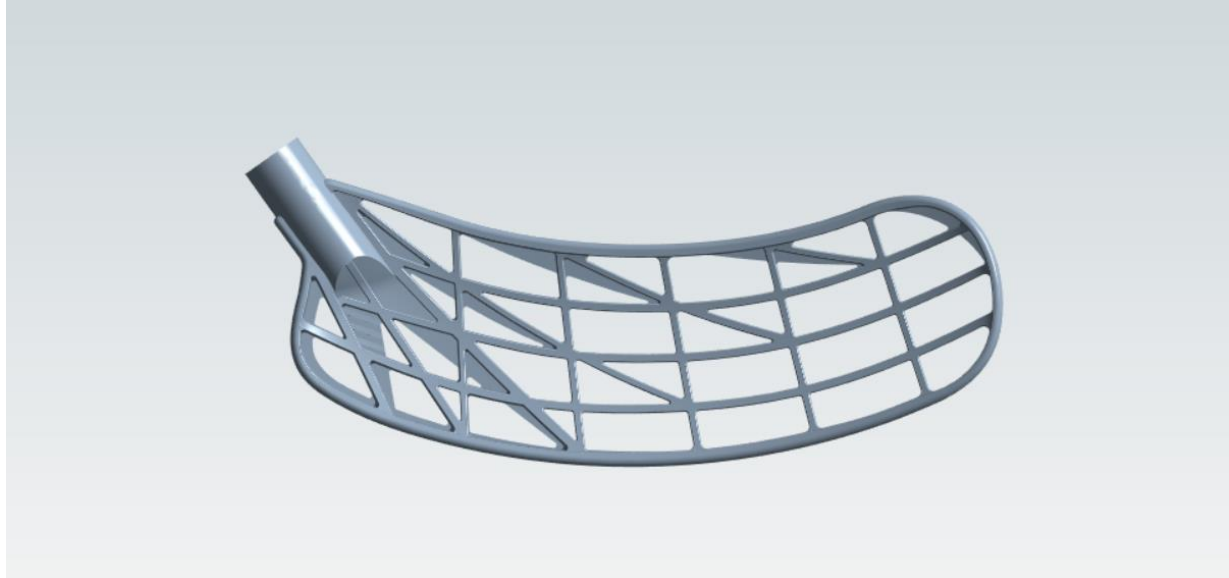




CHALMERS



Strukturell optimering av innebandyblad med fokus på viktreducering

Mekanisk analys av materialdistribution med hjälp av
FEA och topologisk optimering

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

HARRY OLOFSSON, KRISH JANSARI

**INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se

Examensarbete 2025

**Strukturell optimering av innebandyblad med
fokus på viktreducering.**
Mekanisk analys av materialdistribution med hjälp av
FEA och topologisk optimering.

HARRY OLOFSSON, KRISH JANSARI

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025

Strukturell optimering av innebandyblad med fokus på viktreducering.
Mekanisk analys av materialdistribution med hjälp av FEA och topologisk optimering.
HARRY OLOFSSON, KRISH JANSARI

© HARRY OLOFSSON, KRISH JANSARI 2025.

Examinator: Zhiyuan Li, Mekanik och maritima vetenskaper

Handledare: Kalle Brännberg, Renew Group Sweden AB

Examensarbete 2025

Institutionen för Mekanik och Maritima vetenskaper

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: CAD-modell av Unilite tagen i Ansys. Bilden var tagen av Harry Olofsson.

Skriven i WORD

Göteborg 2025

Strukturell optimering av innebandyblad med fokus på viktreducering.
Mekanisk analys av materialdistribution med hjälp av FEA och topologisk optimering.
HARRY OLOFSSON, KRISH JANSARI

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Detta examensarbete undersöker möjligheterna att optimera innebandyblad med fokus på viktreducering, utan att kompromissa med de mekaniska egenskaperna som hållfasthet och spelbarhet. Målet med arbetet var att skapa lättare blad som fortfarande har en bra prestanda och klarar av de krafter som uppstår vid spel.

Två av Renew Groups befintliga bladmodeller, Unilite och Evolite användes som bas. Genom att använda CAD-modeller och förenklade randvillkor kunde finita element-metoden (FEM) och topologisk optimering i ANSYS appliceras på modellerna. Med dessa metoder kunde man analysera spänning och deformation på bladen under belastning och identifiera områden med överflödigt material.

Resultaten visade att vikten kunde minskas med upp till 10%, medan deformationen endast ökade marginellt. Detta tyder på att bladen behåller sin prestanda även efter materialborttagningen.

Ett nytt teoretiskt material togs även fram med hjälp av blandningsregler och Python-baserade beräkningar. Det nya materialet uppnådde mål för densitet, draghållfasthet och slagseghet.

Arbetet kombinerar simulering, praktiska tester och materialteori för att ge ett ingenjörskivet underlag för framtida produktutvecklingar. Detta tillvägagångssätt kan effektivisera produktutvecklingen, tillsammans med fysiska prototyper kan det bidra till en fortsatt teknisk utveckling inom sporten.

Nyckelord: Innebandyblad, Strukturell optimering, Finita element-metoden (FEM), Topologisk optimering, Materialanalys, Kompositmaterial, Viktoptimering, Simulering

Structural optimization of floorball blades with a focus on weight reduction.
Mechanical analysis of material distribution using FEA and topological optimization.
HARRY OLOFSSON, KRISH JANSARI
Department of Mechanics and Maritime Sciences
Chalmers University of Technology

Abstract

This thesis investigates the possibilities of optimizing floorball blades with a focus on weight reduction, without compromising mechanical properties such as strength and playability. The aim of the work was to develop lighter blades that still maintain high performance and withstand the forces that occur during games.

Two of Renew Groups's existing blades, Unilite and Evolite, were used as base. By Using CAD models and simplified boundary conditions, the Finite Element Method (FEM) and Topology Optimization in ANSYS were applied to the models. These methods made it possible to analyse stress and deformation under load and to identify areas with excess material.

The results showed that the weight could be reduced to up to 10%, while the increase in deformation only was marginal. This indicates that the blades maintain their performance even after the removal of material. A new theoretical material was also developed using rule-of-mixtures calculation and Python-based scripts. The new material met the target values for density, tensile strength and impact resistance.

The work combines simulation, practical testing and material theory to provide an engineer-driven foundation for future product development. This approach can modernise the development process and together with physical prototypes, contribute to continued technical advancement within the sport.

Keywords: Floorball Blade, Structural Optimization, Finite Element Method (FEM), Topology optimization, Material analysis, Composite materials, Weight optimization, Simulation

Förord

Detta arbete omfattar 15 högskolepoäng, det är skrivet av Krish Jansari och Harry Olofsson vid Chalmers Tekniska Högskola på Maskintekniksprogrammet.

Vi vill rikta ett stort tack till vår examinator Zhiyuan Li för vägledning och stöd under arbetet.

Vi vill rikta ett stort tack till Renew Group, särskilt Kalle och Henrik, för era öppenhet, hjälpsamhet under hela arbetet. Er nyfikenhet, ert engagemang och det varma välkommandet har gjort detta arbete givande och lärorikt.

HARRY OLOFSSON, KRISH JANSARI, Göteborg, Maj 2025

Akronymer

Nedan följer en lista över förkortningar som förekommer i rapporten, enligt alfabetisk ordning:

CAD	Datorstödd konstruktion (Computer-Aided Design)
FEA	Finit elementanalys (Finite Element Analysis)
FEM	Finit elementmetoden (Finite Element Method)
PE	Polyeten (Polyethylene)
PP	Polypropen (Polypropylene)
PP-Ti	Förstärkt polypropen (Strengthened Polypropylene)
S-N kurva	Spännings-livslängdskurva (Stress-Number of cycles curve)

Nomenklatur

Nedan följer en förklaring av de symboler och beteckningar som används i arbetet:

E	Young's modulus (Elasticitetsmodul)
C	Charpy impact strength (Slagseghet)
M	Mega
Pa	Pascal
ρ (<i>rho</i>)	Densitet
σ	Draghållfasthet
kg	Kilogram
m^2	Kvadratmeter
m^3	Kubikmeter
J	Joule

INNEHÅLLSSIDOR

Sammanfattning	4
Abstract.....	5
Förord.....	6
1. Inledning.....	13
1.2 Bakgrund.....	13
1.3 Marknadsanalys av plasttyper.....	15
1.3.1 PP	15
1.3.2 Mixturer.....	16
1.3.3 Unihoc (Renew Group).....	16
1.4 Syfte och Frågeställning.....	16
1.5 Avgränsningar	17
2. Metod.....	19
2.1 Simuleringar.....	19
2.2 Fysiska tester	20
2.3 Optimering	22
2.4 Materialfas.....	24
3. Resultat.....	27
3.1 Randvillkor.....	27
3.2 Basdata	28
3.2.1 Unilite	28
3.2.2 Evolite.....	29
3.3 Structural Optimization	31
3.4 Evolite Resultat [PP-Ti]	33
3.5 Evolite Resultat [PP]	34
3.6 Unilite Resultat [PP-Ti].....	35
3.7 Unilite Resultat [PP].....	36
3.8 Resultat nytt material	37
3.8.1 Evolite.....	37
3.8.2 Unilite	38

3.9 Teoretisk Materialframtagning.....	39
3.9.1 Mål för materialegenskaper.....	39
3.9.2 Grundmaterial Data.....	40
3.9.3 Förhållandeinmatning	44
4. Diskussion.....	45
4.1 Optimering	45
4.1.1 Syfte	45
4.1.2 Resultat.....	45
4.1.3 Tolkning.....	45
4.2 Begränsningar och utmaningar.....	46
4.2.1 Förenklingar.....	46
4.2.2 Geometriska problem	46
4.2.3 Materialdata	46
4.3 Framtida möjligheter.....	47
4.3.1 Realistiska simuleringar	47
4.3.2 Praktiska tester och prestandapåverkan	48
4.3.3 Design och utvecklingsmöjligheter.....	48
4.4 Reflektioner och framtida potential	48
4.5 Materialanalys	49
5. Slutsats	51
5.1 Optimering	51
5.2 Materialanalys	52
Referenser	54
Bilagor	56

1. Inledning

1.2 Bakgrund

Innebandy är en teknisk och snabb sport där utrustningen är viktig för spelarnas prestation. En av de viktigaste delarna av utrustningen är innebandyklubban, på innebandyklubban sitter innebandybladet som är en avgörande komponent för skott, passningar och bollkontroll. Innebandy är en relativt ung sport där det med tiden har blivit mer och mer tydligt hur mycket innebandybladet påverkar en spelares förmåga att prestera men även något som fått sporten att utvecklas. Eftersom bladet är en såpass viktig del av utrustningen är det en attraktiv produkt vilket gör att intresset för utveckling och optimering av innebandyblad är stort, detta för att man skapar en god position på marknaden om man har det bästa bladet.

Renew Group ser innebandyblad som en av de viktigaste produktkategorierna eftersom det är en viktig komponent som lockar användare och bidrar till företagets ledande position på marknaden. Processen för att designa och producera innebandyblad är omfattande och kräver att produkten uppfyller en strikt kravspecifikation innan den når marknaden. För att bibehålla sin ledande position inom kategorin är det viktigt att kontinuerligt förbättra utvecklingsprocessen. Projektet syftar till att skapa bättre förutsättningar samt att optimera redan existerande produkter. Fokus ligger på att förbättra hållfasthet, minska sprickbenägenhet, optimera konstruktion, minimera vikt. Detta görs genom att optimera design och utforska materialval.

För att säkerställa att utvecklingen möter marknadens preferenser och behov genomförde Renew Group en marknadsundersökning riktad mot Unihoc-användare. Undersökningen fokuserade på att identifiera vilket blad, vilken plast och vilka egenskaper som konsumenterna använder och vad de värdesätter mest hos ett innebandyblad.

Tabell. 1 Marknadsundersökning genomförd av Renew Group AB

Fråga	Vanligaste svar
Nuvarande blad?	Unilite
Nuvarande material?	PP-TI
Saknas något bladmaterial?	Nej
Hur ofta byter du blad?	2-3 gånger per säsong
Perfekt vikt?	60-65 g
Vilken typ av Hook föredrar du?	Medium pre-hook
Viktigt egenskap hos bladet:	Antal svar (st)
Brand (Märke)	370
Weight (Vikt)	358
Size (Storlekt)	201
Pre-Hook (Före-krokning)	163
Stiffness (Styvhet)	288
Easy to Hook (Lätt att kroka)	176
Durability (Hållbarhet)	188
Price (Pris)	163
Color (Färg)	264
Material (Material)	341

Enligt resultaten ovan från undersökningen kan det tydligt utläsas att användaren värdesätter vilket märke bladet är, vikten av bladet, hårdheten och materialet som bladet tillverkas av. Dessa svar är i enlighet med arbetets syfte att optimera vissa egenskaper hos bladet.

