



HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Maskiningenjör 180hp

EXAMENSARBETE



FE- modellering av hjullast på sandwichpanel

Gustav Engkvist och Sebastian Hansson

Maskinteknik 15hp

Halmstad 2015-05-25

Förord

Vårt examensarbete i maskinteknik är det avslutande momentet i denna högskoleingenjörsexamen. Examensarbetet har genomförts under våren 2015 på Högskolan i Halmstad och akademien för ekonomi, teknik och natur. Flera personer har varit av betydelse för projektets genomförande och resultat. Ett särskilt tack riktas till vår handledare på Högskolan i Halmstad, Zlate Dimkovski och Carl-Johan Lindholm, handledare på Composites Consulting Group. Vi vill också tacka projektgruppen bestående av Peter Jacobsson och Per Lund för ett gott samarbete.

Halmstad, maj 2015

Gustav Engkvist

Sebastian Hansson

Sammanfattning

Examensarbetet i maskinteknik har under våren 2015 utförts tillsammans med företaget Composites Consulting Group i Laholm. Composites Consulting Group arbetar främst med design och detaljer till olika kompositprojekt, deras kompetensområde finns inom FE-beräkning, 3D-modellering samt mekanisk provning av kompositmaterial.

Syftet med examensarbetet har varit att förenkla beräkning av hållfasthet för sandwichpaneler genom att simulera konstruktionen i programvara. För att minska tidsåtgång för design och beräkning av konstruktionen samt kostnaden för praktiska prover. Vår uppgift blev att bygga en statisk tredimensionell lastmodell i programvaran Abaqus, där resultatet skulle stämma överens med praktiska tryckprover i laboratorium.

Arbetet inleddes med insamling av materialdata från Composites Consulting Group samt inläring av programvaran Abaqus. Utöver detta formulerades även en kriterieuppställning tillsammans med företaget. Därefter har en lastmodell i programvaran Abaqus utarbetats som simulerar hur sandwichpanelen utsätts för statiskt hjultryck från en palllyft. Lastmodellens resultat har sedan verifierats genom praktiskt tryckprov.

Projektet har resulterat i en statisk tredimensionell lastmodell i programvaran Abaqus för beräkning av komplexa hjullastproblem på sandwichpanel. Denna lastmodell överensstämmer också med praktiska provresultat. Lastmodellen i Abaqus möjliggör snabbare och effektivare konstruktionsarbete vid utveckling och framtagning av nya sandwichpaneler samt mer exakta analyser av hur sandwichpanelen uppträder vid hjullast.

Abstract

This bachelor thesis in mechanical engineering was performed during the spring 2015 in collaboration with Composite Consulting Group in Laholm. The Composites Consulting Group works mainly with design and details of different composite projects, their main area is FE-calculations, 3D-modelling and mechanical tests with composite materials.

The aim of this bachelor thesis was to simplify the calculation process of solid mechanics for sandwich panels by simulation with computer software. The goal was to decrease the time for the design and calculation process of the construction and the cost of the practical tests. Our task was to build a static three dimensional model with the computer software Abaqus, where the result should correspond with the practical pressure tests in laboratory.

The project started with collection of material data from Composites Consulting Group and by learning the software Abaqus, simultaneously a specification was developed in corporation with the company. Later on, a static wheel pressure model in the software Abaqus was produced which simulated the behavior of the sandwich panel during static wheel-pressure by a pallet truck. The results from the wheel-pressure model were verified with the practical tests.

The project led to a static three dimensional wheel- contact model with the software Abaqus to calculate complex wheel-contact problems on sandwich panels. The wheel-contact model corresponded to the practical test results. The contact model with Abaqus enabled faster and more efficient design and development process of new sandwich panels. It also provided better analysis of the sandwich panels' behavior during wheel- contact loading.

Innehållsförteckning

Förord.....	i
Sammanfattning	ii
Abstract	iii
Terminologi	1
1 Introduktion	2
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Företagspresentation	2
1.3 Syfte	3
1.4 Mål	3
1.5 Problembeskrivning	3
1.6 Avgränsningar.....	3
1.6.1 Individuella ansvarsområden	4
2 Metod.....	5
2.1 Metoddiskussion	5
2.1.1 Princip och primärkonstruktion	5
2.1.2 The mechanical design process.....	5
2.1.3 Lösningsmetod för Finita element analyser.....	5
2.1.4 The scientific methodology	6
2.1.5 Jämförelse	6
2.2 Metodologi i examensarbetet.....	7
2.2.1 Problemformulering.....	7
2.2.2 Kriterieuppställning	7
2.2.3 Statisk 3D modell.....	8
2.2.4 Optimering	8
2.2.5 Statisk provning	8
2.2.6 Utvärdering	8
2.3 Förberedelser och insamling av data	8
2.3.1 Kvalitativa intervjuer	8
2.3.3 Vald metod för datainsamling.....	9
3 Teoretisk referensram	10
3.1 Allmänt om Kompositmaterial	10
3.1.1 Fiberkompositer	10
3.1.2 Brott i fiberkompositen.....	11
3.1.3 Matris	11

3.1.4 Sandwichpaneler	12
3.2 Tillverkningsmetoder	13
3.2.1 Gjutning	13
3.2.2 Pultrusion	14
3.2.3 Filament winding	14
3.2.4 Prepreg	14
3.3 Finita element metoden	14
3.4 ABAQUS	15
3.4.1 Uppbyggnad	15
3.4.2 Simulering	15
3.4.3 Resultat	15
3.4.4 Moduler	15
4 Resultat	18
4.1 Experiment	18
4.2 Implementering	19
4.3 Resultatdiskussion	21
5. Slutsats	24
5.1 Slutsats	24
5.2 Diskussion och rekommendationer till fortsatta aktiviteter	24
5.2.1 Resultat	24
5.2.2 Arbetsgång	24
5.2.3 Förslag till fortsatt aktiviteter	24
6 Kritisk granskning	26
6.1 Kritisk granskning med avseende på hållbar utveckling	26
6.2 Kritisk granskning med avseende på miljö och arbetsmiljö	26
6.3 Rekommendationer till fortsatt arbete	27
Referenser	28
Bilaga 1- Kravspecifikation	30

Terminologi

För att förklara vanligt förekommande ord och förkortningar i detta examensarbete har följande terminologi utarbetats:

Composites Consulting Group = Företaget Composites Consulting Group, Laholm

CCG = Företaget Composites Consulting Group, Laholm

Abaqus = Programvara för FE-beräkningar

FEM = Finita element metoden

Projektgruppen = Författarna till detta examensarbete

1 Introduktion

Det här kapitlet beskriver projektets bakgrund med en kortare företagspresentation, syfte och mål för projektet, vilka avgränsningar som gjorts samt individuella ansvarsområden inom projektgruppen. Målet är att fånga läsarens uppmärksamhet samt skapa förståelse för projektets betydelse och dess problematik.

1.1 Bakgrund

Jordens begränsade naturresurser av olja och naturgas gör att totalvikten för lastbilar måste minska. Genom att ersätta plywood materialet som lastbilsgolvet i nuläget tillverkas av, med kompositmaterial skulle man kunna minska lastbilens vikt och klimatpåverkan genom en lägre bränsleförbrukning. Den ökade lastkapaciteten till följd av minskad bruttovikt skulle också reducera antalet transporter som behöver utföras, därigenom bidra till ett mer hållbart samhälle. För att avgöra om kompositmaterialet klarar av lastförhållandena krävs avancerad simulering i programvara samt praktiska tester som styrker resultatet. Kompositmodellens egenskaper beskrivs sedan med de diagram som erhålls från programvara. Information från diagrammen kommer sedan i ett tidigt skede av designprocessen kunna analyseras av konstruktören i syfte att kunna avgöra om konstruktionen faktiskt går att genomföra [1].

1.2 Företagspresentation

Composites Consulting Group är ett internationellt dotterbolag till DIAB Group AB som totalt har över 1000 anställda med verksamhet i bland annat Australien, Kina, USA och Sverige [2]. CCGs affärsidé är att erbjuda sina kunder först klassiga kompositkonsult tjänster, hela vägen från komposit design till färdig konstruktion.

CCG består av Maskiningenjörer, processingenjörer, materialvetare och komposittekniker med lång erfarenhet från varierande industrier, för att på så sätt kunna erbjuda kunden den bästa helhetslösningen inom kompositindustrin. CCG arbetar främst med design och detaljer till olika komposit projekt. Företagets kompetensområde ligger inom allt från konceptuell design till 3D modellering, FE- beräkningar och mekanisk provning av kompositstrukturen. Utöver tidigare nämnda kompetensområden är CCG även kunniga inom tillverkningen av kompositer vilket gör dem unika på marknaden. Vid tillverkning använder CCG sig utav handlamining och vakuum infusion. CCG erbjuder även kompositutbildning till industripersonal [3].

