även fördröja dimensioneringsprocessen.

Den enkla profilen bör ha egenskaper som korrelerar med de på förhand dimensionerade traditionella fackverket. Dessa egenskaper är nedböjning, tröghetsmoment kring y-axeln och även den totala massan.

Arbetet erbjuder även en introduktion för nybörjare i FEM-programmet SCIA Engineer, som baserar sig på utgångsansvändargränssnittet. Introduktion behandlar de hur man startat ett nytt projekt, hur man hittar och använder de vanligaste egenskaperna och hur man gör enkla analyser.

Även en redogörelse för hur en projekteringsprocess kan se ut för ett projekt som involverar dimensionering, tillverkning och montage av en stålstomme behandlas i arbetet. Redogörelsen beskriver kort de olika skeden som behandlas i kronologisk ordning.

Språk: svenska

Nyckelord: fackverksersättning, FEM, SCIA

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Tim Sjögren

Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu

Ohjaajat: Anders Borg (Novia)

Markus Rönn (Nordec Oy)

Nimike: Perinteisen ristikon sijaiselementti globaalissa laskentamallissa

Päivämäärä: 20.5.2022 Sivumäärä: 30

Liitteet: 2

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on laadittu Nordec Oy:lle. Tarkoitus on ollut optimoida globaalit laskentamallit vaihtamalla perinteiset ristikot yksinkertaisempiin elementteihin. Kuljetusterminalit, kauppakeskukset, varistorakennukset ja samankaltaiset rakennukset vaativat usein ison määrän ristikoita kattorakenteissa. Tämä johtaa siihen, että laskentaohjelmat kuormittuvat turhaan paljon, mikä voi johtaa viivästyksiin mitoitusprosessissa.

Uuden elementin ominaisuudet on oltava mahdollisimman samankaltaisia verrattuna mitoitettuun perinteiseen ristikkoon. Oleelliset ominaisuudet ovat taivutus, neliömomentti Y-akselin suhteen ja lopuksi kokonaismassa.

Opinnäytetyö tarjoaa myös esittelyn uusille käyttäjille FEM-ohjelma SCIA Engineeristä, joka perustuu peruskäyttöliittymään. Esittely, joka voi toimia manuaalina, käsittelee uuden projektin avaamista, miten perusominaisuudet löydetään ja käytetään, ja miten yksinkertaiset analyysit toteutetaan.

Mahdollinen suunnitteluprosessi, projekti ja sen mitoitus, valmistus ja asennus on kuvattu lyhyesti aikajärjestyksessä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: ristikon sijaiselementti, FEM, SCIA

BACHELOR'S THESIS

Author: Tim Sjögren

Degree Programme: Construction Engineering, Vaasa

Specialization: Structural Design

Supervisors: Anders Borg (Novia)

Markus Rönn (Nordec Oy)

Title: Substituting Elements for Traditional Trusses in Global Analysis Model

Date: 20.5.2022 Number of pages: 30

Appendices: 2

Abstract

This Bachelor's thesis has been made for Nordec Oy. The objective has been to optimize the global analysis models by substituting the traditional trusses to simpler elements. Transportation terminals, shopping malls, warehouse buildings and similar buildings often requires a large number of trusses in the roof structure. This put a lot of pressure on the analysis software which can delay the design process.

The new element must have properties that correlate with the properties of the predesigned traditional truss. These properties are translation, moment of inertia around the Y-axis and finally the total mass.

The thesis also includes the creation of an introduction to the FEM-software SCIA Engineer for amateurs, based on the standard user interface. The introduction, which can be used as a manual, describes how to create a new project, how to find and use the most common commands and properties and how to maneuver simple analysis.

The process in project business is also described for when the project includes the design, manufacturing, and installation of a steel frame. The processes are summarized and described in chronological order.

Language: Swedish

Key words: truss substitution, FEM, SCIA

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Beställare	1
1.3	Mål och syfte	2
1.4	Forskningsfrågor	2
1.5	Avgränsningar	2
2	ALLMÄNT	3
2.1	Approximativ styvhet för fackverk	3
2.2	Projekteringsprocessen	4
2.2.1	Före anbud	4
2.2.2	Före kontrakt	5
2.2.3	Planering efter underskrivet kontrakt.....	5
2.2.4	Genomförandet	6
2.2.5	Montage och överlämning	7
2.3	SCIA Engineer.....	8
3	INTRODUKTION TILL SCIA ENGINEER.....	9
3.1	Projektoppning	9
3.2	Projektdata	10
3.3	Användargränssnitt.....	11
3.4	Element	13
3.5	Anpassade tvärsnitt.....	15
3.6	Stöd	17
3.7	Laster.....	18
3.8	Beräkning och resultat	19
4	BERÄKNINGSPROCESSEN	21
4.1	Kartläggning.....	21
4.2	Steiners sats.....	22
5	RESULTAT.....	25
5.1	Utformning av Solver-funktionen	25
5.2	Automatiserad beräkning.....	27
5.3	Test av ersättande element i SCIA Engineer.....	27
5.4	Besvarade forskningsfrågor	28
6	DISKUSSION	29
7	KÄLLFÖRTECKNING	30

Bilagor

Bilaga 1

Excel-filen att konvertera ett fackverk till en I-profil

Bilaga 2

Test av ersättande element

1 INLEDNING

Detta examensarbete utförs för att underlätta analysen av global stabilitet under både projekterings- och dimensioneringsprocessen. Detta innebär i praktiken att utveckla en metod för att ersätta traditionella fackverk med ett element som inte belastar beräkningsprogrammen i samma grad. Nordec Oy står som beställare för examensarbetet, som motsvara 15 studiepoäng på Yrkeshögskolan Novia.

1.1 Bakgrund

Beställaren har problem med att de globala analysmodellerna blir för stora för beräkningsprogrammen att behandla effektivt. Eftersom de flesta projekt företaget genomför innehåller stora mängder fackverk belastas de globala analysmodellerna på grund av det stora antalet enskilda element i ett fackverk.

Genom att ersätta de traditionella fackverken med ett förenklat balktvärsnitt i ett tidigt skede av projekteringsprocessen har företaget gjort antagandet att arbetet kunde underlättas för såväl mänskligt arbete som maskinellt arbete.

1.2 Beställare

Beställaren av detta arbete är Nordec Oy, ett företag som främst dimensionerar, tillverkar och monterar stålkonstruktioner. Nordec blev företagets nya namn efter sammanslagningen mellan Normek Oy och Ruukki Building Systems Oy.

Det nya företaget opererar numera under Europas största leverantör av stålbroar och -konstruktioner, Donges Group. Företagets verksamhet är i huvudsak koncentrerad kring de nordiska länderna, men produktion och verksamhet finns även i länder som Polen, Litauen och Tjeckien.

Trots att företaget, med sina idag cirka 600 anställda, kan anses vara ett nytt företag finns fortfarande kompetens och erfarenheten kvar från 40 års arbete inom branschen.

1.3 Mål och syfte

Arbetets mål är att förse företaget med en och eller flera metoder för att omvandla traditionella fackverk till ett förenklat element främst i form av en I- eller rörprofil. Metoderna bör fungera för såväl parallella fackverk som fackverk mednock.

En annan målsättning är att skapa en kort introduktion till SCIA Engineer för nya användare med tyngden på att redovisa enkla funktioner och egenskaper samt kort förevisa hur enkel dimensionering kan utföras. Introduktionen kan även fungera som en manual eller ett hjälpmedel för att få en mer överskådlig bild av programmet och de möjligheter som det erbjuder.

Projekteringsprocessen för ett projekt som innebär att tillverka, dimensionera och montera en stålkonstruktion är viktigt att förstå fastän man endast jobbar med en specifik del av projektet, för att få en överblick och bättre förstå varför och hur olika delmoment sköts. På grund av detta är ett mål för arbetet att ge läsaren en inblick i hur en projekteringsprocess kan utformas.

1.4 Forskningsfrågor

För att göra arbetets tyngdpunkt tydlig har följande forskningsfrågor jobbats emot:

- Hur kan man jämföra traditionella fackverk med enkla profiler baserat på nedböjning?
- Vilka egenskaper bör beaktas för att uppnå det avsedda målet?
- Hur fungerar de nya elementen i SCIA Engineer?

1.5 Avgränsningar

Tanken från början var att redogöra för lösningar för både fackverk mednock och fackverk med parallella bommar, men på grund av tidsbrist bestämdes att fokus skulle läggas på fackverk med parallella bommar.

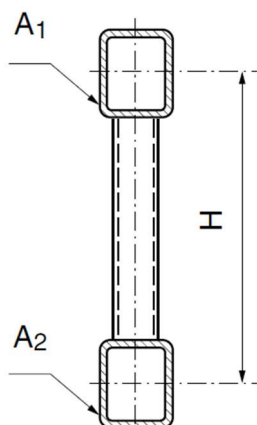
2 ALLMÄNT

Detta kapitel ger en kort inblick och information angående de ämnen och metoder som använts för att genomföra arbetet. Exempelvis beskrivs projekteringsprocessen för ett projekt som innefattar dimensionering, tillverkning och montering av en stålstomme. En kort introduktion till FEM-programmet SCIA Engineer ingår i kapitlet.

2.1 Approximativ styvhet för fackverk

Man kan bestämma en approximativ styvhet för ett fackverk genom följande formel (Ongelin & Valkonen, 2016). Denna har dock inte varit relevant i de metoder som valts eftersom den endast beaktar övre bom och undre bom och inte livstänger. Knutpunkterna i ett fackverk påverkar nedböjningen marginellt, men beaktas inte heller i formeln.

$$I = A_1 \times H^2 \left[\frac{\frac{A_2}{A_1}}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \right]^2 + A_2 \times H^2 \left[\frac{1}{1 + \frac{A_2}{A_1}} \right]^2 \quad (1)$$



Figur 1. Illustration av värden använda i formel (1). (Ongelin & Valkonen, 2016).

A_1 = Övre bommens tvärsnittsarea

A_2 = Undre bommens tvärsnittsarea

H = Avståndet mellan övre bommens och undre bommens tyngdpunkter

2.2 Projekteringsprocessen

Nordec Oy följer ett system, som till stor del grundar sig på fakta och teorier ur böckerna *Project Management Body of Knowledge* och *APM Body of Knowledge*, för att hantera projekteringsprocessen på ett möjligast effektivt sätt (Nordec Oy, 2022). Detta underkapitel beskriver i korthet hur ett företag kan hantera och systematiskt utforma sin projekteringsprocess för att nå de utsatta målen och utveckla och upptäcka problem och brister.

2.2.1 Före anbud

Försäljnings- och analysavdelningen bevakar konstant marknaden med fokus på råvaruproducenter och global och lokal ekonomi, för att förbereda företaget att ta emot ekonomiskt och praktiskt genomförbara projekt. Då ett projekt som uppfyller kraven företaget ställer dyker upp, ser den ansvariga affärsområdeschefen till att en process, för att utreda om det finns möjlighet till samarbete, startas. Denna process inkluderar exempelvis tidiga kontraktsförhandlingar och undersökningar för huruvida företagets och den potentiella kundens krav kan besvaras på ett för de båda parterna optimalt sätt. Då ett projekt som erbjuder både företaget och kunden en tillfredsställande lösning valts blandas en försäljningschef eller projektförsäljningschef in.

