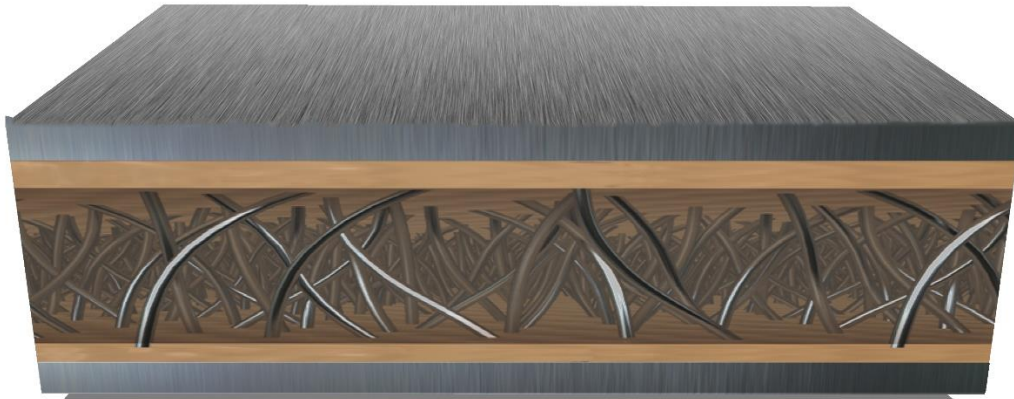




CHALMERS



Karaktärisering av mekaniska egenskaper hos Hybrix™ och förstudie hållfasthetsanalys av AGC

Kandidatarbete inom materialkaraktärisering

Mattias Folestad

Abstract

A thesis researching and testing methods for characterizing shear properties for the core in the sandwich material Hybrix™. Determining the shear properties is an essential part in developing a material model for the numerical simulation. An initial study will identify which methods are commonly used and which method is more accurate and cost-efficient to estimate the shear properties of sandwich materials.

A new method to determining the shear properties of the Hybrix™ core called CC-test (named after the beam profile shape, C-beam) has been tested and evaluated. Special test specimens have been produced for the experimental procedure. The method has been shown that it will be a proper candidate for further investigation.

The final part of the thesis covers a study of the potential for weight reduction on the Autonomous Guided Carrier, AGC for short by doing an initial linear static analysis of the existing design. The obtained results will be handed to another group who are working on a thesis of redesigning the AGC by reducing weight as a goal.

Förord

Ett examensarbete om framtagningsmetoder av materialdata för kärnan hos sandwichmaterialet och vikt optimering av AGC (Autonomous Guided Carrier) med hjälp av Hybrix™, gjort inom området för maskinteknik.

Jag har skrivit det här examensarbetet på 15 högskolepoäng i min utbildning i maskinteknik på Chalmers tekniska högskola. Jag har under min tid på Chalmers parallellt arbetat på företaget Lamera AB där jag nu haft möjlighet att göra detta arbete som en liten del i utvecklingen av deras material Hybrix™, även Flexlink har varit med i arbetet kring AGCn.

Jag vill tacka hela Lamera AB för möjligheten att göra examensarbetet hos dem och för det stöd de tillhandahållit under arbetet. Jag vill även tacka Anders Biel på Högskolan i Skövde för möjligheten att studera och lära om CC-provet

Jag vill speciellt tacka Ramin Moshfegh på Lamera AB och Åsa Fasth Berglund på Chalmers för utmärkt handledning och stöd under arbetet.

Sammanfattning

Det här är ett arbete som behandlar metoder för framtagning av skjuvegenskaper hos kärnan i kompositmaterialet Hybrix™. Det behandlar även linjärstatisk simulering av AGC (Autonoma Guided Carrier) med mål att reducera vikten. Lamera AB är det företag som utvecklar och tillverkar kompositmaterialet Hybrix™, det är även det företag som arbetet utförts hos. Företagets FoU (Forskning och Utveckling) inriktats bl.a. att undersöka moderna arbetsmetoder för material- och produktutveckling. I dessa metoder är FE-simulering (Finita Element simulering) ett viktigt beräkningsverktyg. För att FE-simulering ska generera korrekta resultat krävs bl.a. att tillämpa relevanta materialmodell med rätta materialdata.

Genom en metodstudie ska olika metoder för karaktärisering av skjuvegenskaper undersökas och jämföras. Målet med studien är också att undersöka vilka metoder som används idag och inom vilka sektorer de används i störst utsträckning.

En anpassad variant av DCB prov (Double Cantilever Beam) kallad CC-prov ska undersökas för att se om metoden lämpar sig för att karaktärisera skjuvegenskaper av Hybrix™ kärnan. Speciella provkroppar tillverkas för att undersökas men en hel ny experimentella metod på Högskolan i Skövde.

Sista delen i arbetet är den linjärstatiska analysen av AGCn, målet med analysen är bistå en annan arbetsgrupp som gör ett arbete med mål att reducera vikten på AGCn genom att använda Hybrix™ i konstruktionen. Deras arbetet sker inte på Lamera utan genomförs under ett samarbete mellan CTH (Chalmers Tekniska Högskola) och Flexlink som primärt arbetar med transportlösningar inom processindustrin.

Det är arbetets avgränsas till att inom materialdata delen endast behandla vilka metoder som används idag vid framtagning av skjuvegenskaper hos sandwichkompositer och den experimentella metod som Lamera och HiS (Högskolan i Skövde) undersöker för framtagning av samma data. Det kommer inte att behandla implementeringen av data i en materialmodell för Hybrix™ och inte heller validering av CAE-modellen. I arbetet med AGCn kommer arbetet endast att behandla en första analys av den ursprungliga konstruktionen av AGCn inte några ytterligare analyser av nya koncept.

Metodstudien genererade två standardiserade metoder för karakterisering av skjuvegenskaper ASTM C 273-00 och ASTM C 393-00 som båda idag används i stor utsträckning inom materialforskning och automotiv industri. Även två metoder som idag befinner sig i ett forskningsstudie för karakterisering av sandwichmaterial. Av dessa är ASTM C 393-00 den metod som i störst utsträckning används idag, det är också denna metod som tidigare prövats av Lamera utan att leverera något användbart resultat.

Resultatet för AGCn levererades till de arbetsgrupper som jobbar med utveckling av AGCn i form av en rapport där resultatet från den linjärstatiska analysen fanns med. Resultatet visade på goda möjligheter att använda Hybrix™ för att reducera vikten på AGCn.

Summary

This thesis will be studying methods for characterization of shear properties for the core in the sandwich material Hybrix™. The thesis will also be studying linear static analysis of AGC (Autonomous Guided Carrier) with the goal of reducing the weight.

Lamera AB is a company developing and producing the composite material Hybrix™, it is also in cooperation with Lamera this thesis has been written. Lamera is a company intensively focused on research and development with modern methods for developing materials and production methods. Included in these methods is Finite Element Analysis (FEA), it is an important CAE-tool for R&D (Research and Development). For FEA to deliver relevant results it is important to use the proper material data in combination with a suitable material model.

A part of this project was to collect information and methods which are available for estimation of the shear properties of a sandwich material in general and evaluate the suitability of the methods for the Hybrix™ material. A specific variant of the DCB testing (Double Cantilever Beam) also denoted as CC-testing has been studied and tested to evaluate if the method is feasible to characterize shear properties of the Hybrix™ core. Special test specimens are produced and tested at the MTS laboratory at the University of Skövde.

The final part of this work is the linear static analysis of the AGC. The goal is to assist another group doing a thesis on reducing the weight of the AGC by using Hybrix™ as a material in the construction. Their thesis is not performed at Lamera but in a collaboration between CTH (Chalmers University of technology) and Flexlink. Flexlink being a company developing and manufacturing transport solutions for the process industry.

The main target of the project is to investigate the different methods used to determine the shear properties of the sandwich core and the evaluate the feasibility of the new experimental method which is developed at the University of Skövde. The project has no intention of implementing or applying the test data obtained in a material model used in FEA. In addition, the project does not cover the validation of the material model or FE software.

During the latter part of the work regarding the AGC, the present project will only do a limited analysis of the original design of the AGC provided by Flexlink to determine the possibilities to using Hybrix™ as an essential part of the product associated with weight reduction.

The method study resulted in two standardized methods for characterization of shear properties ASTM C 273-00 and ASTM C 393-00. Both methods are used widely at this time in a broad range of industries ranging from automotive, construction and material research, two other methods that are still in a research state was found. Out of the standardized methods ASTM C 393-00 is most widely used, it is also the methods used earlier by Lamera with no conclusive results.

The results from the linear static analysis of the AGC was delivered to the other research group in form of a report and presentation were the results were presented. The conclusion drawn from this is that there is good potential for using Hybrix™ in the development of a new design.

Innehållsförteckning

| | |
|---|----|
| Beteckningar..... | 13 |
| Förkortningar..... | 14 |
| 1 Bakgrund..... | 15 |
| 1.1 Syfte..... | 18 |
| 1.2 Avgränsningar..... | 19 |
| 1.3 Precisering av mål med arbetet..... | 20 |
| 2 Metod..... | 21 |
| 2.1 Metodstudie..... | 21 |
| 2.2 Metod för karaktärisering av Hybrix™..... | 22 |
| 2.3 Framtagning av skjuvegenskaper genom CC-provstav..... | 22 |
| 2.4 Framtagning av nya design på AGC..... | 23 |
| 3 Teoretisk referensram..... | 24 |
| 3.1 Simulering av Hybrix™..... | 24 |
| 3.2 Uppbyggnad Hybrix™ som material..... | 26 |
| 3.3 Fyrpunktsböjning..... | 28 |
| 3.4 Karaktärisering av sandwich genom dragprov..... | 29 |
| 3.5 Teori för modifierat DCB-prov..... | 30 |
| 3.6 CAE-programvaror..... | 31 |
| 4 Experiment..... | 32 |
| 4.1.2 Mätning..... | 35 |
| 5 Fem-modellering, del 1, statistiska beräkningar..... | 36 |
| 6 Analys av AGC..... | 38 |
| 7 Resultat..... | 40 |
| 7.1 Styvhetsmätning genom fyrpunktsböjning..... | 40 |
| 7.2 Planskjuvprov (Butt bonded cylinder torsion test)..... | 40 |
| 7.3 KS2..... | 41 |
| 7.4 Skjuvning genom dragprov..... | 41 |
| 7.5 Trendanalys..... | 42 |
| 7.6 Resultat från CC-prov..... | 44 |
| 7.7 Resultat från linjärstatisk analys av AGC..... | 46 |
| 8 Slutsats..... | 49 |
| 8.1 Metodstudie..... | 49 |
| 8.2 CC-Prov..... | 49 |
| 8.3 AGC optimering..... | 49 |

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 9 | Diskussion | 50 |
| 9.1 | Metodstudie | 50 |
| 9.2 | CC-Prov | 50 |
| 9.3 | AGC optimering | 51 |
| 10 | Referenser..... | 52 |

Beteckningar

En deklARATION för de tecken som används i de beräkningar som görs i arbetet. Notera att det är mer specifikt deklarerat under de beräkningar som gjort i respektive kapitel.

| Variabel | Förklaring | Enheter |
|----------|---|-----------------|
| J | Brottsenergi | kJ/m^2 |
| θ | Vinkeln i mellan balkarna vid CC-prov | Rad |
| B | Provkroppens bredd | mm |
| σ | Spänningen i provet | MPa |
| w | Deformationen i provet | mm |
| q | Utbredd last | N |
| F | Last | N |
| L | Provets längd | mm |
| b | Provkroppens bredd | mm |
| L | Provets längd | mm |
| a | Plattans längd | mm |
| h | Provkroppens medeltjocklek över tre punkter | mm |
| d | Provet deformation i höjddled | mm |
| τ | Skjuvlast i kärnan | N/mm^2 |
| P | Draglast i provet | N |
| G | Skjuvmodul | GPa |
| S | $\frac{dP}{du}$: Lutningskoefficient vid start på kraft-väggkurva, | - |
| u | förflyttning hos plattorna | mm |
| D | Böjstyvhets | N/mm^2 |
| E | E-modul | GPa |
| t | Tjocklek | mm |
| V | Poissons tal | - |
| w | Nedböjning/deformation | mm |

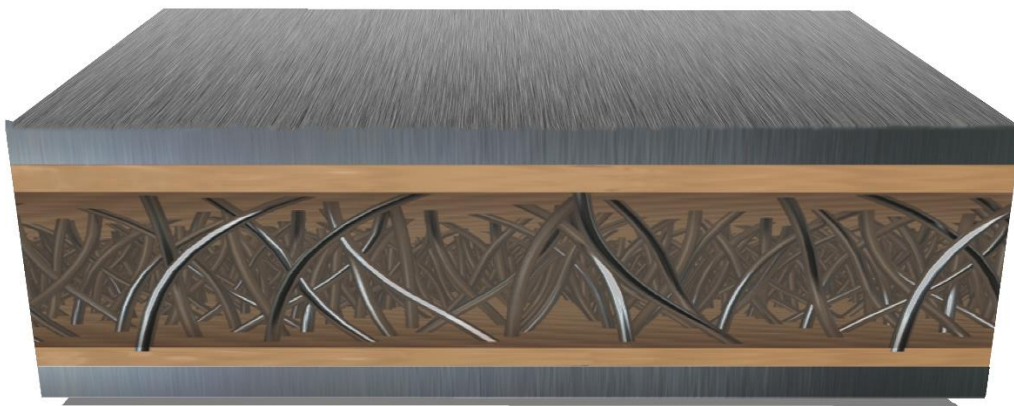
Förkortningar

En förklaring för de förkortningar som använts i arbetet.

| Förkortning | Förklaring |
|-------------|--|
| AGC | Autonomous Guided Carrier |
| FEA | Finite Element Analysis |
| CAE | Computer-Aided Engineering |
| CAD | Computer-Aided Design |
| VP | Virtual Prototyping |
| DCB | Double Cantilever Beam |
| CC | Refererar till det anpassade DCB testet med på C-profil balkar |
| FoU | Forskning och Utveckling |
| FEM | Finite Element Method |

1 Bakgrund

Lamera startades 2005 och har sedan dess utvecklat och tillverkat lättviktsmaterialet Hybrix™. Hybrix™ är en lättviktssandwich uppbyggd av två ytskikt och en kärna där emellan. Ytskikten består oftast av ett metalliskt material som till exempel aluminium eller rostfritt stål. Kärnan består av ett lim och fibrer av antingen stål eller polymer. Vid tillverkning täcks ett ytskikt med lim, sedan placeras fibrerna stående i olika vinklar. Slutligen placeras ett till ytskikt på det fibertäckta ytskiktet och allt lamineras till den rätta sluttjockleken, se Figur 1. Målet med materialet är att avsevärt minska vikten på detaljer utan att minska styvhet eller hållfasthet. Materialet kan även minska kostnaderna för en produkt och dess miljöpåverkan. Hybrix™ används idag inom allt ifrån elektronikindustrin, byggindustrin och inom den medicinska industrin.



