

UTMOST – Modelling of biocomposites in occupant safety analyses.

Modellering av biokompositer i krockanalyser.

Publik rapport



Författare: Renaud Gutkin

Datum: 2025-01-07

Projekt inom FFI Trafiksäkerhet och automatiserade fordon



**Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation**

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Executive summary in English.....	3
Bakgrund.....	5
Syfte, forskningsfrågor och metod.....	6
Mål.....	8
Resultat och måluppfyllelse.....	8
Spridning och publicering	14
Slutsatser och fortsatt forskning.....	15
Deltagande parter och kontaktpersoner	16
References	17

Kort om FFI

FFI, Fordonsstrategisk forskning och innovation, är ett samarbetsprogram mellan staten och fordonsindustrin som sedan 2009 finansierar forskning och innovation inom vägtransporter.

Läs mer på www.ffisweden.se

Sammanfattning

UTMOST fokuserar på att utveckla en prediktiv och effektiv metodik för krockanalys av biokompositer. Biokompositer används alltmer i fordonsapplikationer på grund av deras miljöfördelar och lättviktsegenskaper. Projektet syftar till att förbättra den svenska industrins kompetens i att designa och simulera krocksäkerheten med biokompositer i tidiga faser.

Viktiga resultat inkluderar utvecklingen av högupplösta modeller som noggrant förutsäger skadebeteende från CT (Computer Tomography)-skanningsanalyser, skapandet av en metodik för att mäta variabilitet i mekaniska egenskaper från dessa modeller, och utvecklingen av homogeniserade skademodeller och materialkort som kan användas i CAE (Computer Aided Engineering)-modeller. Dessutom har projektet framgångsrikt korrelerat prestandan på relevanta fall.

Projektet har resulterat i en doktorsexamen, en masteruppsats och en kandidatuppsats. Det har också lett till tre vetenskapliga publikationer, inklusive den första databasen någonsin av CT-skannningar för biokompositer, en vetenskaplig publikation under förberedning och fyra konferenspresentationer.

Dessutom tilldelades projektet ett Volvo Cars Award 2024 i forskningskategorin, vilket understryker både den innovativa och industriella relevansen av arbetet. Detta erkännande, tillsammans med projektets prestationer, betonar den ökade kompetensen inom svensk tillverkningsindustri och etablerar en ledande position i Europa för forskning om krockanalys av biokompositer.

Executive summary in English

The UTMOST project aims to develop a predictive and efficient methodology for crash analysis of biocomposites, which are increasingly used in automotive applications due to their environmental benefits and lightweight properties. The project focuses on enhancing the Swedish industry's competence in designing and simulating crash safety with biocomposites in the early stages.

Biocomposites, made from bio-based materials, are crucial for achieving climate neutrality as they bind CO₂ during their growth phase and offer significant weight savings compared to traditional materials. The project seeks to address the lack of advanced FE (Finite Element) models for biocomposites by developing a new methodology based on high-resolution image analysis, such as CT scans, to reveal and model the complex microstructure of these materials.

Key results include the development of CAE methodology where high-resolution models accurately predict the damage behavior of biocomposites, providing the necessary input for efficient CAE analyses. The project significantly enhanced the competence level within the Swedish industry through knowledge exchange and implementation of model development in commercial solution software. The innovative research on predicting material response, including damage with image-based modeling, has been published in renowned journals and presented at international conferences.

The project not only met its initial goals but also delivered beyond expectations by introducing AI-based models that complement FEM-based XAE (X-Ray Aided Engineering) and enable the evaluation of statistical material data in CAE models. This advancement goes beyond the

current state-of-the-art and supports the development of an efficient CAE methodology for biocomposites.

The project has resulted in several academic contributions, including a PhD thesis, a master's thesis, a bachelor's thesis, and multiple scientific publications. It also received a Volvo Cars Award 2024 in the research category, highlighting the innovative and industrial relevance of the work.

Bakgrund

Biobaserade material och biokompositer är en viktig del i att uppnå klimatneutralitet i många industrier. Biobaserade material binder koldioxid under sin tillväxtfas, och användningen av dessa material i komponenter släpper därför inte ut ny CO₂ i atmosfären på samma sätt som fossilbaserade material gör. Dessutom förnyas materialen, vilket lämnar resurser för framtida generationer. Biobaserade fibrer som används i biokompositer uppvisar ofta goda mekaniska egenskaper och kan erbjuda viktbesparingar jämfört med traditionella plaster eller glasfiberkompositer. Detta förbättrar ytterligare deras positiva klimatpåverkan genom att minska koldioxidutsläppen under användningsfasen.

Ökad användning av biokompositer innebär också ett ökat behov av att förstå deras mekaniska beteende och att kunna modellera dem med CAE (Computer Aided Engineering)-verktyg. Från att ha använts i dolda och icke-strukturella applikationer utforskas nu biokompositer för synliga ytor (A-surface) och strukturella delar. Dessa typer av komponenter spelar en viktig roll i utformningen av säkerhetsfunktioner för passagerare, såsom utlösning av krockkuddar, eller på längre sikt, i strukturers krocksäkerhet. CAE-verktyg används i stor utsträckning för att säkerställa specifik design av säkerhetsfunktioner och är beroende av avancerade FE (Finite Element)-modeller och materialmodeller. Sådana modeller saknas dock för biokompositer. En anledning till bristen på modeller är dessa materials komplexa mikrostruktur. Naturliga fibrer, som lin eller kenaf, har en ihålig och oregelbunden form, vilket är en följd av hur de odlas. Dessutom utvecklas många material i form av en matta som förvärms innan de komprimeras. I mattan blandas de naturliga fibrerna med polymerfibrer som fungerar som matris när de smälts. Kompressionsnivån i förhållande till mängden fibrer och geometrin resulterar i en varierande mängd porer som bildas. På makronivå uppvisar dessa material därför ett anisotropt beteende, vilket, beroende på vilket matris-material som används, är starkt temperatur- och deformationshastighetsberoende. Detta projekt syftar till att vidareutveckla en ny metod för att ta fram materialmodeller som bygger på virtuell testning av FE-modeller baserade på högupplösta (HF) bildanalys. Genom högupplösta bilder, exempelvis från datortomografi, kan detaljer i den komplexa mikrostrukturen avslöjas och modelleras. Numerisk homogenisering av den modellerade mikrostrukturen genomförs därefter. Projektet går bortom det rådande kunskapsläget genom att ta fram icke-linjära materialmodeller, inklusive deras brottbeteende, så att de kan tillämpas för krockanalys.