Projektet består av tre huvudsakliga faser: förståelsefas, materialfas och kreativ fas. Genom dessa är målet att ge Renew Group konkreta insikter och verktyg för att förbättra framtida produktutveckling och bidra till optimering av nuvarande modeller. De nuvarande modellerna som arbetet grundas på kommer att vara Unilite och Evolite. Arbetet bygger på dessa två modeller då de är bland de populäraste bladen på marknaden från varumärket Unihoc. Skillnaderna mellan dessa två blad ligger i deras form, den tidigare har mindre material och är då mer lättvikt jämfört med den senare.

1.3 Marknadsanalys av plasttyper

Materialvalet för innebandyblad är en avgörande faktor vid utvecklingen, eftersom plastens egenskaper har en direkt korrelation till bladets egenskaper. Plastens egenskaper påverkar vikten hos bladet, bladets hållbarhet, bollkontroll och vikt. Inom den moderna innebandyn så används främst PP och PP-Ti/PP-H, medan PE (Polyeten) var den ursprungliga plasten och dominant fram till att de första PP-bladen kom ca 2010.

1.3.1 PP

Enligt Klubbhuset (u.å) har PP-plasten en mjukare känsla än dess föregångare PE men även lite mjukare än PP-Ti. PP har lägre densitet än PE vilket leder till ett lättare blad, men PP-plasten erbjuder inte samma skottstyrka. Materialet är känsligt för deformation och behåller sin form bättre än PE efter fabrikstillverkad hook. För att omforma PP krävs det att man tillsätter värme, när materialet sedan kyls ner behåller plasten den nya formen men kan gå sönder om det formas för mycket speciellt utan värme.

Materialets mekaniska egenskaper påverkar hur ett blad presterar. Nedan presenteras en jämförelse mellan PP förstärkt med glasfiber och PE-HD baserat på data från Ansys (2025):

Tabell. 2 Bakgrund information angående egenskaper av material baserat på information från Granta EduPack (Ansys, 2025).

Egenskap	PP 80% + Glasfiber 20%	PE-HD (HMW)
Densitet [kg/m ³]	1 010 - 1 080	947 - 955
E-module [GPa]	3.9 - 5.02	0.915 - 0.961

Sträckgräns [MPa]	45 - 68	19 - 27
Smältpunkt [°C]	169 - 178	125 - 135

1.3.2 Mixturer

Som tidigare nämnt är, i den moderna innebandyn, en väldigt vanlig plast PP-Ti eller PP-H som den kallas av vissa tillverkare. Dessa är en kombination av PP och PE enligt Klubbhuset. PP-Ti eller PP-H är en förstärkt variant av PP som erbjuder lite styvare blad, med ökad skottstyrka och mer hållbarhet. Detta samtidigt som man får lite av den försämrade bollkontrollen från PE-plasten, det är en plast som ska ha det bästa från båda världar.

1.3.3 Unihoc (Renew Group)

Enligt Innebandy24 (u.å) använder Unihoc olika plasttyper för sina blad:

Regular PE: Standard fram till 2010, känd för sin goda förmåga att kunna formas utan värme och sin hårdhet som bidrar till ökad skottstyrka.

PP: En plast med lägre densitet vilket minskar vikten men även en mjukare känsla än PE, kan ha negativ inverkan på skottstyrkan.

PP-Ti: Förstärkt variant av PP, behåller den lätta vikten och mjuka känslan från PP medan man får ett styvare blad med bättre hållfasthet som liknar PE.

Marknadsanalysen visar att plasttyper har stor betydelse för bladens prestanda.

Eftersom projektet berör känslig företagsdata, materialegenskaper och produktions detaljer t.ex. Så kommer all information att hanteras i enlighet med Renew Groups sekretesskrav.

1.4 Syfte och Frågeställning

Detta projekt syftar till att förbättra och optimera innebandyblad genom att utföra en vetenskaplig utredning inom den redan befintliga produktmarknaden. Den vetenskapliga utredningen fokuserar på hållfasthet, materialoptimering och vikt, samt mindre designkorrigeringar. Trots en stark historisk utveckling inom produkten krävs alltid något nytt och innovativt för att vinna i den konkurrentfyllda industrin. Projektet förväntas

leverera ett hållbart, innovativt, och optimerat alternativ inom material samt fysisk struktur utifrån en befintlig produkt, i syfte att Renew Group ska kunna förbättra sina produkter och behålla sin position som marknadsledare.

Den nuvarande bladdesignen bedöms av företaget som underoptimerad i vikt, vilket kan bero på både geometrisk utformning och materialval. Eftersom marknaden är starkt konkurrensutsatt, krävs kontinuerliga förbättringar av konstruktionen för att behålla och stärka företagetsposition. Detta arbete syftar därför till att identifiera förbättringsområden i bladets konstruktion och material, samt genom simuleringar och tester optimera dess strukturella egenskaper med särskilt fokus på viktreduktion.

För att uppnå syftet med att förbättra och optimera innebandyblad har följande frågeställningar identifierats:

1. Prestanda och funktionalitet
 - a. Hur påverkar strukturella förändringar i designen dess hållfasthetsegenskaper?
 - b. Vilka ändringar i strukturen kan leda till minskad vikt utan ökad deformation?
2. Material
 - a. Vilka alternativa material finns inom liknande materialegenskaper?
 - b. Hur påverkar olika materialegenskaper prestandan i en teoretisk komposit?
 - c. Vilka materialkombinationer kan förbättra hållfasthet och minska vikten?

1.5 Avgränsningar

Projektet kommer inte att omfatta stora förändringar i bladets design som syftar till att förbättra precision, skottstyrka eller spelbarhet. Projektet utgår från få befintliga modeller och fokuserar på material relaterade och strukturella optimeringar där mindre justeringar i design kan tillkomma för att minska vikt eller öka hållfastheten.

Fokus kommer att ligga på de två populäraste modellerna av blad från varumärket Unihoc, Evolite och Unilite. Materialen som kommer studeras är plasttyperna PP och PP-Ti som är storsäljare hos företaget, detta lämnar utrymme för en materialanalys vars kan ge nya materialval.

Det möjliggör en analys av materialen som syftar till att identifiera potentiella nya materialval eller materialkombinationer.

Detaljerad analys av tillverkningsprocesser ingår inte i projektet. Miljö- och ekonomiskt relaterade förbättringar ligger inte i projektets fokus, men eftersom projektet syftar till att minska materialanvändning kan det indirekt bidra till minskad miljöpåverkan. Modellerna är framtagna utan hänsyn till framförandet eller regelverk angående struktur som finns.

2. Metod

För att besvara studiens frågeställningar tillämpades en kombination av numeriska simuleringar, fysiska tester och material analys. Arbetet delades in i tre huvudfaser: Förståelse, optimering och materialutvärdering. FEM-simuleringar genomfördes i ANSYS för att analysera deformation och spänning vid belastning, samt genomfördes fysiska tester på existerande blad i Renew groups testlabb för att verifiera simuleringens data. Därefter genomfördes en teoretisk materialframtagning med hjälp av Python-baserade beräkningar enligt blandningsregler.

2.1 Simuleringar

För att analysera innebandybladens mekaniska beteende användes finita element-metoden (FEM) i programvaran ANSYS. 3D-modellerna av bladen tillhandahölls av Renew group, men behövde anpassas för att möjliggöra effektiv meshing och simulering. Detta inkluderade borttagning av komplex geometri och icke-relevanta detaljer för att minska beräkningskostnaden.

Materialdata erhöles från företaget och implementerades i ANSYS Engineering Data (Se bilaga 1). Totalt genomfördes åtta simuleringar, två bladmodeller (Unilite och Evolite) analyserades i två materialvarianter (PP och PP-ti) under två belastningsfall, torsion och böjning.

Given materialdata:			Teknisk data:	
Properties		Test Methods		A
Physical				
Density		ISO 1183	1	Property
Melt Flow Rate	230°C/2.16kg	ISO 1133	2	Material Field Variables
Mechanical				
Flexural Modulus ⁽¹⁾	@ 23°C	ISO 178	3	Density
Calculated E-Modulus ⁽²⁾				
Tensile Test (23°C, 50 mm/min) ⁽³⁾			4	Isotropic Elasticity
Tensile Stress	@Yield	ISO 527-1,-2		
Tensile Strain	@Yield	ISO 527-1,-2	10	S-N Curve
Charpy Impact Strength, Notched ⁽³⁾	@ 23°C	ISO 179/1eA	14	Tensile Yield Strength
	@ 0°C	ISO 179/1eA		
	@ -20°C	ISO 179/1eA	15	Tensile Ultimate Strength

Figur 1: Materialparametrar och egenskaper

Belastningsfallen syftade till att efterlikna realistiska krafter som uppstår vid skott, där torsion uppstår i bladets framdel och böjning i dess längdriktning. Simuleringarna

användes för att skapa en referens, basdata, mot vilken optimerade geometrier kunde jämföras.

Under optimeringsförsöken upptäcktes att standardrandvillkor i topologisk optimering resulterade i orealistisk borttagning av material. För att motverka detta introducerades kompletterande krafter i bladets tå för att simulera belastning även där programvaran annars föreslog materialborttagning. Denna justering förbättrade modellens relevans men visade sig inte tillräcklig, varför vidare optimering baserades på manuell geometrijustering i kombination med simuleringsresultat.

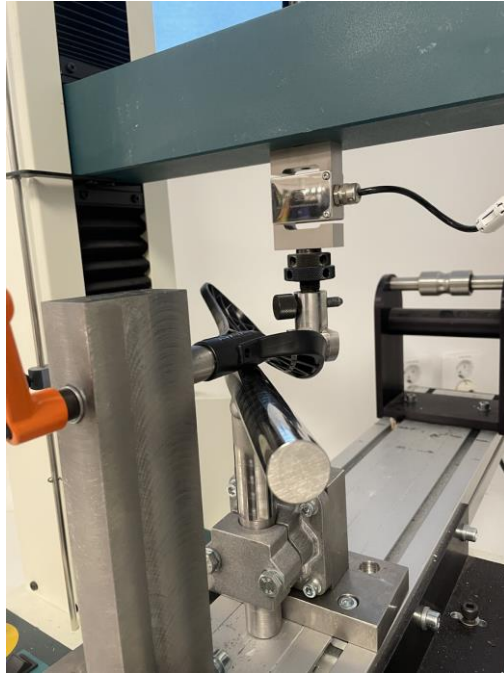
2.2 Fysiska tester

För att validera de tidigare utförda simulationerna utfördes fysiska tester med hjälp av en mekanisk press, detta gjordes för att kunna säkerställa en kontrollerad miljö där bladen kunde testas flera gånger med samma förutsättningar. Testerna utfördes i Renew Groups testlab. Ett annat alternativ till detta hade varit att försöka mäta deformationerna under ett skott men det hade bidragit till en stor felmarginal då det är svårt att få exakt samma utförande upprepande gånger.

Det utfördes två olika tester: Ett för att mäta hur mycket bladet deformeras när det utsätts för ett vridmoment och sedan ett för att mäta böjningen av ett blad. Randvillkoren på testerna var uppsatta för att efterlikna randvillkoren i ANSYS. Testerna genomfördes på samma sätt som i programvaran, på två olika bladmodeller med två olika plasttyper. Vid testet för vridmoment applicerades 150N nedåt på underdelen på bladet medan ett stöd låg under övre delen av ramen på bladet, samtidigt som det satt fast inspänt i skaftinfästningen.

Vid testet för böjning så lades stödet i stället precis efter infästningen på skaftet och en kraft på 100N applicerades ute i toppen på bladet.

Nedan är en figur som visar hur ett deformationstest av Unilite bladet gick till. Där ca 150N pressas ner på bladet med hjälp av en mekanisk tryckpress som egentligen är designad för att testa flexen av innebandyskaft. Sedan har ett stöd lagts till vänster i bild för att skapa en reaktionskraft i den vänstra delen av bladet, detta resulterar i en torsional deformation och gav en god confirmation över de datosimulerade testerna.