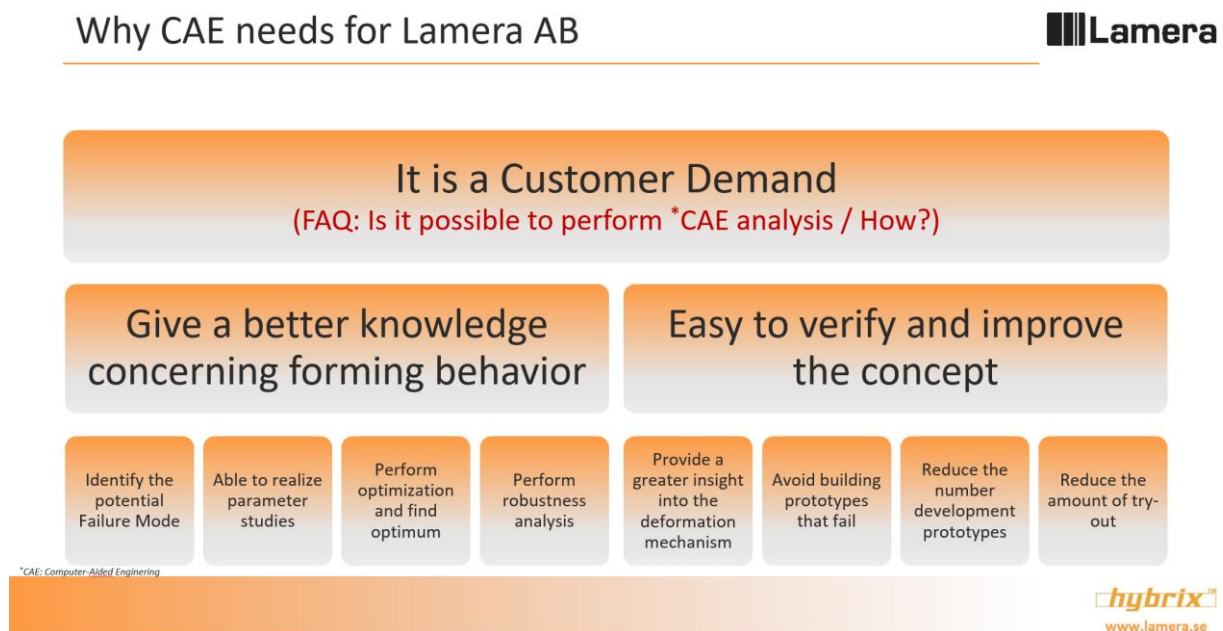
Figur 1-Representation av Hybrix™

Datorbaserad produktutveckling har varit en stor del av den moderna framställningen av nya produkter sedan 1960-talet. I början förknippades detta oftast med s.k. CAD-underlag där tredimensionella ritningar genererades men har under 1990-talet och tidigt 2000-tal utvecklats till att bli en kombination av modelldesign och beräkningar. Idag strävar de flesta stora industrier efter att ha så korta ledtider som möjligt för framtagning och utveckling av nya produkter, i detta har CAD och CAE fått en betydande roll. Genom att använda beräkningsmodeller för att bestämma lämpliga konstruktionsparametrar och dimensionera konstruktionselement så kan flera olika koncept utvärderas både ur hållfasthetssynpunkt och funktionsynpunkt. På så sätt kan stadiet för fysiskt konceptbyggande skjutas upp i utvecklingsprocessen så långt som möjligt då de modeller som byggs är närmare en slutgiltig produkt. Att bygga fysiska modeller är både resurskrävande i både tid och pengar vilket leder till att använda CAE korrekt kan stora resursbesparingar göras under utvecklingsprocessen. (H. Johannesson, 2013)

Som ett exempel kan nämnas att under utveckling och framställning av nya verktyg för pressning av plåt används mycket av utvecklingstiden för att reparera verktygen efter de initiala testerna av verktygen. För att spara på resurser under utvecklingen av nya verktyg används i större utsträckning FE-simulering för att kunna förutspå resultatet innan tester genomförs för att redan innan kunna vidta lämpliga åtgärder. Kravet på material som går att simulera med goda resultat är därför ett krav från många företag för att de ska överväga användningen av material, (Nakagawa, 1993).

För att en FE-simulering ska vara användbar behövs pålitliga materialdata som matas in som indata i simuleringsprogramvaror för givna materialmodeller. Den materialdata kommer att vara en av de mest avgörande komponenterna i om simulering ger ett tillförlitligt och användbart resultat. För att kunna presentera en modell som på ett tillfredställande vis representerar materialet behövs experimentella metoder som ett effektivt sätt karakterisera materialets mekaniska egenskaper och ta fram numeriska data som behövs för en materialmodell.

Lamera AB har som andra företag inom lättviktkomposter ett stort behov att introducera sina material i industrin genom användningen av VP. VP är en viktig del i att effektivisera och minska kostnaderna under framtagning och utveckling av nya produkter. För tillfället finns inga metoder för FE-simulering av Hybrix™ som ger ett tillfredställande resultat som det finns för mer traditionella plåt-material. En bild av hur Lamera har planerat att jobba med CAE kan ses i Figur 2.



Figur 2-Användning av CAE

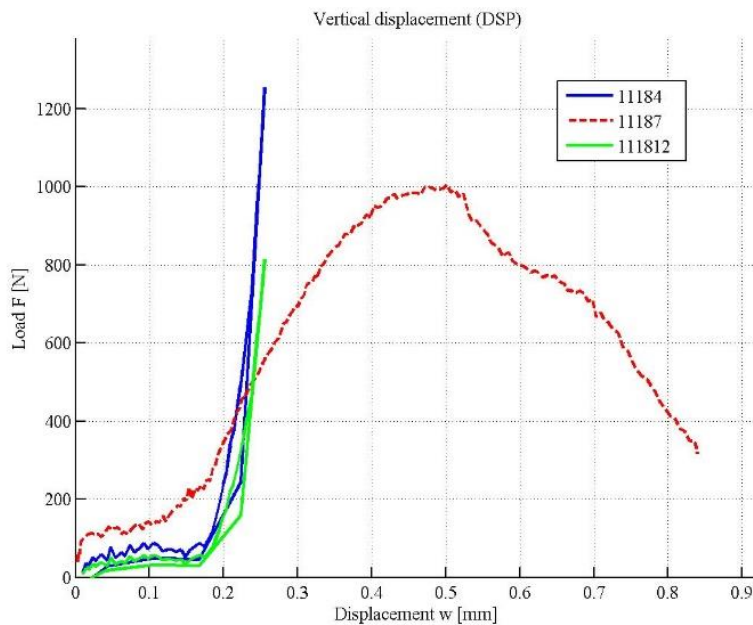
Inom Lean talas det mycket om hur transporter inom är flöde är slöseri med resurser och därför är målet med framtagningen av AGC att omvandla transporttiden till värdeadderande tid, (Anders Ek, 2018). Systemet som är används idag är dimensionerat för en pallet/AGC som har en total vikt på max 30kg inklusive pallet, AGC-vagn och lasten som transporteras. Genom att minimera vikt på pallet och AGC kan man maximera den transporterbara vikten. Detta resulterar i att en lättviktsdesign på både AGC och paletten är högst eftertraktad.

Lamera har deltagit i utvecklingsprojekt med mål att undersöka och ta fram relevanta metoder för att fastställa materialegenskaperna hos Hybrix™. Lamera deltog i ett stort utvecklingsprojekt, DSMO (förkortning) där de olika materialegenskaperna hos Hybrix™-kärnan undersöktes bl.a. för tryck, drag och skjuvning i kärnan. Egenskaperna för tryck och drag kunde fastställas med tillfredställande resultat dock visade resultatet för skjuvegenskaper

på tydliga brister i testmetoden. Metoden som användes beskrivs ytterligare i kapitlet Teoretisk referensram under Bestämning av skjuvmodul för kärna genom dragprov. Figur 3 visar resultatet från testningen av skjuvegensakperna i Hybrix™ kärna. Resultatet visar på stora variationer för lika materialkonfigurationer vilket indikerar på att metoden hade stora brister. I rapporten beskrivs ett flertal olika anledningar till att resultatet inte blev användbart dessa innefattar bland annat,

- Vinkeln på lasten i förhållande till skjuvplanen kan om felaktig generera orena skjuvkrafter.
- Håligheter i limskiktet eller delvis delamination kan resultera i att lokala spänningskoncentration uppstår som resulterar totalt brott i provet.
- Delamination i limmet kan resultera i att brott i provet uppstår i för tidigt skede under testet.
- Delamination mellan provet och testriggen.
- Proverna limmades osymmetriskt på test-riggen vilket resulterar i att lasterna fördelas osymmetriskt under testet.

(Lamera AB, Internrapport)



Figur 3-Resultat från skjuvkaraktärisering (Lamera AB Internrapport)

1.1 Syfte

Syftet med det här arbetet är att undersöka vilka metoder som används för karaktärisering av skjuvegenskaper hos kärnan i sandwichmaterial idag och utvärdera en ny metod för samma syfte. Dessutom, tillhandahålla information och support för ett arbete med mål av att reducera vikt på en AGC.

1.2 Avgränsningar

Under första delen av arbetet där en metodstudie görs för karaktäriseringsmetoder kommer arbetet endast behandla en liten del av de metoder som används. Studien kommer endast att fokusera på metoder som används för att karaktärisera kärnegenskaperna hos sandwichmaterial eller metoder som går att anpassa för samma syfte.

De experiment som utförs för karaktärisering av kärnan hos Hybrix™ kommer att vara begränsade till de experiment som anordnats vid Lamera AB och kan ej väljas fritt.

Materialdatan som används under arbetet och tas fram genom experiment i arbetet kommer att användas i simuleringsprogramvaran för en speciell materialmodell. Arbetet kommer inte att behandla materialmodellen som används under simuleringen eller utvecklingen av denne, detta kommer att göras via Lamera AB.

Under delen av arbete där möjligheten att reducera vikten av paletten på AGCn undersöks kommer arbetet till största del fokusera på att minimera vikten. Arbetet kommer inte att fokusera i större utsträckning på skillnaden i tillverkningskostnad för den optimerade designen på grund av att ingen djupare analys av tillverkningsprocessen kommer att göras.

I sista delen av arbetet som avser att ta fram en ny lättviktsdesign på AGC-enheten kommer det här arbetet bara att tillhandahålla en analys av den ursprungliga designen för att använda som underlag för att ta fram nya koncept.

1.3 Precisering av mål med arbetet

Nedan kommer en utveckling av syftet beskrivas, det görs genom en beskrivning av de mål och frågeställningar som arbetet har som avseende att behandla.

- Arbetet har som mål att undersöka och studera olika metoder för karaktärisering av skjuvegenskaper i kärnmaterial hos sandwichmaterial för att skapa en bakgrund för fortsatt arbete
- Fortsatt ska arbete ta reda på vilka metoder som används tidigare för att undersöka skjuvegenskaper hos Hybrix™-kärnan
- Att införskaffa nya materialdata för skjuvegenskaperna hos Hybrix™ genom bland annat experimentella metoder.
- Göra analys av den ursprungliga designen på AGC för att använda i fortsatta projekt när nya koncept genereras med mål att reducera vikt.
- Tillhandahålla kunskap och stöd för de arbeten som behandlar design på AGC i form av simuleringsunderlag på den ursprungliga designen av AGC och kunskap om Hybrix™.

2 Metod

2.1 Metodstudie

Arbetet inleds med en metodstudie som delats upp i två separata delar, den första undersöker hur FE-simulering (Finit Element Simulering) används idag och varför det används. Den undersöker även på en grundläggande nivå vilka begränsningar som finns och vilken indata som behövs från de material som ska användas i simuleringen. Den andra delen av metodstudien kommer att undersöka vilka metoder som används idag för karakterisering av skjuvegenskaper hos sandwichkompositer och hur de metoderna kan användas för att ta fram relevant data från Hybrix™ eller fungera som jämförelse eller validering.

Studien började med en internetsökning för att hitta relevant information för den första delen i metodstudien. Sökning gjordes framförallt i Google scholar. Följande sökord och fraser användes, orden i fraserna har flyttats om i olika sökningar.

- Using Finite Element analysis in modern industry
- Finite Element analysis automotive industry
- Finite Element analysis applications
- Finite Element analysis sandwich composite
- Simulation Tools product development

Informationen från de funna artiklarna av intresse används för att sammanställa den första delen av metodstudien. Resultaten från den här delen av metodstudien kommer till största del presenteras i form av bakgrund.

I del två av metodstudien undersöks standardiserade metoder för materialkarakterisering och validerings metoder för FE-simulering. I sökningen efter information används följande sökord och fraser i olika konstellationer i databasen Science Direct och Google Scholar.

- Standard methods for material characterization
- Standard methods for composite characterization
- Standard methods for sandwich characterization
- Standard methods for sandwich composite characterization
- Validation methods for Finite Element Analysis results
- Finite Element analysis of sandwich material
- Finite Element Analysis of composite material

Förutom att använda internetsökning har även rapporter, examensarbeten och artiklar som finns i pappersformat hos Lamera AB studerats. Informationen som fåtts genom denna undersökning kommer ligga till grund för stora delar av de metoder som kommer användas under projektet. Nedan beskrivs de metoder som genom metodstudien framstått som relevanta metoder för arbetet.

Metodstudien genererade tre metoder som bedömdes vara allmänt vedertagna metoder för karakterisering av skjuvegenskaper i kärnan hos sandwichmaterial. I nästa del av metodstudien kommer användningen av metoderna att studeras med mål att se inom vilka sektorer och i vilken utsträckning metoderna används.

Genom att kombinera sökord för de olika metoderna med sökord för olika industrier kan trender för hur de olika metoderna används och i vilken utsträckningen.