Projektet utvecklar en ledande kompetens inom svensk industri för hållbara kompositmaterial som används i passagerarsäkerhetsrelaterade komponenter. Detta kompletterar den ledande position inom krocksäkerhetsrelaterad forskning på kompositer i Europa som Chalmers och Volvo Cars har etablerat under det senaste decenniet. Projektresultaten fungerar som exempel och modell för andra industrier på hur biokompositer kan användas i kritiska tillämpningar, vilket stärker svensk konkurrenskraft i utvecklingen av avancerade och hållbara produkter.

Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet är att möjliggöra en ökad användning av biokompositer och särskilt naturfibermaterial i säkerhetskritiska komponenter genom att utveckla simuleringsverktyg för att kunna verifiera deras beteende i tidiga faser. Forskningen i det projektet bygger på en metod s.k. XAE (X-Ray Aided Engineering) som utvecklades i EU projektet Mummering¹.

- Forskningsfråga 1: Är XAE metoden tillämpbar från glasfibermaterial till naturfibermaterial? I sådana material har fiber och matris liknande densitet som kan göra kontrastbaserade analysmetoder omöjliga.
- Forskningsfråga 2: Är omvandlingen från bild till mesh möjligt för komplexa materialmikrostrukturer? XAE har än så länge tillämpats på ”man-made” material med väldefinierade buntstruktur.
- Forskningsfråga 3: Är utvecklingen av en kalibreringsmetod som tillsammans med XAE kan prediktera icke-linjärt beteendet och sprickbildning i materialet möjligt?

Metoden för att besvara de frågorna och uppnå projektmålet baseras på tre faser: i) en första fas där provning och skanningsarbetet visar begränsningarna med datortomografi samt visar förhållandet mellan materialegenskaper och materialmikrostrukturen (WP1 och 2). ii) En andra fas med utvecklingen av den numeriska metodiken, dvs. studie om meshtekniken och utveckling av en kalibreringsprocess som gör det möjligt att fånga skadebeteendet (WP3). iii) En tredje fas som visar prestanda av de utvecklade modellerna på komponentprov (WP4). Alla experimentella resultat finns tillgängliga på projektets filserver (tillgänglig för alla projektpartners).

Från projektansökan är de olika arbetspaket definierat som:

WP1: Skanning och provning

I detta arbetspaket tillverkades och karakteriserades materialen enligt tabell 1. Tabell 1 sammanfattar non-woven konfigurationer som tillverkades, utöver detta tillverkades också några konfigurationer med en twill arkitektur.

Tabell 1. Tillverkningsplan för non-woven material.

	Kenaf					Flax	Kenaf and Flax
Vf	50					50	25/25
AW [gsm]	1450			1800	2000	1450	1450
Density [g/cm ³]	1,2	0,8	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8
Thickness [mm]	1,21	1,81	2,90	2,25	2,50	1,81	1,81

Mikrostrukturen karakteriserades först genom högupplöst (HF) bildanalys före och efter tillverkning. Flera tekniker användes, CT-skanningar utfördes för att få en referensbild och optisk mikroskopi (OM) utfördes som komplement.

Mekaniska tester relevanta för kraschsimulering utfördes och karakteriserade de mekaniska egenskaperna hos dessa material. Konstituenters egenskaper erhöles genom reverse engineering. Slutligen skannades några av de testade proverna igen före en fraktografisk analys. En typisk

¹ [Multiscale, Multimodal and Multidimensional imaging for EngineerRING | MUMMERING | Project | News & Multimedia | H2020 | CORDIS | European Commission](#)

provningsmatris för non-woven materialet visas i Tabell 2. Totalt har ca 250 provstavar av non-woven material och 100 provstavar av twill material provats.

Tabell 2. Typisk provningsmatris för non-woven materialet.

A - complete plan	Tension			Compression		Shear		Bending	Falling Dart	Double Notch	CLTE
Temp/Direction	0	90	45	0	90	0	90	0	0	0	0
T1	3										
T2	3										
RT	5	5	5	5	5		5	5	5	5	1
T3	3	3									
T4	3	3									

WP2: Förståelse av biokompositer

I detta arbetspaket har den stora mängden information som samlades in i WP1 analyserats. Informationen har varit avgörande för att skapa en djupare förståelse av biokompositernas mikrostruktur och deras beteende under olika belastningsförhållanden som använts i WP3.

Kompletterande provning utfördes för att karakterisera singel fiber data och kristallinet i matrisen.

Genom att publicera denna data i en öppen databas har vi inte bara bidragit till projektet utan också till den globala forskningsgemenskapen, vilket kan leda till nya insikter och förbättringar inom området.

WP3: Modellerings av biokompositer

Detta arbetspaket fokuserade på att utveckla HF-modeller, vilka är avgörande för att kunna simulera och förutsäga biokompositernas beteende med hög noggrannhet. Ett verktyg för att skapa väl definierade mesh av mikrostrukturen på ett effektivt sätt utvecklades. Detta verktyg gör det möjligt att generera detaljerade och exakta modeller som kan användas i olika typer av simuleringar.