Figur. 2-Fysiskt test av Unilite

Det mest givande från de fysiska testerna var att det skapade en förståelse över att den applicerade kraften är väldigt stor i jämförelse med vad man utsätter bladet för under spelet.

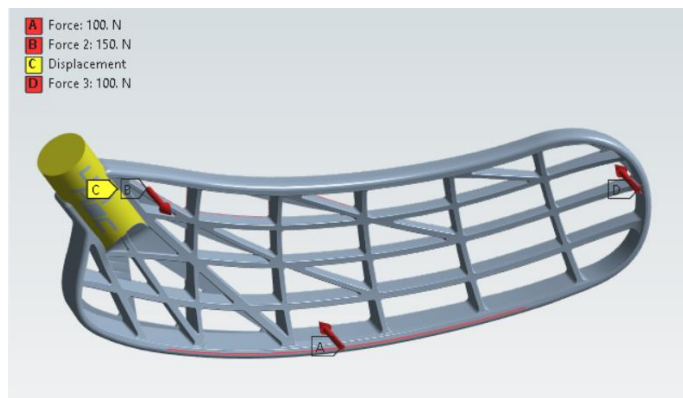
Detta ger oss en bekväm säkerhetsfaktor för de skapade geometrierna.

2.3 Optimering

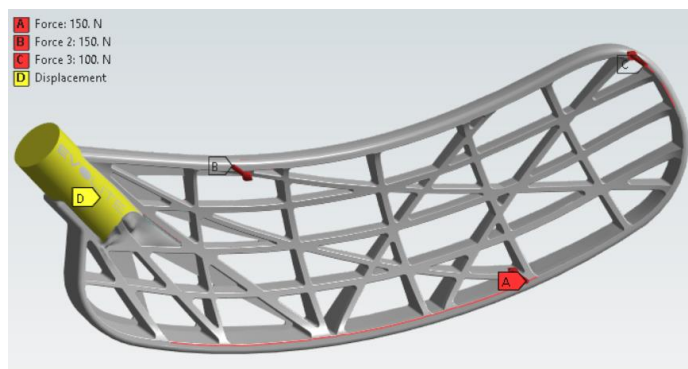
De använda randvillkoren i framförallt simuleringen av torsionell deformation baserades på data från en annan master uppsats av [Jonny Karlsson, (2011)], i detta arbete användes liknande lastfall för att analysera innebandyklubbor där man kom fram till att klubban utsätts för 700N i skottögonblicket. Dessa 700N verkar orimliga i simuleringarna då orimligt stora deformationer är resultatet, lasten som appliceras på bladet sänktes därför till totalt 300N för de grundläggande simuleringarna.

Med de givna modellerna samt den insamlade datan användes sedan ANSYS för att göra Structural Optimizations av de två olika modellerna och materialen för att undersöka vart man kunde spara material. För denna simulering krävdes förändringar i randvillkoren för att lura programmet. Programmet anser att det inte krävs material där det den i verkligheten vet att det behövs material. För optimeringen läggs en kraft till i toppen för att påfresta materialet i toppen och lura simuleringen att det krävs material där.

Uppdaterade randvillkor:



Figur. 3 Randvillkor Unilite



Figur. 4 Randvillkor Evolite

Genom att lura structural optimization med de nya randvillkoren kunde man få ett bättre resultat, detta ansågs inte tillräckligt bra utan försvann fortfarande för mycket material. Man bestämde sig i stället för att använda resultatet från optimization, deformation och stress simuleringarna som grund för manuella optimeringar av geometrin. Då kunde man ta bort material där man i programvaran såg att det inte behövdes.

När geometrierna var optimerade och testade i programmet kunde man även testa fysiska prototyper, prototypstillverkningen var en simpel process då den strukturella integriteten av bladen behålls men man tog bort rillor där man i programmet kunde se att bladet inte var påfrestat. I programvaran var det svårt att tolka hur mycket vikt man kunde spara men genom att jämföra de verkliga prototyperna mot originalmodellerna kunde man räkna ut hur mycket vikt man sparade.

På grund av hur CAD-modellerna var uppbyggda var det svårt att få till snygga avslut där materialet togs bort. Där man tog bort faces användes sedan SpaceClaims verktyg för att reparera gaps och missing faces vilket ledde till ojämna och oregelbundna geometridelar. Spaceclaim är en del av programvaran ANSYS som erbjuder 3D-modellering för geometrieditering.

Dessa delar ledde till att programmet hade svårt att beräkna den nya vikten men fungerar väl i simulationen vilket var huvudsyftet. Det finns ytterligare material som skulle kunna uteslutas men för att försöka behålla den strukturella geometrin samt en tillverkningsbar geometri har en del behållits, även vissa delar av bladen fick behållas för att programmet inte kunna ersätta dem på ett godkänt sätt.

Modellerna är framtagna utan hänsyn till det estetiska framförandet eller de regelverk angående struktur som finns.

Efter framtagningen av geometrierna återställdes randvillkoren till två krafter, detta gjordes för att kunna jämföra de nya geometrierna med de givna modellerna från Renew Group.

2.4 Materialfas

Materialfasen fokuserade på att utvärdera och identifiera alternativa materialkombinationer som potentiellt kunde förbättra bladets prestanda. Med utgångspunkt i företagets befintliga material (PP och PP-Ti) genomfördes en teoretisk analys där nya kompositmaterial föreslogs.

Materialdata insamlades från Granta EduPack samt vetenskapliga publikationer. Fokus låg på egenskaper som påverkar spelbarhet och hållfasthet; densitet, E-modul, draghållfasthet, samt slagseghet vid rumstemperatur och låg temperatur.

Utifrån denna data användes ett Python-baserat skript för att simulera egenskaper hos olika materialkombinationer. Blandningsregler applicerades med hänsyn till materialandelar för att beräkna kompositens teoretiska mekaniska egenskaper. Den parallella modellen valdes för E-modul eftersom den antogs bäst representera materialet i praktiken.

Fem komponentmaterial valdes ut, PP, glassfiber, SEBS, PP-g-MA, samt HGM (hollow glass microspheres). Genom justering av förhållandena kunde ett kompositmaterial identifieras som mötte alla definierade målvärden för den önskade mekaniska prestandan.

Det Python-baserade skriptet agerade som ett matematiskt verktyg, då den kunde beräkna resulterade egenskaper baserat på användarinput (Se bilaga 1).

Enligt följande formler där:

i = Vardera material kan den kombinerade egenskapsvärdet beräknas

f_i = Andel av en komponent i , i volymfraktion

X_i = Egenskapen hos komponenten i

Densitet (ρ) (1)

ρ_{ny} = Den resulterande densiteten hos kompositmaterialet

ρ_i = Densiteten hos komponent i

$$\rho_{ny} = \sum \rho_i \times f_i$$

Elasticitetsmodul

E_{ny} = Den resulterande E-modulen hos blandningen

E_i = E-modul för komponent i

Parallellmodell: (2)

$$E_{ny} = \sum E_i \times f_i$$

Seriemodell: (3)

$$\frac{1}{E_{ny}} = \sum \frac{f_i}{E_i}$$

Draghållfasthet (σ_t) (4)

σ_{ny} = Resulterande draghållfasthet

σ_i = Draghållfasthet för komponenten i

$$\sigma_{ny} = \sum \sigma_i \times f_i$$

Slagseghet vid 23°C (C_{23}) (5)

$C_{23,ny}$ = Resulterande draghållfasthet

$C_{23,i}$ = Draghållfasthet för komponenten i

$$C_{23,ny} = \sum C_{23,i} \times f_i$$

Slagseghet vid -30°C (C_{-30})

(6)

$C_{-30,ny}$ = Resultande draghållfasthet

$C_{-30,i}$ = Draghållfasthet för komponenten i

$$C_{-30,ny} = \sum C_{-30,i} \times f_i$$

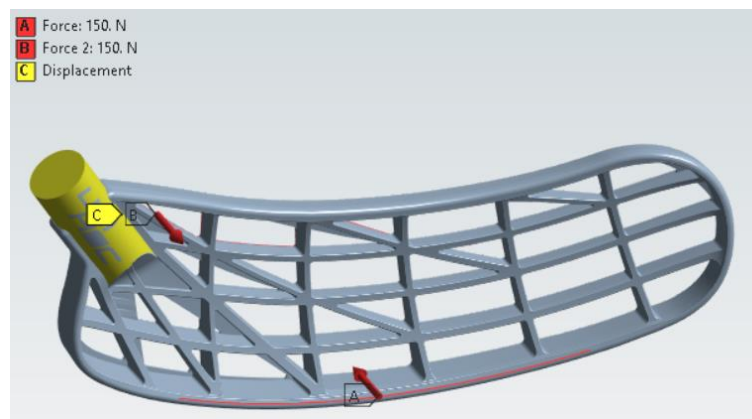
Endast ekvation 1, 2, 4, 5 och 6 användes då dessa var de mest lämpliga i sammanhanget.

Ekvation 3 gav en orealistisk slutprodukt i innebandyblad sammanhanget då den ekvationen endast är lämplig när olika material läggs till i olika lager, och inte i en helhetsblandning.

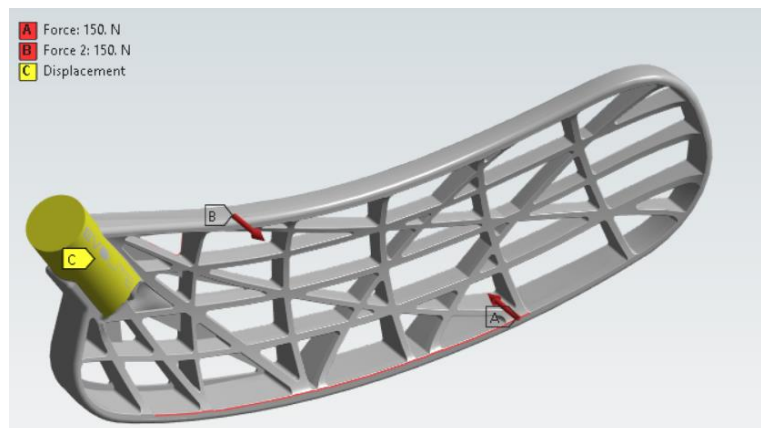
3.Resultat

3.1 Randvillkor

Innan simuleringarna kunde genomföras behövde relevanta randvillkor definieras- Både Unilte och Evolite utsattes för en total kraft på 300N fördelat på två ställen. 150N i den övre delen av bladet samt 150N i nedre delen. Valet av randvillkor är gjorda för att efterlikna de krafter som bladen utsätts för under ett skott, där påverkas bladet av tryck från skaftet och kraftreaktioner från golvet vilket skapar ett vridande moment som eftersöks.