Försäljningschefen skall se till att företaget förbereder ett så konkurrenskraftigt anbud som möjligt i enlighet med företagets förmåga och resurser. Den ansvariga försäljningschefen bör även vara ytterst insatt i anbudsförfrågan och mer specifikt, tidplanen, kvalitets- och miljökrav och andra allmänna förhållanden. I detta skede bör den ansvariga även se till att det finns ett brett underlag för att garantera ett konkurrenskraftigt anbud, genom möten med kunden, interna och externa aktörer och se till att en konstanskalkylering görs.

Den slutliga kostnadskalkylen skall korrelera med projektets målsättning och risker skall vara minimerade i sådan grad att man kan genomföra projekt på ett säkert sätt men fortfarande generera vinst. Det slutliga anbudet skall sedan bygga på underlaget, kostnadskalkylen, och övrig projektspecifik information, och bör vara väl granskat före utskick. Varefter ansvarspersonerna fortsätter jobba framåt mot ett potentiellt kontrakt inom sina ansvarsområden.

2.2.2 Före kontrakt

Den inom området designansvariga skall utgående från underlaget och diskussioner med kunden producera effektiva och vinstbringande lösningar för projektet. Utöver detta bör även en preliminär materiallista, BIM-modell, principdetaljer och en dimensioneringsspecifikation skapas.

Den för projektet tillverkningsansvariga bör se till att fabriken har kapacitet att tillverka material till ett kostnadseffektivt pris och med en tidtabell som är i linje med den preliminära projektplanen.

Projektförsäljningschefen bör baserat på projektplanen göra en analys över kritiska inköp och resurser. I detta skede bör det även avgöras om företaget bör anlita underleverantörer eller materialleverantörer, och om detta är fallet skall projektförsäljningschefen förbereda anbudsfrågningar för relevanta aktörer.

Projektchefen och eller platschefen skall innan ett slutligt kontrakt skrivs utforma en plan för hur montaget skall genomföras baserat på underlaget och kundens krav. Planen bör innehålla information angående förvaring, logistik och behovet av hissar och byggnadsställningar. Det bör även ingå en översikt över hur samarbetet och samordningen i tid arrangeras.

Då all preliminär planering har sammanställts och man tillsammans med kunden anser att anbudet stämmer överens med det som efterfrågats i anbudsfrågan, och man fått en officiell beställning av projektet kan man göra upp ett kontrakt. Kontraktet bör granskas och godkännas av en jurist för att intyga dess laglighet och upptäcka eventuella brister.

2.2.3 Planering efter underskrivet kontrakt

Projektchefen bör då kontraktet är påskrivet ordna ett så kallat start-up möte för att se till att de som arbetar med projektet förstår projektplanen, projektets målsättningar och tidplanen. I denna process bör även budgeten låsas och distribueras över de olika ansvarsområdena, och se till att alla involverade har tillgång till den information de behöver för att genomföra projektet så effektivt som möjligt. Även projektplanen bör uppdateras och detaljeras för att projektet skall gå att genomföra med minsta möjliga risk för misstag och överraskande fördröjningar. Man bör här även se till att projektplanens innehåll korrelerar med det som överenskommits i kontraktet.

Den inom området ansvariga designansvariga bör planera designprocessen baserat på kontraktet och underlaget för att erbjuda kunden en effektiv konstruktionslösning. Detta genom att ordna ett så kallat start-up möte för att introducera projektet och dess målsättningar för dem involverade i designprocessen. Även en tidplan för processen bör utarbetas inom budgetens ramar.

DSCM bör förbereda en tidtabell över tillverkningen och utvärdera kapaciteten för fabriker och underleverantörer. Enligt denna information ska sedan den produktionsansvariga tillsammans med projektchefen planera tillverkningen i detalj. Denna plan bör innehålla bland annat en kapacitetsplanering för fabriken baserat på de materiallistor som utarbetats.

Platschefen och eller projektchefen bör utforma en plan för hur arbetet på arbetsplatsen skall genomföras innan den egentliga installationen startar. Detta med fokus på konstandseffektiva lösningar och arbetssätt och arbetssäkerheten. Planen bör vara färdigställd innan montaget startar för att minimera onödigt risktagande och förseningar.










2.2.4 Genomförandet

Projektchefen skall under hela genomförandet av projektet vara uppmärksam och konstant se till att projektet följer tidtabellen och vid behov identifiera finansiella risker. Även en konstant dokumentation bör upprätthållas och log över ändringar och tilläggsarbeten skall föras. För att processen skall vara så effektiv som möjligt bör en ständig kommunikation med involverade i projektet föras, detta kan även hindra missförstånd och förseningar.

Den inom området ansvariga designansvariga ansvarar för att projektet dimensioneras korrekt och att tidtabellen för modellering och dimensionering följs. Dimensioneringsprocessen bör även dokumenteras, och ändringar bör rapporteras till projektchefen. För att hålla alla involverade i dimensionerings- och designprocessen försedda med uppdaterad information använder sig Nordec Oy av ett färgmarkeringssystem som presenteras i Figur 2.

Inköpschefen ansvarar för att fabriken förses med råvarumaterial för tillverkningen baserat på materiallistor. Utöver det bör material och övriga element som inte företaget själv tillverkar beställas i enlighet med montageplanen och budgeten. Projektchefen bör även se till att tjänster för uppgifter som inte företaget själv har kapacitet eller kunskap till beställs.










Den produktionsansvariga bör planera tillverkningen av materialet och se till att fabriken har kapacitet för tillverkningen inom budgetens ramar och projektets tidtabell. Till ansvaret hör även att följa upp kvaliteten. Även transporten från fabriken till byggarbetsplatsen bör planeras och organiseras på ett effektivt sätt. Till detta hör exempelvis beställning av transportfordon, och en plan för att effektivt fylla dem för att minska transportkostnader.

Object group	Color
IS ON HOLD	
IS MISSING INFO	
DRAWING ISSUED	
DRAWING READY FOR CONTROL	
DRAWING CREATED	
ISSUED FOR DWG PRODUCTION	
ISSUED FOR DETAILING	
ANALYSIS STARTED	
All	

Figur 2. Statusmarkering i Tekla Structures.

2.2.5 Montage och överlämning

På byggarbetsplatsen ansvarar platschefen för att montaget följer tidtabellen, att arbetsplatssäkerheten upprätthålls och att byggarbetsplatsen över lag fungerar enligt normer och standarder. Platschefen ansvarar även för att budgeten följs enligt vad som sker under montaget, och att tillägsarbeten och införskaffat material dokumenteras. Projektstatusen kan följas upp av involverade i projektet genom färgkodningssystemet som presenteras i Figur 3, vilket är en fortsättning på samma system på det som presenteras i Figur 2.

Object group	Color
RP-INSTALLATION_COMPLETED	
RP-INSTALLATION_STARTED	
RP-IS_ON_SITE	
RP-LOADED_IN_A_TRUCK	
RP-PLANNED_SHIPMENT_TO_SITE	
RP-PACKAGE_READY_FOR_SHIPMENT	
RP-IS_PRODUCED	
RP-IS_IN_SAP_PRODUCTION	
RP-WORK_SHOP_DRAWINGS_RECEIVED	

Figur 3. Statusmarkering i Tekla Structures.

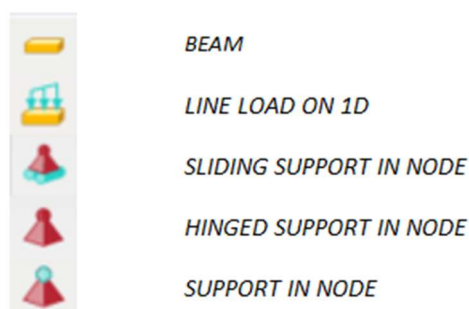
2.3 SCIA Engineer

SCIA Engineer är ett FEM-program, vilket betyder att det grundar sig på finita element-metoden. Detta dimensioneringsverktyg erbjuder ett stort utbud av funktioner, såsom modellering och analys, och lämpar sig för alla typer av konstruktioner i alla de klassiska konstruktionsmaterialen. Programmet kan göra beräkningar och analyser baserat på U.S. koder, eurokoder, nationella bilagor och andra internationella standarder.

Eftersom SCIA Engineer även erbjuder möjligheten till modellering klassas det som en typ av CAD-program, vilket innebär en mjukvara som erbjuder möjligheten till design och teknisk dokumentering.

3 INTRODUKTION TILL SCIA ENGINEER

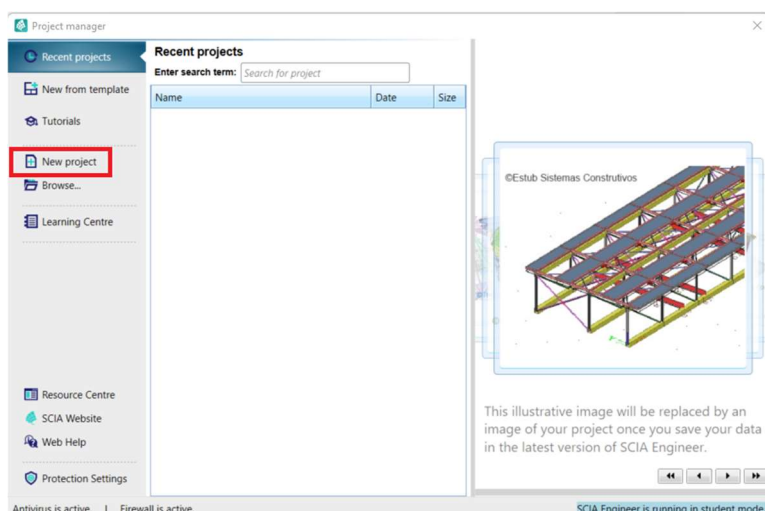
Denna introduktion är till för att hjälpa nya användare av programmet orientera sig genom de mest relevanta funktionerna och hur man bär sig åt för att effektivt komma åt den information man söker. Denna introduktion är specifik för SCIA Engineer version 21.1, men principen är den samma för äldre versioner. SCIA Engineer erbjuder studerande att använda en gratis studerandeversion med samma funktioner som den fulla versionen. För att underlätta introduktionen kommer en HEA300 balk att modelleras och analyseras.



Figur 4. Ofta använda verktyg i SCIA Engineer.

3.1 Projektöppning

Då programmet startas dyker dialogen i figuren upp, genom denna är det möjligt att öppna tidigare modeller, ta del av introduktioner eller skapa en ny modell. För att skapa en ny modell används kommandot *New project* som har indikerats med rött i Figur 5.



Figur 5. Skärmdiagram av startdialogen i SCIA Engineer.

3.2 Projektdata

I dialogen i Figur 7 fylls projektdata i, data såsom projektnamn, objekt, vem som dimensionerat med mera. Här modifierar man även utgångsläget för modellen så att den innehåller relevanta funktioner och följer relevanta normer. Dialogen är även tillgänglig efter att modellen skapats och kan redigeras i efterhand.

- 1) I denna sektion matas information om projektet in, information som sedan följer med och framkommer i rapporter och beräkningsdokument.