En metod för att utföra numerisk homogenisering togs fram. För att vara användbar i kompletta bilkrasch-analyser utvecklades meta-modeller som ger ett representativt beteende av modellerna när information om mikrostrukturen saknas. Dessa meta-modeller tillåter oss att göra tillförlitliga förutsägelser även när vi har begränsad information, vilket är särskilt användbart i tidiga designfaser.

HF-modellerna utvecklades vidare för att möjliggöra virtuell provning, där fiberinnehåll, ytvikter, fibertyp etc kan variera. Den virtuella provningen gör det möjligt att testa och utvärdera olika designalternativ utan att behöva tillverka fysiska kuponger, vilket sparar både tid och resurser. Detta tillvägagångssätt har visat sig vara mycket effektivt och har lett till flera innovativa lösningar.

WP4: Komponentprovning och korrelering

I detta arbetspaket tillverkades totalt 72 perforerade plattor för att simulera mekanismen för försvagning i ett airbagsystem på en instrumentpanel, samt 14 paneler för huvudislagstest. För varje komponent genomfördes tillverkning, CAE-analys, kraschtest och testanalys. Denna valideringsprocess var avgörande för att säkerställa att våra modeller och metoder är tillförlitliga och kan tillämpas i praktiken.

Valideringen av modellerna har också gett oss värdefull information om hur vi kan förbättra och finjustera våra modeller för att göra dem ännu mer exakta. Genom att jämföra resultaten

från de fysiska testerna med våra simuleringar har vi kunnat identifiera och åtgärda eventuella avvikelser och osäkerheter i våra modeller.

Mål

Huvudmålen för projektet är definierat i projektansökan

Mål 1: Att utveckla en effektiv CAE-metodik för att designa och simulera krocksäkerheten för biokompositer.

Mål 2: Att utveckla en ledande kompetens inom svensk industri för design och krocksäkerhetsbedömning av biokompositer.

Mål 3: Att etablera en ledande position inom forskning om krocksäkerhet relaterad till biokompositer i Europa.

Resultat och måluppfyllelse

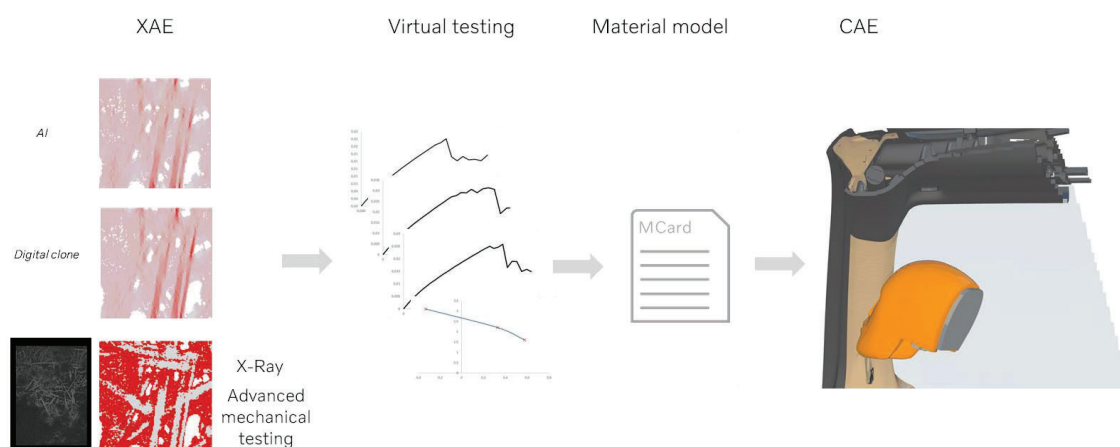
Projektet har gjort betydande framsteg i att utveckla en förutsägbar och effektiv metodik för krockanalys av biokompositer. Här är de viktigaste resultaten och hur de uppfyller projektets mål:

1. Utveckling av CAE-metodik

Projektet har framgångsrikt utvecklat högupplösta modeller som ger noggranna förutsägelser, inklusive skadebeteenden som är kritiska vid krockanalys. Denna utveckling ligger bortom dagens tekniknivå och stödjer målet att skapa en effektiv CAE-metodik för biokompositer.

Metodiken beskrivs i schema nedan: HF (High Fidelity) modeller byggs med XAE för att sedan användas för virtuellprovning. Indata till CAE modell för krockanalys tas fram från virtuell provning och överförs till CAE genom en materialmodell och materialkort.

De framtagna modellerna visar bra korrelation mot fysisk provning på samma nivå som modeller för konventionella polymerer, vilket uppfyller målet att utveckla en effektiv CAE-metodik för design och bedömning av krocksäkerheten hos biokompositer.



Figur 1. Översikt av CAE metodiken inom UTMOST.