1.3 Syfte

Syftet med projektet var att kunna simulera en sandwich konstruktion i Abaqus. Med hjälp av modellen i Abaqus kommer företaget slippa dyra kostnader vid praktiska prover och tester. Det kommer även underlätta designprocessen då överlämnandet av arbetet mellan beräkningsingenjörer och konstruktörerna minskar[1].

1.4 Mål

Projektets mål är att bygga upp en tredimensionell statisk lastmodell i Abaqus som stämmer överens med de praktiska testernas last och förskjutningsresultat. Abaqus modellen ska sedan användas för att analysera spänningarna inne i sandwichmaterialet, speciellt intresse är kärnmaterialet. Arbetet omfattar även optimering av dimensionerna på kärnmaterialet mot vikten för att klara spänningarna samt utvärdera ifall resultaten mellan statisk lastmodell i tre- och tvådimensionell skiljer sig åt för spänningsbilden i kärnmaterialet. Gruppen inriktar sig i förstahand på att upprätta en fungerande tredimensionell statisk hjullastmodell i Abaqus för att sedan efter detta försöka optimera dimensionerna på kärnmaterialet mot vikten för att klara spänningarna.

1.5 Problembeskrivning

I dagsläget sker analysarbetet av sandwichpaneler endast genom praktiska prover med hjälp av en universal testmaskin i laboratorium. Vilket bidrar till att utveckling av nya sandwichpaneler blir slitsamt och tidsödande, eftersom denna procedur ofta får upprepas ett antal gånger innan sandwichmaterial stämmer överens med kravspecifikation. Innan provning måste sandwichpanelerna dessutom mätas och kapas så provbitarna passar i den universala testmaskinen, vilket tar tid.

Genom att erhålla en lastmodell i programvaran Abaqus kan en analys göras. Analysen görs under olika lastförhållanden på sandwichpanelerna som sedan kontrolleras och jämförs så att de stämmer överens med de praktiska lasterna och förskjutningsresultaten. Detta skulle resultera i tidsbesparing under utvecklingsarbetet, materialbesparing till följd av färre praktiska prover samt mer exakta analyser av hur kärnmaterialet påverkas av olika belastningar.

1.6 Avgränsningar

En faktor som kommer begränsa detta kandidatarbete är tiden. Då det finns trehundra sextio timmar per person att tillgå görs följande avgränsningar. Simuleringarna kommer endast göras i programvaran Abaqus då detta är ett krav från företaget, simulering görs på statisk tre- och tvådimensionell modell. Materialet kommer att appliceras på ett fast underlag, i detta fall en balk i stål. Detta görs för att slippa ta hänsyn till parametrarna som uppstår då det inte finns något fast material under sandwichpanelen. Projektet avgränsar sig även mot att enbart titta på mindre bitar av sandwichmaterialet som kommer kunna testas praktiskt i Diabs laboratorium genom statisk provning med hjultryck. Några ekonomiskakalkyler för material och tillverkningskostnader etc. kommer projektgruppen inte att göra.

1.6.1 Individuella ansvarsområden

Uppdelning i individuella ansvarsområden gjordes i ett tidigt skede av projektet för att bägge parterna tidigt i processen ska ha möjlighet att leta information och samla in data. Där Gustav Engkvist fokuserat på Abaqus vid litteraturstudien och Sebastian Hansson på sandwichpanelen innefattande, tillverkning och användning. Övriga delar i rapporten har inte uppdelats. Lastmodelleringen i Abaqus samt utförande av praktiska prover utfördes tillsammans av Gustav Engkvist och Sebastian Hansson. Anledning till uppdelningen är projektets omfattning och att varje steg var tvunget att avslutas samt verifieras innan nästa steg kunde påbörjas.

Då projektet är ett delprojekt av ett större projekt på CCG så har gruppen varit i nära samarbete med projektgruppen Peter Jacobsson och Per Lund som förser gruppen med materialdata för kärnmaterialet. Analyser på inhämtad materialdata genomförs sedan av Gustav Engkvist och Sebastian Hansson.

2 Metod

Examensarbetets andra kapitel beskriver metodvalet för projektet. Kapitlets inledande del beskriver de metoder som utgör grunden, men som sedan anpassats av studenterna efter projektets ändamål. Vidare beskrivs den framtagna metoden för examensarbetet samt hur datainsamling till projektet ska gå till.

2.1 Metoddiskussion

2.1.1 Princip och primärkonstruktion

Princip och primärkonstruktion[4] är en metod uppdelad i två steg. Principkonstruktionen inleds med produktdefinition sedan produktundersökning och kriterieuppställning, framtagning av produktförslag, utvärdering av produktförslag och avslutningsvis en presentation av valt produktförslag. I steg två, primärkonstruktion, vidareutvecklas den valda principlösningen och komponentval, produktsammanställning och tillverkning/utprovning av primärkonstruktion görs.

2.1.2 The mechanical design process

I boken "The mechanical design process" beskrivs konstruktionsmetodiken som bygger på sex stycken steg[5]. I första steget så försäkras man sig om att det finns underlag för produkten, därefter upprättas en projektplan. När dessa steg har klargjorts så följer produktdefinition, konceptgenerering, produktutveckling samt konstruktion och avslutningsvis produktsupport. Metodiken är modern och går att tillämpa på många olika problem.

2.1.3 Lösningmetod för Finita element analyser

Finita element är en generell lösningmetod som redogör de olika stegen före, under och efter analysprocessen[6]. I första steget så utvärderas problemet och antaganden görs. Därefter så beskrivs det hur det finita elementet kommer bete sig under analysen. Sedan byggs den finita modellen upp, element ekvationer skapas och varje element ekvation assembleras till en global problem ekvation. Lasterna specificeras och gränsvillkor skapas, problemet kan nu lösas och resultatet utvärderas.

2.1.4 The scientific methodology

The scientific methodology är en vetenskaplig metod som företrädesvis används inom forskning/ utveckling. Metoden har anor från de grekiska vetenskapsmännen år 276 f.kr, emellertid har metoden sedan successivt utarbetats allt eftersom vetenskapen utvecklades. The scientific methodology beskriver hur man på ett vetenskapligt sätt ska angripa ett problem och säkerhetsställa att experimentet utförs korrekt för att kunna besvara frågeställningarna. Stegen i the scientific methodology följer en logisk och rationell ordning genom vilken forskaren kan komma fram till slutsatser om världen omkring dem. Emellertid hjälper the scientific methodology forskaren att organisera tankar och rutiner för att kunna vara helt säker på svaren som erhålls. Metod är uppdelad i följande fem steg:

- Observation
- Hypotes
- Förutsägelse
- Experiment
- Slutsats

Observation är det inledande steget, här gäller det att förstå problemet för att veta hur man ska gå till väga i sin research. Hypoteserna beskriver sedan vad man tror ska hända och vilka svar man hoppas finna. Förutsägelse är din specifika förhoppning om den vetenskapliga idén, ifall hypoteserna är sann så förutspås det att detta upptäcks... Experiment är den praktiska delen och fungerar som ett verktyg för att kunna besvara frågan och lösa problemet. Slutsatsen beskriver svaren som erhålls från experimentet[7].

2.1.5 Jämförelse

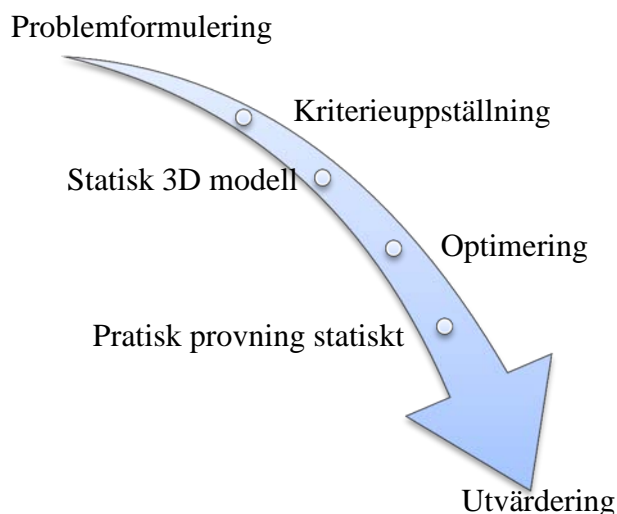
Vid jämförelse mellan de tre metodikerna princip och primär konstruktion, the mechanical design process samt lösningsmetod för finita element analys som presenterats ovan, ses att de första två stegen, problemformulering och kriterieuppställning återkommer oavsett metod i olika benämningar. Problemformuleringen är den inledande etappen i konstruktionsprojektet och innebär att det finns efterfrågan på lösning till ett problem. Här identifieras och definieras problem med tidigare lösning. Nästkommande steg är kriterieuppställningen, vilket innebär att krav och eventuella önskemål på konstruktionen sätts upp, för att man på ett tydligt sätt senare under projektets gång ska kunna verifiera konstruktionen mot kriterieuppställningen. Emellertid ser man sedan att författarna till metoderna ovan valt lite olika vägar för att kunna ta fram till en lösning, dock går många av metoderna samman i slutet, där flera av metoderna pekar på vikten av att bygga en prototyp. Eftersom detta inte är ett konstruktionsprojekt utan forskning/ utvecklingsprojekt väljer gruppen i samråd med handledare att följa the scientific methodology. Projektgruppen har även hittat liknande forskningsstudier [8] och [9] som följt en liknande metod. Då de fått fram ett lyckat resultat känner projektgruppen att denna metod lämpar sig väl för detta projekt. Metod presenteras under rubriken metodologi.