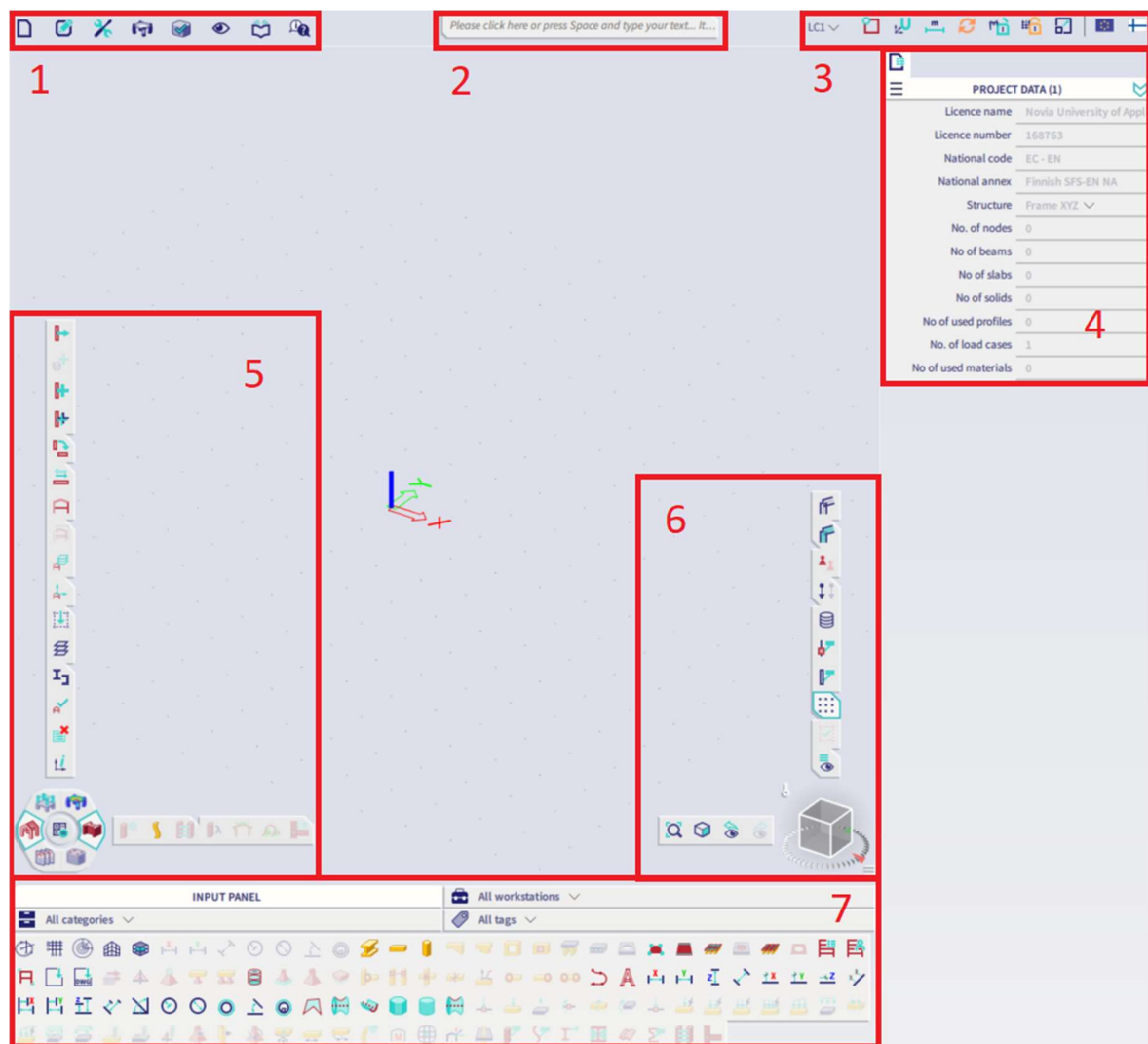
Figur 6. Skärmdokument av dialogen *Project data* i SCIA Engineer.

- 2) I denna sektion väljer man vilken typ av konstruktion som skall dimensioneras, valet påverkar koordinatsystemet och vilken typ av konstruktioner som kan modelleras och analyseras. För valet *Frame XYZ* kan endast 1D-objekt beaktas i en 3D-miljö.
- 3) I denna sektion väljer man i vilket material man vill dimensionera, flera material kan även väljas ifall projektet kräver det. Här har man även möjligheten att välja en utgångskvalitet, vilket man enligt figuren kan läsa att stål har valts som material, med kvaliteten S355.
- 4) I denna sektion väljer man enligt vilka normer och riktlinjer beräkningarna skall följa. Här kan man även tillåta programmet att använda värden från landets i fråga nationella bilaga.
- 5) Under denna flik väljer man vilka aspekter programmet skall beakta.

- 6) Under denna flik väljer man storlek på vind- och snölast, möjligheten finns även att bestämma lasternas storlek utgående från den norm som valt i sektion 4. Här väljer man även om lastfallkombinationer skall göras baserat på normen vald i sektion 4.
- 7) Under denna flik väljer man med vilka enheter beräkningarna görs och enligt, här är utgångvalet metriskt.
- 8) Under denna flik kan man lösenordskydda sin beräkningsmodell.

3.3 Användargränssnitt

Utgångsläget för användargränssnittet presenteras i Figur 7, många av de olika menyerna kan enkelt omplaceras och modifieras med hjälp av den s.k. *drag and drop*-metoden.

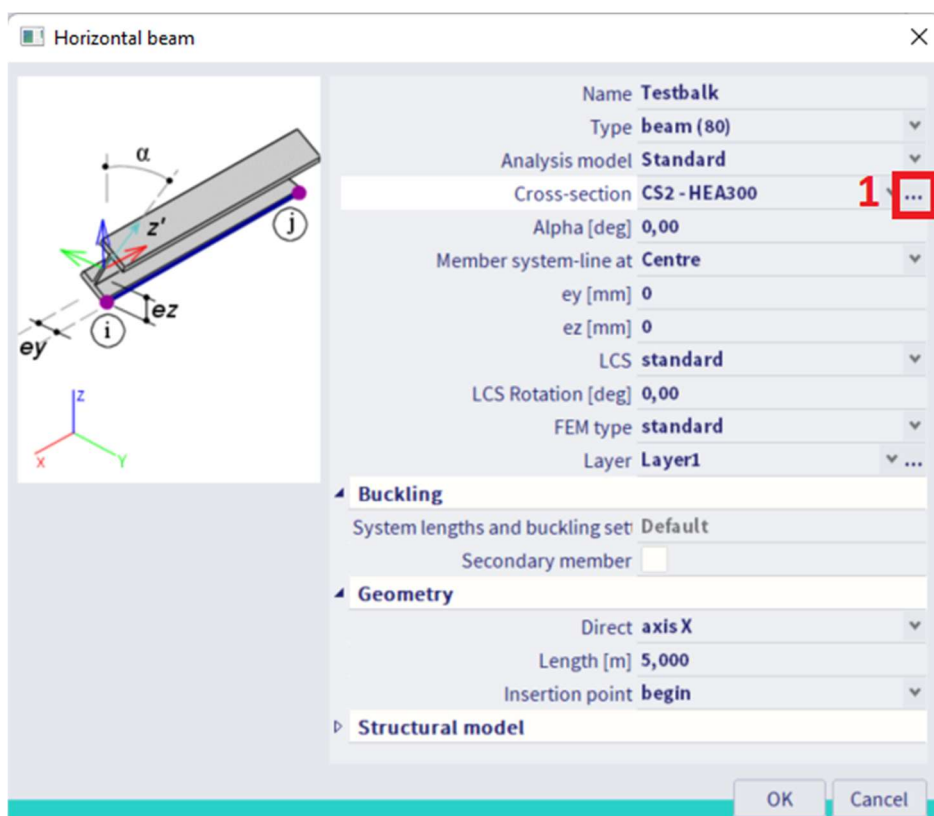


Figur 7. Skärmlapp av utgångsanvändartvårsnittet i SCIA Engineer.

- 1) *Main menu*. Denna meny är låst till det övre vänstra hörnet, och innehåller flikarna *File, Edit, Tools, Results, Design, View, Libraries* och *Help*.
- 2) *SCIA Spotlight*. Denna meny är låst till mitten av övre kanten och fungerar som ett sökfält, genom vilket man når alla funktioner i programmet. Fältet fungerar även som ett fält för inmatning av koordinater vid modellering.
- 3) *Status bar*. Denna meny är låst till det övre vänstra hörnet, och indikerar vilket lastfall, vilka snap-inställningar, vilket koordinatsystem, vilka enheter och vilka normer som är aktiva i modellen. I menyn finns även möjligheten att aktivera *Autorefresh, Result lock* och *Grid mode*. Från menyn styr man även skalan för data som importeras till modellen.
- 4) *Properties panel*. Denna dialog är inte låst och kan flyttas till valfritt område över hela skärmen. Dialogen visar värden och egenskaper för valda objekt och element i modellen, egenskaperna kan även genom dialogen redigeras.
- 5) *Process toolbar*. Detta verktygsfält är inte låst och kan flyttas till valfritt område över hela skärmen. Verktygen i verktygsfältet är inte heller låsta, vilket gör att man kan lägga till och ta bort verktyg i enlighet med dess relevans och hur ofta de används.
- 6) *Viewbar*. Denna meny är låst till det högra nedre hörnet, dock kan knapparna omorganiseras. Genom denna meny kan man göra, lastsymboler, noder, former, stödsymboler, volymer, transparens, övriga data och gridlinjer synliga.
- 7) *Input panel*. Detta verktygsfält är inte låst och kan flyttas till valfritt område över hela skärmen. Genom detta verktygsfält förser man modellen med data, i form av olika element. Eftersom det finns en stor mängd olika funktioner och verktyg i fältet finns möjligheten till filtrering genom knapparna *Loads, All categories* och *All tags*.

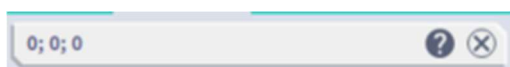
3.4 Element

Tillvägagångssättet för att lägga till data i modellen kan variera, här presenteras en enkel metod för att skapa en fem meter lång statiskt bestämd HEA300-balk. Verktöget som tillämpas är *Beam* och hittas i verktygsfältet *Input panel*, eller genom att söka verktöget i sökfältet *SCIA Spotlight*. Genom att välja verktöget når man *Horizontal beam*-dialogen som presenteras i Figur 8.



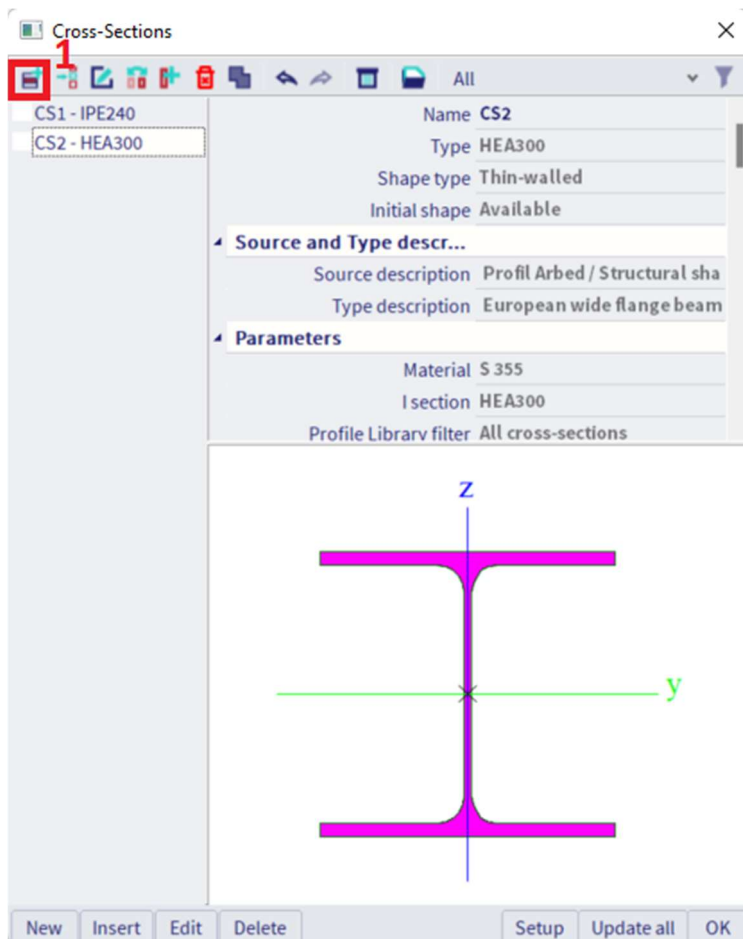
Figur 8. Skärmdokument av dialogen *Horizontal beam* i SCIA Engineer.