Figur. 6-Randvillkor Unilite



Figur. 7-Randvillkor Evolite

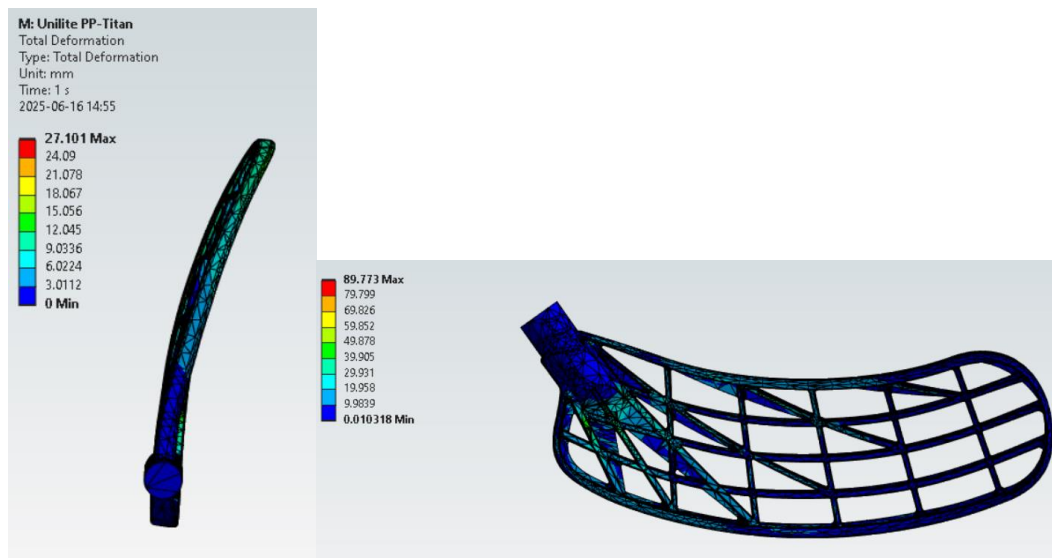
3.2 Basdata

3.2.1 Unilite

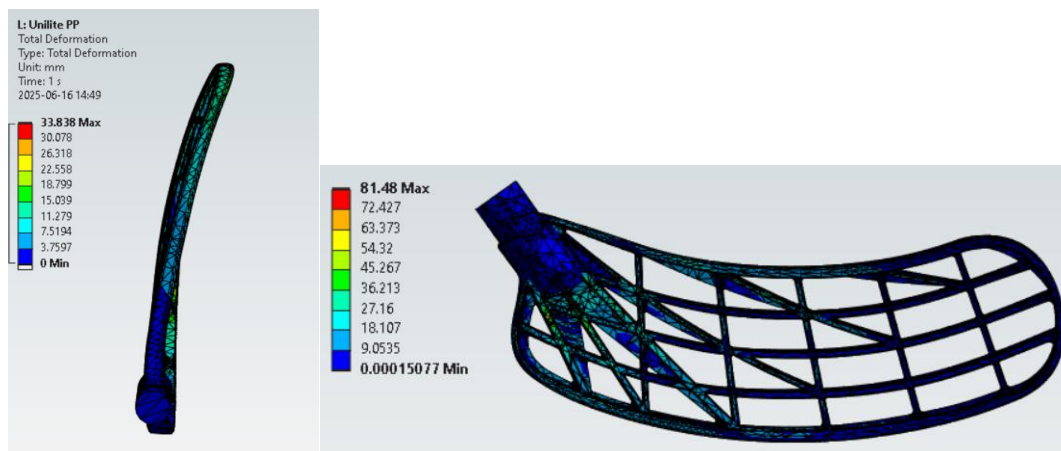
Simuleringarna av Unilite modellen visar en tydlig skillnad mellan materialen:

- PP-Ti: Deformation: 27,10 mm, Stress 89.77 MPa
- PP: Deformation 33,84 mm, Stress 81.48 MPa

Enligt förväntningar ger bladet med PP-plast en större deformation, att PP-plasten uppmäter en högre stress motsätter sig det som tros och vad som skall ske i verkligheten då den borde vara lite lägre än PP-Ti. Eftersom krafterna är väldigt höga här för materialet så bortses det från en del osäkerheter i den uppmätta stressen och fokuserar på deformationen. Den uppmätta stressen kan även bero på geometrisk oregelbundhet.



Figur. 8- Deformation samt Equivalent stress Unilite PP-Ti



Figur. 9 Deformation samt Equivalent stress Unilite PP

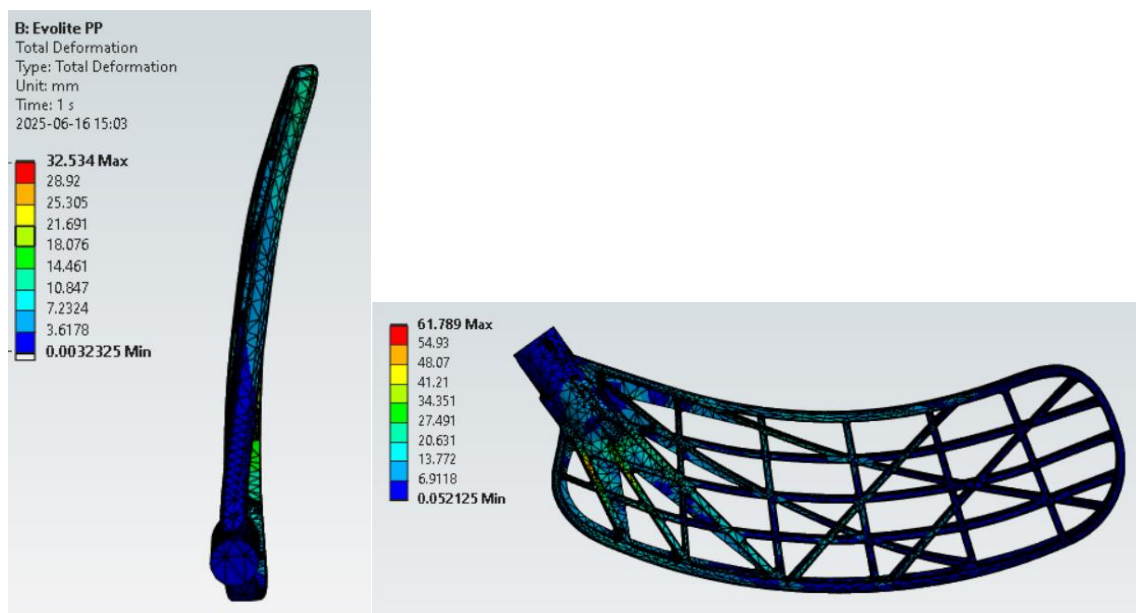
De uppmätta värdena stämmer överens med materialdata då PP har en lägre E-modul och borde därmed visa en större deformation. Detta tyder på att simuleringarna beter sig enligt förväntningarna och speglar materialen på ett korrekt sätt.

3.2.2 Evolite

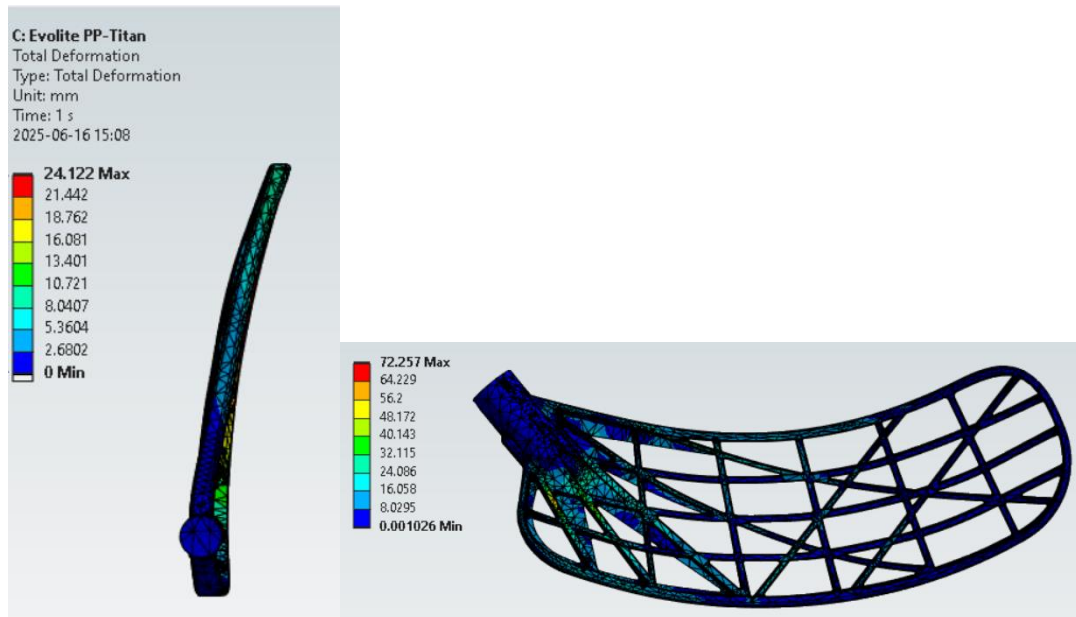
Motvarande simuleringar gjordes på Evolite

- PP: Deformation på 32.5 mm, Stress 61.789 MPa.
- PP-Ti: Deformation 25.7 mm, Stress 61.855 MPa.

Även för Evolite visar PP-plasten en högre deformation men en lägre stress, detta är i linje med våra förväntningar och plastens deformationsbeteende följer trenden från Unilite modellen. Den lilla skillnaden i stress kan som tidigare bero på geometriska ojämnheter men det vill se en lägre stress för den mjukare plasten. Att den uppmätta stressen blir något lägre kan tolkas som att bladet ger vika och är lite mjukare vilket PP-plasten ska vara.



Figur. 10 Deformation samt Equivalent stress Evolite PP



Figur. 11 Deformation samt Equivalent stress Evolite PP-Ti

Även här stämmer resultatet med den inmatade materialdatan, vilket bekräftar att simuleringarna är representativa för bladens mekaniska egenskaper och beteenden. För vidare utveckling kommer randvillkoren förändras för att få bättre resultat. Förändringarna som gjordes i randvillkoren var som tidigare nämnt en adderad kraft i toppen av bladet för att säkerställa att Structural Optimization inte tar bort material i delar av bladet där den anses nödvändig.

3.3 Structural Optimization

Topologisk optimering I ANSYS ledde till en början till väldigt stora materialborttagningar. Även med de modifierade randvillkoren togs alldeles för mycket material bort för att kunna skapa hållbara geometrier.

Simuleringen ansåg att man kunde ta bort material från områden där belastning i praktiken förekommer, därför användes dessa modeller som riktlinjer snarare än en grund för de slutgiltiga geometrierna, manuell optimering tillämpades för att kunna balansera materialborttagningen.

Evolite:



Figur. 12- Topology optimizing Evolite

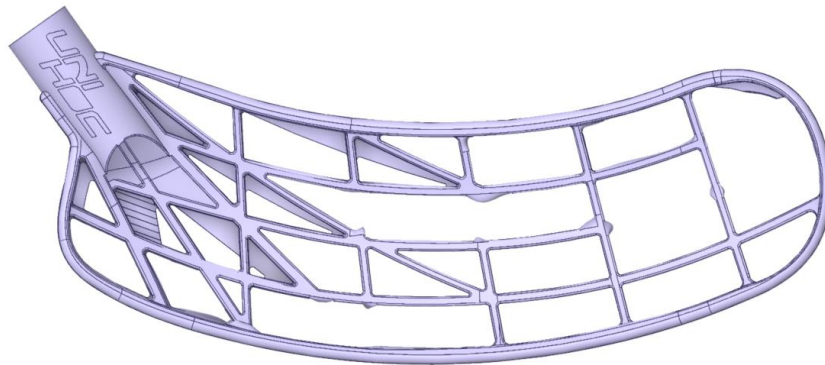
Unilite:



Figur. 13-Topology optimizing Unilite

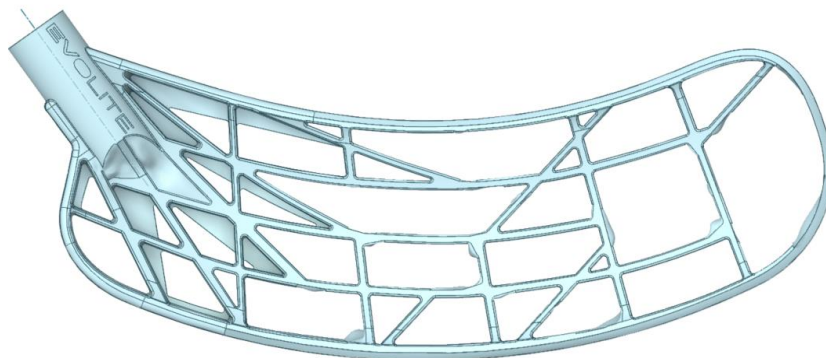
Följande geometrier skapades med hjälp av Figur 11–12 tillsammans med de tidigare simuleringarna för bladen Figur 7-10.

Unilite optimerad



Figur. 14-Optimerad geometri Unilite

Evolite optimerad

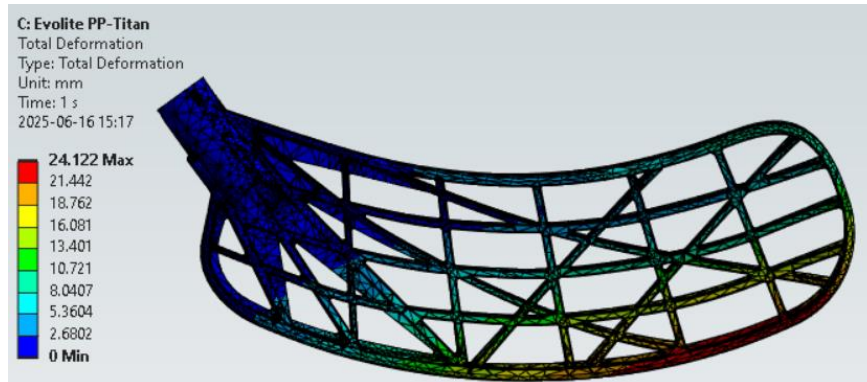


Figur. 15-Optimerad geometri Evolite

I figur 14 och 15 syns den optimerade geometrin av bladen. Genom simuleringar samt manuella optimeringar som modellen kunde skapas. Genom att jämföra simuleringar kunde områden med material som inte används av strukturen identifieras och tas bort för att minska vikten. Efter geometrierna skapades gjordes simuleringar för att jämföra dess prestanda mot originalmodellerna och se om det är användbara i teroin.