Metoden för planskjuvprov, ”Butt bonded Cylinder shear properties for sandwichmaterial characterisation” kommer i fortsättningsvis i tabeller benämnas som BBCS.

| Sökträffar för metoder | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|------|
| | Metod benämning | | |
| | ASTM C 273-00 | ASTM C 393-00 | BBCS |
| Sektor sök ord | | | |
| Building sector | | | |
| Automotive | | | |
| Material Reserch | | | |
| | | | |

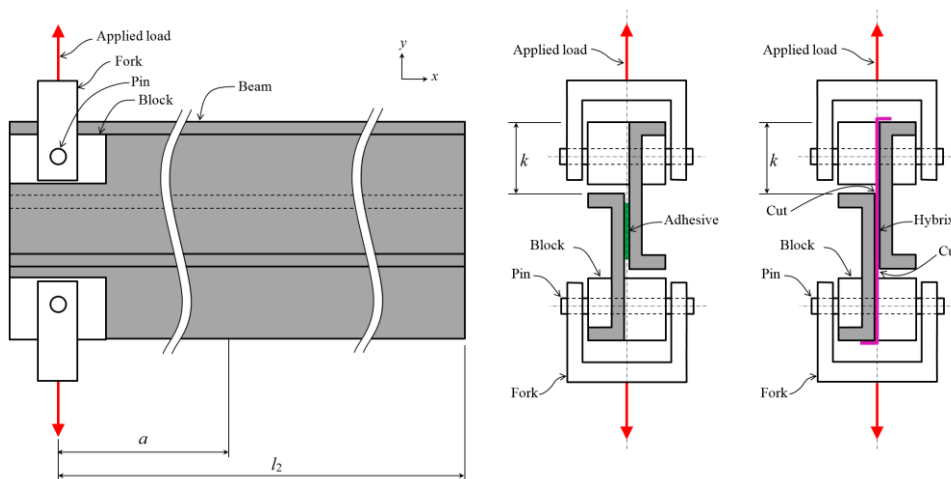
Tabell 1-Mall för trendanalys

2.2 Metod för karaktärisering av Hybrix™

Den materialdata som behövs för att karaktärisera Hybrix™ kommer att bland annat hämtas från Lamera AB och deras materialdatabas. De övriga materialdata som behövs under projektet kommer att tas fram genom metoder för materialkaraktärisering, dessa metoder beskrivs mer utförligt under kapitlet Teori.

2.3 Framtagning av skjuvegenskaper genom CC-provstav

Tillsammans med Högskolan i Skövde har Lamera AB tagit fram en metod för karaktärisering av Hybrix™ kärna tagits fram. Genom att använda sig av en dragprovsmaskin och två C-balkar kan skjuvegenskaper hos Hybrix™ kärna tas fram. Metoden är ursprungligen framtagen för att karaktärisera egenskaperna hos olika limtyper men har anpassats för karaktärisering av Hybrix™. Genom att montera en provstav av Hybrix™ mellan C-balkarna och sedan dra isär provet i kärnan kommer kärnan skjuvegenskaper karaktäriseras se Figur 4. Genom att använda C-balkarna och den här metoden kommer en ”renare” skjuvkraft att kunna mätas till skillnad ifrån den ovan beskrivna metoden där resultatet förorenas av en dragkraft i kärnan som resultat av monteringen av provstaven.



Figur 4-Provmontering i CC-prov (Lamera AB Internrapport)

2.4 Framtagning av nya design på AGC

Parallellt med det här arbetet pågår ett annat examensarbete med målet att konstruera en ny design på AGC. Målet är att använda materialet Hybrix™ i konstruktionen, för att lyckas med detta kommer de behöva materialdata och simuleringsresurser från det här arbetet. Det här arbetet kommer att tillhandahålla den information som behövs för att göra en ny konstruktion, bland annat mekaniska data för Hybrix™ och även vilka formningsmöjligheter som finns.

Genom att använda FE-simulering kommer en analys av den ursprungliga designen på AGC att göras. Analysen kommer att göras med den data och randvillkor som Flexlink anger de kommer även att tillhandahålla den CAD-modell som kommer att vara underlaget för simuleringen. Första steget kommer att vara att fastställa vilka material som använts vid konstruktionen av den existerande varianten. Detta görs genom att visuellt inspektera en framtagen prototyp som tillhandahållits av Chalmers.

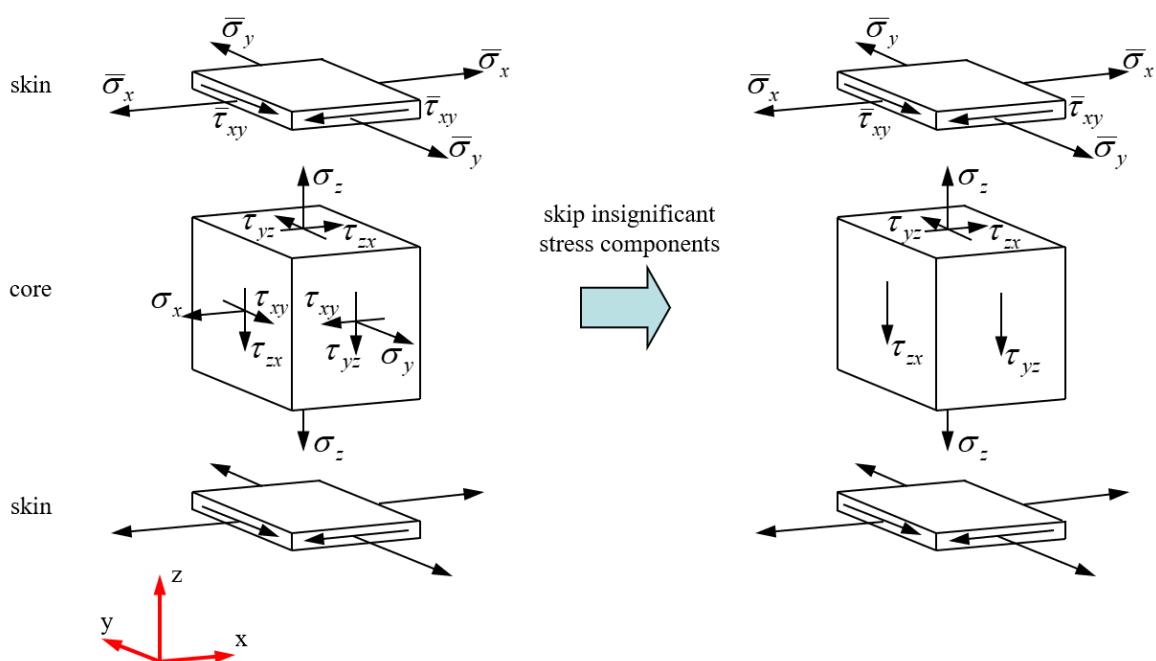
Nästa steg kommer att vara att förenkla modellen som tillhandahållits av Flexlink genom att ta bort komponenter som bedömts som icke bidragande till hållfastheten. Där efter kommer modellen importerats i simuleringsprogramvara där randvillkoren kommer att definieras, en mesh kommer sedan att generas innan simuleringen körs. Resultaten kommer sedan att analyseras och sammanställas innan de överlämnas till den grupp som utvecklar nya koncept på AGC.

3 Teoretisk referensram

I följande kapitel teoretiskbakgrund för Hybrix™ och simulering av Hybrix™, här beskrivs även teori för metoder som används för karaktärisering av sandwichmaterial.

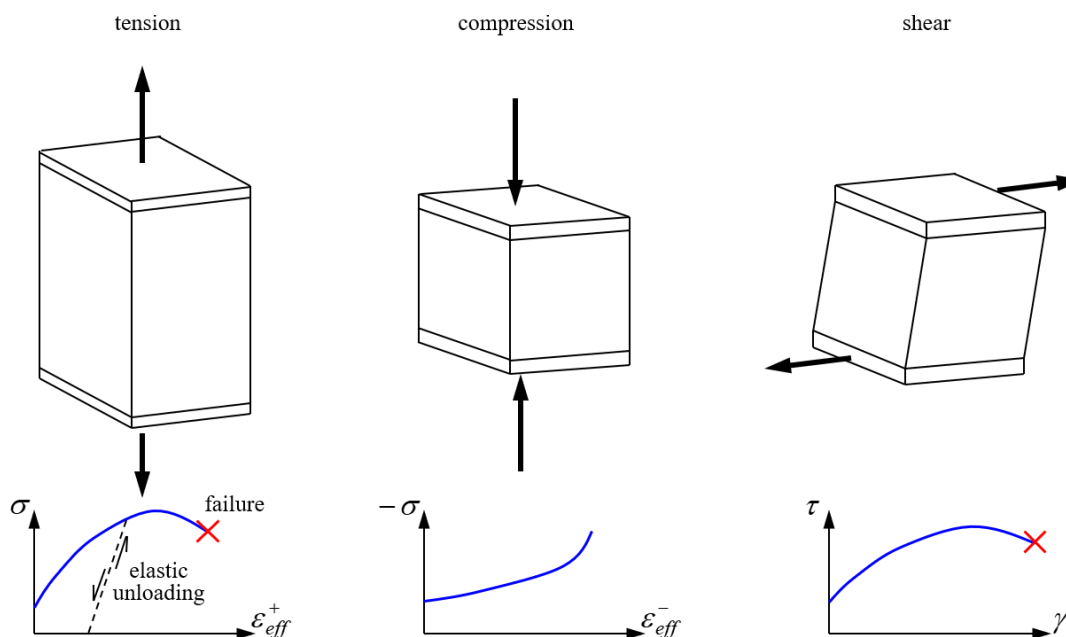
3.1 Simulering av Hybrix™

Figur 5, till vänster illustrerar en schematisk bild av spänningstillståndet av ett sandwichmaterial som består av två tunna ytor (metall/plast) tillsammans med en kärna. Om man antar att ett plant spänningstillstånd gäller för tunna ytmaterialet, då kan man försumma samtliga spänningskomponenter i tjockleksriktning av ytmaterialet (Detta är enbart ett antagande för att kunna tillämpa skalteori vid numeriska analyser). Dessutom, kärnstyvheten är mycket mindre än ytmaterialets styvhet. Följaktligen, antas kärnans membranspänningskomponenter försumbar, se Figur 5 till höger. Detta antagande förenklar avsevärt implementering av den material modelleringen.



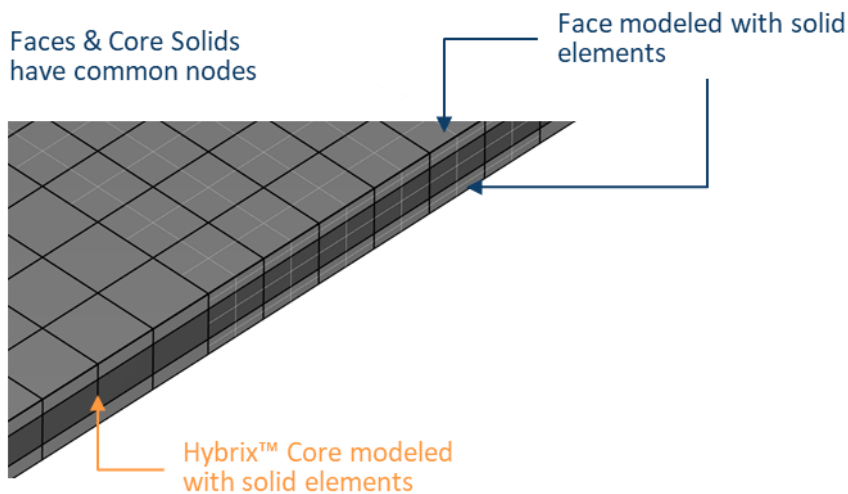
Figur 5-Förenkling av spänningsfall i sandwich (Lamera AB Internrapport)

För att få den data som behövs för att använda modellen krävs tre olika belastnings modes. Den första är drag, där materialet dras i z-riktningen, den andra är tryck där materialet utsätts för tryck i z-riktningen och den sista är skjuvning som tex. sker i x- eller y-riktningen. Dessa kommer sedan att generera tre olika belastningskurvor som används i materialmodellen se Figur 6. (Lamera AB Internrapport)



Figur 6-Lastfall, (Lamera AB Internrapport)

När Hybrix™ modelleras för användning i en FEM-analys bygger grundkonceptet på att materialet modelleras på samma vis som andra kompositmaterial. De två ytskikt som omsluter kärnan i Hybrix™ modelleras som två vanliga materialmodeller för metalliska material. Kärnan modelleras med helt egna materialegenskaper, kärnans materialegenskaper kommer att vara anisotropisk beroende på belastnings riktning, se Figur 7.



Figur 7-Simulering av Hybrix, (Lamera-AB)

3.2 Uppbyggnad Hybrix™ som material

Hybrix™ är ett sandwichmaterial, ett sandwichmaterial definieras som ett material som består av en kärna som innesluts av två yt-material på vardera sida. Hybrix™ är uppbyggt med en kärna bestående av ett lim och fibrer. Kärnan omsluts sedan av två yt-material bestående av antingen stålplåt eller aluminiumplåt.

3.2.1.1 Kärnan

Som beskrivet ovan består kärnan av fiber och ett limämne och i Hybrix™ består limämnet av epoxi. Vilken typ av epoxi som används vid tillverkningen har stor inverkan på egenskaperna hos Hybrix™ och typen kan därför väljas för att tillgodose många typer av applikationer. Limmet kan väljas för att förbättra formbarhet, öka styvhet, brandklassificerat eller för att klara utomhusmiljöer. Limmet har även stor påverkan på tillverkningsprocessen. Då epoxi kan vara uppbyggt på framför allt två olika sätt, enkomponents- eller tvåkomponentsepoxi. Tvåkomponentsepoxi som är den vanligare varianten består av en bas och en härdare. När dessa blandas i rätt förhållanden inleds härdningsprocessen omedelbart även om det fortfarande tar tid innan den är genomhärdad. Denna härdprocess går att påskyndas vid behov genom att värma materialet.

Enkomponentsepoxi är färdigblandad vid leverans och är då stabil vid rumstemperatur. Vid tillverkning krävs en högtemperatur för att härdningsprocessen ska inledas.

Den andra beståndsdel i kärnan är fibern, och kan antingen vara en polymerfiber eller en stålfiber. Polymerfibern som är den vanligaste typen vid tillverkning är endast 0,2mm i diameter och är beroende på applikation 2mm eller 1mm lång. Även stålfiber används när till exempel höga krav på brandbeständighet finns. Genom att välja längd på fiber, typ av fiber och mängden fibrer per arealenhet kan egenskaperna hos Hybrix™ justeras.

Den kompletta kärnans tjocklek varierar mellan 0.8mm och 2.5mm. Beroende på fås olika egenskaper, bortser man från egenskapsförändringar som fås av att man varierar innehållet i kärnan kan man grovt säga att en tjockare kärna kommer resultera i ett styvare material och en tunnare kärna i ett mer formbart material.