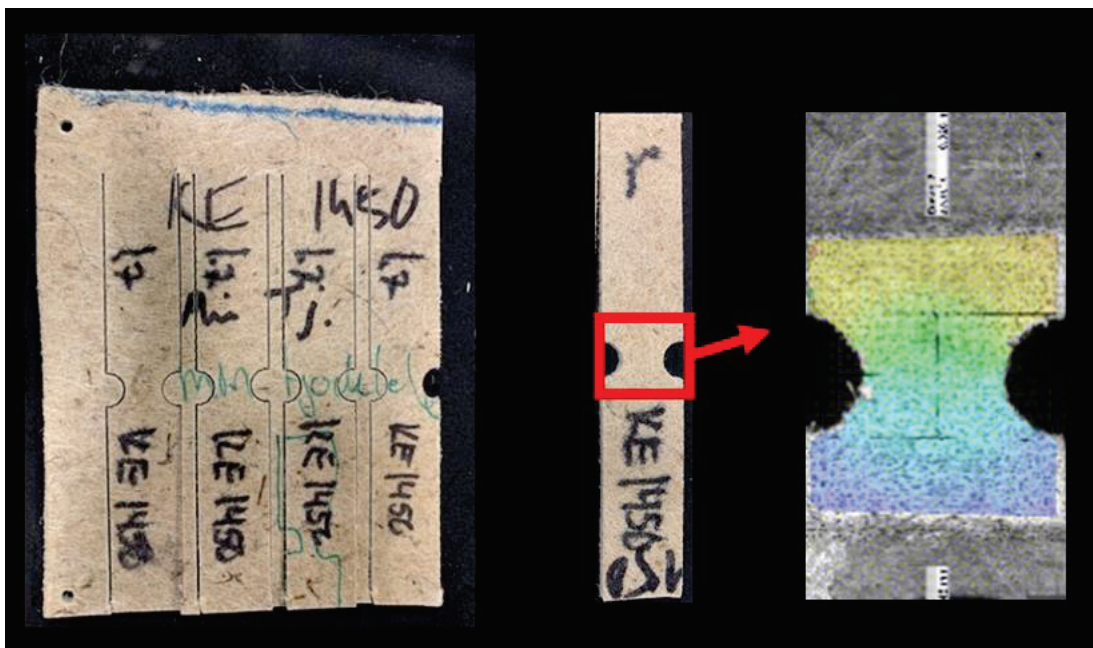
2. Utveckling av karakteriseringsteknik

Specifika Resultat:

Leverans i form av intern rapport [1].

En nyckel till framgång i projektet har varit de utvecklingar som gjorts inom mekaniskkarakterisering för att erhålla repeterbara resultat. Stor vikt har lagts till att minimera felet orsakat av matt-tillverkningen samt framtagningen av provkroppar. Kontinuerlig dialog med tillverkaren av mattorna samt tillgång till bearbetningsmetoder som inte tillför värme har varit nyckelkomponenter. Provobjektens inhomogenitet genererar problem med att mäta och visualisera små lokala deformationer på den nivå som krävs i projektet.

Med hjälp av den senaste typen av digitalt bildanalyssystem kopplad till dragprovmaskinen kunde en detaljerad bild av deformationer erhållas. Denna metod har använts både för enkla dragprovsgeometrier och för mer komplexa geometrier som till exempel skjuvning med lyckat resultat.



Figur 2. Fullfält töjningsmätning som använts under mekaniskprovning.

3. Mikrostrukturanalys

Specifika Resultat:

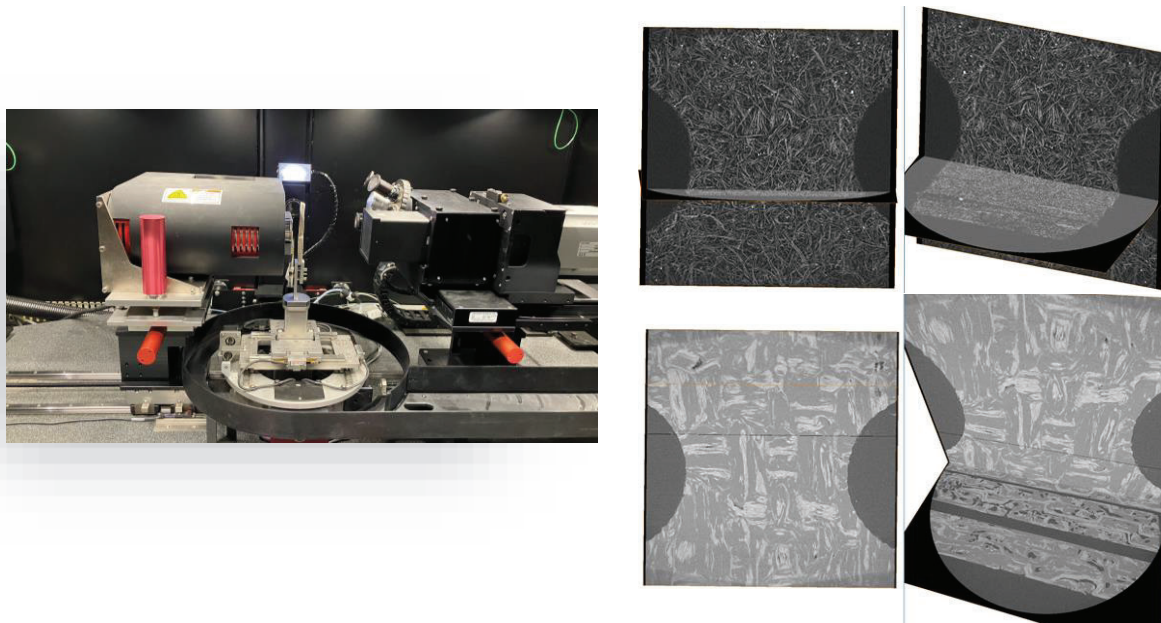
Två tidskriftsartiklar [2], [3].

Före dragprovning genomfördes datortomografiskanningar med en Zeiss Xradia Versa 410-skanner vid Danmarks Tekniska Universitet (DTU) 3D Imaging Centre. Skanningarna utfördes vid flera tillfällen där både personal från Volvo Cars, Chalmers och studenter kunde delta och lära sig om metoden.

Kupongerna som skannades har ett stort bredd-till-tjockleksförhållande, vilket orsakar variation av gråskaleintensiteter vid olika rotationsvinklar i skannern. För att åtgärda detta åtföljdes varje prov som skulle skannas av två ytterligare kuponger av exakt samma materialtyp (ytvikt och

densitet). Genom att stapla dessa tre prover tillsammans uppnåddes mer konsekventa intensiteten över alla skanningsvinklar.

Skanningarna utfördes med en voxelstorlek på 8 μm , vilket möjliggjorde omfattande täckning av hela intressefältet. För att uppnå önskad bildkvalitet användes totalt 3601 projektioner, var och en med en exponeringstid på 10 sekunder, vilket ledde till en ungefärlig skanningstid på 12 timmar. Uppställningen och resultat för en non-woven konfiguration och en twill arkitektur visas i Figur 3. Översikt datortomografi uppställning och resultat. Figur 3.