Om dessa egenskaper överensstämmer med de avsedda egenskaperna är allting klart för att ange insättningspunkt. Insättningspunkten anges i sökfältet *SCIA Spotlight* genom att först ange X-koordinaten varefter Y-koordinaten och slutligen Z-koordinaten. Figur 9 beskriver hur man matar in koordinaterna för att välja origo som insättningspunkt.



Figur 9. Skärmdokument av *SCIA Spotlight* i SCIA Engineer.

För att ändra tvärsnitt trycker man på de tre punkterna som indikerats med 1 i Figur 10, vilket leder till att dialogen i Figur 11 öppnas. Listan som i figuren innehåller CS1 och CS2 indikerar vilka tvärsnitt som lagts till i modellen. För att lägga till ett nytt tvärsnitt trycker

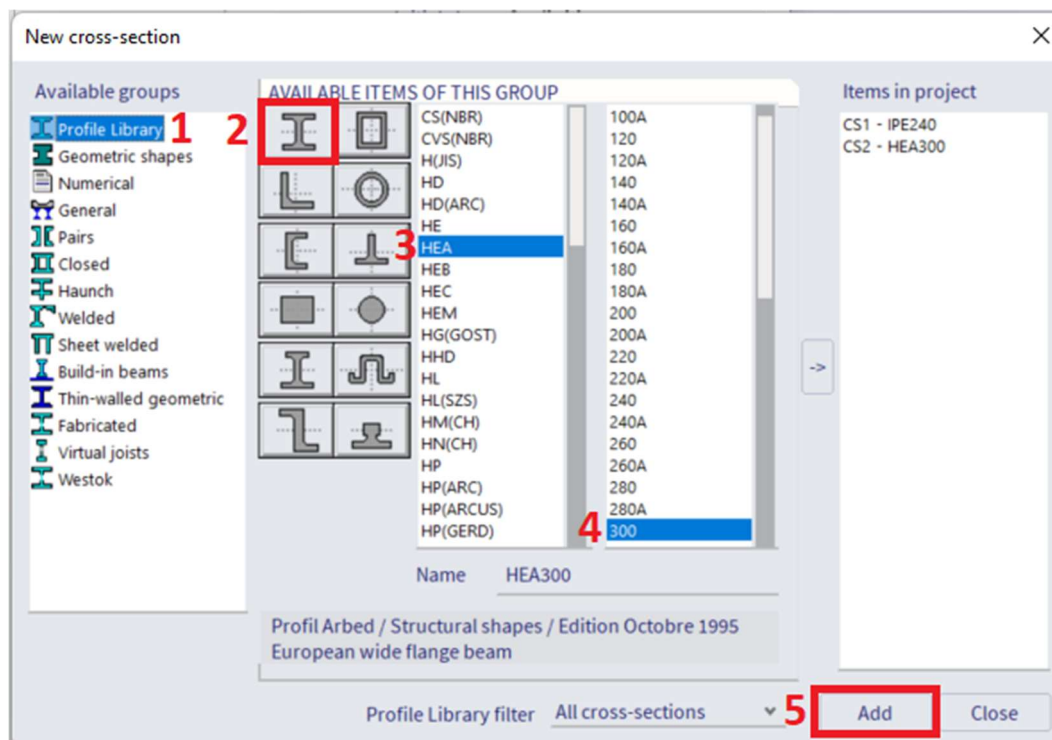


Figur 10. Skärmbild av dialogen *Cross-Sections* i SCIA Engineer.

man på knappen som indikerats med 1 i Figur 10, varefter *New cross-section*-dialogen öppnas. Programmet innehåller alla tänkbara traditionella tvärsnitt och utöver dem även svetsade oregelbundna tvärsnitt och traditionella former.

I listan *Available groups* väljer man från vilken grupp av tvärsnitt man söker de avsedda tvärsnittet, varefter man väljer undergrupper, för att slutligen specificera storleken. Då man hittat de avsedda tvärsnittet trycker man på knappen *Add* som indikerats med nummer 5 i figur 11, detta leder till att tvärsnittet läggs till i listan till höger (*Items in project*)

och listan i figur 11. För att lägga till en HEA300 till modellen följer man numrorna från 1 till 5 i Figur 11.

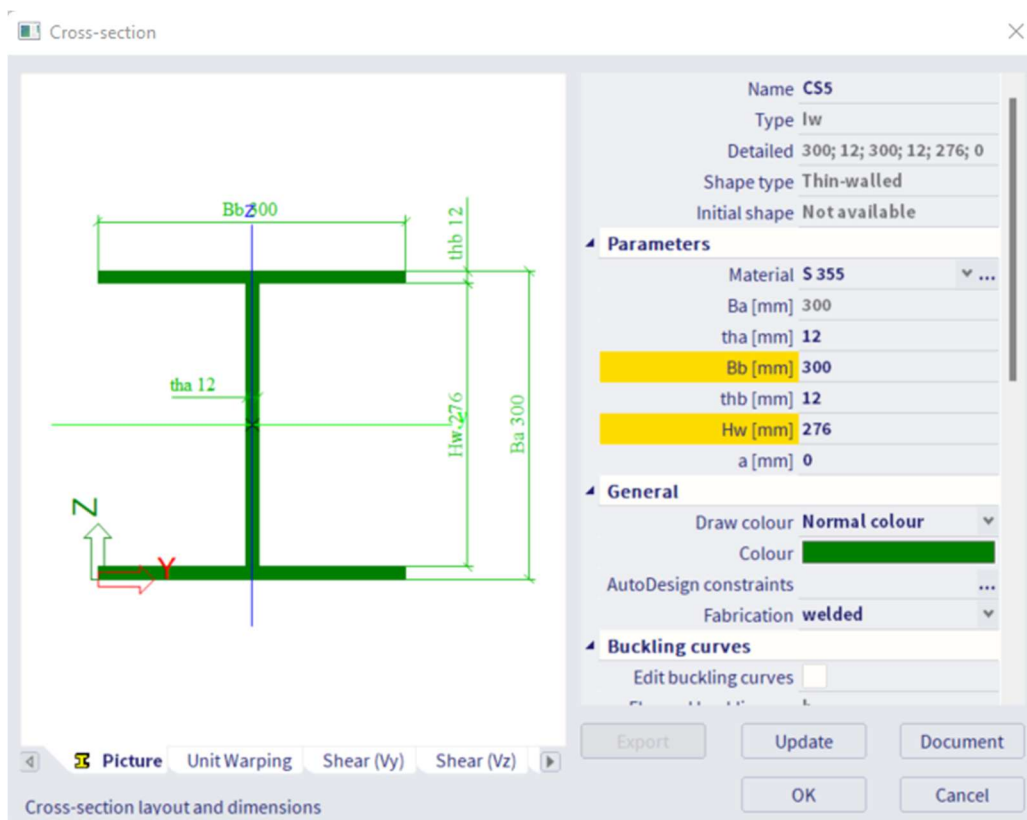


Figur 11. Skärmdump av dialogen *New cross-section* i SCIA Engineer.

3.5 Anpassade tvärsnitt

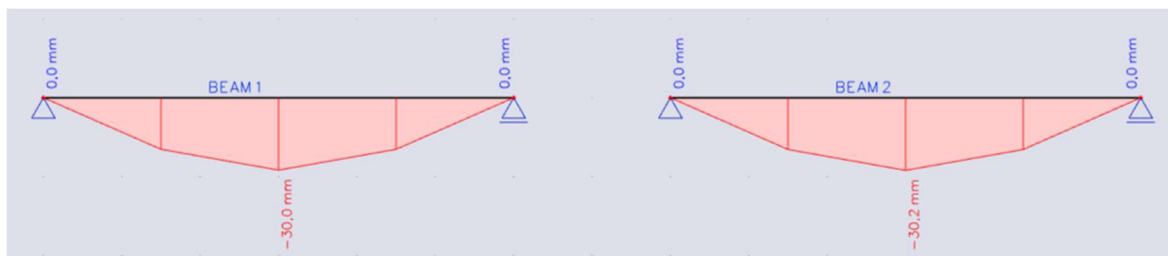
Utöver de så kallade traditionella tvärsnitten kan man även modellerna och dimensionera anpassade tvärsnitt. Under menyn *Available groups* i figur 12, finns ett stort urval av olika typer av tvärsnitt för olika ändamål och med olika egenskaper. Genom gruppen *Sheet welded* kan man enkelt lägga till tvärsnitt svetsade av plåtar med varierande tvärsnitt till modellen, som exempelvis enkelsymmetriska I-tvärsnitt, II-tvärsnitt eller TT-tvärsnitt.

Även dubbelsymmetriska tvärsnitt kan läggas till i modellen från samma grupp, genom dialogen i figur 13 kan man modifiera såväl egenskaper som parametrar. Parametrarna presenteras även som måttlinjer i bilden som visar tvärsnittet. Alla parametrar för denna typ av tvärsnitt kan anpassas förutom tvärsnittets höjd (B_a), eftersom den automatiskt beräknas enligt de angivna parametrarna för flänsarnas höjd (thb) och livets höjd (H_w). Parametern a beaktar svetsfog.



Figur 12. Skärmbild av dialogen *Cross-section* i SCIA Engineer.

Trots att parametrarna verkar vara de samma är tvärsnitten fortfarande olika, detta på grund av att programmet automatiskt avrundar de värden som presenteras för parametrarna till hela millimeter. Dock baserar sig programmets beräkningar på de angivna decimalerna trots att de inte presenteras i dialogen. För det dubbelsymmetriska I-tvärsnittet presenterat i Figur 12 bygger parametrarna på att undre flänsen och övre flänsen är identiska, vilket leder till att parametrarna *Bb* och *thb* påverkar såväl undre som övre flänsen.



Figur 13. Skärmbild av nedböjningen för BEAM 1 och BEAM 2 i SCIA Engineer.

För elementen *BEAM 1* och *BEAM 2* i Figur 13 kan man avläsa att nedböjningen skiljer med 0,2 millimeter i Z-riktning. Egenskaperna för dessa element presenteras i samma dialog som

Figur 12, där de vid första anblick kan antas vara identiska, detta är dock inte fallet eftersom parametrarna för *BEAM 1* innehåller decimaler som inte presenteras i dialogen utan att välja det specifika värdet. Tabell 1 presentera de parametrar som matats i för elementen i Figur 13, dessa visar på skillnader i decimaler som påverkar nedböjningen i Z-led.