2.2 Metodologi i examensarbetet

Projektet delades in fyra större områden för att enklare kunna planera arbetet. Hur stor del av projektets respektive område kommer ta uppskattades innan arbetet startade och ses här nedan.

- Litteraturstudie (20%)
- Modellering i Abaqus (50%)
- Praktiska tester (10%)
- Rapportskrivning (20%)

En litteraturstudie genomförs för att få kunskap om programvaran Abaqus, sandwichmaterialet, praktisk provmetod och Finite element analysis. Det här presenteras under rubriken teoretisk referensram. Metoden som projektgruppen valt att följa i examensarbetet är tagit från the scientific methodology som bygger på hypoteser, experiment och utvärdering[7], som sedan har anpassats till projektet. Projektgruppen har upprättat ett flödesschema, se figur 2.1 för att enklare kunna överblicka projektet. Processens gång kan delas in sju mindre steg:



Figur 2.1 Flödesschema av arbetsgången

2.2.1 Problemformulering

Tillsammans med vår handledare på CCG formulerade projektgruppen en noggrann problembeskrivning, vilket innefattade mål, syfte, avgränsningar och tidsplan för projektet.

2.2.2 Kriterieuppställning

Under möte med gruppens handledare på CCG erhåller gruppen nödvändig inputdata och information till projektet. På så sätt kunde en kriterieuppställning göras. Kriterierna består av krav från CCG och slutkundens önskemål, bilaga 1.

2.2.3 Statisk 3D modell

Det första steget efter att gruppen ställt upp kriterierna är att bygga upp en statisk tredimensionell modell i programvaran Abaqus. Den statiska modellen kommer då vara när maximala belastningen sker på hjulet. Fokus i detta steg kommer ligga i att bygga upp en korrekt modell som stämmer överens med det verkliga problemet.

2.2.4 Optimering

Efter att gruppen lyckats skapa en korrekt statisk tredimensionell modell, så ska gruppen optimera tjockleken på kärnmaterialet mot vikten för att klara spänningarna.

2.2.5 Statisk provning

Praktiska tester kommer genomföras i en tryckprovsmaskin. Gruppen kommer att få tillgång av CCG att använda deras tryckprovsmaskin vid utförande av de praktiska testerna. Testerna med maskinen kommer göras med ett hjul från en palltruck som trycks ner i kompositmaterialet för att sedan återgå till ursprungsläget. Grundinställningarna på tryckprovsmaskinen angavs till en hastighet 2 mm/min med en mätfrekvens på 10 punkter/ sek. Kontakten mellan hjul och kompositmaterial ställdes in till 10 N från start. Tryckprovsmaskinen skapar då en kraft/ deformationskurva över materialet under processen. Testresultatet kommer sedan att jämföras med resultaten från simuleringen i Abaqus. Dessa resultat ska vara så lika som möjligt för att uppnå bästa resultat.

2.2.6 Utvärdering

I utvärderingen kommer skillnaden mellan den statiska tredimensionella modellen i Abaqus och praktiskt provresultat för spänningsbilden att analyseras. Här utvärderas även ifall resultatet för spänningsbilden i kärnan skiljer sig åt mellan statisk tre- och tvådimensionell modell i Abaqus.

2.3 Förberedelser och insamling av data

2.3.1 Kvalitativa intervjuer

Kvalitativa intervjuer kan jämföras med vardagliga samtal. Under kvalitativa intervjun låter forskaren samtalet flyta fritt och utövar inte någon större styrning utan låter intervjupersonerna påverka samtalets riktning. Dock måste forskaren försäkra sig om att den får svar på frågorna. Emellertid finns det olika typer av kvalitativa intervjuer, informationsintervju och gruppintervju. Skillnaderna mellan de två intervjumodellerna är antal närvarande personer. Gemensamt för de två är att forskaren agerar diskussionsledare.

Fördelarna med kvalitativa intervjuer är att undersökningsmetoden är snarlik en vardaglig situation, vardagligt samtal och man får även fram individuella åsikter utanför ämnet.

Nackdelarna är att flexibiliteten som kvalitativa intervjuer inbjuder till även kan ge problem, som att kunna tolka information som ges och överföra detta till resultatet[10].

Observationer

Observationer är en vanligt förekommande metod för insamling av data.

Observationer innebär att man under ett visst tidsintervall iakttar det som skall

undersökas genom att titta, lyssna och ställa frågor. Observationerna kan genomföras öppet eller dolt. Skillnaderna mellan dessa två metoder för observationer beror på om deltagarna i förväg känner till syftet samt att observatören medverkar. Här är också viktigt att forskaren i förväg bestämmer om deltagandet ska vara aktivt eller passivt[10].

Källanalys

Vid insamling av skriftligt nedskrivit material i form av böcker och artiklar är det viktigt att utföra källanalys. Vid källanalys görs först en ursprungsbestämning för att kontrollera om källan är äkta eller förfalskad. Sedan kontrolleras författaren som ligger bakom källan och till sist datera källan. Man bör också om möjligt använda sig av flera oberoende källor[10].

2.3.2 Kvantitativa metoder

Kvantitativa metoder för insamling av data utgörs vanligtvis av enkäter eller intervjuer med förutbestämda frågor. För att säkerställa att undersökningen inte innehar slumpmässiga fel, pratar man om en undersöknings giltighet och pålitlighet. Undersökningens pålitlighet kallas reliabilitet och bestäms av mätningarnas pålitlighet vid informationsbearbetning samt hur mätningarna gjorts. Undersökningens giltighet kallas validitet och bestäms av hur väl operationaliserade löper samman med den teoretiska variabeln[10].

Insamling av information

När det klargjorts vad som ska mätas måste vanligtvis ett urval ur populationen göras. Urval görs så att representanterna är representativa för denna population[10].

Analys av information

Att läsa och analysera den information som erhålls från undersökningarna är viktigt för att kunna finna trender och mönster. För analyseringen finns ett flertal statistiska metoder[10].

2.3.3 Vald metod för datainsamling

I examenarbetet kommer projektgruppen att använda sig av kvalitativa metoder för att samla in data. Det beror på att projektgruppen kommer att tillbringa tid under de praktiska experimenten på CCG, där den information som behövs kommer fås från personal och handledare på företaget. Här nedan presenteras olika sätt som projektgruppen kommer samla in data på:

- Iakttagelser gällande både aktiva och passiva medverkande.
- Praktiska experiment.
- Dokumenterat material.

Då projektgruppen strävar efter att datainsamlingen ska ha så stark trovärdighet som möjligt, har projektgruppen valt att noggrant kontrollera den data som samlats in samt att informationen kommer att samlas in från flera olika källor.

3 Teoretisk referensram

I följande kapitel, teoretisk referensram presenteras den teori som examensarbetet grundar sig på. Teoristudien innehåller en kort introduktion till sandwichpanelens tillverkning och användningsområden, därefter beskrivs teorin bakom programvaran Abaqus inklusive FE-beräkningar och till sist teorierna och verktygen för provning av sandwichpaneler. De teorier som presenteras grundar sig på vetenskaplig litteratur och artiklar.

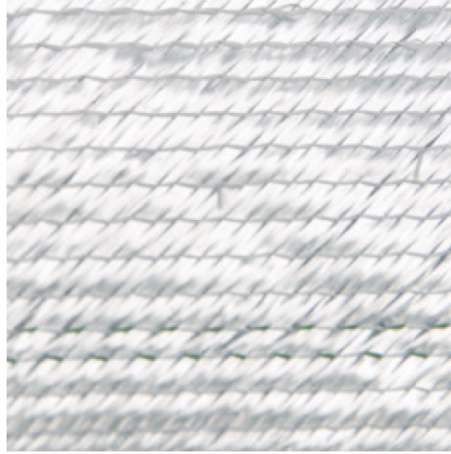
3.1 Allmänt om Kompositmaterial

Kompositmaterialet kom till i mitten av 1900-talet genom ett nytt tillverkningskoncept där man kombinerade ihop liknade material under tillverkningsprocessen, vilket ledde fram till upptäckten av kompositmaterial. Som materialgrupp är kompositer helt skilda från metaller, plaster etc. Det som utmärker kompositer är dess höga styvhet, låga vikt och goda korrosionsbeständighet. Kompositmaterialets unika egenskaper ger stora möjligheter vid design samt konstruktion och ingår därför i flertalet högteknologiska applikationer inom flyg-, undervatten- och transportindustrin[8]. Eftersom projektgruppen av uppdragsgivaren blivit ålagd att använda glasfiber i täktskikten, kommer endast fiberkompositer att beskrivas i rapporten.