Figur 3. Översikt datortomografi uppställning och resultat.

4. Utveckling XAE

Specifika Resultat:

Tidskriftsartiklar [2], [4] samt i konferensbidrag [5], [6]. Rapporter [7], [6], [8], [9].

Doktorsavhandling [10]

Metodiken med högupplösta modellen tilldelades Volvo Cars Award i kategorin forskning.

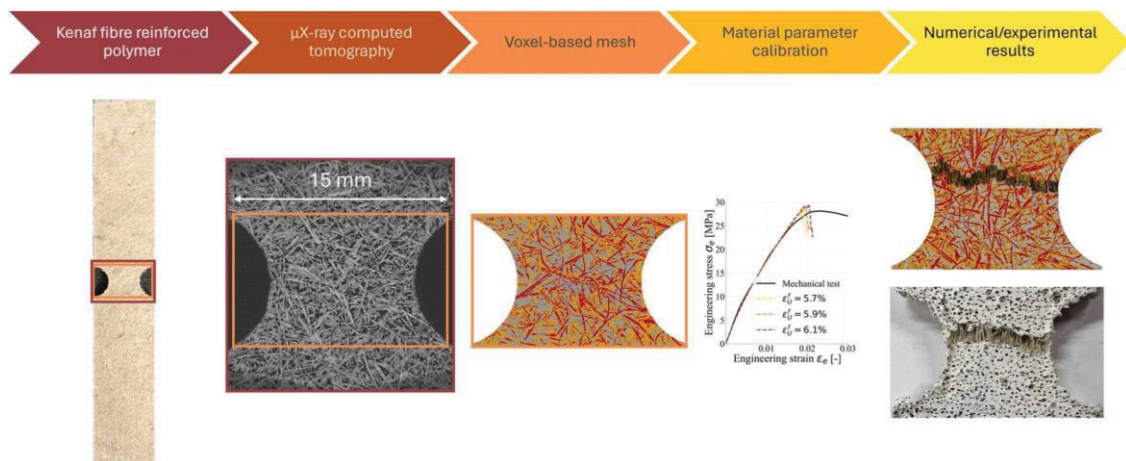
XAE processen visas i Figur 4. HF-modeller har byggts med hjälp av programvaran RETOMO. 3D-datan från CT-skanningen rekonstrueras i RETOMO och de olika faserna: håligheter, fiber, matris segmenteras med hjälp av en tröskelmetod. En teknik som utvecklats under projektet gör det också möjligt att spåra fiberorienteringen. Den rekonstruerade skanningen meshas sedan med hjälp av en voxel-teknik. I det aktuella fallet uppnås detta genom att kombinera voxel som erhållits genom CT-skanningen.

En viktig utveckling i projektet är kalibreringsmetoden som används för materialparametrar. I litteraturen begränsas ofta mikromekaniska modeller till att förutspå elastiska egenskaper eftersom det icke-linjära beteendet är svårt att fånga. Tack vare den höga noggrannheten i beskrivningen av mikrostrukturen har vi kunnat utveckla en kalibreringsmetod som fångar både icke-linjära och brottegenskaper. Metodiken bygger på en noggrann analys av brottmoder i materialet från WP1 och WP2.

En metod för numerisk homogenisering har sedan utvecklats. Numerisk homogenisering utförs på RVE-nivå. En studie genomfördes för att etablera det minsta volymelementet som

representerar mikrostrukturen. En automatiserad process har därefter tagits fram för att extrahera RVE:er från datortomografidata, sätta randvillkor för olika lastfall (nämligen drag, tryck, biaxiell och skjuv) och sedan utföra homogenisering. Resultaten konverteras sedan till en materialmodell och materialkort som kan användas i LS-Dyna som metamodell i kompletta bilrockanalyser.

Den virtuella provningen som utförs från RVE är ett viktigt komplement till fysisk testning. För ett typiskt non-woven material minskar virtuell provning behovet av fysiska prover med 75 %, sänker kostnaderna med en faktor fyra och förkortar ledtiderna från tre månader till tre veckor. Dessutom möjliggör den att data för olika spänningstillstånd för samma mikrostruktur kan tas fram, vilket är omöjligt med fysisk provning.



Figur 4. Översikt av XAE metodiken från [2].

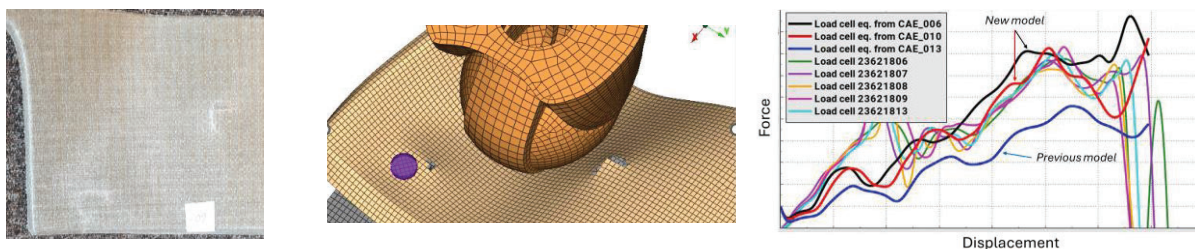
5. Component testing & correlation

Specifika Resultat:

Artikel [11], Konferensbidrag [12] [13] och rapport [14], [15].

Modeller och metoder som utvecklats i projektet har validerats på komponenttestning. Två lastfall studerades, ett huvud islag fall och ett perforerade platta fall (som modellerar airbagutlösning).