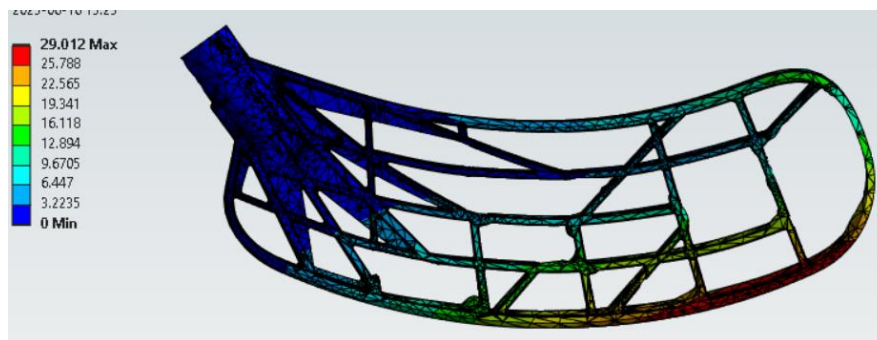
3.4 Evolite Resultat [PP-Ti]

Original:

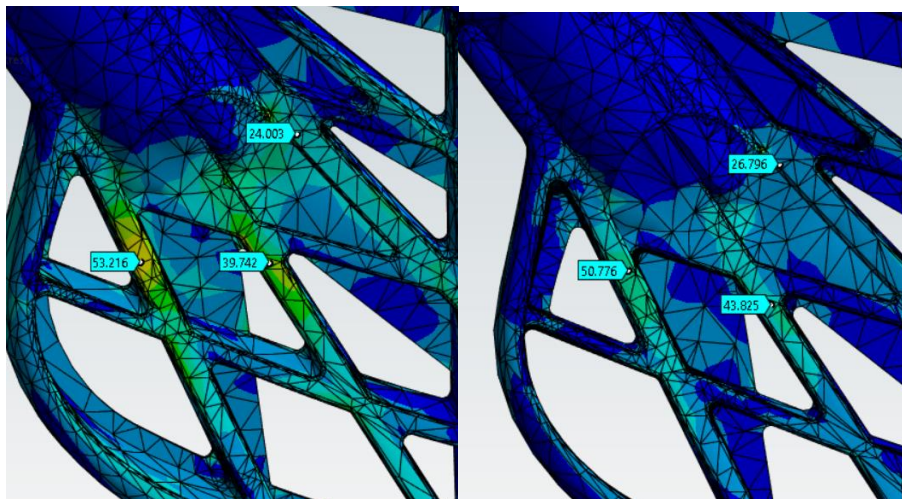


Figur. 16 Evolite Originalmodell PP-Ti

Optimerad:



Figur. 17 Evolite Optimerad PP-Ti



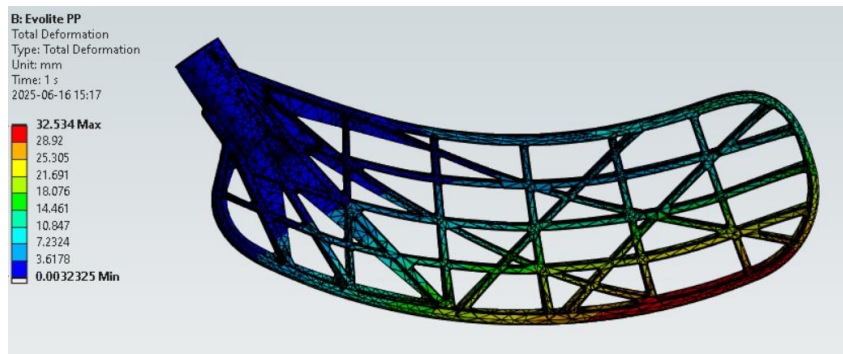
Figur. 18 Evolite Originalmodell PP-Ti Vänster Evolite Optimerad PP-Ti Höger

- Deformationen ökade från 25.7 till 29.01 mm
- Uppmätt genomsnittlig stress sjönk från 61.85 till 41.19 MPa

Den ökade deformationen är fortfarande inom vad som anses acceptabelt, den uppmätta stressen minskar markant. Minskad upptagen stress tyder på att bladet ger efter lite vilket går i linje med den ökade deformationen och anses fortfarande acceptabelt vid spel.

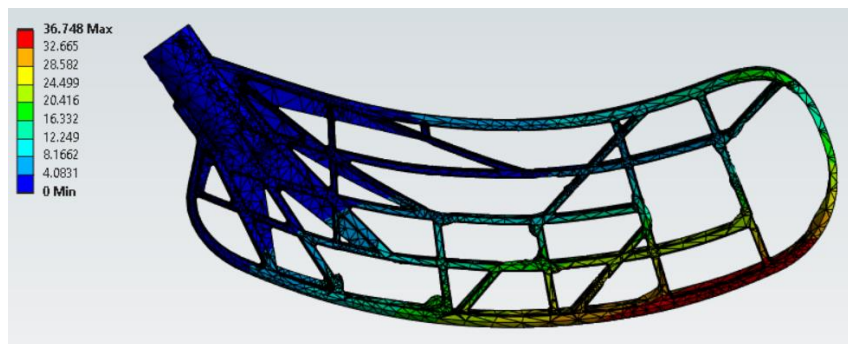
3.5 Evolite Resultat [PP]

Original:

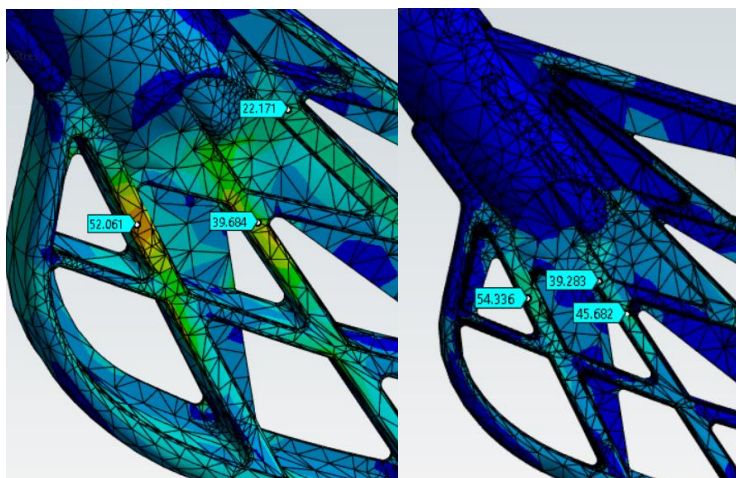


Figur. 19- Original Evolite PP

Optimerad:



Figur. 20- Optimerad Evolite PP



Figur. 21- Original Evolite Vänster Optimerad Evolite Höger

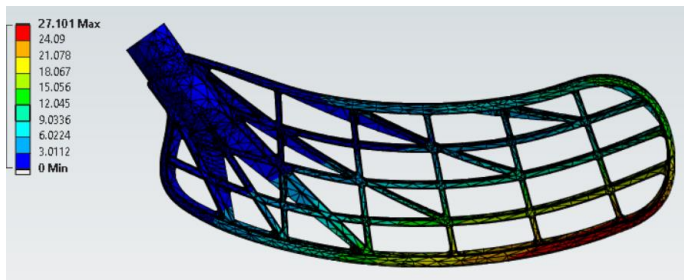
- Deformationen ökade från 32.5 till 36.75mm

- Uppmätt genomsnittlig stress sjönk från 61.789 till 44.59 MPa

Den ökade deformationen jämfört med originalet är väntad eftersom material tas bort och anses vara acceptabel. Den minskade stressnivån anses lite oroande då det är en stor reducering, eftersom det är stora krafter kan det vara naturligt att det ger efter mycket men det är svårt att veta.

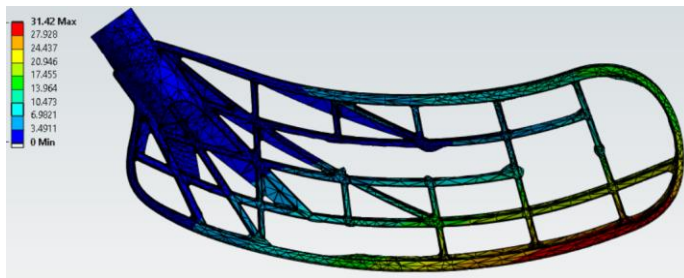
3.6 Unilite Resultat [PP-Ti]

Original

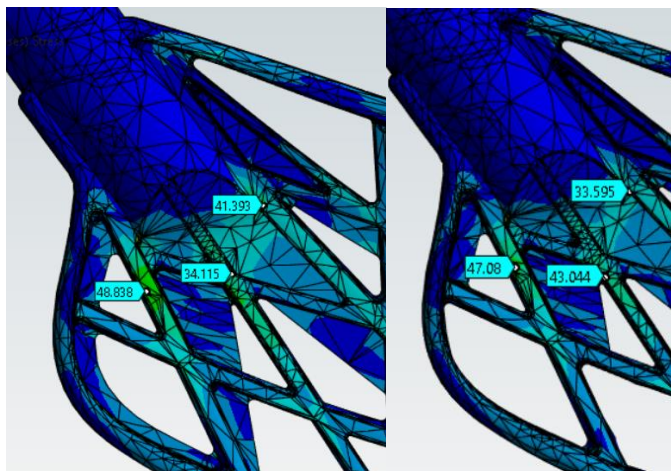


Figur. 22 Unilite

Optimerad



Figur. 23 Unilite Optimerad



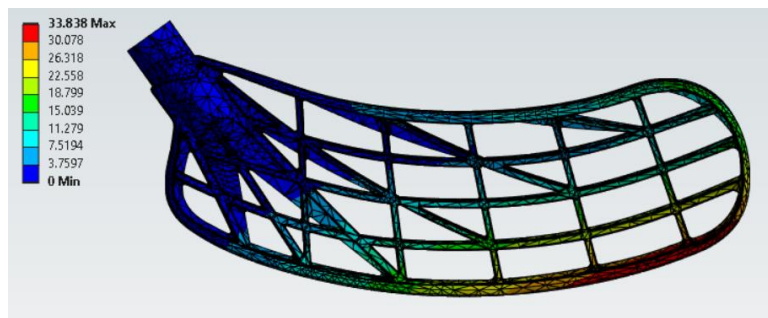
Figur. 24 Original modell Unilite V Optimerad geometri Unilite H

- Deformation ökade från 27.1 till 31.42 mm
- Uppmätt genomsnittlig stress sjönk från 80.5MPa till 43.53 MPa

Den ökade deformationen är på gränsen till vad som anses vara okej, 5 mm är inte en extrem ökning men tillsammans med den väldigt stora reduceringen i stress tänjer bladet på vad som är acceptabelt vid spel. Det anses okej på grund av de höga krafterna som är applicerade och bladet kommer prestera bättre vid praktiskt användande.