3.2.1.2 Yt-material

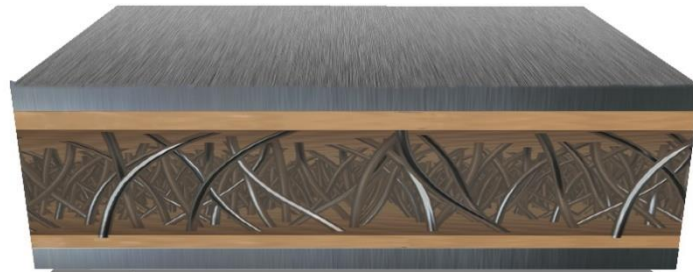
Yt-materialet som innesluter kärnan består i Hybrix™ fall av antingen stålplåt eller aluminiumplåt. Typ av stål eller aluminium är i stort sätt obegränsat, tillverkningsprocessen tillåter nästan alla varianter av plåt inom tjockleksspannet 0,08 till 0,5mm. Materialet kan därför väljas för att uppnå maximal prestanda för den aktuella applikationen, materialet kan även väljas för att uppnå önskad visuell effekt.

3.2.1.3 Tillverkningsprocess

Processen börjar med att plåt ark klipps upp direkt från rulle till de längder Hybrix™ ska tillverkas i. Arken förflyttas sedan till nästa steg i processen där lim appliceras i ett tunt skikt över hela plåten. I nästa steg ska fibern appliceras, detta sker genom metoden flockning. Det innebär att fibern laddas med en hög spänning för att sedan skjutas på plåten. Detta resulterar i att fibrerna ställer sig ståendes i olika vinklat i limmet som applicerades på plåten i steget innan. Plåtarken ska sedan läggas ihop för att få ett Hybrixark, ett ark som flockats läggs då ihop med ett ark som endast limmats.

I efter detta bakas Hybrixen under tryck och i värme till limmet härdat och den fått den eftersökta arktjockleken.

När Hybrixarken härdat och svalnat kontrollmäts varje ark så att de uppnår de toleranser som sats i tillverknings. I sita steget formklipps Hybrixen efter de mått som beställts av kunden innan de packas och levereras.



Figur 8-Hybrix™ genomskärning (Lamera AB Internrapport)

3.3 Fyrpunktsböjning

Vid bestämning av Hybrix™ styvhetsmodul används metod fyrpunktsböjning. Tillvägagångssättet är baserat på ASTM-C393-00 för styvhetsmätning av sandwichkompositer, (ASTM-International, 2000a). Metoden använder sig av provkroppar med en längd av 150mm och en bredd på 50mm, tjockleken på varje provkropp mäts individuellt på tre punkter. Dessa läggs upp med ett fritt spann på 100mm, provet belastas med ett lastspann på 50mm mitt på provkroppen. Radien på de stöden är 5mm och belastningshastigheten är 5mm/min. Avvikelsen i höjddled mäts mellan en trycklast på 30N och 50N, avvikelsen mäts med mätklocka.

En formel framtagen av SP används för att beräkna en styvhetsmodul på i detta fall Hybrix™, (Almström, 2008).



Figur 9-Fyrpunktsböjning hos Lamera AB

$$\text{Styvhets stress } \sigma_f = \frac{3FL_1}{2bh^2} \quad (1)$$

$$\text{Elasticitet } \varepsilon_f = \frac{16dh}{3L_1^2} \quad (2)$$

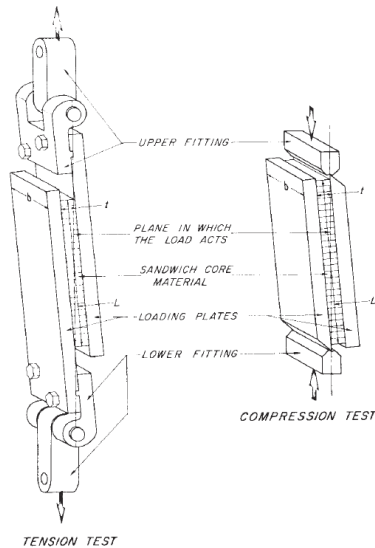
$$\text{Styvhetsmodul } E_f = \frac{\sigma_{f50N} - \sigma_{f30N}}{\varepsilon_{f50N} - \varepsilon_{f30N}} \quad (3)$$

$$\text{Böjstyvhetsmodul } EI = \frac{F_{50N} - F_{30N}}{d_{50N} - d_{30N}} \left(\left(\frac{L_1}{2} \right)^2 - \left(\frac{L_2}{2} \right)^2 \right) \left(\frac{L_1}{2} - \frac{L_2}{2} \right) \frac{1}{4b} \quad (4)$$

Det ovan beskrivna tillvägagångssättet för bestämning av styvhetsmodulen hos ett sandwichmaterial har som tidigare nämnt sin grund en i ASTM standard för karakterisering av styvhets egenskaper hos sandwichmaterial, (ASTM-International, 2000a). Formlerna är härledda från de beräkningar som görs i ASTM standarden.

3.4 Karaktärisering av sandwich genom dragprov

Bestämning av skjuvegenskaper genom dragprov. Vid bestämning av skjuvmodul för kärnan i en sandwichstruktur enligt ASTM C 273-00 används en form av dragprov. Testet bygger på att kärnmaterialet är uppbyggt mellan två förhållandevis styva plattor, plattorna dras sedan åt vardera riktning medans kraft och förflyttningen mäts (ASTM-International, 2000b).



Figur 10- Skjuvprov enligt ASTM C 273-00

Följande beräkningar kan göras efter testet.

$$\text{Skjuvlast } \tau = \frac{P}{Lb} \quad (5)$$

$$\text{Skjuvmodul } G = \frac{St}{Lb} \quad (6)$$

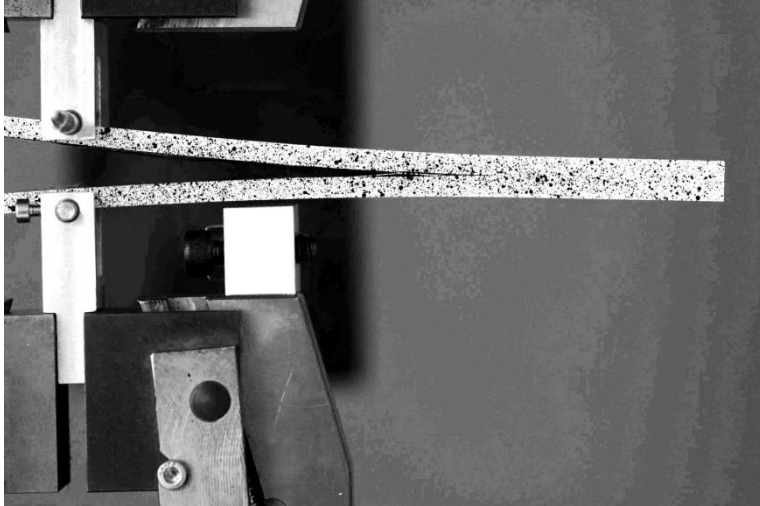
Lamera har prövat en variation av denna metod tidigare, skillnaden mot ASTM C 273-00 är att under det här testet är att två helt styva balkar har använts som inte varit ledade i ändarna. Se Figur 11



Figur 11-Variation av ASTM C 273 (KTH)

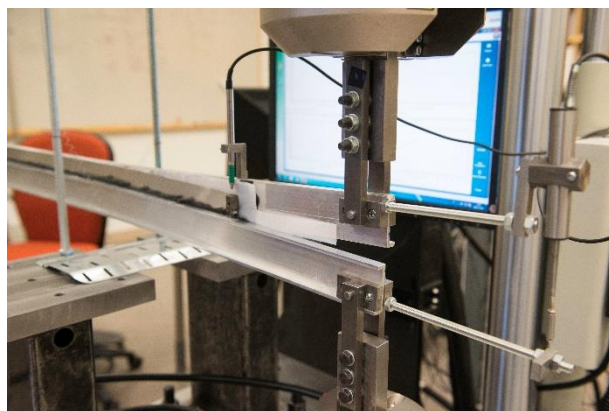
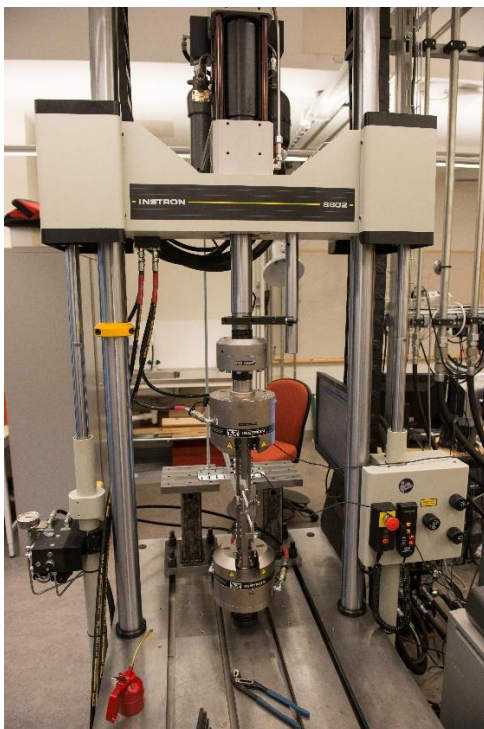
3.5 Teori för modifierat DCB-prov

Genom att anpassa ett standardiserat DCB-fläkprov har en metod för karaktärisering av kärnmaterialet i sandwichmaterial tagits fram. Testet har anpassats så att dragvinkeln har vridits 90 grader så att provet dras i sidled, se Figur 13, provet har sedan monterats på en c-balk. (P. Robinson 2004)



Figur 12- Standardiserat DCB-test

Anledningen till att c-balkar används är att man genom att variera bredden på flänsarna så kan skjuvplanet förflyttas så att det hamnar mitt i provet och förhindrar normalkrafterna till kärnan påverkar resultat. Det gör även att rotationen som uppstår i balken under belastning inte påverkar mätresultatet under testet. (A. Biel, 2015)



Figur 13- Provutrustning och provuppsättning

De beräkningar som kan göras med resultaten från experimentet är följande. Ekvation 7 beräknar fram brottsenergi integralen som beskriver de mängd energi som går åt för att separera proverna. Ekvation 8 beräknar i sin tur ut skjuvspänningen som en funktion av brottsintegralen och deformationen in provkroppen. (A. Biel, 2015)

$$J = \frac{2}{b} F \sin(\theta) \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{\partial J}{\partial w} \quad (8)$$

3.6 CAE-programvaror

Under arbete har ett flertal programvaror använts, dessa är följande.

| Programvara | Funktion | Utvecklare/Utgivare |
|-------------|------------------------------|---------------------|
| Hypermesh | Meshning för simulering | Altair |
| Optistruct | Solver/lösare för simulering | Altair |
| Inspier | FE-simulering och optimering | Altair |
| Inventor | CAD | Autodesk |

4 Experiment

Experimentet som utfördes var framtagning av skjuvegenskaper genom CC-balk som beskrivs i Kapitel 3 och Kapitel 2. Testet utfördes på Högskolan i Skövde på institutionen för ingenjörsvetenskap.

4.1.1.1 Provtillverkning

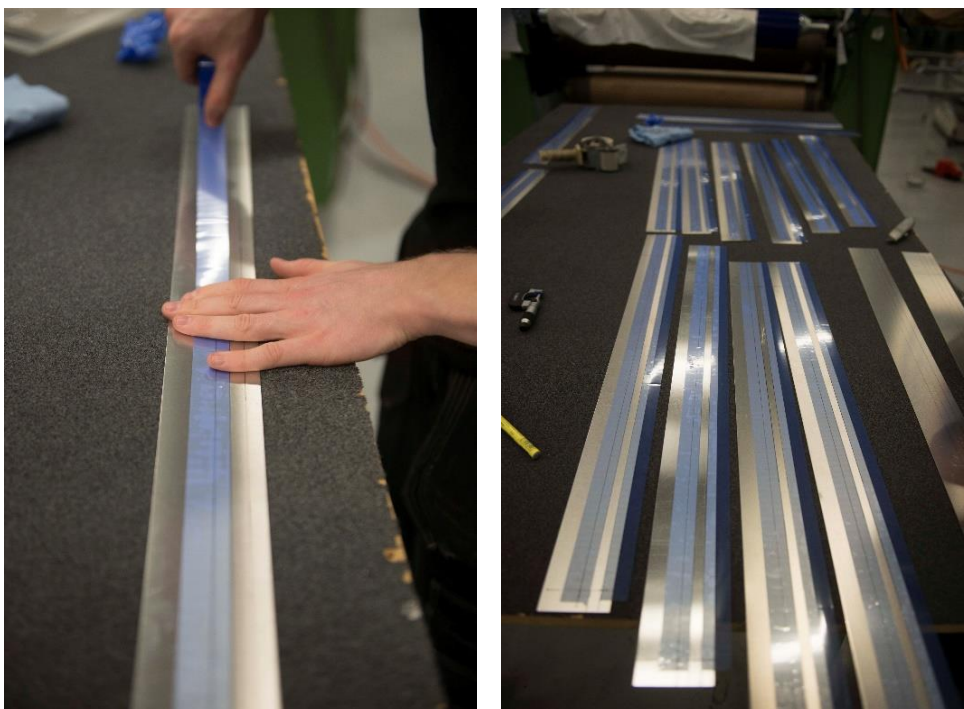
Materialet som kommer användas under experimentet är det som benämns som AA050050P hos Lamera AB. Benämningen innebär att ytskikten i materialet består av två ark 0,5mm tjock aluminium och att en fiber av polymer har använts vid tillverkningen. Utöver det bestämdes att en kärntjocklek på 1,2mm skulle användas och att bredden på kärnan skulle vara 10mm.

Tillverkning av provkropparna gjordes hos Lamera AB i en kombination av den ordinarie produktionslinan och labbutrustning. Tillverkningen startar med att plåt-material i form av aluminium klipps i 65mm breda och 700mm långa remsor. Proverna rengörs noggrant med aceton för att garantera att eventuella föroreningar som skulle kunna påverka resultatet under experimentet eliminerats helt. På remsorna markeras sedan förhand upp vart kärnan i materialet ska vara och överlappningslinjerna.