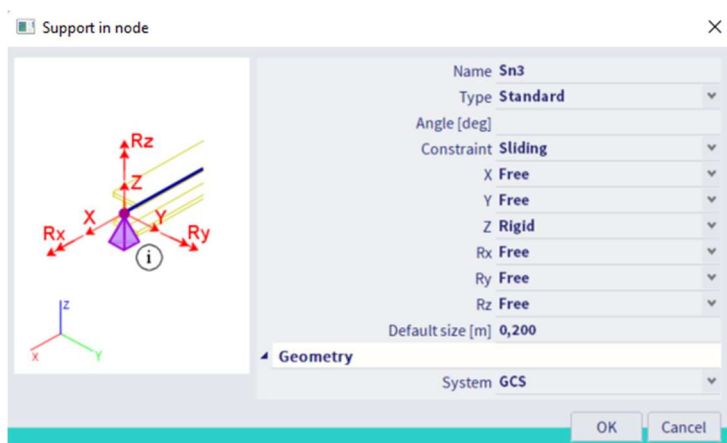
Tabell 1. Tvärsnittsdimensioner för BEAM 1 och BEAM 2.

	<i>BEAM 1</i>	<i>BEAM 2</i>
tha	174,20507	174
Bb	209,881038	210
thb	1,05	1
Hw	152,00874	152

3.6 Stöd

För att lägga till stöd för ett element i modellen finns flera metoder, här visas dock en enkel variant som använder verktygen *HINGED SUPPORT IN NODE* och *SLIDING SUPPORT IN NODE*. Dessa verktyg hittas i verktygsfältet *Input panel*, eller genom att söka verktygen i *SCIA Spotlight*. Efter man valt verktyget, väljer man vilken nod stödet skall appliceras på. Då man väljer ett stöd i modellen kan det även redigeras genom menyn *Properties panel*.

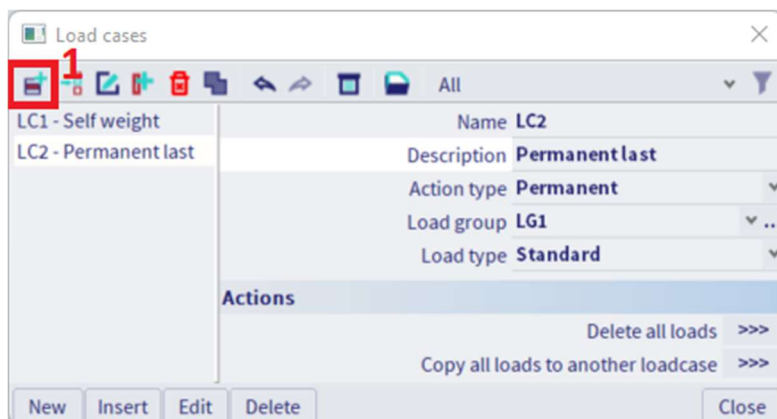
Stöd kan även appliceras till ett element med verktyget *SUPPORT IN NODE* Figur 14, som hittas i verktygsfältet *Input panel* eller genom att söka verktyget i *SCIA Spotlight*. Detta verktyg erbjuder större frihet eftersom användaren själv får låsa eller tillåta rotation kring X-, Y- och Z-axlarna och förskjutning längs X-, Y-, och Z-axlarna före applicering. Figur 14 visar dialogen för verktyget och raderna X, Y och Z indikerar tillåten eller låst förskjutning, och raderna Rx, Ry och Rz indikerar tillåten eller låst rotation.



Figur 14. Skärmdump av dialogen *Support in node* i SCIA Engineer.

3.7 Laster

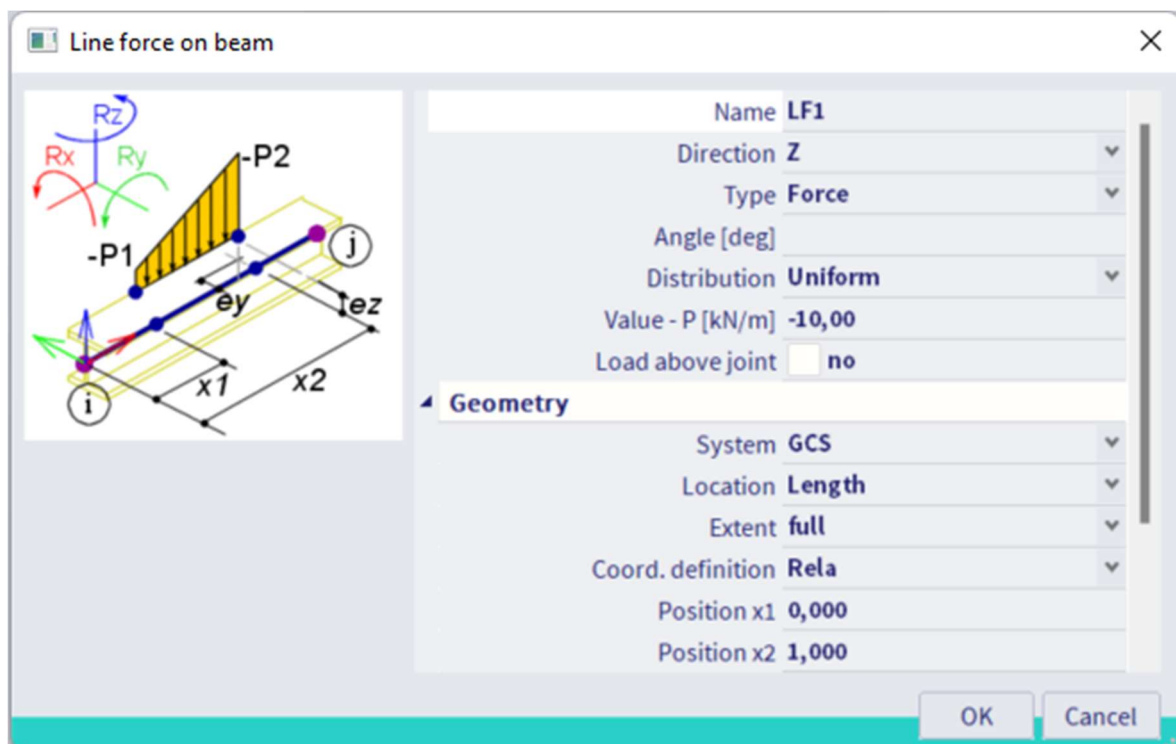
För att applicera laster till ett element krävs ett lastfall som lasten läggs till i. Lastfall redigeras och skapas genom dialogen *Load cases*, vilken man hittar i verktygsfältet *Process toolbar*, eller genom *SCIA Spotlight*. För att skapa ett lastfall använder man kommandot som indikerats med 1 i Figur 15, i den följande dialogen väljer man lastfallets namn, dess typ och även lastgrupp ifall så avses.



Figur 15. Skärmdklipp av dialogen *Load cases* i SCIA Engineer.

Då man skapat ett lastfall kan man applicera laster till element inom det specifika lastfallet. I menyn *Status bar*, indikeras vilket lastfall som är aktivt, vilket betyder att man bör välja i vilket lastfall man vill applicera lasterna.

För att applicera laster finns olika metoder, här presenteras dock en enkel metod för att applicera en linjelast på 10kN/m distribuerad över hela spännvidden av en HEA300-balk. Verktöget som tillämpas är *LINE LOAD ON 1D*, verktöget hittas i verktygsfältet *Input panel* eller genom *SCIA Spotlight*. Verktöget öppnar dialogen *Line force on beam* som presenteras i figur 16, i vilken man väljer lastens riktning, storlek, utsträckning och form. I dialogen ges även möjligheten välja om lasten skall verka enligt det lokala eller det globala koordinatsystemet. Då egenskaperna i dialogen stämmer med de avsedda egenskaperna trycker man ok, och väljer sedan de element i modellen man vill applicera lasten till.



Figur 16. Skärmdump av dialogen *Line force on beam* i SCIA Engineer.

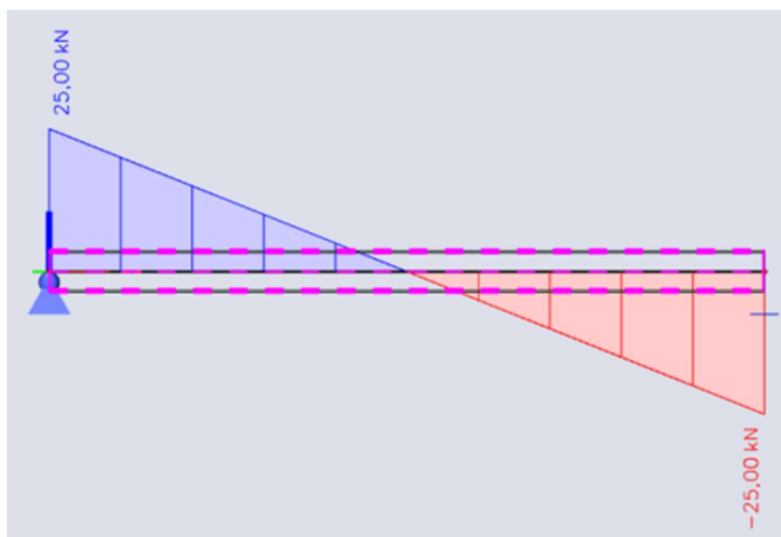
3.8 Beräkning och resultat

Man låter programmet beräkna modellen baserat på den data som matats in genom kommandot *CALCULATE*, kommandot hittas i verktygsfältet *Process toolbar* eller genom *SCIA Spotlight*.

Efter att programmet beräknat data i modellen har man tillgång till resultaten av beräkningen genom verktygsfältet *Process toolbar*, från vilket man väljer de relevanta resultaten. Typen av resultat som valts presenteras i menyn *Properties panel*, genom vilken

man även väljer för vilka element, baserat på vilket lastfall och hur detaljerat resultaten skall presenteras. Då man specificerat hur resultaten skall presenteras används kommandot *Refresh* för att aktivera valen. Detaljerade resultat och tabeller åskådliggörs genom kommandot *Preview*, dialogen som följer kan även skrivas ut som en PDF-fil.

Snittkrafterna nås genom kommandot *1D INTERNAL FORCES*, som finns i verktygsfältet *Process toolbar*. Genom menyn *Properties panel* ändras *Values* till vilken snittkraft som avses presenteras i modellen, varefter man använder kommandot *Refresh*. Genom att använda kommandot *Results table* når man alla snittkrafter i tabellform. Tvärkraften för testbalken presenteras i Figur 17.



Figur 17. Skärmsklipp av tvärkraften för testbalken i SCIA Engineer.

4 BERÄKNINGSPROCESSEN

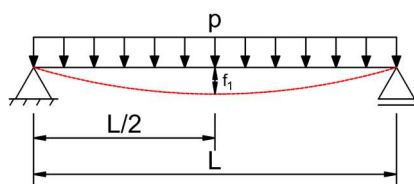
Tröghetsmoment och massa för fackverket bör beaktas för att hitta en profil som lämpar sig för det avsedda ändamålet. Vilket betyder att massan för profilen skall korrelera med massan för fackverket tillika som nedböjningen för profilen skall korrelera med nedböjningen för fackverket. Fackverkets nedböjning och massa kan läsas ur beräkningsprogrammet som i detta fall är SCIA Engineer.

4.1 Kartläggning

Eftersom fackverken som omvandlas till en profil är dimensionerade kan värdet för den kritiska nedböjningen läsa ur modellen av det dimensionerade fackverket, varefter ett teoretiskt tröghetsmoment kan beräknas baserat på den maximala nedböjningen. Tröghetsmomentet för ett tvärsnitt beräknas genom Steiners sats, vilket betyder att man kan manipulera tröghetsmomentet för tvärsnittet genom att ändra på flänsarnas och livets dimensioner. Detta för att hitta ett tvärsnitt med ett tröghetsmoment identiskt med det teoretiska tröghetsmomentet man beräknat genom nedböjningen för fackverket.