3.1.1 Fiberkompositer

Fiberkompositer ingår i flertalet produkter i vår vardag däribland tennisracketar, racerbilar samt flygplan. Fiberkomposit är ett sammansatt konstruktionsmaterial där en av komponenterna är fiber tillverkad av antingen glas, polymer eller kol(grafit). Fibrerna bidrar till materialets unika egenskaper med bättre hållfasthets egenskaper. Fiberkompositen skapas genom att fiber vanligtvis i vävform adderas med ett mer sammanhållande material, vilket kan vara keramiskt, polymert eller metalliskt. Armerad metall och armerad plast är två typer av fiberkompositer.

Plastkompositer där armeringen består av glasfiber, aramidfiber eller kolfiber är den mest förekommande kompositmaterialsorten och illustreras i figur 3.1. Fiberkompositen medför förhöjd styrka och styvhet. Diametern hos fiberkompositen kan variera mellan 0.01- 0.03 mm och dess längd från någon millimeter till ändlösa längder. Armeringen kan placeras på flera olika sätt på varandra staplade lager vardera innehållande fiber i en riktning, likt textila konstruktioner(garn eller väv), fibermattor eller som korta fiber utan specifik ordning. Emellertid kan uppdelning i två olika typer av plastkompositer göras beroende hur stor andel fiberarmering som ingår i kompositen. Om fiberarmeringen upptar en mindre del av kompositen kallas materialet armerad plast, ifall fiberandelen är högre benämns plastkompositen fiberkomposit[11].



Figur 3.1 Plastkomposit [12]

3.1.2 Brott i fiberkompositen

Figur 3.2 illustrerar brottytan i fiberkompositen som består av glasfiber och amidplast(nylon). Här ser man tydligt att hur avbrutna glasfiberändar skjuter upp ur plastbrottsytan. Groparna som bildats i plastbrottsytan visar positionen från vilket glasfibern slitits loss och hänger med den andra brottskanten[11].



Figur 3.2 Brottytan i fiberkomposit [11]

3.1.3 Matris

Matrisen för en fiberkomposit kan utgöras av ett polymerbaserat, metalliskt eller keramiskt material. Eftersom duktilt material önskas används företrädesvis polymeriska och metalliska material som matris. Matrisen i fiberförstärkt komposit har ett flertal olika funktioner. Bland annat att binda ihop fibrerna och är då som ett medium då yttre applicerad spänning överförs och distribueras till fibrerna. Viktigt är således att matrismaterialet är duktilt och att fiberns elasticitetsmodul är högre än matrisen. Matrisen ska även skydda enskilda fibrer från yttre skador till följd av mekanisk nötning eller kemisk miljö. Till sist separerar matrisen också fibern och tack vare dess mjukhet och plasticitet kan förhindra förökningen av sprödsprickor från fiber till fiber, vilket kan få förödande konsekvenser. Matrisen fungerar då som barriär för att förhindra fortplantningen av sprickor[13].

3.1.4 Sandwichpaneler

Sandwichpaneler tillhör klassen strukturella kompositmaterial vilket innebär att de har hög styvhet, styrka, låg densitet och används därför till olika lättviktskonstruktioner (balkar, paneler etc.). Utmärkande för en strukturell komposit är att de normalt är sammansatt av ett homogent material dvs. likvärdig struktur rakt igenom och ett kompositmaterial. Egenskaperna som denna struktur erhåller beror sedan inte enbart på ingående materialets egenskaper, utan även på den geometriska designen av de olika strukturella elementen. Sandwichpanelen består av två täcksikt, en på vardera sidan av kärnan som är placerad i centrum av sandwichpanelen, se figur 3.3.



Figur 3.3 Sandwichpanel

De två täcksikten består normalt av ett styvt och starkt material exempelvis aluminium, fiber förstärkt plast, stål eller plywood med tillräcklig tjocklek för att kunna skydda kärnmaterialet mot drag och kompressionsspänningar till följd av olika lastförhållanden.

Kärnan som är placerad i centrum av sandwichpanelen kännetecknas av sin lätta vikt och låga elasticitetsmodul. Emellertid kan kärnmaterialet också delas in i tre huvudgrupper: styva polymerskum, exempelvis epoxy och fenoler, trä så som balsaträ samt honeycomb, där materialet vanligen är aluminium eller aramid polymerer. Styrka och styvhet hos honeycomben hänger sedan samman med tillverkningsmaterialet, cellernas storlek och cellväggarnas storlek. För mer ingående beskrivning av kärnmaterialet se Peter Jacobsson och Per Lunds examensrapport.

För beräkning av kompositmaterial då fiber och matris har olika elasticitetsmoduler kan rule of mixture användas för att erhålla den sammanlagda elasticitetsmodulen. Det förutsätter att kompositen har sammanhängande och enkelriktade fiber och att komposit, matris och fiber är deformerbart elastiska[13]. E_m och E_f är elasticitetsmodulen för respektive skikt. Den sammanlagda elasticitetsmodulen längs longitud riktningen E_{cl} ges av ekvation 1.1[13]:

$$E_{cl} = E_m(1 - V_f) + E_f V_f \quad (1.1)$$

V_f är volymfraktion för fiber vilket erhålls genom ekvation 1.2.

$$V_f + V_m = 1 \quad (1.2)$$

Användningsområdet för sandwichpaneler är mycket brett och ingår bland annat i byggnadsväggar, tak, i flertalet rymd- och flygplansdetaljer samt i diverse sportartiklar[13].

3.2 Tillverkningsmetoder

Kompositer tillhör klassen fiberarmerad plast och innehåller därför goda formningsegenskaper. För att tillverka kompositer har det under åren utvecklats flertalet tillverkningstekniker, beroende på kompositproduktens form, utseende, storlek samt antal enheter. Följande fyra tillverkningsmetoder finns för tillverkning av kompositer, dock förekommer anpassningar samt speciellt utvecklade metoder för produkter inom bland annat flygindustri och sportutrustning[14]. Tillverkningsmetoden som företaget använder sig av vid framtagning av dessa sandwichpaneler är säckpressning med vacuuminfektion vilket presenteras nedan.

- Gjutning
- Pultrusion
- Filament winding
- Prepreg

3.2.1 Gjutning

Nedan presenteras tre olika gjutningsmetoder för att tillverka kompositmaterial.

Handuppläggning

Handuppläggning är den äldsta och dominerade tillverkningsmetoden tillsammans med sprutning i enkelformar vid framställning av kompositer. Handuppläggning också kallad kontaktmetoden är en arbetsintensiv tillverkningsmetod som inte kräver några större investeringar i verktyg eller utrustning. Tillverkningsmetoden handuppläggning används således främst vid tillverkning av enstycks detaljer eller större produkter såsom bilkarosser eller båtar. För framtagning av formar och modeller används trä, plåt eller armerad plast.

Tillverkningsprocessen går till så att formytan först behandlas med ett släppningsmedel, exempelvis vax. Vidare sprutas eller stryks ett ytskikt av pigmenterad polyester("gelcoat") på formen som får torka/härda innan glasfiberarmerade laminatet läggs upp. Emellertid byggs laminatet upp stegvis genom att glasfibermattorna, vävar eller kombinationer läggs upp på varandra i olika lager och riktningar, vanligtvis i riktningarna 0°, -45°, 90° och 45°. Varje lager som lags upp impregneras med polyester innan insulten luft rullas ut[14].

Sprutning

Tillverkningsmetoden sprutning är en vidareutveckling av tidigare nämnda handuppläggningsmetoden. Vid tillverkning används en sprututrustning för att anbringa polyester och huggen fiber samtidigt på formytan. Sprututrustningen som används vid tillverkningen består av pumpaggregat som förser sprutpistolen med lämplig mängd polyester. För att glasfiberprovningen ska få rätt längd finns det ett tryckluftsdrevet kuggverk på sprutpistolen som kapar fibern, vanligtvis i längder om 35 mm. Glasfiberklassen matas ut från pistolen i en polyesterstråle och fördelar sig jämt över formytan. I efterföljande steg impregneras glasfibern och innesluten luft rullas ut på samma som vid handuppläggning[14].

Säckpressning

Inom säckpressning finns två olika metoder vakuum och tryckpressning, som är en variant av handuppläggning. Fördelen med vakuum och tryckpressning jämfört med handuppläggning är att slutprodukten får ett högre fiberinnehåll. Det är möjligt genom att man under tillverkningen lägger över en flexibel folie på upplägget, innan trycket med vakuum eller övertryck med hjälp av tryckluft åstadkoms.

Nackdelarna med vakuum och trycksäckmetoden är att det är en arbetskrävande metod samt medför ett långsamt arbetsförlopp. Säckpressning används därför bland annat till speciella produkter som flygplan etc. Vanligtvis tillsammans med kolfiber och fiberarmeringar[14].