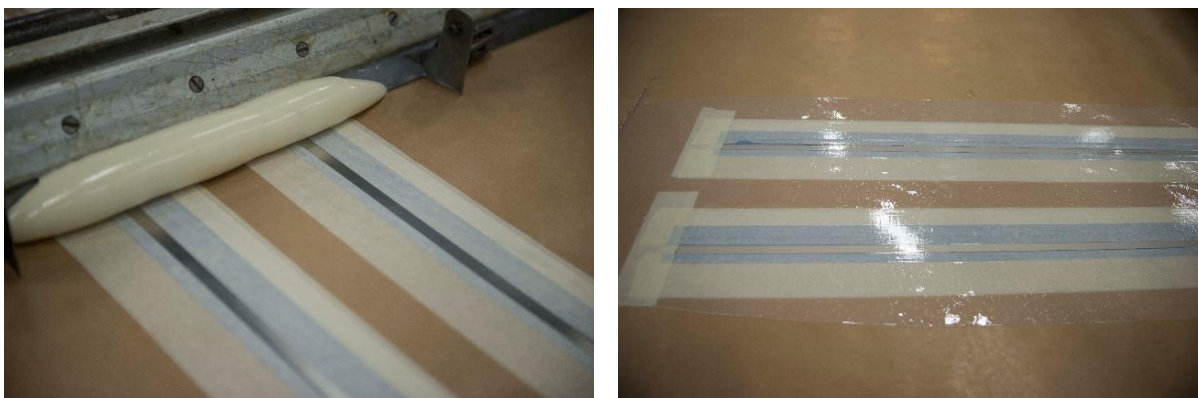
Figur 14-Rengöring och uppmärkning

Proverna förses efter markeringen med en högtemperaturs teflontejp för att noggrant markera av kärnan så att den blir konstant 10mm bred. Det är ytterst viktigt att kärnan har en bestämd bredd då bredden på kärnan anses ha en bestämd bredd vid beräkning av skjuvspänningen i kärnan.



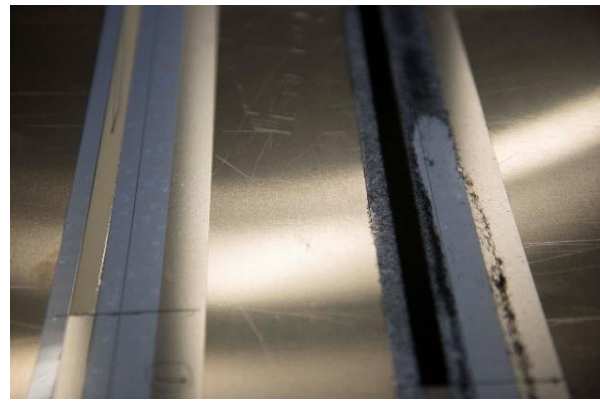
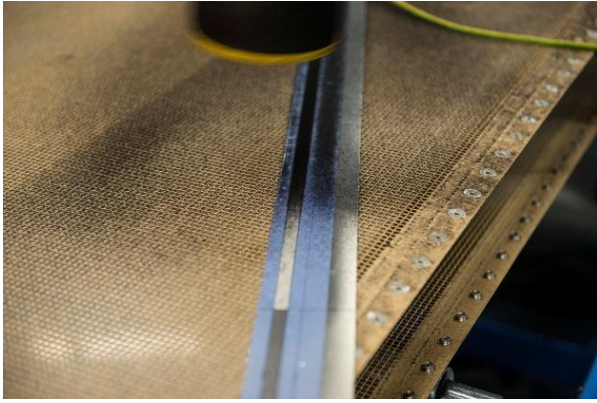
Figur 15-Applicering av teflontejp

Nästa steg i processen är appliceringen av lim på proverna, proverna maskeras så att endast en området där kärnan ska befinna sig plus lite till blir applicerat med lim. Anledningen till att det limmas lite bredare än kärnan är för att garantera att hela kärnan blir täckt. Teflontejpen garanterar att allt kärnmaterial som hamnar utanför den tänkta kärnan inte påverkar resultatet.



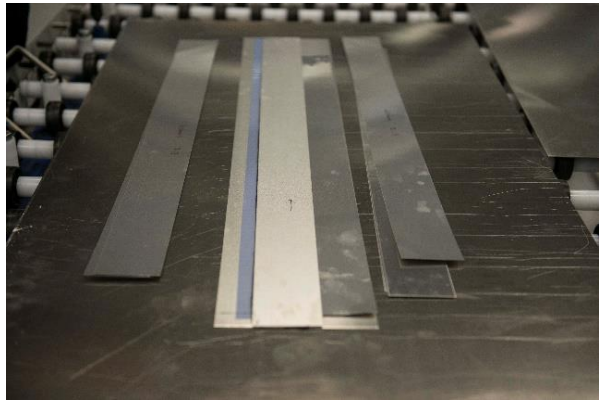
Figur 16-Limapplicering

På hälften av provkropparna appliceras sedan flock, den andra hälften förblir o-flockade inför nästa steg i processen.



Figur 17-Flockning av provet

Sista steget innan laminering är att lägga ihop de två halvorna, en av halvorna är flockad och limmad medans den andra endast är limmad. Hopläggningen görs förhand med hjälp av de stödlinjer som ritades på tidigare i tillverkningen. Proverna förses sedan med distanser som ser till att tjockleken på det färdiga provet är rätt och konstant över provet.



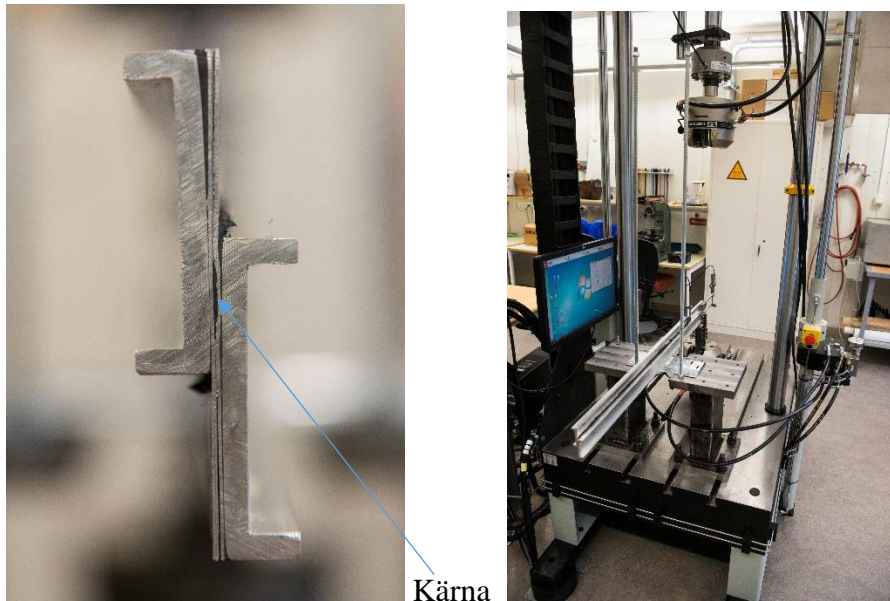
Figur 18-Hopläggning av provet

Slutligen lamineras proven i en bestämd härdcykel för att epoxin ska härda och den bestämda tjockleken ska uppnås.

4.1.1.2 Uppsättning av provstavar på CC-balkar

Provkroppen limmas mellan två C-balkar med ett värmehärdat epoxilim som härdas i 180grader 30minuter, Zika power 480. Provet monteras mellan två överlappande C-balkar så att kärnan hamnar mitt i överlappningen, se Figur 19. Balkarna monteras i provriggen med ena ändan monterad i en dragprovmaskin och den andra ändan ligger fritt upplagd se Figur 19.

Dragprovmaskinen användes sedan i en programmerad cykel där dragningen sker med konstant hastighet (0.1 mm/s) tills att provet deformerat utanför deformationsgivarnas mätområde då provet avslutas.



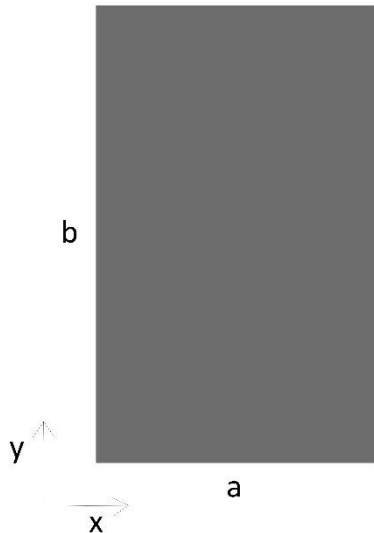
Figur 19-Hybrix™ monterad mellan C-balkar och montering i dragprovmaskinen

4.1.2 Mätning

Under experimentet mäts tre olika parametrar, dragkraften i verktyget och även förflyttningen i två punkter. Kraften i verktyget mäts med de inbyggda kraftgivarna i dragprovmaskinens. Förflyttningen mäts med två givare monterade på den övre C-balken, givarna mäter sedan på utvalda punkter på den under C-balken.

5 FEM modeller, del 1, statiska beräkningar av AGC-platta

Som ett första steg i undersökningen av FEA görs en enkel jämförelse av beräkningar som görs i simulerings programvaran och analytisk modell i det elastiska området. För de analytiska beräkningarna används en förenklad modell av AGC-platta. Förenklingen av AGC resulterar i en platta som undersöks i ett fritt upplagt tillstånd med en utbredd last.



Figur 20-Modell beskrivning

Vid analytisk beräkning har ett sätt med randvillkor definierats, momentet längs sidor har satts till noll och även deformationen längs sidorna har satts till noll (fritt upplagd längs alla sidor). Material parametrar för stål användes då AGC är tillverkade av stål lasten på plattan valdes till 1000N, lasten har ingen verklig koppling utan används bara för att analysera skillnaden mellan de olika resultaten. Med dessa randvillkor kan följande beräkning för nedböjning göras. (Ansel C. Ugural, 2011)

$$D = \frac{E \cdot t^3}{12(1-\nu^2)} \quad (9)$$

$$w(x, y) = \frac{q}{\pi^4 \cdot D} * \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^{-2} * \sin\left(\frac{\pi \cdot x}{a}\right) * \sin\left(\frac{\pi \cdot y}{b}\right) \quad (10)$$

| Variabel | Förklaring | Värde | Enhet |
|----------|-------------------|-------|-------|
| E | E-modul | 210 | GPa |
| t | Plattans tjocklek | 5 | mm |
| V | Poissons tal | 0,3 | - |
| q | Utbredd last | 1000 | N |
| a | Plattans bredd | 390 | mm |
| b | Plattans längd | 628 | mm |

FE-analysen gjordes på samma förenklade platta som användes vid den analytiska beräkningen, mesh och last fall definierades i Hypermesh för att sedan lösas i lösaren Optistruct. Under processen beräknades ett flertal simuleringar med samma last fall med där olika mesh storlek används för att se vilken inverkan storleken har på resultatet. Även typen av mesh som används kan ha en stor inverkan på resultatet, för det här testerna valdes tetraeder för ytorna, se (K. Ho-Le, 1988). Nedan kan resultatet utläsas i Tabell 2.

| Fall | Elementets storlek (mm) | Nedböjning (mm) |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------|
| Analytisk modell (Referens) | | 0,097 |
| Fall 1 | 5 | 0,091 |
| Fall 2 | 10 | 0,090 |
| Fall 3 | 15 | 0,089 |
| Fall 4 | 20 | 0,088 |

Tabell 2-Mesh-storlekens inverkan på resultat

Ur resultaten ovan kan några intressanta punkter för fortsatt arbete identifieras. Den första är att i allmänhet stämmer de resultaten som fått fram genom simulering bra med de resultat som tagits fram genom elementfall och handräkning. En andra intressant punkt kan också identifieras, genom att minska element-storleken (öka element-tätheten) så fås ett resultat som är närmare det resultat som tagits fram genom analytisk modell.

Då fortsatta experiment som görs med simulering kommer att vara av jämförande karaktär och resultat för simuleringen ovan visar på goda resultat kommer fortsättningsvis endast simulering användas som beräkningsmetod.

6 Analys av AGC

Den avslutande delen i arbetet kommer att behandla designen och optimeringen på AGC-fordonet i form av en Finite element analys av den ursprungliga designen av AGCn. Målet är att leverera en analys som analyserar av den befintliga designen under de laster och randvillkor som är satta av Flexlink.

Flexlink gav ett flertal villkor för bland annat för mekanisk prestanda, form, storlek och vikt. Endast några av dessa kommer att vara relevanta för analysen av den existerande designen, dessa är följande.

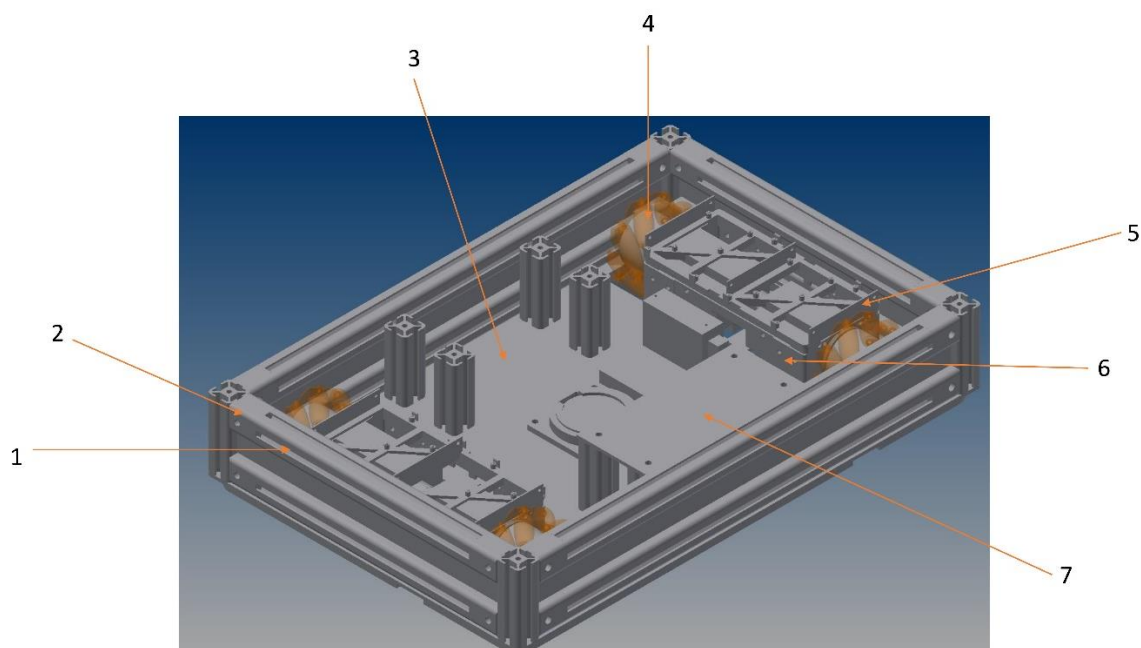
Villkor för analys

- Bearbetnings kraft 1000N
- Maximal nedböjning vid bearbetning, 1mm
- Totalvikt på AGC 30kg inklusive last
- Form och design begränsas till den existerande designen tillhandahållen av Flexlink

Modellen som kommer att ligga till underlag för simuleringen tillhandahålls av Flexlink, modellen innehåller alla geometrier och komponenter som designen har nu. Modellen innehåller dock ingen djupare information om materialvalet för de olika komponenter utan dessa kommer behövas tas fram för att analys ska kunna utföras.