Eftersom fackverken i regel alltid är stagade i sidled, genom skivverkan i taket genom styva takskivor, behöver inte balken styvhet i sidled beaktas. Dock skall massa för fackverket och för balken vara den samma vilket stramar åt antalet möjliga tvärsnitt för balken.

Eftersom fackverken dimensioneras i en separat modell, och de ersättande balkarna endast utnyttjas för lastnedräkning och stabilitetsanalys i den globala analysmodellen, behöver inte balkarna dimensioneras. Detta leder till att tvärsnitten kan tilldelas dimensioner som skulle försätta dem i tvärsnittsklass 4, eftersom man kan tvinga SCIA Engineer att beakta ett tvärsnitt i valfri tvärsnittsklass. Detta leder till att trots att balkarna hamnar i tvärsnittsklass 4 beaktas hela tvärsnittsarean och inte den effektiva tvärsnittsarean.



Figur 18. Illustration av nedböjningen för en balk med kontinuerlig linjelast.

Genom att omforma formeln för nedböjning för en tvåstödsbalk med kontinuerlig linjelast kan man lösa ut ett teoretiskt tröghetsmoment baserat på nedböjningen för fackverket.

$$f_1 = \frac{5pl^4}{384 EI} \quad (2)$$

Det teoretiska tröghetsmomentet för en profil med konstant tvärsnitt kan beräknas med formel (3) efter att den omformats från formel (2).

$$I = \frac{5pl^4}{384 E f_1} \quad (3)$$

Tvärsnittsarean för den avsedda profilen, som beräknas parallellt med tröghetsmomentet används för att vidare beräkna massan. Massan för en profil med konstant tvärsnitt kan beräknas med formel (4), där m_{beam} sedan skall vara identiskt med massan för fackverket, längden för fackverket vara identiskt med L och slutligen skall A_{beam} vara baserat på den area som ger tröghetsmomentet ur formel (3). För att få den slutliga massa för profilen baserat på arean och längden multipliceras dessa med materialets densitet som presenteras i formel (4) som ρ_{steel} .

$$m_{beam} = A_{beam} \times L \times \rho_{steel} \quad (4)$$

4.2 Steiners sats

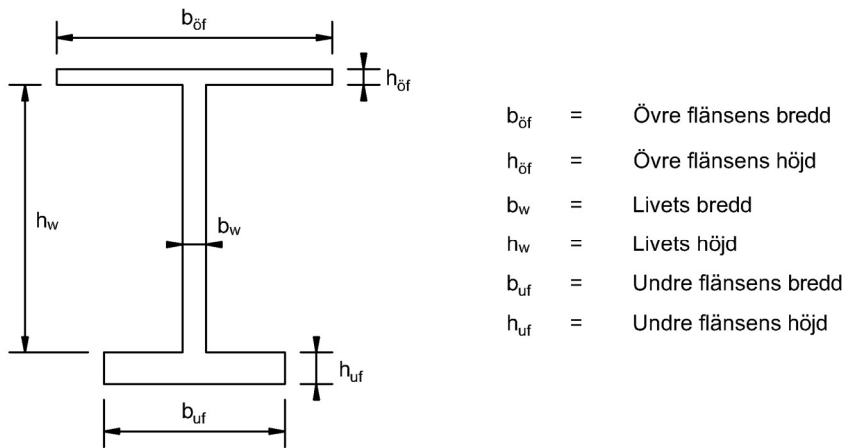
Genom att använda principen i Steiners sats kan man beräkna tröghetsmomentet för ett tvärsnitt genom att beakta tvärsnittsarean och dess tyngdpunkt. För traditionella tvärsnitt såsom I-profiler eller rörprofiler kan man dela upp tvärsnittsarean i olika delareor, för att genom de separata delareornas tyngdpunkter beräkna den gemensamma tyngdpunkten för den totala tvärsnittsarean.

Nedan följer en metod för att beräkna tröghetsmoment kring tyngdpunktsaxeln i X- och Y-riktning för ett enkelsymetriskt I-tvärsnitt, genom att placera neutralaxeln Y längs med övre sidan på övre flänsen och neutralaxeln X längs vänster sida på övre flänsen.

Arean för de enskilda delytorna beräknas med formel (5), baserat på dimensionerna i Figur 19. Detta gäller för såväl tröghetsmoment kring Y-axeln som tröghetsmoment kring X-

axeln, mer specifikt y_0 och x_0 . Index i i formeln indikerar vilken delyta som beaktas, indexet kan anta värdena $\bar{o}f$, w och uf vilket framgår i Figur 19 och Figur .

$$A_i = b_i * h_i \quad (5)$$



Figur 19. Visualisering av dimensionerna använda i formel (5).

Den totala tyngdpunkten för det totala tvärsnittet beräknas med formel (6) och formel (7), baserat på de specifika delytornas areor och avståndet från de specifika delytornas tyngdpunkter till dess respektive parallella neutralaxel vilket presenteras i Figur . Samma figur indikerar även hur man kan tillämpa och placera neutralaxlarna eftersom dessa kan placeras var som helst så länge de är parallella med de avsedda tyngdpunktsaxlarna.

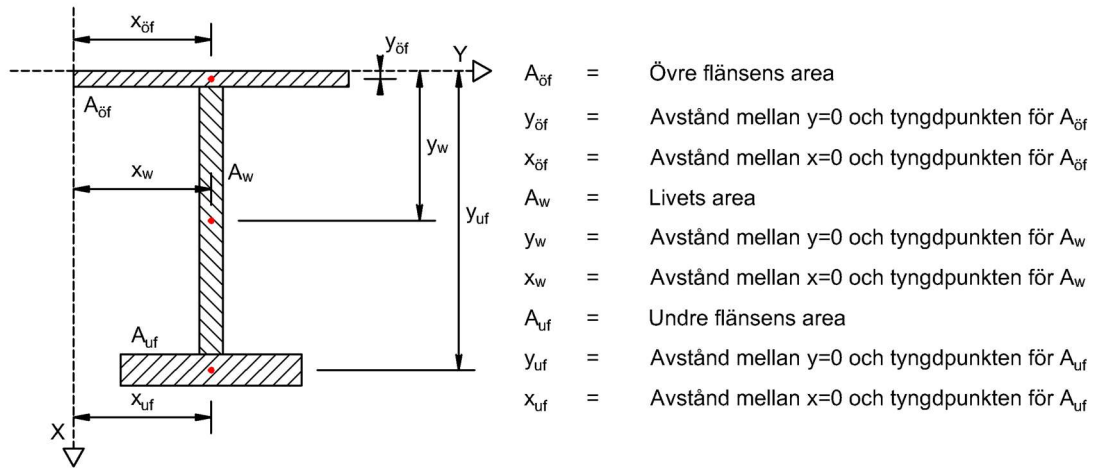
$$y_0 = \frac{A_{\bar{o}f} * y_{\bar{o}f} + A_w * y_w + A_{uf} * y_{uf}}{A_{\bar{o}f} + A_w + A_{uf}} \quad (6)$$

$$x_0 = \frac{A_{\bar{o}f} * x_{\bar{o}f} + A_w * x_w + A_{uf} * x_{uf}}{A_{\bar{o}f} + A_w + A_{uf}} \quad (7)$$

Tröghetsmoment för de specifika delytorna beräknas med formel (8) och formel (9), baserat på dimensionerna i Figur 19.

$$I_{y.i} = \frac{b_i * h_i^3}{12} \quad (8)$$

$$I_{x.i} = \frac{h_i * b_i^3}{12} \quad (9)$$

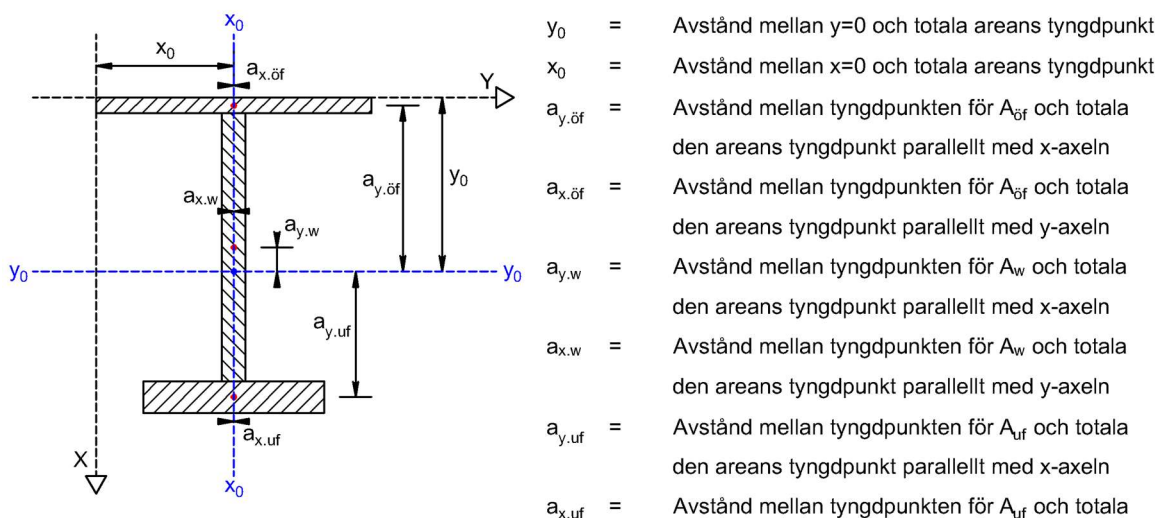


Figur 20. Visualisering av dimensionerna använda i formlerna (6) och (7). Enligt eurokod och allmän praxis går X-axeln i balkens längdriktning och Z-axeln är den som i bilden presenteras som X-axeln.

Tröghetsmomentet kring de specifika tyngdpunktsaxlarna beräknas med formel (10) och formel (11), baserat på tröghetsmomenten enligt formel (8) och formel (9), delytornas areor enligt formel (5) och avståndet mellan de specifika delytornas tyngdpunkter och deras respektive neutralaxlar presenterade i Figur .

$$I_y = I_{y.\text{öf}} + A_{\text{öf}} * a_{y.\text{öf}}^2 + I_{y.w} + A_w * a_{y.w}^2 + I_{y.uf} + A_{uf} * a_{y.uf}^2 \quad (10)$$

$$I_x = I_{x.\text{öf}} + A_{\text{öf}} * a_{x.\text{öf}}^2 + I_{x.w} + A_w * a_{x.w}^2 + I_{x.uf} + A_{uf} * a_{x.uf}^2 \quad (11)$$



Figur 21. Visualisering av dimensionerna använda i formlerna (10) och (11). Enligt eurokod och allmän praxis går X-axeln i balkens längdriktning och Z-axeln är den som i bilden presenteras som X-axeln.

5 RESULTAT

Genom att använda sig av formel (3) och formel (4) och Steiners sats har en Excel-fil skapats för att beräkna dimensionerna för ett dubbelsymmetriskt I-tvärnsnitt. Teorin bakom filen grundar sig på att låta Excel lösa de okända variablerna, d.v.s. flänsarna höjd, flänsarnas tjocklek, livets höjd och livets tjocklek. För detta att fungera bör man förse ekvationen med tillräcklig info och begränsningar, vilket presenteras i Tabell 2. Värdena i tabellen är endast symboliska och vid dem bör ingen uppmärksamhets fästas.