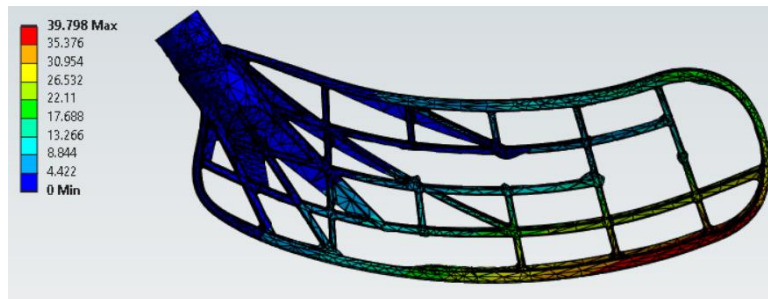
3.7 Unilite Resultat [PP]

Original

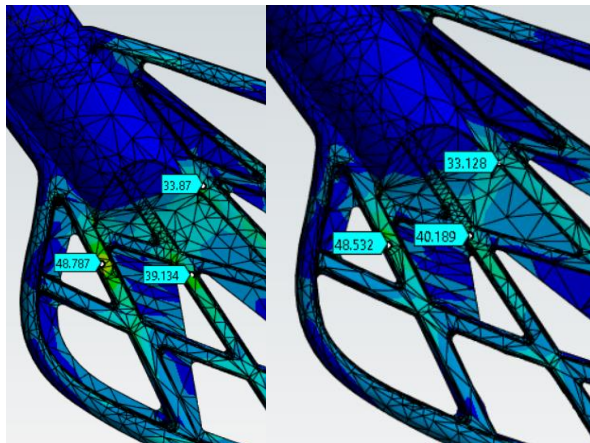


Figur. 25- Original modell Unilite

Optimerad



Figur. 26- Optimerad geometri Unilite



Figur. 27-Original modell Unilite V Optimerad geometri Unilite H

- Deformation ökade från 33.8 till 39.8 mm
- Uppmätt genomsnittlig stress sjönk från 81.48 till 41.342 MPa

Den stora ökningen i deformation visar att här börjar man närma sig gränsen för viktminskning, när material tas bort i en modell med mjukare plast (PP) fås en större påverkan vilket var väntat. Stressvärdet visar att bladet är mjukare och ger efter mer än innan men anses fortfarande kunna motstå belastningar vid fysiskt spel på grund av de stora krafterna applicerade i simuleringarna.

3.8 Resultat nytt material

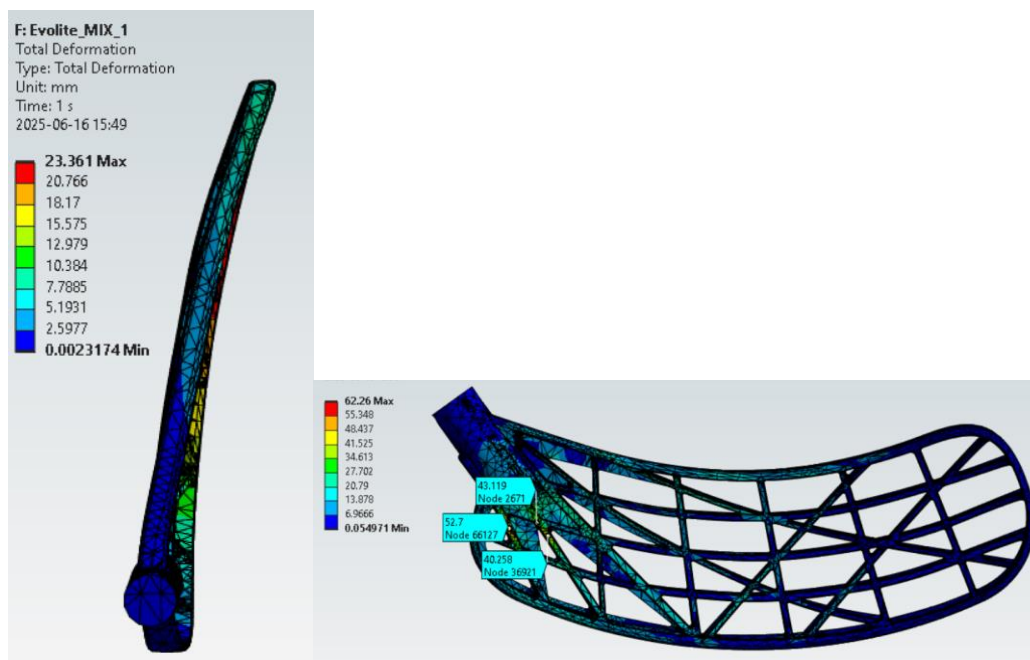
3.8.1 Evolite

- PP: Deformation på 32.5 mm, Stress 61.789 MPa.
- PP-Ti: Deformation 25.7 mm, Stress 61.855 MPa.

Resultatet för Evolite med det fiktiva materialet visar en minskning i deformation och en stressnivå som sjunker.

Det nya materialet visar förbättrad styvhet, den reducerade deformationen är positiv. Att den uppmätta stressen är lägre är svårtolkat, eftersom materialdatan inte är fysiskt validerad. Men eftersom deformationen är lägre tyder det på att materialet är styvare.

- Deformation: 23.36 mm
- Stress: 40.72 MPa



Figur. 28- Deformation och Equivalent stress Evolite

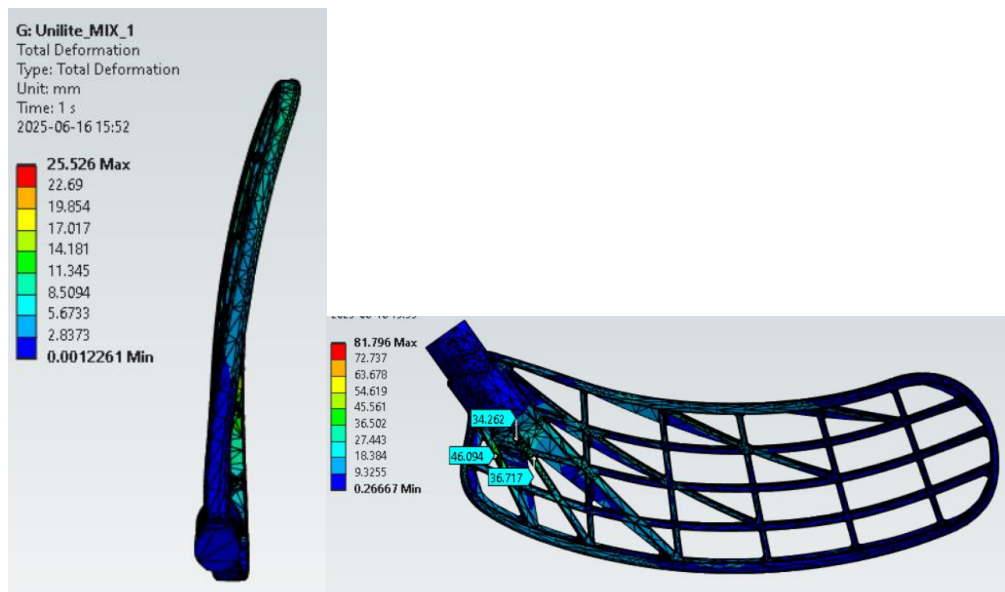
3.8.2 Unilite

För Unilite tyder resultaten också på att det fiktiva materialet ger förbättrade spelegenskaper. Den lilla förändringen i deformation kan vara geometrirelaterat och peka på att det inte får lika mycket effekt som för Evolite. Men med tanke på den halveerade stressen borde materialet leda till att bladet blir styvare och inte upplever lika hög stress, detta kan leda till hållbarare blad

- PP-Ti: Deformation: 26.12 mm, Stress 80.5MPa
- PP: Deformation 33.84mm, Stress 81.48 MPa

Skillnaden i stress kan även bero på att ”probsen” som är utsatta manuellt för att beräkna den genomsnittliga stressen i området inte hamnat exakt rätt.

- Ny Deformation: 25.53 mm (-1.57 mm)
- Uppmätt genomsnittlig stress: 40.72 MPa



Figur. 29- Deformation och Equivalent stress Unilite

3.9 Teoretisk Materialframtagning

I syfte att identifiera nya materialkombinationer som kan förbättra innebandybladens prestanda genomfördes en teoretisk materialframtagning. Målet var att beräkna egenskaper hos olika kompositer baserade på befintliga och alternativa materialkomponenter, med fokus på att uppnå låg vikt och en god mekanisk hållfasthet.

Metoden bygger på blandningsregler där egenskaper hos respektive delmaterial viktas beroende på inmatat förhållande. Resultaten beräknades med hjälp av ett Python-skript och jämfördes mot uppsatta målvärden för de egenskaper som anses mest kritiska för bladets funktionalitet.

3.9.1 Mål för materialegenskaper

För att utvärdera om en viss materialkombination är lämplig sattes mål för de fem centrala materialegenskaper, baserat på egenskaperna hos befintliga materialen (PP och PP-Ti), samt önskade förbättringar:

Tabell. 3 Målvärden för nytt material

Egenskap	Mål	Enhet
Densitet (ρ)	<900	kg/m ³
E-modul (E)	=2.1	GPa
Draghållfasthet (σ_t)	>30	MPa
Slagseghet, 23°C (C)	≈30	kJ/m ²
Slagseghet, -30°C (C)	≈5	kJ/m ²

Dessa mål är baserade på de egenskaper som är avgörande för ett innebandyblads funktion. Alltså låg vikt, hög styvhet, och god förmåga att motstå både statiska och dynamiska belastningar vid olika temperaturer.

Det är fem materialegenskaper som utgås ifrån, och de påverkar bladet på olika sätt:

- Densitet: Densitet är en viktig faktor i samband med att det kan avgöra vikten i bladet. I samband med att innebandy är en hektisk sport där det är konstant rörelse

bör bladet vara hyfsat lätt, därför bör man sträva efter en lägre densitet. Alltså, bladet ska kunna vara lätthanterbart och ha en bra skottprecision hellre än att vara tung och vilket gör den svårmanövrad och påverkar spelandet negativt.

- E-modul: Ett innebandyblad bör vara styvt för att ge bra energiöverföring vid främst skott, men också passningar. Om materialet är för mjukt kan bladet böjas för mycket vilket leder till sämre precision och sämre energiöverföring.
- Draghållfasthet: Draghållfastheten bestämmer hur mycket dragspänning materialet kan tåla innan det går sönder, ett blad utsätts för höga belastningar, främst vid hårda skott. Om materialet har för låg draghållfasthet, kan bladet spricka lätt eller deformeras snabbare.
- Slagseghet vid 23-, resp. -30°C: Slagseghet vid olika temperaturer mäter materialets förmåga att absorbera energi vid slagpåverkan, alltså innebandybladet utsätts ofta för hårda slag mot bollen eller omgivningen, och om det har en låg slagseghet riskerar man att spricka eller skada bladet vid hög belastning.

3.9.2 Grundmaterial Data

För att bestämma grundmaterialens egenskaper och beräkna deras snittliga egenskapsvärden krävs ordentliga utdragningar.

1. PP; PP (Homopolymer, flame retarded HB)
 - a. PP är en termoplast som är lätt att smälta ner, och återvinna för nya produkter ett obegränsat antal gånger (Special-Plast AB, 2025). Polypropen används i allt från leksaker och förpackningar, till kontorsmaterial och inom teknisk industri.
 Detta materialet är vanligt inom innebandyblad (Klubbhuset, u.å.).

Tabell. 4 Materialdata för PP

Egenskap	Min	Max	Snitt	Enhet
Densitet (ρ)	898	911	~905	kg/m ³
E-modul (E)	1.3	1.6	~1.5	GPa
Draghållfasthet (σ_t)	34	36	35	MPa

Slagseghet, 23°C (C)	2.5	3.5	3	kJ/m ²
Slagseghet, - 30°C (C)	1.8	2.2	2	kJ/m ²

2. Glasfiber; Glass ceramic (N11)

- a. Glasfiber är ett material gjort från små fibrer av glass vars är ihop **knytna** vilket kan användas för att göra plast starkare (Sveriges dataportal, u.å.)

Tabell. 5 Materialdata Glasfiber

Egenskap	Min	Max	Snitt	Enhet
Densitet (ρ)	2200	2800	2500	kg/m ³
E-modul (E)	76	80	78	GPa
Draghållfasthet (σ_t)	117	128	122.5	MPa
Slagseghet, 23°C (C)	-	25	25	kJ/m ²
Slagseghet, -30°C (C)	-	10	10	kJ/m ²

3. SEBS; SEBS (Shore A50)

- a. SEBS innebär "Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene" vilket är en termoplastisk elastomer vilket innebär att den beter sig som gummi men kan behandlas som en plast. Den har höga slagsegheten, men en låg e-modul (Ansys, 2025).