3.2.2 Pultrusion

Vid tillverkning av kompositprodukter med kontinuerliga längder och konstant tvärsnitt, exempelvis balkar, rör och plattor används tillverkningsmetoden pultrusion. Tillverkningsmetoden går till så att fibertråd och väv först impregneras med en värmehärdande harts, därefter dras det genom en stål stans för att få önskad form samt fastslå fiberkvoten. Vidare dras fibertråden ner i ett polymerbad(matris), fibern får sedan passera genom en form vilket ger detaljen dess tvärsnitt, exempelvis rör eller H-balk. Avslutningsvis dras den färdig formade detaljen in i en härdningsugn innan den kapas i önskad längd. Fördelen med metoden pultrusion vid tillverkning är följande, enkel att automatisera, produktions hastighet är tämligen hög, kan tillverka flertalet olika former och det finns heller ingen begränsning i längd hos blocket. Nackdelarna är att endast raka profiler med konstant tvärsnitt kan tillverkas[13].

3.2.3 Filament winding

Filament winding är en tillverkningsmetod som endast kan användas på strukturer som har rotationssymmetri, exempelvis rör eller trycktankar. Vid tillverkning matas fibern först ut från trådrullen och lindas på en roterande spindel. Därefter droppas fibern i ett bad med härdplast innan matrisen lindas på, alternativt lindas spindeln först och matrisen sprayas på[13].

3.2.4 Prepreg

Prepreg är en enklare metod för tillverkning av olika kompositprodukter, där utgångsmaterialet vanligtvis består av en fiberväv i kombination med matris. Materialet som är i tejp form placeras i formen, denna får sedan härda i en autoklav. Autoklaven kan jämföras med ugn som under tryck värmer upp kompositmaterialet. Unikt för prepreg metoden är att man direkt kan forma och härda produkten utan att behöva tillsätta harts. Fördelen med prepreg metoden är att tillverkningsstegen är få, förhållande mellan fiber och matris är mycket hög och noggrant kontrollerad[13].

3.3 Finita element metoden

Finita element metoden är en matematisk teknik som används för att ta fram approximativa lösningar till komplexa problem som inte kan lösas med grundläggande matematiska teorier. Specifikt för finita element metoden är att

den verkliga geometrin delas in i mindre enklare geometrier, även så kallade element. De här elementen är sammanknutna med varandra i noder och tillsammans utgör de en så kallad mesh. Sedan kan man kolla på till exempel spänning och töjning i respektive mesh. Ett matematiskt verktyg som används för att lösa denna typ av problem är programvaran Abaqus[15].

3.4 ABAQUS

FEM-beräkningarna i projektet har valts att göra i programvaran Abaqus. Abaqus är ett modelleringsprogram som används för analys av komplexa linjära och icke-linjära problem. Programvaran ger användaren stora möjligheter att anpassa och själv styra analysen. Modelleringen i programvaran Abaqus är uppbyggt i tre steg, uppbyggnad, simulering och resultat[16].

3.4.1 Uppbyggnad

I det första steget byggs Abaqus modellen upp och erhåller materiella och fysikaliska egenskaper. Randvillkor samt laster appliceras och modellen delas in i en lämplig elementstruktur.

3.4.2 Simulering

Det finns tre olika typer av analyser i Abaqus: Abaqus/Standard, Abaqus/Explicit och Abaqus/CFD. De här är specialiserade på olika områden beroende på vilken form av analys som önskas. Abaqus/Standard löser ett ekvationssystem implicit för varje part i assembly. Det här är ett allmänt analysverktyg som lämpar sig för både linjära och icke-linjära problem. Det kan vara problem såsom statiska, dynamiska samt termiska. Analyser med Abaqus/Explicit gör en lösning framåt i tiden i små steg utan att lösa systemet av ekvationer vid varje part i assembly. Abaqus/CFD ger en möjligheten att lösa datorstöd strömningsmekanik med omfattande support för förbehandling, simulering och efterbehandling.[17]

3.4.3 Resultat

Efter att simuleringen är gjord så utvärderas resultatet. Analysen sparas i en datafil ".dat" och innehåller en textfil med resultatet. Tolkning av data som erhålls från simuleringen kan göras med olika grafer eller visualiseringar[18].

3.4.4 Moduler

Abaqus är konstruerat av ett antal moduler som stegvis tar en genom modelluppbyggnadsprocessen. Dessa moduler kan man stegvis arbeta sig igenom för att ta sig genom uppbyggnad, simulering och resultat. Modulerna presenteras kort nedan.

Sketch

I denna modul så ritas två dimensionella sketcher upp som sedan antingen blir en tvådimensionell ritning eller tvärsnittet till en tredimensionell modell. Beroende om modellen ska vara i två- eller tredimensioner så extraheras sedan tvärsnittet till en tredimensionell part av önskad bredd.

Part

Här skapas sketchen till en individuell del i antingen två- eller tredimensioner. En part kan vara antingen deformierbar eller styv. Detta beror helt på hur parten ser ut i det verkliga problemet. En part kan tas in flera gånger i en assembly[19].

Property

Här skapas materialet upp med olika materialegenskaper, detta kan vara till exempel densitet, viskositet, elasticitet och termiska egenskaper. Materialegenskaperna är helt oberoende av parten tills den blivit tilldelad ett material. Tilldelningen av materialet görs genom section och section assignment[20].

Assembly

Efter att parterna är klara och har erhållit materialegenskaper så tas de in i assembly. En part som är intagen i assembly kallas ”instance”. Tidigare har parterna varit oberoende av varandra och haft egna koordinatsystem. I assembly modulen så kan parterna roteras och placeras för att sedan skapa en gemensam struktur med ett eget koordinatsystem[19].

Step

Step modulen används främst för att skapa och ställa in steg i analysen. I step modulen anges vilken lösningsmetod som ska användas beroende vilken typ av analys som önskas. Ett steg kan endast innehålla oförändrade laster och randvillkor. Om de här skulle ändras under simuleringen kräver de att fler steg används. I varje steg så anges det vilket tidsintervall steget har samt vilken utdata som ska ges[20]

Interactions

I interaction så specificeras det hur kontakten mellan de olika parterna i assemblyn skall vara. Detta kan vara kopplingar som sammankopplar olika ytor eller en yta och dess omgivning. I interactions modulen så finns det möjlighet att anknyta interaction properties vilket anger egenskaper i kontakten, såsom till exempel friktion[22].

Load

Här anges det vilka laster det är som kommer appliceras på modellen. Lasterna kan vara antingen punktlast eller utbredd last beroende på det verkliga problemet[23]. Randvillkoren i programvaran ”Boundary conditions” anges även i denna modul. Randvillkoren beskriver hur omgivningen till modellen ser ut och tillåter användaren att låsa parterna från assemblyn i olika led[24].

Mesh

Modellens geometri delas upp i mindre element för att kunna skapa en noggrannare analys. Meshen kan göras antingen i parten eller i assemblyn, skillnaden mellan de här är att om den görs i en part så ärvs meshen vidare till alla instances som finns i parten[25].

Job

När modellen fått en mesh så är den redo för analys. I jobmodulen så görs analysen och analysen går att följa genom processen i monitor. Här visar utdata från modellen och hur långt analysen gått, varningsmeddelanden och felorsaker[26].

Visualisering

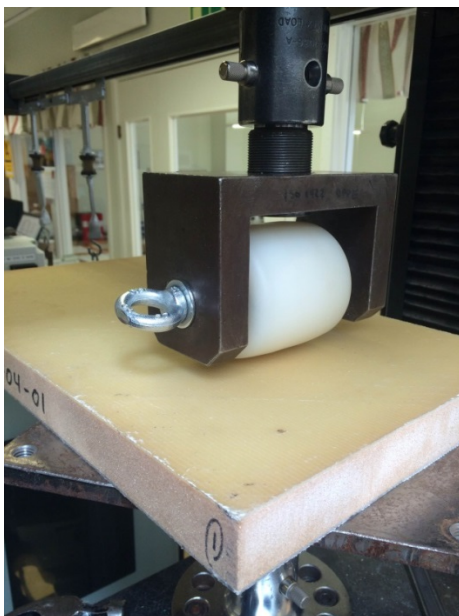
Efter analysen blivit godkänd så visas resultatet i visualiseringsmodulen. Här tolkas olika typer av grafer och animationer.

4 Resultat

I det här kapitlet kommer projektgruppens arbetsgång och resultat att presenteras. Kapitlet har delats in i en experimentell del, där det beskrivs hur praktisk provning utförts samt en del framtagning av lastmodell och implementering av material i programvaran Abaqus.