Tabell 2. Värden beräkningsfilen bör föras med för att fungera

Ståldensitet:	7,85E-06	kg/mm ³	
E-modul:	210000	N/mm ²	
Massa:	2500	kg	ur SCIA
Längd:	22500	mm	
Nedböjning:	35	mm	ur SCIA
Last:	12	N/mm	

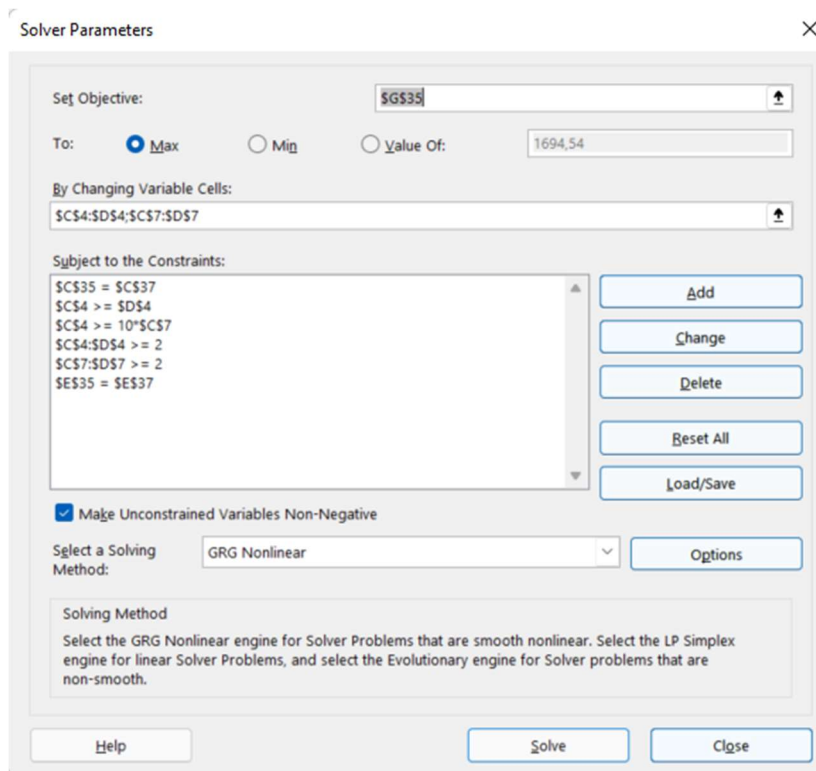
För att göra det möjligt för Excel att lösa ut variablerna bör *Solver Add-in*-funktionen aktiveras. Funktionen hittas i *Options*-menyn under *Add-ins*. En enkel guide för hur man når funktionen hittas på Microsofts webbsida, länken hittas i källförteckningen (Microsoft Support, Online).

5.1 Utformning av Solver-funktionen

Efter att Solver-funktionen är aktiverad kan man bygga upp scenariot som låter Solver-funktionen leta fram värden för de avsedda variablerna. Begränsningar och scenariot presenteras i Figur 20.

Scenariot bygger på att man låter Solver-funktionen hitta det största möjliga värdet för en cell som baserar sig på de celler de avsedda variablerna befinner sig i. För detta scenario är G35 den cell som max-värdet söks för och de celler som variablerna befinner sig i är C4, D4, C7 och D7. C4, D4, C7 och D7 är alltså de celler som man låter Solver-funktionen ändra på, detta med specifikt utformade begränsningar.

Begränsningarna i detta scenario kan avläsas ur listan *Subject to the Constraints* i Figur 20. Där de första och sista begränsningarna, $\$C\$35 = \$C\37 och $\$E\$35 = \$E\37 , ser till att balkens massa är den samma som fackverkets massa och att balkens tröghetsmoment är det samma som fackverkets tröghetsmoment.



Figur 20. Skärmbild från beräkningsfilen som visar begränsningar för Solver-funktionen

De övriga begränsningarna finns till för det enkla ändamålet att göra profilen så realistisk som möjligt, d.v.s. tvinga Solver-funktionen att hitta värden som i förhållande till varandra skapar ett tvärsnitt med liknande proportioner en traditionell I-profil. Begränsningen $\$C\$4 \geq \$D\4 tvingar flänsens bredd att vara numeriskt större än eller lika med livets tjocklek. Begränsningen $\$C\$4 \geq 10 * \$C\7 tvingar flänsens bredd att vara större än eller lika med tio gånger flänsens tjocklek.

Eftersom det nya tvärsnittet skall skapas i SCIA Engineer och för att det skall vara enklare för ögat att urskilja mänskliga inmatningsfel har två begränsningar även lagts till, $\$C\$4:\$D\$4 \geq 2$ och $\$C\$7:\$D\$7 \geq 2$, för att se till att alla variabler är större än eller lika med 2mm.

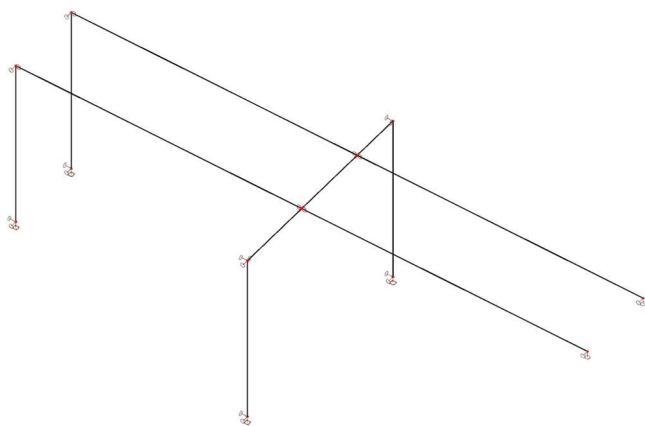
5.2 Automatiserad beräkning

För att underlätta användningen av beräkningsfilen har Solver-funktionen automatiserats genom att länka ett macro till en knapp. Ett macro fungerar som en inspelning av olika kommandon som följer varandra och som efter inspelning kan spelas upp för att utföra scenariot med de valda kommandona. Macro för detta ändamål öppnar Solver-funktionen och utför en beräkning baserat på den inmatade värdena och de applicerade begränsningarna. En enkel guide för hur man skapar ett enkelt macro hittas på Microsofts webbsida, länken hittas i källförteckningen (Microsoft Support, Online).

Macro fungerar ständigt trots att de inmatade värdena ändras, men beräkningen genomförs först efter att man tryckt på knappen. För att macro i filen skall fungera bör filens format ändras från standardformat till filtyper så som xlsx-, xlsb eller xltm-filer (AMT Training, Online).

5.3 Test av ersättande element i SCIA Engineer

För att få en realistisk uppfattning om hur det nya elementet fungerar i fackverkets ställe görs en jämförelse mellan tre olika konstruktioner, dessa presenteras i Bilaga 2. Alla konstruktioner är identiska bortsett från att fackverken bytts ut till det element som används idag i konstruktion 2 och att fackverken bytts ut till det element som tagits fram genom detta arbete i konstruktion 1. Alla tre konstruktioner påverkas av samma krafter och har identiska stöd. Det element som används idag är en teoretisk profil med endast två bommar och inget liv, till vilket en massa manuellt appliceras. Testet genomfördes av Markus Rönn, Senior Structural Engineer på Nordec Oy.



Figur 21. Skärmdump av konstruktionen som testet genomförts på.

5.4 Besvarade forskningsfrågor

Denna underrubrik reflekterar och besvarar de forskningsfrågor som ställts i början av arbetet under rubrik **1.4 Forskningsfrågor**.

Hur kan man jämföra traditionella fackverk med enkla profiler baserat på nedböjning?

Enligt vad man läsa under rubrik **5 RESULTAT** kan man jämföra traditionella fackverk med enkla profiler genom att basera jämförelsen på den maximala nedböjningen. Detta kan sedan jämföras genom att skapa Excel-filer som automatiskt beräknar avsedda likheter. Detta baserat på principen i Steiners sats och beräkningen av massan för ett dubbelsymmetriskt tvärsnitt.

Vilka egenskaper bör beaktas för att uppnå det avsedda målet?

Egenskaper som bör beaktas för att hitta ett tvärsnitt som kan användas i det traditionella fackverkets ställe för lastnedräkning och global stabilitetsanalys är bland annat tröghetsmomentet kring Y-axeln. Detta leder även oundvikligen till att elementet bör vara stagat i sidled vilket leder till att inte tröghetsmomentet kring Z-axeln inte behöver beaktas. För att hålla beräkningarna exakta och inte riskera att egenvikten i beräkningarna glöms bort bör även massan för elementet beaktas.

Hur fungerar de nya elementen i SCIA Engineer?

Genom testet som genomfördes kan man dra slutsatsen att det nya elementet fyller den avsedda funktionen med tillräcklig noggrannhet, d.v.s. att skillnaderna i resultat inte påverkar analysen. I Bilaga 2 presenteras en jämförelse över de tre olika konstruktionerna, enligt vilka man kan se att nedböjningen och lastnedräkningen för konstruktion 1 och konstruktion 3 stämmer överens med viss avvikelse. Konstruktion 2 som innehåller de element som används i dagens läge rör sig inom samma ramar men med större avvikelse. Detta visar på att det nya elementet vore en bättre ersättare för fackverkskonstruktionen än det som används idag. Elementet och metoden bör dock testas flera gånger och av andra användare för att upptäcka problem och brister innan de kan användas i ett riktigt projekt.

6 DISKUSSION

Under arbetets gång har jag lärt mig en hel del, av vilket är saker som kommer att vara användbara i arbetslivet och överlag. Med tanke på arbete med stålkonstruktioner och dimensionering är talanger och kunskap för användningen av FEM-program viktiga, och dessa har jag under arbetets gång utvecklat och förbättrat.

Reflekterar man över användning av Excel, kan man konstatera att programmet kan utnyttjas både under och utanför arbetstid. Eftersom Excel varit en betydande del för arbetet har jag studerat programmet lärt mig funktioner och möjligheter via relevanta webbsidor, Youtube och diskussioner med erfarna Excel-användare.

Eftersom jag i teoridelen redogjorde för hur en projekteringsprocess kan se ut har jag studerat Nordec Oy:s interna plattformar för att samla på mig information och fått en tydligare bild av hur processen går till, vilket kommer att vara till stor nytta i framtida arbeten.

Eftersom Excel är ett så brett program med nästan oändliga möjligheter har en hel del tid brunnit i att manövrera och skapa korrekt fungerande dokument. En massa tid gick även åt att lära sig hur man använder SCIA-Engineer, vilket dock har varit värt mödan nu då jag utvärderar mina nuvarande kunskaper.

Eftersom arbetet krävde en hel del mer tid än vad som från början antagits och reserverats för, avgränsades arbetet en del. Detta lämnar nu rum för en hel del vidareutveckling, i form av skapandet av beräkningsbottnar för fackverk som belastas av en eller flera punktlaster och kombinationer av punktlast och linjelast. Även att redogöra för om det är möjligt att ersätta fackverk mednock på ett liknande sätt som jag gjort i detta arbete, kunde vara en möjlig fortsatt uppgift.