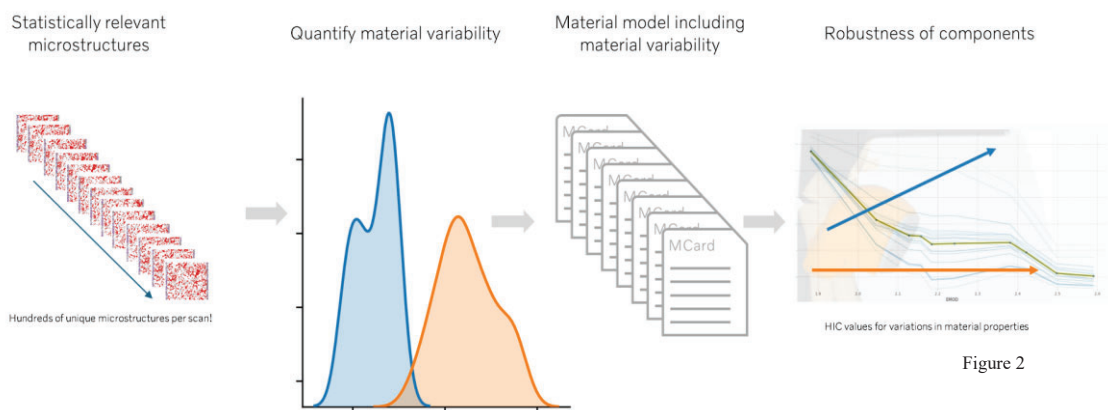
Det första fallet om huvud islag gjordes på ett material med väv arkitektur. Bilden nedan visar att modellen gör det möjligt att fånga rätta sprickbeteende men också rätt kraftrespons. Bilden nedan också visar hur den nya modellen visar en förbättrade respons mot den tidigare använt teknik.



Figur 5. Korrelation mellan fysiskprov och CAE för huvud islag fallet.

6. En komplett process för att studera variabilitet

Utöver det som var planerat i projektansökan, har vi utvecklat en metodik som gör det möjligt att räkna fram statistisk underlag om materialvariabilitet från mikrostruktur modeller. Den data kan sedan användas i en ny utvecklade programvara från Beta CAE som provtestades i projektet och som gör det möjligt att ta hänsyn av materialvariabilitet i CAE beräkningar på komponentnivå.

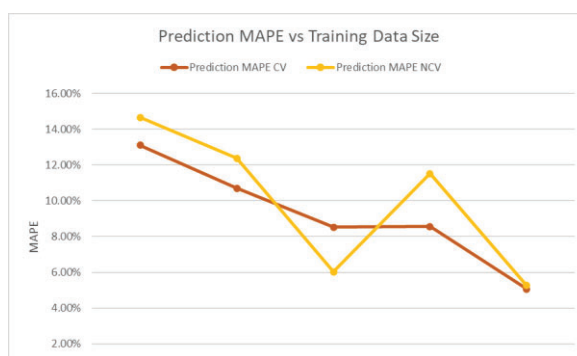


Figur 6. Översikt av metodiken för variabilitetsanalys från mikrostruktur till komponent CAE. (notera att bild 1,2 och 4 visar faktiska resultat från analysen med normaliserade värde).

En första studie publicerade i rapport [8] visar att det minsta volymelement (RVE) som beskriver mikrostrukturen på ett representativt sätt (RVE) består av en 1/16 del av varje datortomografiskanning. Detta innebär att för varje skanning kan hundratals unika och representativa mikrostrukturer extraheras genom att skifta och överlappa 1/16 delar. Vi kan sedan tillämpa XAE metodiken och utföra virtuellprovning på de för att ta fram materialkort. Den processen har automatiserat i rapport [9]. För att effektivisera detta har även en AI modell utvecklat på MIT [16] använts för att räkna fram spänningsfältet i mikrostrukturen utan behov att räkna med finitelement modeller. Detta publicerade i [13] och modellen ska utvecklas vidare för att integreras i processen helt.

Materialkorten för ca 70 RVE kan sedan användas i den kommersiella programvaran KOMVOS ML från Beta CAE. Programmet tränar och utvärderar ett antal ML modell (i det fallet: SVR, Elastic Net, Lasso, Random Forest). Två träningsmetoder utvärderades: i) Cross-Validation (CV)-metoden delar upp datasetet i tränings- och testset med förhållandet 90/10, och modellen utvärderas baserat på testsetet, ii) Nested Cross-Validation (NCV)-metoden använder flera uppdelningar i datasetet i två faser, där den första fasen skapar test- och tränings set och den andra fasen utför enkel korsvalidering inom tränings setet med 5 yttre och 5 inre loopar.

Grafen nedan visar att error under 10% kan uppnås med träning på 25 materialkort, vilket är en tredje del av bas underlaget. Detta ger en intressant besparing i beräkningstid som skulle kunna göra materialvariabilitets i komplexa beräkningar möjlig, men mer forskning behövs för att öka noggrannhet på modellen.



Figur 7. Prestanda av ML modellen på huvud islag fallet.

7. Ökad kompetens inom svensk industri

Projektet har markant ökat kompetensnivån inom svensk industri genom bra kunskapsutbyte inom projektteamet och värdefulla lärdomar från att studera mikrostrukturer med CT-skanning. Detta har varit värdefullt för Tier 1-leverantörer och OEM i projektet för att designa nya produkter.

Konsortiet har gjort stora framsteg i att förstå materialegenskaperna hos biokompositer, och denna kunskap har överförts till tillverkningspartnern, vilket skapar en bra synergi mellan tillverkning och slutliga egenskaper hos materialen.

Homogeniseringstekniken och segmenteringstekniken som utvecklats i projektet har delvis implementerats av industriella partners, vilket visar på arbetets nyskapande och industriella relevans.