Tabell. 6 Materialdata SEBS

Egenskap	Min	Max	Snitt	Enhet
----------	-----	-----	-------	-------

Densitet (ρ)	876	940	~900	kg/m ³
E-modul (E)	0.00117	0.001183	~0.001	GPa
Draghållfasthet (σ_i)	4.6	5.7	~5	MPa
Slagseghet, 23°C (C)	590	600	595	kJ/m ²
Slagseghet, -30°C (C)	590	600	595	kJ/m ²

4. PP-g-MA; (g-MA-PP)

- a. PP-g-MA är en PP blandning med maleninsyraanhydrid vilket är en reaktiv molekyl vars reagerar bra tillsammans med fibrer, metaller och glas. Denna komposit tillåter för lättare bindning mellan andra material och PP, vilket inte är ett sådant bra bindande material (Ansys, 2025).

Tabell. 7 Materialdata PP-g-MA

Egenskap	Min	Max	Snitt	Enhet
Densitet (ρ) (Sabin Polymer, 2022)	-	900	900	kg/m ³
E-modul (E) (Tipboonsri, et al., 2024)	1.2	1.8	1.5	GPa
Draghållfasthet (σ_i) (Tipboonsri, et al., 2024)	-	40	40	MPa
Slagseghet, 23°C (C)	-	7.98	~8	kJ/m ²

(Gümüş, 2022)				
Slagseghet, -30°C (C) (Gümüş, 2022)	-	~3	~3	kJ/m ²

5. Hollow Glass Microspheres; (HGM)

- a. HGM är små, runda, ihåliga kulor av glas vars är mikroskopiskt små, dem är extremt lätta vilket minskar densiteten i materialblandningar, men har också en stark hållfasthet vilket stärker blandningen (Ansys, 2025).

Tabell. 8 Materialdata Hollow Glass Microspheres

Egenskap	Min	Max	Snitt	Enhet
Densitet (ρ) (Galvagnini, et al., 2021)	-	150	150	kg/m ³
E-modul (E) (Galvagnini, et al., 2021)	1.626	2.438	~2	GPa
Draghållfasthet (σ_t) (Aruniit, et al., 2012)	-	34	34	MPa
Slagseghet, 23°C (C) (Galvagnini, et al., 2021)	-	-	Försummas	kJ/m ²
Slagseghet, -30°C (C)	-	-	Försummas	kJ/m ²

(Galvagnini, et al., 2021)				
----------------------------	--	--	--	--

3.9.3 Förhållandeinmatning

Vid användning av Python skriptet inmatas förhållandekvoter av vad vardera material ska hålla för storlek i kompositionen, genom detta ändras egenskapsvärdena genomgående för att då kunna ge slutgiltiga materialegenskapsvärden för det nya materialet. Genom att mata in särskilda förhållandekvoter ges följande materialegenskapsvärden på den nya materialet (Se tabell nedan).

Tabell. 9 Förhållandeinmatning

Material	Förhållande	Egenskap	Beräknat Värde	Enhet
PP	75	Densitet	803.25	kg/m ³
GF	0.75	E-Modul	2.09	GPa
SEBS	4.25	Draghållfasthet	34.48	MPa
PP-g-MA	5	Slagseghet 23°C	28.13	kJ/m ²
Hollow Glass Microspheres	15	Slagseghet -30°C	27.01	kJ/m ²

4. Diskussion

4.1 Optimering

4.1.1 Syfte

Genom att kombinera strukturell optimering med deformation- och stress simuleringar har det varit möjligt att skapa innebandyblad med en optimerad geometri där huvudfokus har varit viktminskning. Vikt reduceringen har uppnåtts genom att identifiera och avlägsna material från områden där det visat sig vara överflödigt enligt simuleringarna. Efter att de optimerade geometrierna skapats, genomfördes nya simuleringar för att jämföra resultaten med de ursprungliga modellerna.

4.1.2 Resultat

Studien visar att vikten kunde minskas för samtliga blad med upp till 10%, dock med en liten ökning i torsion deformation. Skillnader i uppmätt spänning varierade mellan modellerna där vissa visade liknande stressnivåer före och efter optimeringen, medan andra uppvisade en minskad stress. En minskning i stress kan innebära att bladet ger efter för kraften i stället för att motstå den men det kan också beroende på deformationsresultatet visa på att strukturen är starkare.

Både simuleringarna och de fysiska testerna genomfördes under hög belastning för att säkerställa att konstruktionerna designades med en tillräcklig säkerhetsfaktor. Detta minskar risken för att materialborttagningen leder till en försämring av bladens prestanda.

4.1.3 Tolkning

Resultaten visar att moderna innebandyblad innehåller material på platser där det inte fyller någon funktion ur ett hållfasthetsperspektiv. Eftersom vikt är en avgörande konkurrensparameter inom sporten kan onödig materialanvändning ha negativ inverkan på bladens prestanda och attraktivitet på marknaden.

Genom att identifiera områden i konstruktionen som utsätts för minimal eller ingen belastning under spelet, kan vikten reduceras utan att försämma funktionaliteten. Tidigare studier har främst fokuserat på att analysera vilka krafter bladen och skaften utsätts för, medan denna studie visar hur dessa insikter kan användas för att optimera konstruktionen. Konkurrenten kring vikt har blivit en allt viktigare aspekt inom innebandy, men tillverkare

har tidigare saknat tillgång till avancerade simuleringsverktyg och mätinstrument för att genomföra denna typ av analyser.

Den metod som använts i studien erbjuder en relativt enkel och kostnadseffektiv strategi för att förbättra produkterna utan att genomföra omfattande designförändringar.

Optimeringen har enbart inneburit borttagning av material där det inte fyller någon funktion, vilket innebär att tillverkningsprocessen kan förbli oförändrad samtidigt som prestandan förbättras.

4.2 Begränsningar och utmaningar

4.2.1 Förenklingar

Ett skott innebär komplexa krafter som varierar beroende på spelare, teknik och spelstil. Generellt sett utsätts bladet för en bakåtriktad kraft från golvet och en framåtriktad kraft från spelaren via skaftet. Eftersom skaftet är flexibelt fungerar det inte som en fast inspänning, vilket är en förenkling som används i simuleringarna. Detta kan leda till mindre avvikelser i resultaten.

När material tas bort i Spaceclaim genereras ojämna ytor, vilket gör det svårt för programmet att skapa en fin mesh i simuleringarna. För att hantera detta har senare simuleringar genomförts med en grövre mesh och lägre smoothing. Detta kan påverka noggrannheten i resultaten.

4.2.2 Geometriska problem

De flesta innebandyspelare anpassar sina blad genom att värma och böja dem, vilket kan påverka plastens mekaniska egenskaper och hållbarhet. Det är svårt att säkerställa att simuleringarna representerar alla typer av hookar som används i verkligheten. Dessutom förändras bladets styvhet över tid på grund av slitage, särskilt i ramen som är den mest kritiska delen av konstruktionen. Ett utslitet blad kan ha andra egenskaper än ett nytt, vilket är svårt att inkludera i simuleringarna.

4.2.3 Materialdata

För att kunna genomföra tillförlitliga utmattningssimuleringar krävs omfattande materialdata, inklusive en S-N kurva för det specifika materialet. En S-N kurva visar sambandet mellan spänning och antalet cykler ett material klarar innan det går sönder. För att ta fram en sådan

kurva måste utmattningstester genomföras, där materialet utsätts för upprepade belastningar tills brott uppstår. I denna studie har vissa utmattningstester genomförts, men ytterligare materialdata krävs för mer precisa simuleringar. En av de största utmaningarna är att det är svårt att förutse exakt hur lite material som kan tas bort innan bladets funktionalitet påverkas. Även om simuleringarna visar att konstruktionen fungerar, är det svårt att digitalt testa hur bladet påverkas av långvarig användning, tusentals skott, passningar och slag. Därför krävs omfattande prototyp tester för att validera resultaten i praktiken.

4.3 Framtida möjligheter

4.3.1 Realistiska simuleringar

Resultaten från denna studie kan få stor betydelse för framtida utveckling av innebandyblad. Tidigare har konstruktioner designats baserat på erfarenhet och subjektiva bedömningar av spelare och produktutvecklare. Genom att använda ingenjörsmetoder och digitala tester kan utvecklingen bli mer datadriven, vilket ger möjlighet att förbättra konstruktioner på ett mer systematiskt sätt. Att kunna testa och optimera CAD-modeller i ett tidigt skede innebär att justeringar i designen kan göras innan fysiska prototyper produceras, vilket minskar utvecklingskostnaderna.

Framtida forskning kan vidareutveckla metoden genom att förbättra simuleringarnas noggrannhet, testa olika materialalternativ, skapa materialdata som förbättrar noggrannheten i simulationerna samt undersöka hur dessa påverkar bladens prestanda. Genom att kombinera digitala och fysiska tester kan innebandyblad utvecklas med högre precision och bättre anpassning till spelarnas behov. Denna metodik kan på sikt förändra hur tillverkningen av blad sker och ge tillverkare ett verktyg för att skapa lättare och mer hållbara produkter.

Denna studie har lagt grunden för en ny utveckling av innebandyblad, detta är en mer systematisk och ingenjör driven väg. Det finns fortfarande flera områden där ytterligare forskning krävs för att förbättra metodiken och skapa en bättre förståelse för de optimerade konstruktionerna fungerar i praktiken.

En av de största utmaningarna i denna studie har varit att på ett realistiskt sätt simulera de krafter som uppstår vid skott och användning över en längre tid. Även simuleringar av olika typer av hook på bladen skulle kunna vara intressant, detta hade lagt mer krav på CAD-konstruktörerna än av själva simuleringarna. I denna studie används förenklade modeller där man har satt en fast inspänning i bladet, detta motsvarar inte riktigt de

verkliga förhållandena där man egentligen har ett flexibelt skaft som påverkar och även tekniken hos spelaren. Det man i framtiden kan behöva göra är att skapa mer dynamiska samt avancerade simuleringar där hela klubban inkluderas.

4.3.2 Praktiska tester och prestandapåverkan

Skapa experimentella mätningar av skott för att få en bättre uppfattning om hur bladen påverkas, detta skulle ge mer korrekt indata i simuleringarna. Eftersom arbetet hade begränsad tillgång till S-N kurvor för materialen har inga tillförlitliga utmattningstester gjorts, det har skapats några för att få en uppfattning om hur det fungerar och hur bladen beter sig. Genom att skapa mer utförliga utmattningstester kan man skapa sig en förståelse över hur bladen beter sig över tid, hur lång tid det tar innan de blir mjuka och hur de optimerade geometrierna beter sig över en längre tid.

Långtidstester av nuvarande blad hade också kunnat skapa en förståelse över hur slitage påverkar materialens och konstruktionernas egenskaper. Förutom att säkerställa att de optimerade bladen har god hållbarhet hade det varit intressant att undersöka hur viktminskningen av bladen påverkar spelet. Hur ett lättare blad påverkar skotthastighet, precision och bollkontroll. Detta skulle kunna göras i samband med prototyp-testerna för långtidsanvändning. För detta hade det krävts objektiva mätningar för att få en förståelse för hur spelegenskaperna påverkas.

4.3.3 Design och utvecklingsmöjligheter

Ett tekniskt problem som uppstod under arbetet var när material togs bort i Spaceclaim skapades ojämna ytor och även orealistiska ytor i vissa fall. Dessa ytor skapade problem när meshen skulle skapas i simuleringarna och ledde till att en grövre mesh behövde användas med lägre smoothing. För att förbättra detta skulle geometrierna kunna behövas göras om från grunden i CAD programmen.

4.4 Reflektioner och framtida potential

Genom att kombinera tekniska analyser och praktiska tester kan innebandyblad fortsätta utvecklas för att både minska vikt och förbättra prestanda, samtidigt som man säkerställer hållbarheten. Forskningen i denna studie har potential att förändra hur innebandyblad designas, från en erfarenhetsbaserad till mer systematisk och datadriven utveckling. Det

återstår dock en del utmaningar, inte minst vad det gäller materialdata, simuleringars noggrannhet samt hur de optimerade konstruktionerna beter sig under längre tid.

4.5 Materialanalys

Syftet med den teoretiska materialframtagning var att identifiera en materialkombination som kunde bättre uppfylla de materialegenskapsmålen som den redan existerande materialen bristen inom. Flera material områden konsulterades men slutligen kom det fram 5 material vars vissa redan är etablerade inom industrin, medan de resterande, inte är lika välbekanta inom lika omständigheter. PP, GF, SEBS, PP-g-MA och HGM är materialen som kunde teoretiskt kombineras och uppnå kraven. Genom att andelsskilja vardera material och räkna på blandningsregler kunde viktiga mekaniska och fysiska egenskaper justeras på ett sätt som är svårt att uppnå med ett vanligt och enskilt material.