För att fastställa vilka material som ska användas i simuleringsmodellen så ha Chalmers Högskola tillhandahållit ett prototypbygge av AGCn som kan användas som referens.

Nedan ses Figur 21 och Tabell 3 som beskriver vilka material som använts vid de olika komponenterna.



Figur 21-Komponenter i AGC konstruktionen

| Art nr. | Komponent | Delkomponent | Material |
|---------|------------------|----------------|-----------|
| 1 | Balkar | | Aluminium |
| 2 | Balkinfästning | | Stål |
| 3 | Bottenplatta | | Aluminium |
| 4 | Hjul | | |
| 4.1 | | Hjul | Gummi |
| 4.2 | | Hjulinfästning | Aluminium |
| 4.3 | | Nav | Plast |
| 5 | Kretskortskonsol | | Plast |
| 6 | Motorkonsol | | Aluminium |
| 7 | Skyddsplattor | | Aluminium |

Tabell 3-Komponenter och material

En förenklad modell för AGC konstruktionen tas fram för att simuleringen ska unnas göra på rimliga tider och för att slippa göra beräkningar på icke relevanta komponenter.

Den förenklade modellen importeras i Altair Inspier där simuleringen sätts upp med de ovan nämnda randvillkoren.

7 Resultat

Metodstudien som gjordes som ett första steg i arbetet resulterade i att tre olika metoder för karaktärisering av skjuvegenskaper hos kärnan i sandwichmaterial.

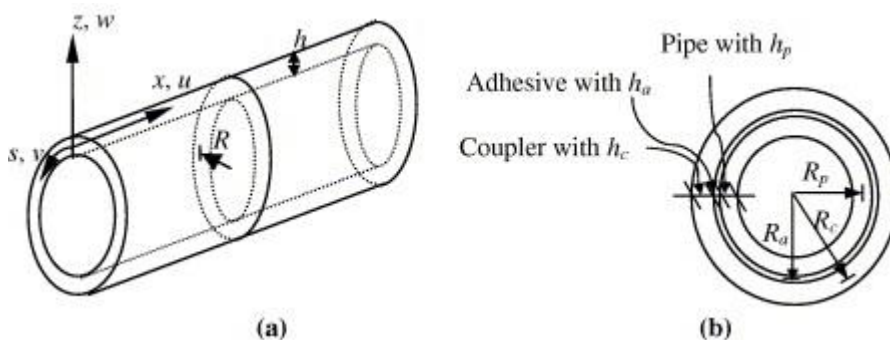
7.1 Styvhetsmätning genom fyrpunktsböjning

För att mäta styvheten och ta fram en böjstyvhetsmodul för Hybrix™ har fyrpunktsböjning använts. Metoden som använts är baserad på en standard för styvhetsmätning av sandwichkompositer, ASTM C 393-00 (ASTM-International, 2000a) och en rapport från SP (Almström, 2008). Utförlig beskrivning och teori för dessa metoder återfinnes i Teori avsnittet.

Denna metod för styvhetsmätning av sandwichkompositer är vedertagen inom industrin och används bland annat redan idag inom tåg industrin för att beräkna styvheten hos sandwichpaneler (G. Belingardi a, 2003).

7.2 Planskjuvprov (Butt bonded cylinder torsion test)

Testmetoden bygger på att två cylindrar med tillräckligt högstyvhet för att inte deformera plastiskt under provet håller en testkropp klämd med erforderlig kraft för att provets ytskikt inte ska veckas. Cylindrarna roterar sedan åt motsatt håll så att skjuvspänning uppstår i kärnan och den deformeras plastiskt. Genom att mäta rotationskraften och sedan använda resultatet kan man räkna ut en skjuvmodul för kärnan hos sandwichmaterial.



Figur 22 - Princip för BBCT (Development of smart composite pipe joint integrated with piezoelectric layers under tensile loading)

Metoden har i stor utsträckning används för att karaktärisera olika typer av lim. Där av kunde stora mängder av information i form av artiklar hittas för hur metoden används för denna applikation.

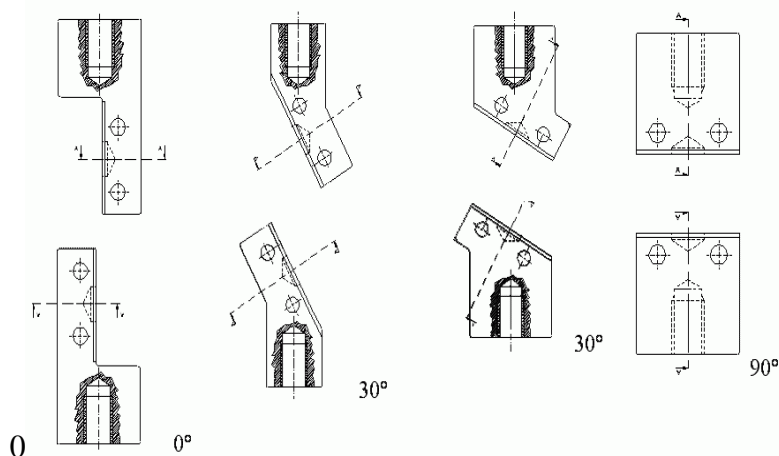
Metoden ger ett bättre resultat än vissa andra vanligen använda metoder till exempel den nedannämnda skjuvning genom dragprov detta baseras bland annat på en artikel som behandlar just metoder för framställning av materialdata för FE-simulering, (P. Jousset, 2014a). Planskjuvprovet beskrivs som något svårare att utföra då det är svårare att identifiera de inblandade materialparametrarna. Resultatet som metoden genererar är mer komplett än andra metoder, förutom att de ger god noggrannhet har de även visats att metoden ger mycket god noggrannhet när plastiska flöden uppstår och studeras. Metoden är också lika effektiv att förbereda som andra liknande metoder beträffande till exempel meshning, även beräkningseffektiviteten är jämförbart likvärdig. (P. Jousset, 2014b).

Det återfanns dock ingen standard för metoden och inga exempel på tillfällen metoden används i någon större utsträckning utanför labb- och forsknings-miljö för karaktärisering av sandwichmaterial.

7.3 KS2

KS2 är en metod framtagen för att karaktärisera punktsvetsar mellan plåtmaterial. Metoden används för att ta fram data som sedan kan implementeras i simuleringsprogramvaror för att förutspå beteende hos punktsvetsar. I grunden är KS2 en typ av dragprov som kan liknas med ASTM 393-00 men med en stor skillnad. Provet dras i flera olika vinklar, i det här fallet 0° , 30° , 60° och 90° , se Figur 23. Detta gör att det går att urskilja vilka krafter som kommer från punktsvetsen och vilka krafter som finns på grund av andra orsaker så att dessa kan sorteras. (Xin Yang 2010)

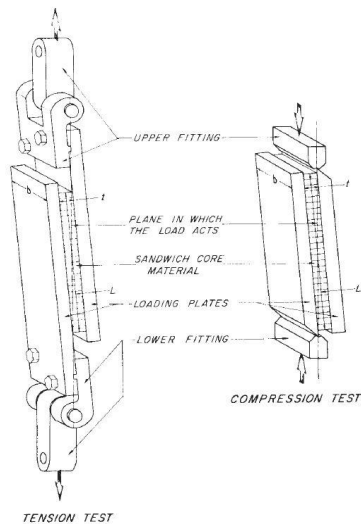
Metoden används idag framförallt inom bildindustrin för endast punktsvetsar, det finns dock icke officiella indikationer på att metoden inom en snar framtid kommer kunna användas för att karaktärisera andra material av då framförallt sandwichtyp.



Figur 23-Uppsättning av KS2-metoden

7.4 Skjuvning genom dragprov

Skjuvning genom dragprov enligt standard för ASTM C 273-00, (ASTM-International, 2000b) kan göras utöver planskjuvprovet för att jämföra resultat mellan de olika proverna och som indikation på vilka laster som ska användas vid dimensionering av verktyget för skjuvplanprovet. Teori och beskrivning för testmetoden kan återfinnas under teorikapitlet. Anledningen till att skjuvplanprovet ska ligga till grund för kärnans skjuvmodul och inte dragprovet är att dragprovet inte ger goda resultat. Anledningen till att provet ger mindre noggranna resultat beror på att lasten i kärnan under provet inte är ren skjuvspänning då plattorna inte har en lodrät vinkel. Detta resulterar i att en del av spänningarna i kärnan kommer vara dragspänningar och inte rena skjuvspänningar.



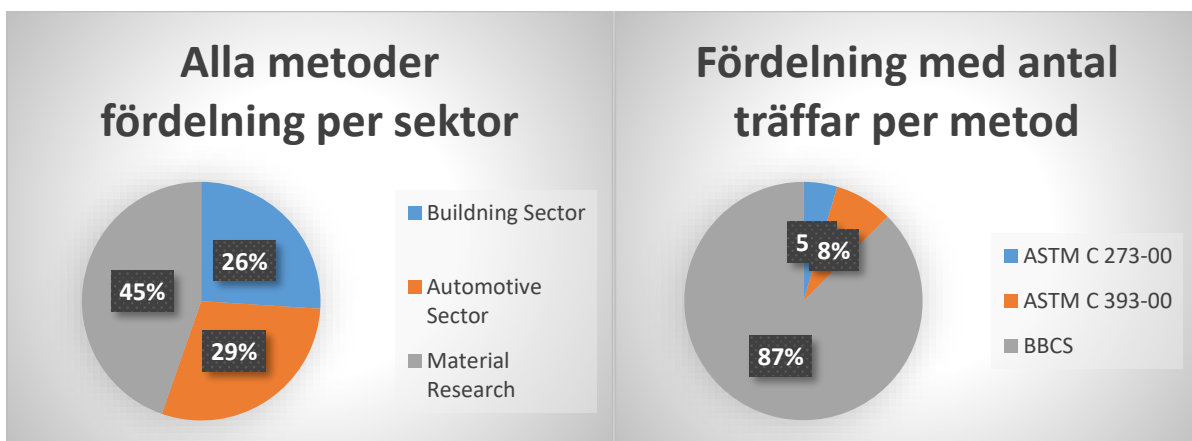
Figur 24, skjuvprovning genom dragning

7.5 Trendanalys

Nästa steg var trendanalysen som gjordes för dessa metoder, resultatet som är antal träffas de olika metoderna genererade med ett till lägg, till exempel automotive. Resultatet kan läsas i Tabell 4.

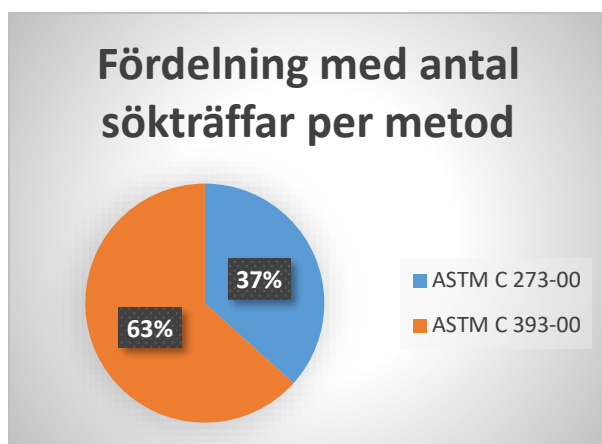
| Sökträffar för metoder | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|------|
| | Metod benämning | | |
| | ASTM C 273-00 | ASTM C 393-00 | BBCS |
| Sektor sök ord | | | |
| Building sector | 11 | 35 | 618 |
| Automotive | 34 | 51 | 664 |
| Material research | 72 | 116 | 664 |

Tabell 4-Resultat trendanalys



Figur 25-Fördelning av sökträffar för sektor och antal per meto

Då metoden planskjuvprov ej är standardiserad och inte används i någon större industriell skala för karaktärisering av sandwichmaterial utan de flesta träffar relaterar till lim tittar vi även på hur fördelningen blir för antal sökträffar per metod blir utan att ta med planskjuvprovet.



Figur 26-Antal träffar per metod

Resultatet visar att den mest använda av metoderna är planskjuvprovet, men som tidigare nämnt är metoden ej standardiserad och används ej i någon större utsträckning utanför småskalig testmiljö. Följande kommer vi därför att bortse från metoden när resultatet för metodstudien presenteras.

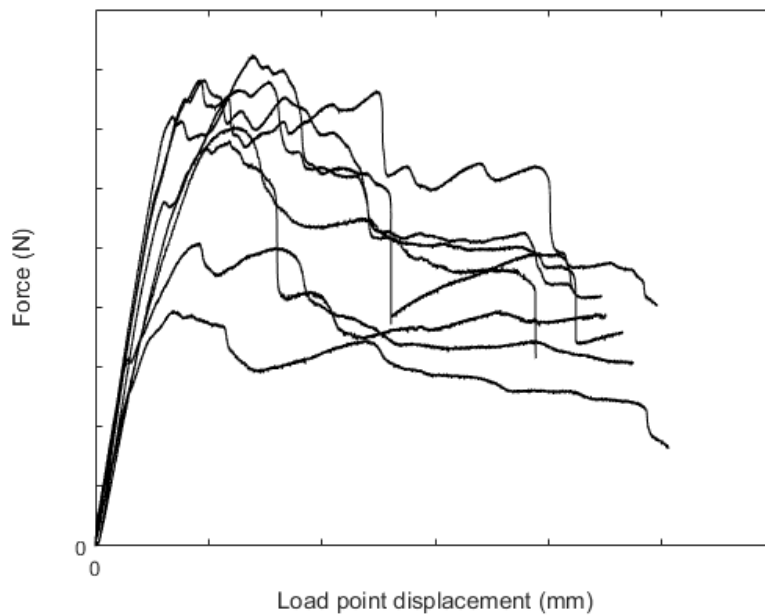
Bortser man från planskjuvprovet blir ASTM 393-00 benämnd i rapporten som skjuv test genom dragprov den metod som används i störst utsträckning.