Kompetensutveckling inom industrin i Sverige har främjats genom projektets olika initiativ. Medverkan som gästföreläsare på kursen om kompositmekanik på Chalmers Tekniska Högskola, samt handledning av en doktorand och fyra exjobbstudenter, har bidragit till att sprida kunskap och erfarenheter. Interna kurser på Volvo Cars, tillsammans med anställning av två amanuensstudenter, har också spelat en viktig roll i att stärka kompetensen hos industripartnerna.

Utöver detta har projektet lett till omfattande kunskaps- och informationsspridning genom Volvo Cars Award. Projektet nominerades och röstades fram som vinnare i forskningskategorin, vilket betydde att en stor del av medarbetarna lärde sig genom publikvetenskap. Dessutom har projektet uppmärksamats genom inlägg som setts av över 10 000 visningar, vilket ytterligare understryker dess genomslagskraft och betydelse inom området.

8. Ledande position i Europa inom krockmodellering av biokompositer

Projektet har varit avgörande för att etablera Sverige som ledande inom krockmodellering av biokompositer. Forskning och innovation vid Chalmers Tekniska Högskola har sedan 2012, med stöd från flera Vinnova-finansierade projekt, utvecklat avancerade metoder för att förutsäga materialbeteenden vid krock. Denna forskning har möjliggjort bildbaserad modellering som ger högprecisionsanalyser av materialets mikrostrukturer.

Forskningsresultaten har presenterats på internationella konferenser och europeiska projektmöten, vilket har spridit svensk expertis globalt. Genom SAFER-plattformen och Marie Curie ITN-projektet RELIANCE², där Volvo Cars och Chalmers är aktiva deltagare, har tekniken från projekten MUMMERING och UTMOST vidareutvecklats. Samarbetet involverar ledande industrier och universitet i Europa och stärker Sveriges inflytande.

Sammanfattningsvis har projektet ökat kunskap och kompetens inom svensk industri och positionerat Sverige som en ledande nation inom krockmodellering av biokompositer. De innovativa teknikerna har potentialen att revolutionera framtida fordonsdesign, vilket ger Sverige en konkurrensfördel internationellt.

² [RELIANCE](#)

Spridning och publicering

1. Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Det utvecklade metodiken är unik inom område och möjliggör både virtuell testning och djup analys av biokompositer som var omöjlig innan
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Delar av metodiken finns tillgänglig i programvaror som används inom industrin vilket säkrar överföring av utvecklingen. Metodiken har också varit grund till en liknande metodik för metalliska material som håller på att utvecklas i ett nytt doktorandprojekt. Metodiken vidareutvecklas i Marie Curie ITN projekt RELIANCE.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Tekniken används idag för att ersätta fysisk provning av biokompositer hos Volvo Cars. Detta är möjliggjort med investering av datortomografiutrustning på företaget.
Introduceras på marknaden	X	Delar av metodiken finns tillgänglig i programvaror som används inom industrin vilket säkrar överföring av utvecklingen.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		

2. Publikationer och leveranser

Tidskriftartiklar:

1. Numerical failure modelling of natural fibre composite coupons using X-ray computed tomography-based modelling. Marcus Iversen, Anton Årmann, Robert M. Auenhammer, Nikoleta Pasvanti, Johann Körbelin, Kai Kallio, Leif E. Asp, Renaud Gutkin. Volume 6, September 2024.
2. X-ray tomography 3D image dataset of natural fibre reinforced polypropylene. Robert M. Auenhammer, Kai Kallio, Leif E. Asp, Renaud Gutkin, Marcus Iversen, Anton Årmann, Nikoleta Pasvanti, Johann Körbelin. Data in Brief. Submitted
3. Fibre orientation distribution function mapping for short fibre polymer composite components from low resolution/large volume X-ray computed tomography. Robert M. Auenhammer, Anuj Prajapati, Kaldon Kalasho, Lars P. Mikkelsen, Philip J. Withers, Leif E. Asp, Renaud Gutkin. Composites Part B: Engineering. Volume 275, 15 April 2024.

4. X-ray computed tomography-based modelling to quantify variation in the nonlinear and fracture behaviour of nonwoven biocomposites. Valdemar, William, Johann, Kai, Leif, Renaud. In preparation 2025

Konferensartiklar:

1. AI in Material Science: Impact and Opportunities for the automotive industry. Materials for tomorrow 2024. Gothenburg.
2. Predicting the stress response and failure of natural fibre composites with generative adversarial networks based on X-ray computed tomography three-dimensional images. Robert Auenhammer, Renaud Gutkin, Leif Asp. Svenska Mekanikdagarna, Chalmers University of Technology, 17-19 juni 2024.
3. X-ray computed tomography-based modelling for feature-dependent and independent meshing of heterogenous material. Robert M. Auenhammer, Lars P. Mikkelsen, Ragnar Larsson, Renaud Gutkin, Leif E. Asp. Proceedings of the Twenty-third International Conference on Composite Materials (ICCM23).
4. Characterisation of natural fibre composites using X-ray computer tomography aided engineering. Anton Årmann and Marcus Iversen. Beta CAE international user conference. 2023.

Övriga rapporter

1. Natural Fibre Polypropylene Composites. Test Report. Nikoleta Pasvanti, Johann Körbelin. 2023. Volvo Cars.
2. Characterisation of natural fibre composites using X-ray computer tomography aided engineering. Master's thesis in Master Program Structural Engineering and Building Technology. Marcus Iversen. Anton Årmann. 2023. Chalmers.
3. Image-based numerical modelling of heterogeneous materials. Doktorsavhandling, 2023. Robert M. Auenhammer. Chalmers.
4. Virtual material characterization of natural fibre composites. Bachelor Thesis in Mechanical engineering. William Abel And Valdemar Kullberg. 2024. Chalmers.
5. Mechanical testing report component Utmot. Kai Kallio. 2024. Volvo Cars.
6. Technical Report on ML application to head impact analysis. Utmot Project. December 2024. K.Rachoutis, D.Drougkas, BETA CAE Systems.