Python-skriptet användes för att beräkna materialegenskaperna baserat på dess förhållande av blandningen, genom att applicera blandningsregeln. Det är dock viktigt att påpeka att inom E-moduls beräkningarna användes den parallella modellen över serie modellen då den bättre representerar hur blandningen hade skett i ett verkligt sammanhang.

Genom att analysera resultaten kan man göra följande iakttagelser:

- Densiteten gick ner till 803.25 kg/m^3 medan målet var $<900 \text{ kg/m}^3$ vilket är ett positivt resultat. Denna material ändringen gör att bladet skulle kännas betydligt lättare, vilket påverkar användarens blad skicklighet, och gör den generellt mer användarvänlig. Detta relativt låga värdet på densiteten uppnåddes genom en hög andel PP, samt inkluderingen av HGM vars densitet är betydligt lägre än de resterande materialen.
- E-modulen slutade på 2.09 GPa medan målet var 2.1 GPa vilket är extremt nära ett alldeles okej resultat. Detta värde tyder på att materialet kommer ha tillräckligt bra styvhet för att ge bra energiöverföring vid skott och passningar, utan att bli för stel. Den lilla mängden GF bidrog till att värdet lyckades nå målet, i samband med att GF isig har en väldigt hög e-modul.
- Draghållfasthetens mål var $>30 \text{ MPa}$ och resultatet landade på 34.48 MPa vilket är godkänt. Detta värde visar att bladet kan tåla höga påfrestningar utan att spricka

eller deformera, vilket stärker bladet enormt inför hårda skott och generellt tuffa spel. PP, GF och PP-g-MA bidrog till det förväntade målet som mest på grund av deras höga draghållfasthet själva.

- Slagseghet vid 23°C nådde värdet 28.13 kJ/m² vilket var inom en relativ avrundningsgräns för målvärdet ≈ 30 kJ/m² och då godkänt. Denna egenskap innebär hur hållfast materialet är vid 23°C då spel oftast sker vid inomhusmiljöer runt denna temperatur.
- Slagseghet vid -30°C nådde värdet 27.01 kJ/m² vilket var kraftigt över målvärdet ≈ 5 kJ/m² och men är dock godkänt ändå. Denna egenskap innebär hur hållfast materialet är vid -30°C och ett högre värde när material borde vara som stelast är bara fördelaktigt för användaren. Materialet agerar alltså lika vid 23°C som det gör vid -30°C vilket är bra. Målet på ≈ 5 kJ/m² var en reflektion av hur det existerande materialet låg runtom vilket ledde till målsättningen inom relativ närhet.

Trots en komplett analys, finns det osäkerheter. Blandningsreglerna ger endast teoretiska värden och i verkligheten kan faktorerna se kraftigt annorlunda ut. Till exempel, under processen har en fullständigt homogen blandning antagits, vilket innebär att en perfekt interaktion mellan materialen skett vilket inte alltid är fallet i praktiken. Vidare har vissa egenskaper hos HGM försummas vilket trots att det inte fanns något annat alternativ, var baserat på osäkra antaganden.

För framtida arbeten bör prototyper tillverkas av de nya framtagna materialen, endast så värdena kan testas och valideras. Det är också givande att konsultera en material expert vid osäkerhet hellre än att ta egna antagningar.

5. Slutsats

5.1 Optimering

Arbetet visar att det är möjligt att reducera vikten på innebandyblad genom att använda strukturell optimering i kombination med simuleringar av stress samt deformation i olika riktningar. Bladens vikt kan reduceras utan att försämra dess hållfasthet eller prestation. Genom simuleringarna kunde områden där materialet är överflödigt identifieras och på så vis minska mängden material i bladen. Genom att minska mängden material har vikten minskat samtidigt som en rimlig säkerhetsmarginal har bibehållits. Resultatet visar att samtliga blad minskade i vikt men med en viss ökning av torsional deformation. Den ökade deformationen sker som tidigare nämnt under höga belastningar för att säkerställa att inte för mycket material tas bort.

Den uppmätta stressen skiljde sig mellan de olika modellerna och plasterna. Vissa bibehöll eller visade på minskad stress och andra på ökad. Denna variation sker till största sannolikhet på grund av komplexa geometrier och svårigheter med meshen som kan leda till lokala spänningskoncentrationer. En annan orsak kan vara då man beräknade de genomsnittliga stressvärdena användes ”probes” som sattes ut manuellt. Detta kan leda till felmarginaler i hur exakt dem sätts ut och skapa en viss variation.

I arbetet lyfts begränsningar med simuleringarna fram, förenklade randvillkor samt svårigheterna med att studera användning över en längre tid. Individuella preferenser som hook och teknik har också diskuterats. Dessa faktorer bör tas i beaktning vid tolkning av resultaten.

Den använda metoden har varit ingenjör driven och systematisk, metoden kan komplettera och förbättra de traditionella designmetoderna. Genom att använda digitala simuleringar kan man effektivisera produktutvecklingen genom att korta ner utvecklingstiden och minska behovet av fysiska prototyper även om man alltid kommer behöva validera resultaten genom fysiska tester.

För framtida forskning och vidareutveckling av optimeringen av blad behöver man utveckla mer avancerade simuleringar som inkluderar skaftet och dess beteende vid skott. Göra noggrannare mätning av kraft under spelet för att få noggrannare resultat samt en bättre förståelse för hur krafterna påverkar bladet och storleken på krafterna.

Skapa en bredare materialdatabas för att kunna utföra till exempel utmattningstester för att förstå hur minskad vikt påverkar bladet över en längre tids användning. Studera vilken

påverkan viktnedskningen har på prestationen, hur påverkar ett lättare blad skotthastighet, precision, passningar och precision.

Kombinationen av praktiska tester och tekniska analyser har i denna studie visat sig fungera bra. Arbetet lägger därmed grunden för en mer datadriven, ingenjörsmässig och systematisk utvecklingsprocess för innebandyblad, vilket kan bidra till en fortsatt utveckling av sporten.

5.2 Materialanalys

Den teoretiska materialframtagningen visar att det är fullt möjligt att med noggrant valda materialkombinationer uppnå förbättrade egenskaper hos ett innebandyblad. Hjälpmiddel som blandningsregeln och python bidrog till att ett kompositmaterial kunde identifieras som når samtliga mål gällande särskilda materialegenskaper.

Den framtagna kombinationen ger ett material vars är låg vikt och med god mekanisk prestanda, något som är ett måste hos en inriktadspelare. Det är dock viktigt att påpeka att resultaten är teoretiska och då inte validerade i praktiken och bör användas som vägledning hellre än fakta. Denna analys lägger en stabil grund för fortsatt materialutveckling inom innebandyblad, i samband med att användarvänlighet alltid är ett mål som bör strävas efter.

Sammanfattningsvis avgörs det att alternativa material finns inom liknande materialegenskaper, i form av teoretiska kompositer baserade på existerande materialtyper. Ytterligare går det att avgöra vilka av de utvalda materialen som förhållandevis skiljer på materialegenskaperna i den teoretiska kompositen, alltså vilka material förhållanden som ger önskade egenskapsvärden. Materialkombinationerna kunde också optimeras för att ge en stärkande hållfasthet och en minskad vikt i form av lägre densitet. Genom att säkerställa dessa punkter är frågeställningarna besvarade genom undersökningen.

Referenser

Ansys. (2025). Granta EduPack 2025 [Dator Mjukvara]. Ansys.

<https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>

Innebandy24. (u.å.). *Unihoc Plastic Types and Floorball Blades*. Salibandy24.

<https://salibandy24.fi/pages/unihoc-plastic-types-and-floorball-blades>

(Hämtad 2025-02-06)

Klubbhuset. (u.å.). *FAQ*. Klubbhuset.

<https://klubbhuset.com/en-de/faq/>

(Hämtad 2025-02-06)

Klubbhuset TV. (2021). *PP vs PE | Vad är skillnaden?*. Klubbhuset.

<https://www.youtube.com/watch?v=Iz8U5CECo-A>

(Hämtad 2025-02-06)

Karlsson, Jonny. (2011). *Analysis of floorball sticks using high speed camera and Abaqus* (Masteruppsats). CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

<https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/fb91a892-47fd-4174-a97a-5bc314c4bc99/content>

(Hämtad 2025-02-06)

Sabin Polymer Arvand. (2022). *Maleic Anhydride Grafted Propolyene (PP-g-MA)*. Sabin Polymer.

<https://sabinpolymer.com/wp-content/uploads/2022/10/SP2024.pdf>

(Hämtad 2025-02-26)

Tipboonsri P, Memon A. (2024). The Impact of PP-g-MAH on Mechanical Properties of Injection Molding of Long Glass Fiber/Polypropylene Pellets from Thermoplastic Pultrusion Process. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 8(2):53.

<https://doi.org/10.3390/jmmp8020053>

(Hämtad 2025-02-26)

Galvagnini, F., Fredi, G., Dorigato, A., Fambri, L., & Pegoretti, A. (2021). Mechanical Behaviour of Multifunctional Epoxy/Hollow Glass Microspheres/Paraffin Microcapsules Syntactic Foams for Thermal Management. *Polymers*, 13(17), 2896.

<https://doi.org/10.3390/polym13172896>

(Hämtad 2025-02-28)

Aruniit, A. & Kers, J. & Majak, J. & Krumme, A. & Tall, K. (2012). Influence of hollow glass microspheres on the mechanical and physical properties and cost of particle reinforced polymer composites. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*. 61.

<https://doi.org/10.3176/proc.2012.3.03>

(Hämtad 2025-02-28)

Gümüş, Beril. (2022). Effect of MA-g-PP addition on mechanical properties of polypropylene/hollow glass spheres/nanoclay composites. *Polymer Bulletin*. 80. 1-18.

<https://doi.org/10.1007/s00289-022-04523-5>

(Hämtad 2025-02-28)

Special-Plast AB. (2025). *Vad är polypropen?*. Special-Plast.se. Special-Plast AB Produktion.

<https://www.special-plast.se/plastskola/vad-ar-polypropen/>

(Hämtad 2025-02-28)

Sveriges dataportal. (u. å.). *Glasfiber*. Sveriges dataportal.

https://www.dataportal.se/concepts/202_2118

(Hämtad 2025-02-28)

Vid utformningen av rapporten konsulterades en AI-baserad skrivassistent för att förbättra språk och struktur.

OpenAI. (2025). ChatGPT. Tillgänglig via: <https://chat.openai.com>

Bilagor

Bilaga 1. Fullständigt Python-skript med inkluderade matematiska formler för materialegenskapsutredning genom förhållandeanalys.

```
total_ratio = sum(ratios)
fractions = [r / total_ratio for r in ratios]

density_composite = sum(fractions[i] * density_values[materials[i]] for i in
range(len(materials)))
e_modulus_composite = sum(fractions[i] * e_modulus_values[materials[i]] for i in
range(len(materials)))
tensile_strength_composite = sum(fractions[i] * tensile_strength_values[materials[i]] for i in
range(len(materials)))
charpy_composite_23 = sum(fractions[i] * charpy_values[materials[i]][0] for i in
range(len(materials)))
charpy_composite_neg30 = sum(fractions[i] * charpy_values[materials[i]][1] for i in
range(len(materials)))

return {
    "Density (kg/m³)": round(density_composite, 2),
    "E-Modulus (GPa)": round(e_modulus_composite, 2),
    "Tensile Strength (MPa)": round(tensile_strength_composite, 2),
    "Charpy Strength 23°C": round(charpy_composite_23, 2),
    "Charpy Strength -30°C": round(charpy_composite_neg30, 2)
}

def main():
    print("Enter material ratios as percentages (must sum to 100):")
    pp = float(input("PP (%): "))
    gf = float(input("GF (%): "))
    sebs_poe = float(input("SEBS/POE (%): "))
    pp_g_ma = float(input("PP-g-MA (%): "))
    hgm = float(input("Hollow Glass Microspheres (%): "))

    ratios = [pp, gf, sebs_poe, pp_g_ma, hgm]
    properties = calculate_composite_properties(ratios)

    df = pd.DataFrame(properties.items(), columns=["Property", "Calculated Value"])
    print(df.to_string(index=False))

if __name__ == "__main__":
    main()
```

INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se



CHALMERS