Det är denna metod som använts tidigare för att karaktärisera skjuvegensakperna hos Hybrix™-kärnan utan större framgång. Trendanalysen visar även att metoden används i störst utsträckning inom bilindustrin (automotive sector) vilket är den sektor som många av Lamas projekt varit inriktad mot.

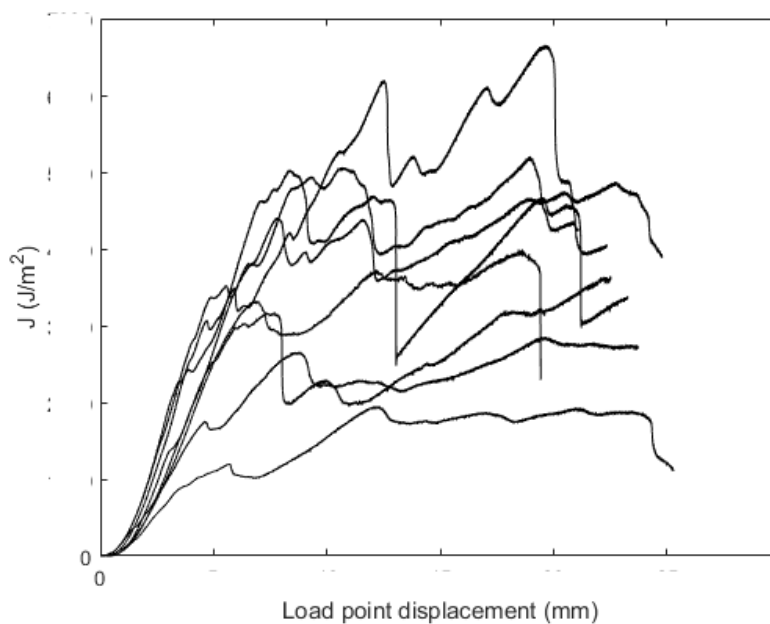
7.6 Resultat från CC-prov

Resultatet från CC-proven kommer i två delar då två experimentet gjordes under två tillfällen, det första testet gjordes endast ett prov. Under den andra omgången gjordes 8 test där varje kurva i följande tabeller representeras av ett prov.

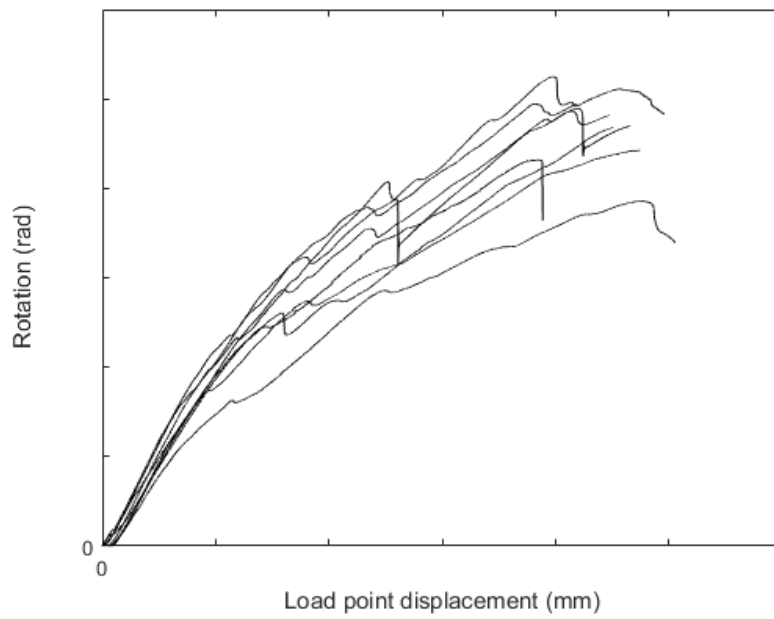
Resultaten presenteras i fyra grafer, Figur 27 visar den uppmätta kraften i Newton i dragprovmaskinen ställt mot den deformation i mm som sker i lastpunkten under provet. Figur 28 visar den beräknade brottenergin i J/m^2 som uppstår i provet under testets gång mot deformationen i mm i lastpunkten. Figur 29 visar den rotation som uppmättes i C-balkarna under testet mot deformationen i lastpunkten.



Figur 27-Kraft mot deformation i lastpunkt

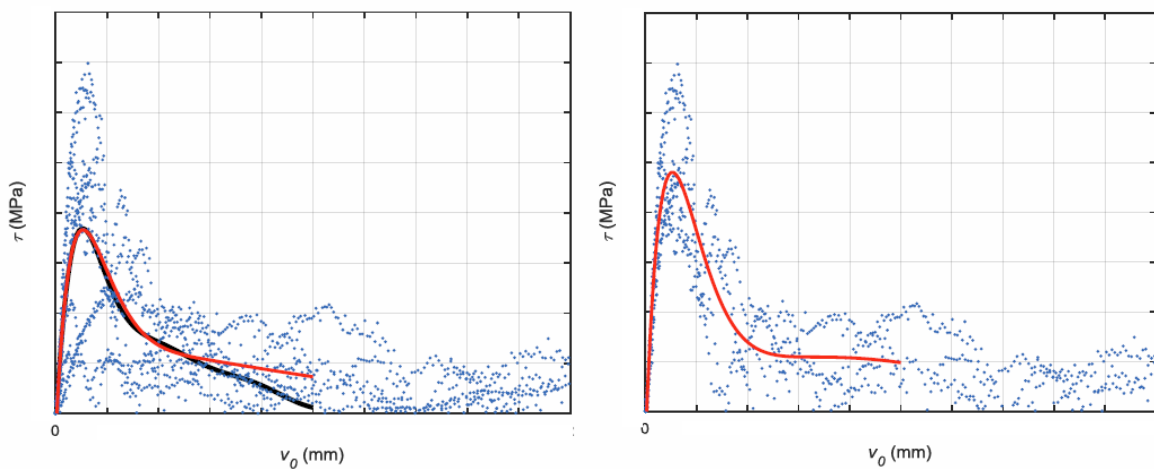


Figur 28-Brottsenergi mot deformation i lastpunkten



Figur 29-Rotation mot deformation i lastpunkten

Figur 30 till vänster visar polynomanpassningar till alla utförda experiment och Figur 30 till höger visar polynomanpassning till de fyra experiment som ger högre skjuvspänning

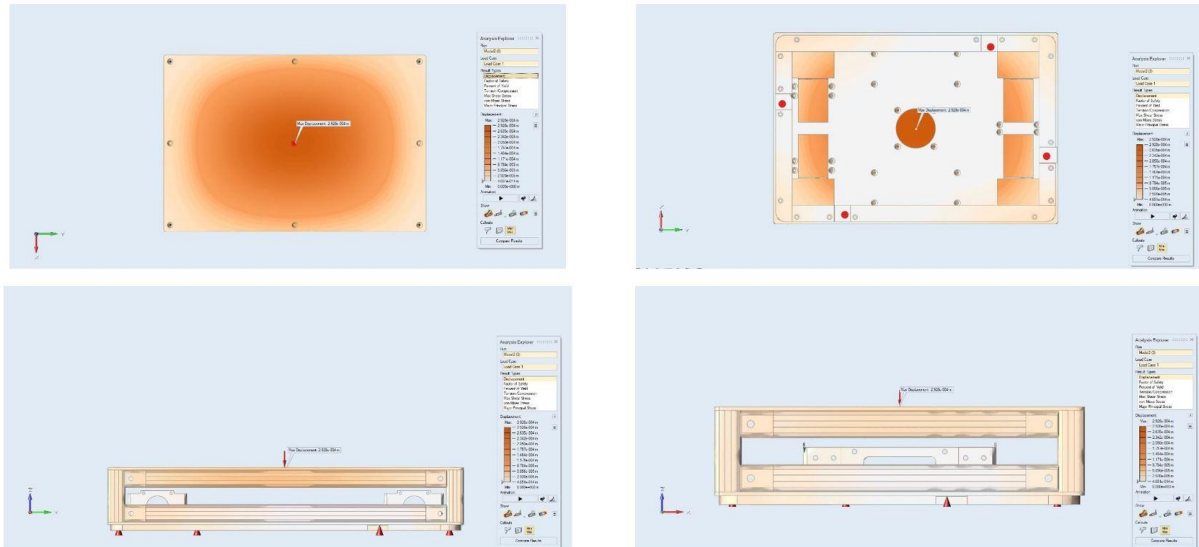


Figur 30-Polynomanpassningar av experimentella resultat. Vänster: Alla experimentella data, röd ($n = 30$) och svart ($n = 12$). Höger: Polynomanpassning ($n = 30$) av experimentella data till Provstav med fyra högsta skjuvspänningar. Variabel n är olika antal samling

7.7 Resultat från linjärstatisk analys av AGC

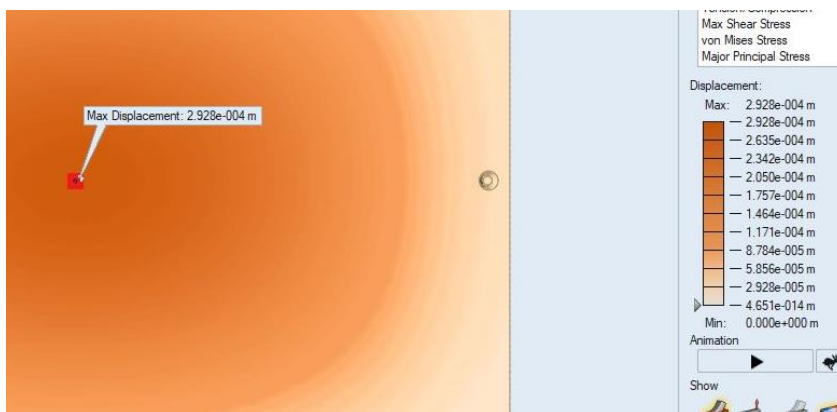
Resultatet analysen är uppdelat i två olika delar, den första är deformationen och den andra är Von Mises-spänningar i konstruktionen. Det är dessa resultat som lämnas vidare till de projektgrupper som jobbar vidare med utvecklingen av en ny design på AGCn.

Figur 31 visar den deformation som uppstår när randvillkoren läggs på.



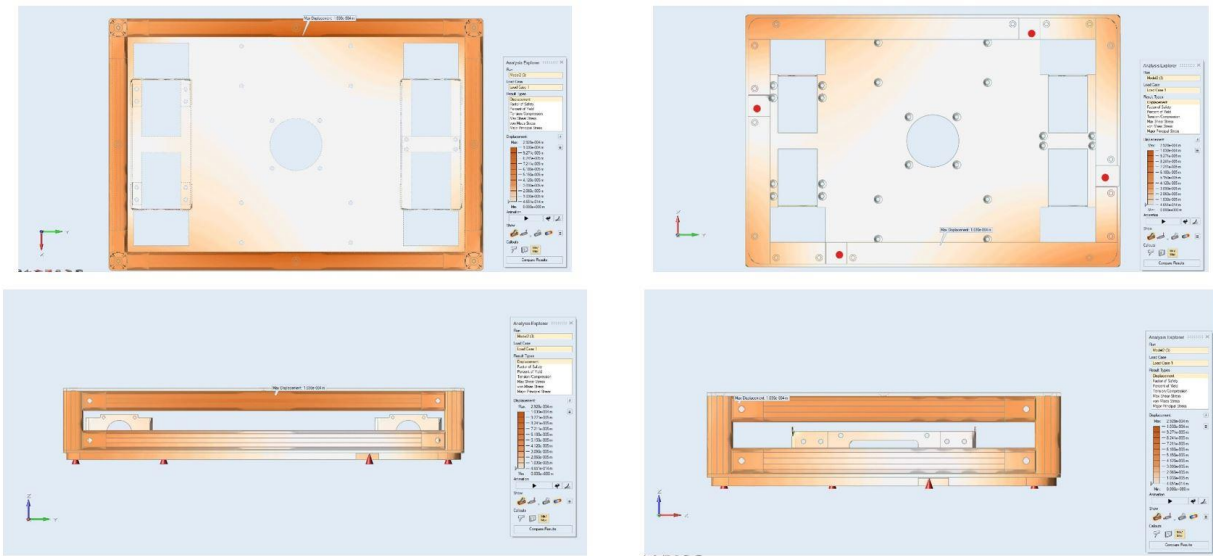
Figur 31-Resultat, deformation i konstruktionen

Områden som har en mer koncentrerad nyans av orange visar på en större deformation resultatet visar då tydligt att störst deformation uppstår i den plattan som ligger ovanpå konstruktionen. Mitt på den här plattan uppgår deformationen till ca 0,3mm, se Figur 32.



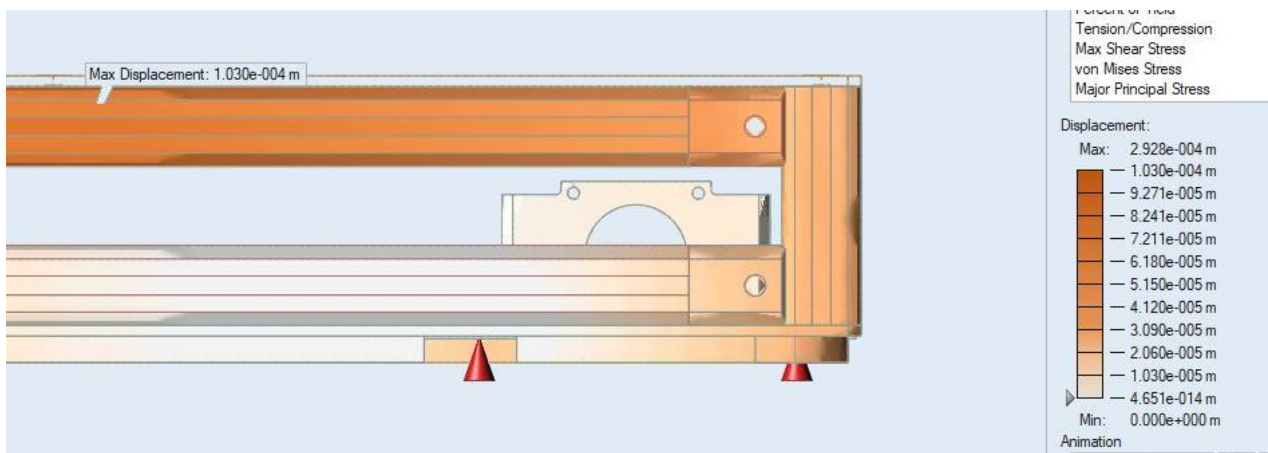
Figur 32-Största deformation i konstruktionen

För att lättare kunna studera resultaten i den övriga konstruktionen så gömmer vi modellen för den övre plattan i analysen. Således tittar vi följande endast på konstruktionen utan plattan men fortfarande i samma analys, Figur 33.