7 KÄLLFÖRTECKNING

AMT Training. (Online). *Which MS Excel File Extension Should I Use?* Hämtat från [amttraining.com](https://www.amttraining.com/knowledgebank/excel/which-excel-file-extension-should-i-use/):

<https://www.amttraining.com/knowledgebank/excel/which-excel-file-extension-should-i-use/>

Microsoft Support. (Online). *Create a macro*. Hämtat från Microsoft.com:

<https://support.microsoft.com/en-us/office/quick-start-create-a-macro-741130ca-080d-49f5-9471-1e5fb3d581a8>

Microsoft Support. (Online). *Load the Solver Add-in in Excel*. Hämtat från

Microsoft.com: <https://support.microsoft.com/en-us/office/load-the-solver-add-in-in-excel-612926fc-d53b-46b4-872c-e24772f078ca>

Nordec Oy. (2022). Nordec Internal Database . Europe.

Ongelin, P., & Valkonen, I. (2016). *SSAB Domex Tube STRUCTURAL HOLLOW SECTIONS* page. 442. SSAB Euorpe Oy.

Bilaga 1

Excel-filen för att konvertera ett fackverk till en I-profil

BILAGA 1

Excel-filen för att konvertera ett fackverk till en I-profil

b_1 (mm)	b_2 (mm)	b_3 (mm)
43,63887189	8,6971930988	43,63887189

h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)
4,36388704	1938,4032274231	4,36388704

Area för delyta (mm^2)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
190,4351074	16858,66717	190,4351074

Tröghetsmoment för delyta (mm^4)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
302,21274074	5278739605	302,21274074

Avstånd mellan tyngdpunkt för delyta och $y=0$ (mm)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
2,181943519	973,5655008	1944,949058

Avstånd mellan $y=0$ och tyngdpunkt för total tvärsnittsarea (mm)	
Tyngdpunkt	
973,5655008	

Avstånd mellan tyngdpunkt för delyta och total tyngdpunkt (mm)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
971,3835572	1,13687E-13	971,3835572

Total tvärsnittsarea (mm^2)	
Tvärsnittsarea	
17239,53739	

Massa
Balk
2130,1
Fackverk
2130,1

Tröghetsmoment
Balk
5638124018
Fackverk
5638124018

Ståldensitet 7,85E-06 kg/mm^3

E-modul 210000 N/mm^2

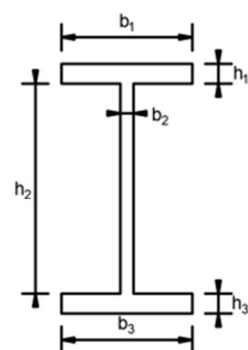
Massa 2130,1 kg

Längd 15740 mm

Nedböjning 6,75 mm

Last 10 N/mm

Find dimensions



Aim Value

17239,5374

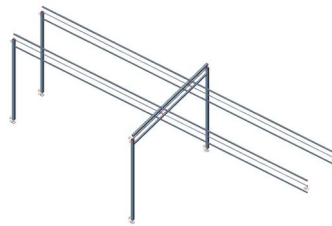
RÖR EJ!

Bilaga 2

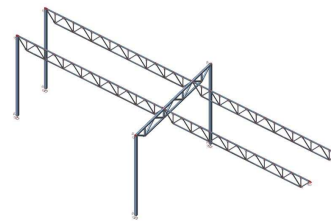
Test av ersättande element



Konstruktion 1



Konstruktion 2

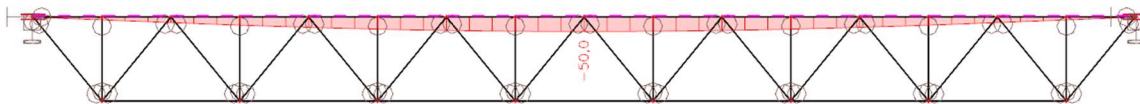


Konstruktion 3

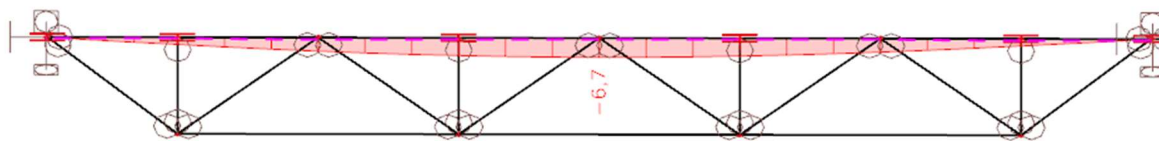
	Längd	Vikt
Sekundärfackverk:	22,30 m	1177,6 kg
Primärfackverk:	15,74 m	2209,3 kg
	Längd	Profil
Pelare:	13,61m	CFRHS300X10

Konstruktionen är uppbyggd av fyra pelare, fyra sekundärfackverk och ett primärfackverk enligt bilderna ovanför. De påverkas av permanent last (5,40kN/m), snölast (9,98kN/m) och permanent last.

Elementen som används i Konstruktion 1 baserar sig på vikten och nedböjningen för en 10kN/m linjelast, detta presenteras i bilderna nedan.



Enligt bilderna kan man se att nedböjningen för sekundärfackverket på grund av 10kN/m är 50mm, detta avstånd med vikten matas sedan i konverteraren i Excel.



Enligt bilderna kan man se att nedböjningen för sekundärfackverket på grund av 10kN/m är 6,7mm, detta avstånd med vikten matas sedan i konverteraren i Excel

Bilaga 2

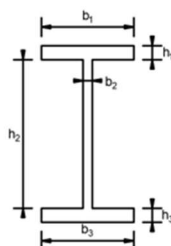
Test av ersättande element

Konvertering av sekundärfackverket

b_1 (mm)	b_2 (mm)	b_3 (mm)
199,22026830	2,5907598088	199,22026830
h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)
4,72044386	1870,5757458405	4,72044386
Area för delyta (mm ²)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
940,4080932	4846,212462	940,4080932
Tröghetsmoment för delyta (mm ⁴)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
1746,22735326	1413096438	1746,22735326
Avstånd mellan tyngdpunkt för delyta och y=0 (mm)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
2,360221932	940,0083168	1877,656412
Avstånd mellan y=0 och tyngdpunkt för total tvärsnittsarea (mm)		
Tyngdpunkt		
940,0083168		
Avstånd mellan tyngdpunkt för delyta och total tyngdpunkt (mm)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
937,6480949	1,13687E-13	937,6480949
Total tvärsnittsarea (mm ²)		
Tvärsnittsarea		
6727,028648		
Massa		Tröghetsmoment
Balk		Balk
1177,6		3066683335
Fackverk		Fackverk
1177,6		3066683335

Ståldensitet	7,85E-06 kg/mm ³
E-modul	210000 N/mm ²
Massa	1177,6 kg
Längd	22300 mm
Nedböjning	50 mm
Last	10 N/mm

Find dimensions



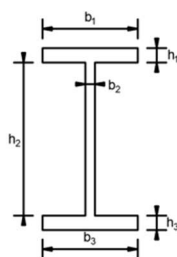
Aim Value
6727,0286
RÖR EJ!

Konvertering av primärfackverket

b_1 (mm)	b_2 (mm)	b_3 (mm)
199,22398949	9,1326313378	199,22398949
h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)
2,00000000	1870,6142974621	2,00000000
Area för delyta (mm ²)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
398,447979	17083,63075	398,447979
Tröghetsmoment för delyta (mm ⁴)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
132,81599299	4981583667	132,81599299
Avstånd mellan tyngdpunkt för delyta och y=0 (mm)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
1	937,3071487	1873,614297
Avstånd mellan y=0 och tyngdpunkt för total tvärsnittsarea (mm)		
Tyngdpunkt		
937,3071487		
Avstånd mellan tyngdpunkt för delyta och total tyngdpunkt (mm)		
Delyta 1 (övre fläns)	Delyta 2 (liv)	Delyta 1 (undreflän)
936,3071487	2,27374E-13	936,3071487
Total tvärsnittsarea (mm ²)		
Tvärsnittsarea		
17880,52671		
Massa		Tröghetsmoment
Balk		Balk
2209,3		5680199570
Fackverk		Fackverk
2209,3		5680199570

Ståldensitet	7,85E-06 kg/mm ³
E-modul	210000 N/mm ²
Massa	2209,3 kg
Längd	15740 mm
Nedböjning	6,7 mm
Last	10 N/mm

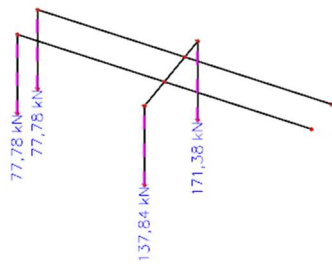
Find dimensions



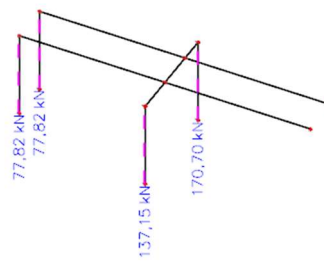
Aim Value
17880,5267
RÖR EJ!

Bilaga 2

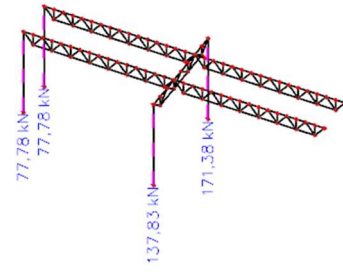
Test av ersättande element



Konstruktion 1



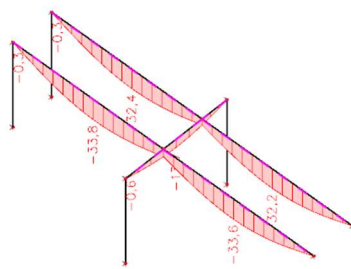
Konstruktion 2



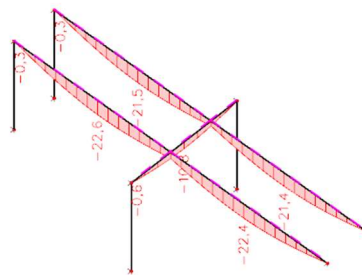
Konstruktion 3

	Stödreaktioner (kN)			
	Pelare 1	Pelare 2	Pelare 3	Pelare 4
Konstruktion 1	77,78	77,78	137,84	171,38
Konstruktion 2	77,82	77,82	137,15	170,70
Konstruktion 3	77,78	77,78	137,83	171,38

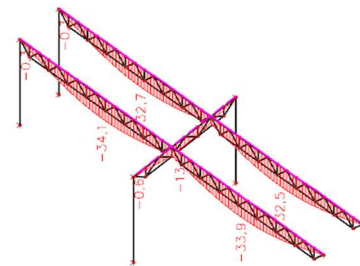
Vad man kan se ur bilderna och tabellen ovan så skiljer sig Konstruktion 2 från Konstruktion 3 betydligt mer än Konstruktion 1. Detta med avseende på stödreaktionerna från lastkombinationen av de tidigare nämnda lastfallen.



Konstruktion 1



Konstruktion 2



Konstruktion 3

	Nedböjning (mm)				
	Primär	Sekundär			
	Element 1	Element 2	Element 3	Element 4	Element 5
Konstruktion 1	13,7	33,8	32,4	33,6	32,2
Konstruktion 2	10,8	22,6	21,5	22,40	21,4
Konstruktion 3	13,8	34,1	32,7	33,9	32,5

Vad man kan se ur bilderna och tabellen ovan så skiljer sig Konstruktion 2 från Konstruktion 3 betydligt mer än Konstruktion 1. Detta med avseende på stödreaktionerna från lastkombinationen av de tidigare nämnda lastfallen.