4.1 Experiment

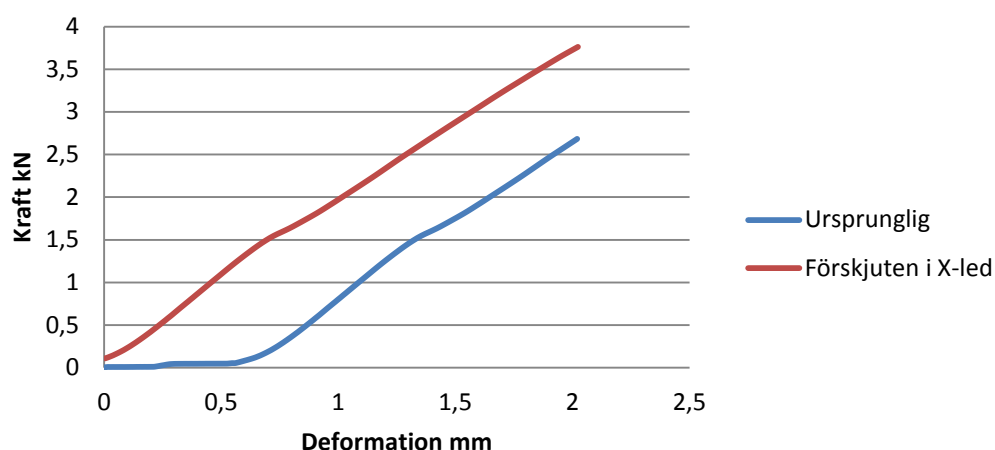
För att erhålla en kraft/nedtryckningskurva för sandwichpanelen har det utförts ett hjultrycksprov i laboratorium. Hjulprovet utfördes i en trycksmaskin med namn INSTRON 8801. Sandwichpanelen 480*260*32.8 mm bestående av en kärna divinycell H100(30 mm) och Gamma Tensor Q840-G glasfiber(1,4mm) applicerades på ett fast underlag i tryckprovs-maskinen, figur 4.1. En dator var sedan kopplad till tryckprovsmaskinen under experimentet där inställningar gjordes. Med hjälp av sensorer i tryckprovsmaskinen kunde datorn beräkna den aktuella kraften vid en viss nedtryckning. Under experimentet trycktes pallhjulet ner mot sandwichpanelen med hastighet av 2mm/ min och mätfrekvensen var 10 punkter/ sek.



Figur 4.1 Experimentell uppställning i tryckprovsmaskin

Eftersom sandwichpanelen och pallhjulet inte var i kontakt med varandra förrän vid 10N, fick grafen justeras. Av den orsaken att lastmodellen i programvaran Abaqus räknar med att pallhjul och sandwichpanel är i direkt kontakt med varandra från start. För att lösa detta försköts kurvan från praktiskt hjulprov i x-led till dess att pallhjulet och sandwichpanelen hade kontakt, grafen erhöll dock samma lutning. Efter slutförd praktisk provning erhöles en kraft-nedtryckningskurva för sandwichpanelen, figur 4.2. Den här användes senare för att jämföra resultatet från lastmodellen i programvaran Abaqus. Det presenteras under rubriken ”resultatdiskussion”.

Resultat



Figur 4.2 kraft/ nedtrykningskurva vid praktiskt hjultrycksprov

4.2 Implementering

För att kunna genomföra analyserna i Abaqus så behövs en materialmodell. Materialmodellen består av två material, divynycell H100 och glasfiber som kommer appliceras på var sida om kärnmaterialet. Materialmodellen innehåller flera olika beståndsdelar så som densitet, elasticitet, plasticitet och CRUSHABLE FOAM. Eftersom divynycell H100 är ett icke linjärt material användes CRUSHABLE FOAM, tabell 1 för att beskriva materialets plastiska beteende. Övriga materialdata så som Poisson's tal och elasticitetsmodul har även erhållits från CCG. Laminatets elastiska värden är av typen "Lamina" som visas i tabell 2.

Tabell 1 CRUSHABLE FOAM data

Yield Stress (MPa)	Uniaxial Plastic Strain
1,4	0
1,5	0.05
1,54	0.1
1,55	0.2
1,58	0.6
4,0	0.8

Tabell 2, elastiska värden för glasfiber

E1 (MPa)	E2 (MPa)	Nu12	G12 (MPa)	G13 (MPa)	G23 (MPa)
15000	3000	0.25	1153	5769	1153

Resultat

E1, E2 = elasticitetsmodulen i laminatets två riktningar.
Nu12 = poissonstal.
G12, G13, G23 = skjuvmodulen i laminatets tre riktningar [20]

Kärnmaterialets linjära elastiska beteende visas i tabell 3.

Tabell 3, kärnmaterialets linjära beteende

Material	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Divinycell H100	87,6	0.32

Divinycell H100 kärnan har modellerades upp med dimensionerna 200*30*200 mm. Täcksikt applicerades på kärnmaterialets ovan och underdel med måtten 200*1,4*200 mm, dess riktning definierades med "Composite lay-up" i 0, 90,-45 45grader. Materialdimensionerna har reducerats vid beräkning i Abaqus, detta har gjort på grund av att analysen som gjorts i Abaqus är begränsat till ett visst antal element. För att hålla nere antalet element och beräkningstid har därför materialet dimensionerat ner. Detta bör dock inte ha någon större inverkan på resultatet. Pallhjulet som har används vid beräkning erhöles från CCG och är skapad som en "analytic rigid part" dvs. Hjulet är inte deformerbart. Vid beräkningen har kontakten mellan pallhjul och sandwichpanel varit friktionslös. När både sandwichpanelen och pallhjulet modellerats, se figur 4.3, skapades ett "Step" av typen dynamik- explicit, eftersom sandwichpanelen genomgår stora deformationer i zonen under hjulet, är det viktigt att modellera geometriskt olinjärt, för detta användes "Nlegon on" i "Stepet". Sandwichpanelen har sedan låsts fast i alla riktningar förutom y- led med "Boundary Conditions". Ytan på hjulet har kopplats till en referenspunkt som är centrerad i mitten av hjulet. Referenspunkten har kopplats så att den enbart kan röra sig i vertikalt mot sandwichpanelen. För att kunna styra nedtryckningen i sandwichpanelen användes amplitud. Lasten genererades därefter genom en vertikal nedtryckning kopplad till hjulets referenspunkt. Den explicita lösaren har använts och elementtypen för kärnmaterialet är C3D8R och för laminatet SC8R. En fullständig analys av modellen gjordes med ett "Job". Vid analyserna i Abaqus har centrum punkten för hjulet använts som referenspunkt vid mätningarna. Graferna som gjorts har sedan kombinerats ihop reaktionskraften- och deformationen över tiden.