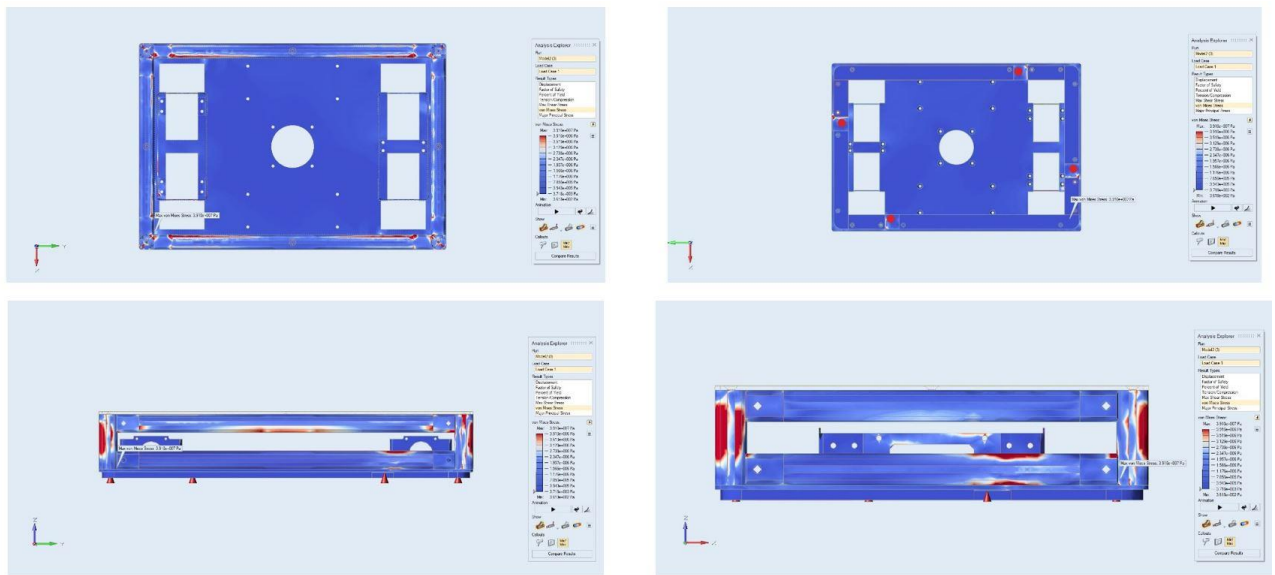
Figur 33-Deformation utan platta

Resultatet visar nu att den största deformationen sker i den övre aluminiumprofilen längs långsidorna. Här uppstår en deformation som uppnår ca 0,1mm vid den utmärkta punkten i Figur 34. Den övriga konstruktionen är i förhållande till dessa väldigt låg.



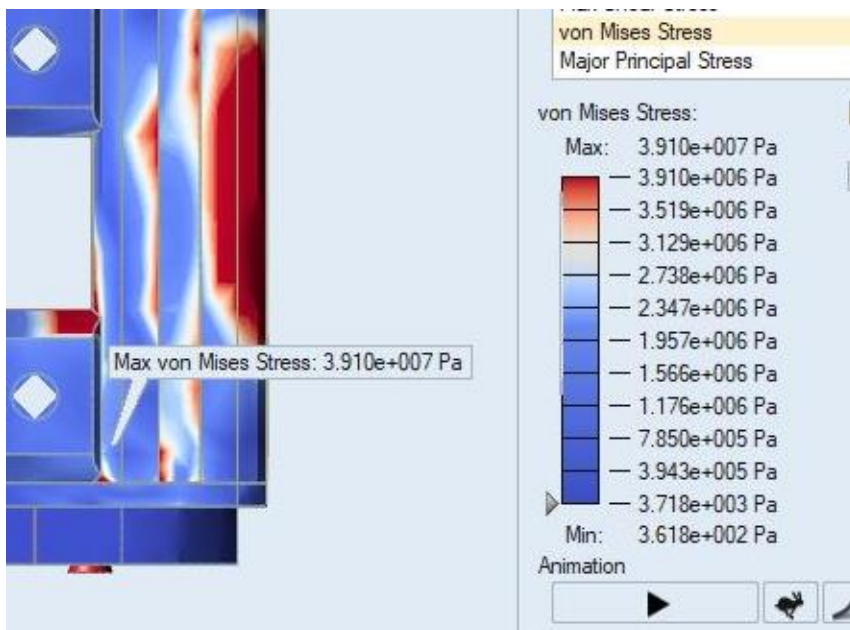
Figur 34-Största deformation

Nästa del av resultaten från analysen visar de Von Mises spänningar som uppstod i konstruktionen under den linjärstatiska analysen.



Figur 35- Resultat Von Mises spänningar

Spänningskoncentrationen representeras av olika färger där rött indikerar områden med en stor spänning och blått ett område med lägre spänningar. Resultatet visar att de största spänningarna återfinns i de fyra vertikala aluminiumprofilerna i hörnen och i den lägre av de längsgående balkarna. I övrigt är det jämfört med dessa förhållandevis väldigt låga spänningar i konstruktionen, Figur 35.



Figur 36- Maximal spänning

Vid en närmare titt visar resultatet att den största spänningen uppstår i det inre hörnet på den vertikala aluminiumprofilen. Här uppnår spänningen ca 40MPa, spänningarna i de lägre längsgående balkarna uppnår ca 3,5MPa, Figur 36.

8 Slutsats

8.1 Metodstudie

Studien resulterade i fyra olika metoder för karaktärisering av kärnans skjuvegenskaper i ett sandwichmaterial. Dessa metoder kan sägas vara fördelade i två grupper, en grupp där metoderna är väletablerade och standardiserade och en grupp där de fortfarande är i ett experimentellt stadiet.

De standardiserade metoder som idag används för karaktärisering av skjuvegenskaper i sandwichmaterial är fyrpunktsböjning, ASTM C 393-00 och skjuvning genom drag prov, ASTM C 273-00. ASTM C 393-00 används idag på Lamera men genererar inte den data som eftertraktas. ASTM 273-00 har också prövats i projekt med Hybrix™ men metoden har ej lyckats generera resultat. De andra metoderna som idag befinner sig i experimentstadiet eller under utveckling kan vara intressanta i framtiden men är inte mogna för att användas på Lamera idag.

Slutsatsen som dras från detta är att de väletablerade metoderna som prövats inte tidigare fungerat för att generera användbara data för skjuvegenskaper hos Hybrix™ och de metoder som befinner sig i ett experimentellt stadiet ej är tillfälligt undersökta och utvecklade för att implementera på Lamera som metod för karaktärisering av Hybrix™ kärnans skjuvegenskaper. Behovet av att undersöka nya metoder är därför högst relevant.

Resultatet från trendanalysen visar tydligt att planskjuvprovet är den mest använda metoden men detta är missvisande då metoden kan användas för flera olika ändamål som till exempel tidigare nämnt karaktärisering av lim. Bortser man från planskjuvprovet kan slutsatsen att ASTM C 273-00 är den metod som används i störst utsträckning för karaktärisering av sandwichmaterial. Det går även att se att den sektor som genererar flest träffar med god marginal är materialforskning följt av bilindustrin och bygg-sektor.

8.2 CC-Prov

Då resultatet för testet hade stor variation för provkroppar som borde visa liknande resultat tyder det på att något med metoden inte fungerar korrekt och resultatet blir ej tillfredställande. Den huvudsakliga slutsatsen blir därför att metoden ej i detta skede är mogen nog för att implementeras hos Lamera för att karaktärisera skjuvegenskaperna hos Hybrixkärnan. Metoden kan dock inte uteslutas som en relevant metod för endast baserat på dessa resultat, se sektion 9.2 för vidare beskrivning av potentiella bakomliggande orsaker.

8.3 AGC optimering

Analysen av AGCn visade att det finns goda möjligheter för viktreduktion. Resultatet visar att bottenplattan idag är tydligt överdimensionerad och kan optimeras med betydande resultat genom att till exempel använda Hybrix™ istället. Tydliga områden med högre spänningar har identifierats som kan undersökas vid fortsatt arbete med AGC.

9 Diskussion

9.1 Metodstudie

Fyrpunktsböjning, ASTM C 393-00 och Skjuvprov genom dragning, ASTM C 273-00 är båda metoder som tillhör gruppen väletablerade metoder. Båda dessa metoder är har prövats eller används idag hos Lamera. De genererar dock inte den data som efterfrågas för att ge indata till en materialmodell för simulering. ASTM C 273-00 prövades av KTH men genererade inte resultat som var användbara och metoden bedömdes som misslyckad för applikationen. ASTM C 393-00 används idag på Lamera men inte för kärnans skjuvegenskaper utan endast för att mäta styvhet på hela materialet.

Den andra gruppen med metoder som befinner sig i ett experimentstadium var KS2-metoden och planskjuvprov (Butt bonded cylinder torsion test). KS2-metoden som idag endast verkar användas för karaktärisering av punktsvetsars egenskaper har indikationer på att i framtiden kunna användas för skjuvegenskaper hos sandwichkärnor. Då inga riktiga undersökningar eller studier hittats på detta omnämns bara metoden här om en potentiell kandidat för framtida studier av sandwichmaterial.

Planskjuvprovet är för visserligen på ett sett en väletablerad metod men inte för just sandwichmaterial utan för karaktärisering av Lim. Det finns väldigt lite dokumenterat om metoden som metod för karaktärisering av sandwichmaterial, metoden är dessutom även komplicerad att utföra. Vilket leder till att metoden möjligtvis skulle kunna vara intressant för framtida studier.

Trendanalysen som gjordes för att studera inom vilka områden metoderna används och vilken metod som verkar vara den mest använda var inte djupgående utan ska ses som en indikation. Hade arbetet varit mer riktat mot en litteraturstudie hade analysen gått att göra mer omfattande. I den här analysen har resultatet endast baserats på antal artikelträffar som genererats när metoden och en sektor använts vid sökning. När analysen gjordes beslutades att inte ta med KS2-metoden då det inte går att hitta att den metoden används för karaktärisering av sandwichmaterial än.

9.2 CC-Prov

Då resultaten hade så stor variation måste resultatet undersökas noggrannare och framför allt jämföras med resultat från andra tester. Dessa tester bör bland annat var ett test där metoden undersöks mer noggrant med ett annat material. Genom att använda ett väldokumenterat lim mellan C-balkarna istället kan det fastställas hur resultatkurvorna från Hybrix™ står sig med dessa med avseende på kurvans utseende och spridning. Även proverna som tillverkades för testningen bör undersökas noggrannare i tillverkningsloggar för att undersöka om det finns variationer.

Bortsett från resultaten av metoden finns även en stor nackdel när det gäller tillgänglighet, metoden kräver stora resurser för att utföra. Tillverkning av provkroppar är långt ifrån standardiserad och är extremt tidskrävande. Det krävs att en del av tillverkningsmomenten görs manuellt vilket är tidskrävande. Vissa steg i tillverkningsprocessen kräver dessutom att den vanliga produktionslinan används vilket gör att värdefull produktions tid används. När provkropparna tillverkas måste de limma på C-balkarna med ett värmehärdande epoxylim

Alla dessa steg resulterar i att metoden är omständlig och resurskrävande att utföra vilket inte är optimalt i ett företag som Lamera som är litet till storlek och har begränsade resurser. Då

Hybrix™ som material är till sin natur väldigt varierbart i och med att kärnan enkelt kan ändras på flera olika sätt behövs en metod som effektivt kan karaktärisera många olika kärnor.

9.3 AGC optimering

Analysen av AGCn visade att det finns goda möjligheter för viktreduktion. Resultatet visar att bottenplattan idag är tydligt överdimensionerad och kan optimeras med betydande resultat genom att till exempel använda Hybrix™ istället. Tydliga områden med högre spänningar har identifierats som kan undersökas vid fortsatt arbete med AGC.

Analysen som gjordes med de randvillkor som tillhandahålles av den projektgrupp som jobbade med AGC. Dessa randvillkor bestod endast av en statisk last från ett håll vilken kan tyckas bristfälligt då endast kommer att gälla detta enskilda fall.

10 Referenser

- ALMSTRÖM, S. 2008. Testing of laminate.
- ANSEL C. UGURAL, S. K. F. 2011. Advanced Mechanics Of Materials And Applied Elasticity, Pearson Education Inc.
- ASTM-INTERNATIONAL 2000a. Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions-C 393 – 00.
- ASTM-INTERNATIONAL 2000b. Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials-C 273 – 00.
- BIEL, A. 2015. An experimental method to determine cohesive laws for a soft adhesive layer loaded in mode II. 9th European Solid Mechanics Conference (ESMC 2015). Leganés-Madrid, Spain.
- G. BELINGARDI A, M. P. C. A., R. DUELLA 2003. Material characterization of a composite–foam sandwich for the front structure of a high-speed train. Composite Structures, 13-25.
- HANS JOHANNESSON, J.-G. P., DENNIS PETTERSSON 2013. Produktutveckling, Effektiva metoder för konstruktion och design.
- K.HO-LE 1988. Finite element mesh generation methods: a review and classification Computer-Aided Design, 20, 27-38.
- LAMERA-AB Internal rapport.
- NAKAGAWA, T. 1993. Recent Developments in Auto Body Panel Forming Technology. Annals of the CIRP 42, 717-722.
- P. JOUSSET, M. R. 2014a. Comparison and evaluation of two types of cohesive zone models for the finite element analysis of fracture propagation in industrial bonded structures. Engineering Fracture Mechanics, 132, 48-69.
- P. JOUSSET, M. R. 2014b. Implementation, identification, and validation of an elasto-plastic-damage model for the finite element simulation of structural bonded joints. International Journal of Adhesion & Adhesives, 50, 107-118.
- P. ROBINSON, S. D. 2004. Mode I DCB testing of composite laminates reinforced with z-direction pins: a simple model for the investigation of data reduction strategies. Engineering Fracture Mechanics 77, 71, 345–364.
- XIN YANG, Y. X., QING ZHOU 2010. A simplified FE model for pull-out failure of spot welds. Engineering Fracture Mechanics 77, 1224–1239.