Slutsatser och fortsatt forskning

Genom projektet har en banbrytande metodik för krockanalys av biokompositer utvecklats. Denna metodik är inte bara prediktiv, utan också effektiv, vilket öppnar nya möjligheter för användning av biokompositer inom säkerhetskritiska komponenter i fordonsindustrin. Genom att kombinera avancerade FE-modeller med detaljerade bilder från röntgentomografi har materialresponser kunnat predikteras med hög noggrannhet. Detta arbete representerar ett stort steg framåt inom materialvetenskap och tillämpning av biokompositer.

Projektet har också visat prov på hur samarbete mellan olika aktörer inom industrin och akademien kan leda till innovativa lösningar. Deltagande partners, inklusive Volvo Cars, BetaCAE och IAC, har tillsammans bidragit med expertis och resurser som har varit avgörande för projektets framgång. Framåt kommer nya tillämpningar för biokompositer att utforskas, särskilt inom områden där materialens unika egenskaper kan ge betydande fördelar.

En annan viktig aspekt av den fortsatta forskningen är att utvidga metodiken till andra material, såsom metalliska material med komplexa mikrostrukturer, exempelvis gjut aluminium. Genom att tillämpa den utvecklade XAE-baserade metodiken på dessa material, hoppas vi kunna förbättra prediktionsförmågan och effektiviteten även för metalliska komponenter.

Vidare planeras det att utveckla och förfinas de AI-baserade modellerna ytterligare. Detta inkluderar att integrera nya tekniker och algoritmer, samt att förbättra modellernas kapacitet att hantera större och mer komplexa dataset. Målet är att skapa ännu mer robusta och tillförlitliga verktyg för materialanalys och krocktestning.

För att nå dessa mål kommer fortsatt samarbete mellan industripartners och akademiska institutioner att vara avgörande. Genom att arbeta tillsammans kan dessa aktörer dra nytta av varandras styrkor och utveckla lösningar som är både innovativa och praktiskt tillämpbara. Fokus kommer också att läggas på att utbilda nästa generation av forskare och ingenjörer, som kan fortsätta att driva utvecklingen inom detta spännande forskningsområde framåt.

Deltagande parter och kontaktpersoner



Volvo Cars:

Renaud Gutkin

renaud.gutkin@volvocars.com

Kai Kallio,

Johann Körbelin,

Nikoletta Pasvanti



BetaCAE:

Stylianos Seitanis
sseita@beta-cae.com



IAC:

Markus Akervall

Markus.akervall@iacgroup.com



Chalmers:

Leif Asp

Leif.asp@chalmers.se

Robert Auenhammer,

Valdemar Kullberg,

William Abel,

Anton Årmann,

Marcus Iversen

References

- [1] N. Pasvanti och J. Körbelin, "Natural Fibre Polypropylene Composites. Test Report.," Volvo Cars, 2023.
- [2] M. Iversen, A. Årmann, R. M. Auenhammer, N. Pasvanti, J. Körbelin, K. Kallio, L. E. Asp och R. Gutkin, "Numerical failure modelling of natural fibre composite coupons using X-ray computed tomography-based modelling.," vol. 6, 2024.
- [3] R. M. Auenhammer, K. Kallio, L. E. Asp, R. Gutkin, M. Iversen, A. Årmann, N. Pasvanti och J. Körbelin, "X-ray tomography 3D image dataset of natural fibre reinforced polypropylene," vol. Submitted, 2024.
- [4] V. Kullberg, W. Abel, J. Körbelin, K. Kallio, L. Asp och R. Gutkin, "X-ray computed tomography-based modelling to quantify variation in the nonlinear and fracture behaviour of nonwoven biocomposites.," vol. In preparation, 2025.
- [5] A. Årmann och M. Iversen, "Characterisation of natural fibre composites using X-ray computer tomography aided engineering.," Master's thesis in Master Program Structural Engineering and Building Technology. Chalmers, 2023.
- [6] R. M. Auenhammer, L. P. Mikkelsen, R. Larsson, R. Gutkin och L. E. Asp, "X-ray computed tomography-based modelling for feature-dependent and independent meshing of heterogeneous material.," 2023.
- [7] M. Iversen och A. Årmann, "Characterisation of natural fibre composites using X-ray computer tomography aided engineering.," 2023.
- [8] V. Kullberg och W. Abel, "Virtual material characterization of natural fibre composites.," Bachelor Thesis in Mechanical engineering. Chalmers., 2024.
- [9] W. Abel och V. Kullberg, "Automated numerical homogenisation of RVE," Chalmers, 2024.
- [10] R. M. Auenhammer, "Image-based numerical modelling of heterogeneous materials.," PhD thesis Chalmers, 2023.
- [11] R. M. Auenhammer, A. Prajapati, K. Kalasho, L. P. Mikkelsen, P. J. Withers, L. E. Asp och R. Gutkin, "Fibre orientation distribution function mapping for short fibre polymer composite components from low resolution/large volume X-ray computed tomography.," vol. 275, 2024.
- [12] R. Gutkin, "AI in Material Science: Impact and Opportunities for the automotive industry.," Gothenburg, 2024.
- [13] R. Auenhammer, R. Gutkin och L. Asp, "Predicting the stress response and failure of natural fibre composites with generative adversarial networks based on X-ray computed tomography three-dimensional images.," Gothenburgh, 2024.
- [14] K. Kallio, "Mechanical testing report component Utmost.," Volvo Cars, 2024.

- [15] K. Rachoutis och D. Drougkas, "Technical Report on ML application to head impact analysis. Utmost Project.," BETA CAE Systems., 2024.
- [16] Z. Yang, C.-H. Yu och M. J. Buehler, "Deep learning model to predict complex stress and strain fields in hierarchical composites," vol. 7, nr 15, 2021.