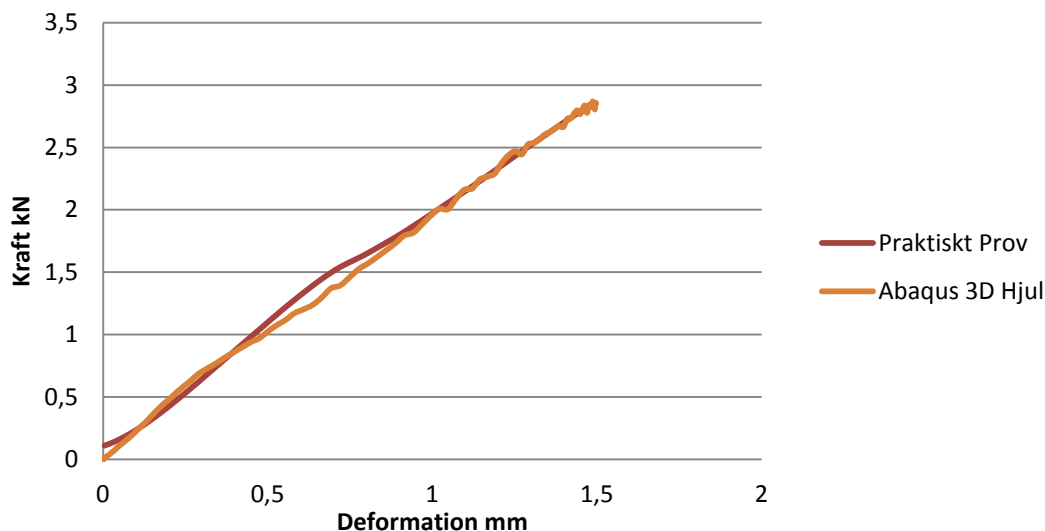
Resultat



Figur 4,3 Illustration av hjul och lastmodell

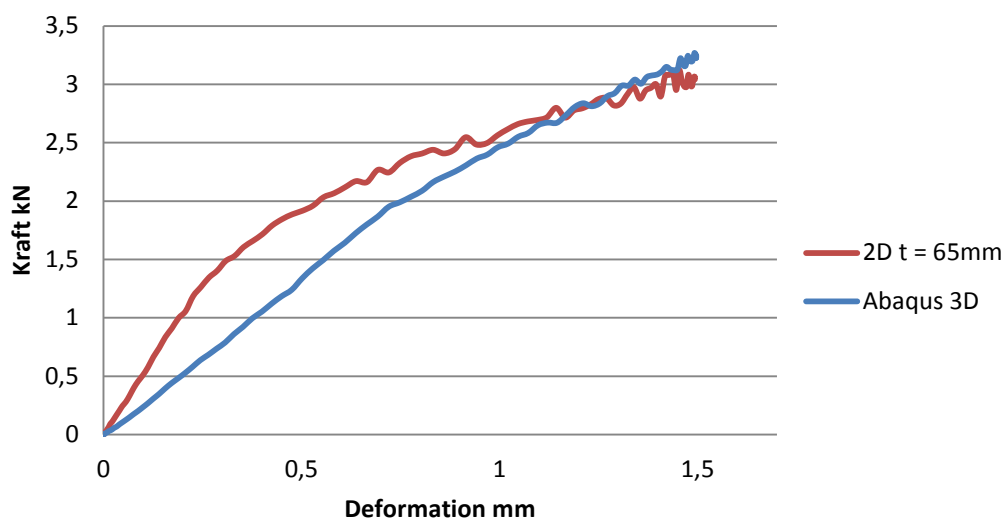
4.3 Resultatdiskussion

I figur 4.4 illustreras projektets huvudresultat vilket är en jämförelse mellan Abaqus tre dimensionell modell och praktiskt hjultrycksprov. Här ses att Abaqus kurvan efterliknar kurvan från praktiskt provning under den elastiska delen. När kurvan viker av har kärnorna krossats, materialet börjar plasticera och bestående skador i materialet uppstått. Att Abaqus modellens kurva viker av tidigare jämfört med praktisk provning kan beror på att fel under tillverkningen av sandwichpanel och att materialet erhåller bättre egenskaper än materialdata som använts och sandwichpanelen bättre motstår deformation. För att uppnå ett säkrare resultat gällande det praktiska experimentet kunde fler prover utförts och en genomsnittlig kurva tagits fram. Detta hade gett ett mer tillförlitligt resultat då egenskaperna hos sandwichpanelen kan variera på grund av yttre omständigheter samt fel vid tillverkningen.



Figur 4.4 Jämförelse praktiskt prov + Abaqus 3D Hjul

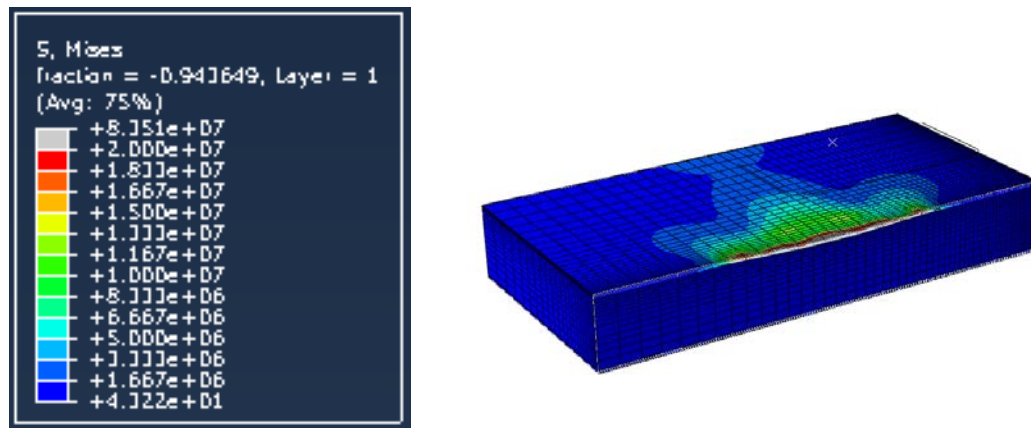
Figur 4.5 illustrerar ett hjul som modellerats upp i två och tre dimensioner på sandwichpanel. De två dimensionella analyskurvorna har inhämtats från[27]. Detta görs för att kunna få en korrekt jämförelse mellan den två- och tre dimensionella analysen för att kunna se om den tre dimensionella analysen kan ersättas med den två dimensionella. Detta i syfte att kunna minska ner beräkningstiden då den tre dimensionella tar betydligt längre tid att genomföra. Analyserna som gjorts har begränsats till en nedtryckning på 1,5mm då fokus ligger på det elastiska området innan materialet plasticerar vid designprocessen. Kurvorna tar redan från start skilda riktningar vilket visar att de två dimensionella analyserna klarar av en större kraft. Detta beror på att den två dimensionella analysen räknar på ett hjul med en konstant radie som trycks ner i materialet. Vid beräkningen tilldelas en tjocklek, PLANE STRESS/STRAIN THICKNESS. Denna tjocklek ger djupet på hjulet så att den blir cylinderformad. Den två dimensionella analysen speglar därför inte problemet korrekt då hjulet har radie skillnader i djupet. Kontaktytan som uppstår mellan hjul och sandwich blir därför större i den två dimensionella analysen och kraften per area enhet blir då mindre. Något som de tre kurvorna har gemensamt är att de redan vid cirka 0.2 mm deformation börjar vika av. Det som händer i dessa punkter är att sandwichmaterialet inte längre klarar av att motstå kraften som uppstår och är inte längre elastiskt. Kärnmaterialet börjar här plasticera och kärnorna i kärnmaterialet börjar krossas.



Figur 4.5 Abaqus 2D och Abaqus 3D

Resultat

Figur 4.6 illustreras spänningskoncentrationen Von Mises vid en nedtryckning på 1,5mm. Hjulet fördelar här ut spänningarna bra och skapar inte starkare spänningar på mindre områden.



Figur 4.6 Von mises spänningsbild på sandwichpanel

5. Slutsats

I det här kapitlet besvaras frågeställningen som ställdes i det inledande kapitlet. Projektgruppen för även en diskussion kring projektarbetets resultat och lämpliga aktiviteter för uppdragsgivaren att fortsätta med efter projektet.

5.1 Slutsats

Syftet med examensarbetet har varit att genom simulering i programvara minska beräkningsprocessen och behovet av att genomföra praktiska experiment på Composite Consulting Group. Examensarbetet har resulterat i en tre dimensionell lastmodell i programvaran Abaqus som har en maximalfelprocent på 10 % inom intervallet 0- 1,5 mm deformation, gentemot praktiskt experiment. Frågeställningen som satts upp var ” Är det möjligt att förkorta beräkningstiden genom att använda en två dimensionell modell vid simulering av palltruckshjul?”. Projektgruppen ser att den tvådimensionella lastmodellen, där hjulet modellerats som en cylinder sprider ut trycket på en större yta vilket medför en mindre deformation. I den tre dimensionella lastmodellen där ett pallhjul modellerats är kontaktytan mindre i början och ökar succesivt desto mer hjulet trycks ner i sandwichpanelen, detta medför en större deformation i början av nedtryckningen. Slutsatsen blir att den tredimensionella lastmodellen stämmer bättre överens med verkligheten än den tvådimensionella, eftersom den tar hänsyn till hjulets utformning i djupet, dock bör den tvådimensionella lastmodellen vidareutvecklas eftersom ytterligare tidsbesparing kan göras. Projektgruppen anser också att syfte och mål med examensarbetet uppfyllts med hänsyn tagen kraven som satts upp.

5.2 Diskussion och rekommendationer till fortsatta aktiviteter

5.2.1 Resultat

Projektgruppen är nöjd med resultatet som uppnåtts, förhoppningen är att projektet kan komma till användning hos uppdragsgivaren Composites Consulting Group. Resultatet påvisar möjligheten att förenkla och förkorta designprocessen för sandwichpaneler genom att simulera konstruktionen i programvaran.

5.2.2 Arbetsgång

Arbetsgången under projektet har varit god och metodiken som valdes i början av projektet har till största delen kunna följas. Problemen som projektgruppen stött på har varit begränsade kunskaper i programvaran Abaqus under början av projektet, möjligheten att utföra praktiska prover samt tillgång på materialdata av uppdragsgivaren. De här faktorerna har försenat projektet och resulterat i att det inte fanns möjlighet till att optimera sandwichpanels upplägg vilket var tanken från början.

5.2.3 Förslag till fortsatt aktiviteter

Projektgruppens förslag till fortsatt aktivitet för Composites Consulting Group blir att vidareutveckla den tvådimensionella lastmodellen så att den bättre överensstämmer med den tredimensionella lastmodell samt praktisk provning, eftersom ytterligare tidsbesparing vid beräkning skulle kunna göras. Därefter

Slutsats

undersöka hur sandwichpanelen beter sig vid dynamisk hjulbelastning, speciellt kärnmaterialiet. Eftersom examensarbetet fokuserat på statisk hjulbelastning för sandwichpanelen och endast i mindre utsträckning arbetat med dynamisk hjulbelastning, då främst på stålmaterial. Kan projektgruppen inte dra några vetenskapliga slutsatser eller uttala sig om det här.

6 Kritisk granskning

I kapitlet kritisk granskning redogörs för hur examensarbetet förhåller sig till hållbar utveckling, etik, ekonomi och miljö. Projektgruppen har därför kritiskt granskat examensarbetet för att undersöka projektets effekt på omgivningen.

6.1 Kritisk granskning med avseende på hållbar utveckling

Vid genomförande av detta examensarbete har projektgruppen varit i nära kontakt med Carl-Johan Lindholm handledare på CCG och har vid ett flertal tillfällen intervjuat honom, vilket har skapat en förståelse för materialets beteende. Via studiebesök hos CCG har projektgruppen också kunnat observera hur designprocessen av sandwichpaneler går till och hur praktisk provning utförs, delar av det här har dokumenterats med fotografier.

När man genomför intervjuer, observationer och fotograferar är det mycket viktigt att man respekterar den personliga integriteten och företaget policy gällande sekretess. Projektgruppen har varsamt beaktat det här under hela projektet, ingen information i examensrapporten har offentliggjorts utan godkännande från individer eller företaget.

Syftet med det här examensarbetet har varit att simulera en sandwich konstruktion i programvaran Abaqus som utsätts för statiskt hjultryck. Det här görs för att slippa dyra kostnader vid praktiska prover samt förkorta tidsåtgången för design och beräkning av konstruktioner. Stor vikt har lags på att hitta ett ”optimalt” sandwich upplägg som klarar lastförhållandena. Därtill utvärdera ifall resultaten mellan två- och tredimensionell simulering skiljer sig åt.

Vid lastmodellering i programvaran Abaqus var det följaktligen mycket viktigt att finna rätt inställningar för att erhålla ett tillfredställande resultat från beräkningen, som stämmer överens med verkligheten. För att styrka resultaten från programvaran Abaqus valdes det att göras praktiska hjulprov i laboratorium.

6.2 Kritisk granskning med avseende på miljö och arbetsmiljö

Både vid framtagning av nya produkter och utveckling av befintliga lösningar, blir det allt viktigare att analysera hur produkten påverkar vår miljö. Projektgruppen har således noga analyserats konstruktionens påverkan på miljön i syfte att minimera påverkan, dock ses att konstruktionen under olika delar av livscykeln kommer att påverka miljön.

Vid framställning av kompositmaterial med kärnmaterial och glasfiber som tätskikt bildas en hel del spillmaterial med begränsad möjlighet till recycling. Återvinnig av kompositmaterial kan ske på tre olika sätt, mekanisk återvinnig, kemisk återvinning eller förbränning. Genom att krossa och mala materialet till mindre delar kan det användas som förstärknings eller utfyllnadsmaterial i nya produkter. Emellertid blir insamling och återvinning många gånger dyrare än att tillverka nytt material. Det här bidrar till mindre intresse för återvinning, vilket är ett problem eftersom man genom att återvinna kompositmaterialet kan bidra till ett hållbart samhälle. Nyckeln till mindre spill under tillverkningen skulle kunna vara att implementera exempelvis filosofin Lean production vars syfte är att avlägsna alla faktorer i produktionsprocessen som inte skapar värde för slutkunden.

En aspekt som bör beaktas vid tillverkning av kompositmaterial med kärnmaterial och glasfiber i täktskitet är arbetsmiljön, eftersom giftiga och skadliga ämnen används. Det här ställer höga krav på välventilerade lokaler och organiserad arbetsmiljö.

Samtidigt som tillverkningen av sandwichkonstruktioner kan bidra till negativ påverkan på miljön så finns det även användningsområden där materialets egenskaper kompenserar det här. Ett användningsområde som nämnts tidigare i rapporten och är högaktuellt i dagens samhälle är att minska transportsektorns påverkan på miljön. Genom att tillverka lastbilsgolvet i kompositmaterial istället för plywood som det görs idag så kan vikten på lastbilen reduceras, bränsle förbrukningen minskas och lastkapaciteten öka. Det här medför att antalet lastbilstransporter minskas och bidra till ett mer hållbart samhälle.

6.3 Rekommendationer till fortsatt arbete

Projektgruppens förslag till fortsatt arbete för uppdragsgivaren blir:

- Vidareutveckla den tvådimensionella så att den bättre stämmer överens med den tredimensionella lastmodellen samt praktisk provning.
- Undersöka sandwichpanelens beteende vid dynamisk hjulbelastning, speciellt kärnmaterial.
- Optimera tjockleken på kärnmaterial mot vikten för att klara spänningarna.

Referenser

- [1] Gregory, R. (1999) *Analysis in action: The value of early analysis*
- [2] Composites Consulting Group: A DIAB Group Company. *CCG brochure*. Laholm
- [3] Composites consulting group. Om företaget. URL: <http://ccg-composites.com/about-us/> (2015-03-26)
- [4] Olsson, Freddy.(1995) *Princip och primärkonstruktion*. Lunds Universitet, Lund.
- [5] Ullman, D. (2010). *The Mechanical design process*. McGraw-Hill Higher Education, New York.
- [6] Mac Donald, B J. (2011). *Practical stress analysis with finite element*. Glasnevin Publishing, Dublin.
- [7] The Scientific methology, T.R. Thomas, Functional Surfaces Research group, school of business & engineering.
- [8] Rizov, V, (2006) *Non-linear indentation behavior of foam core sandwich composite materials – A 2D approach*
- [9] Rizov, V. Shipsha, A. Zenkert, D. (2005) *Indentation study of foam core sandwich composite panels*.
- [10] Holme, I. M & Solving, B.K. (1991). *Forskningsmetodik*. Studentlitteratur AB, Lund
- [11] Nationalencyklopedin. Fiberkompositer. URL: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kompositer> (2015-03-10)
- [12] Fiber. Fiberkomposit. URL: <http://www.fiberkomposit.se/en/material-2/> (2015-03-26)
- [13] Callister, William D and Rethwisch, David G. (2011) *Materials Science and Engineering*. John Wiley Sons, New York.
- [14] Hågeryd, L., Björklund S., Ienner M. (2012). *Modern Produktions teknik Del 1*. Liber AB, Stockholm
- [15] Nilsson, B. (2014) *Finita elementmetoden en kort introduktion till teori*. Bertil Nilsson, Halmstad
- [16] Dassault system, Abaqus unified FEA. URL: <http://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/abaquscae/> (2015-04-01)
- [17] Abaqus 6.12, *Analysis User's Manual, Volume 1: Introduction, Spatial Modeling, Execution & Output*, kapitel. 1.1.1-1, p 38
- [18] Abaqus 6.12, *Analysis User's Manual, Volume 1: Introduction, Spatial Modeling, Execution & Output*, kapitel. 4.1.1-1, p 548
- [19] Abaqus 6.12, *Analysis User's Manual, Volume 1: Introduction, Spatial Modeling, Execution & Output*, kapitel, 2.10.1-1, p 314-317,
- [20] Abaqus 6.12, *Analysis user's manual, Volume 3: Materials*, vol.3, kapitel 21.13-1, p.48
- [21] Abaqus Version 6.7, Understanding the role of the step module URL: <http://www.egr.msu.edu/software/abaqus/Documentation/docs/v6.7/books/usi/default.htm?startat=pt03ch14s09h1b06.html> (2015-04-01)
- [22] Abaqus 6.12, *Analysis User's Manual, Volume 1: Introduction, Spatial Modeling, Execution & Output*, kapitel 2.10.1-13, p 326
- [23] Abaqus 6.12, *Analysis user's manual, Volume 5: Prescribed Conditions, Constraints & Interactions*, kapitel 33.4.1-1, p106

Referenser

- [24] Abaqus 6.12, *Analysis user's manual, Volume 5: Prescribed Conditions, Constraints & Interactions*, kapitel. 33.3.1-1, P 84
- [25] Abaqus 6.12, *Analysis User's Manual, Volume 1: Introduction, Spatial Modeling, Execution & Output*, kapitel 2.10.1-10, p 323
- [26] Abaqus 6.12, *Analysis User's Manual, Volume 1: Introduction, Spatial Modeling, Execution & Output*, kap.3.1.1-1 - 3.2.2-2, p 346-353
- [27] Jacobsson, P., Lund P. (2015) *Detaljerad FE- modellering av kärnmateral*. Peter Jacobsson, Per Lund, Halmstad

Bilaga 1- Kravspecifikation

- Pallhjulet ska ha en diameter på 80mm.
- Laminatet ska vara av 1,4 mm glasfiber.
- Kärnmaterialiet ska vara divinycell H100.



Sebastian Hansson
Maskiningenjör -
Produktionsutveckling
+46 705717392
sebastian.hansson93@gmail.com



Gustav Engkvist
Maskiningenjör - Datorstödd
produktframtagning
+46 766109939
gengkvist@gmail.com



Besöksadress: Kristian IV:s väg 3
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad
Telefon: 035-16 71 00
E-mail: registrator@hh.se
www.hh.se