

# Frontal- och sneda kollisioner - Utvärdering av skaderisk och skyddssystem för den uppgraderade THOR dockan



Författare: Cecilia Sunnevång, Tobias Aderum, Mikael Dahlgren, Christian Forsberg,  
Christer Lundgren (Autoliv Research)  
Lotta Jakobsson, Merete Östmann (Volvo Car Corporation)

Datum: 151106

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Executive summary.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Bakgrund.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Syfte, frågeställningar och metod.....</b>	<b>5</b>
4.1 Syfte .....	5
4.2 Metod .....	5
<b>5 Mål .....</b>	<b>7</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>7</b>
6.1 Resultat från fysiska krockprov .....	7
6.2 Resultat från simulering .....	8
6.3 Resultat som bidrar till FFI:s mål.....	10
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>10</b>
7.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	10
7.2 Publikationer.....	11
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>12</b>
8.1 Slutsatser .....	12
8.2 Fortsatt Forskning .....	12
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>	<b>12</b>
<b>10Referenser.....</b>	<b>13</b>

# 1 Sammanfattning

Det här projektet syftade till att förstå bröstbelastning i frontala och sneda kollisioner med hjälp av den uppgraderade THOR-dockan (THOR-M). För att få en detaljerad förståelse om vad som händer i ett krockprov är virtuell utvärdering av yttersta vikt. En del av projektet var att implementera en modell av en ny axel i befintlig FE-THOR från NHTSA. Då denna dockmodell inte var stabil och dåligt validerad ändrades fokus i projektet till att driva på utvecklingen av en FE-THOR och vilket uppnåddes genom ett samarbete med Humanetics.

Parallellt med utvecklingen av FE-THOR genomfördes en mängd prov med den fysiska THOR. Bröstkorgen belastades kvasi-statiskt för att undersöka responsen vid lokal belastning såväl som för olika positioner av diagonalbältet. Resultaten visade att givarna i bröstet kan uppfatta lokala deformationer och på en acceptabel nivå återspegla detta i bröstdeflektionen. Genom prov med olika bältesdragning konstaterades att bältets position påverkar bröstdeflektionen. Samma bältespositioner reproducerades sedan i en generisk slädprovsmiljö där viss effekt observerades för positionen på axeln, men effekten av de olika positionerna vid höften var försumbara. I den generiska slädprovningen utvärderades även repeterbarhet samt respons från olika skyddssystem. Repeterbarheten bedömdes som god. THOR respons för olika skyddssystem visade viss känslighet för hur lasten fördelas över bröstet. Ett extrabälte reducerar deflektionen vilket är något man tidigare bara kunnat utvärdera med PMHS prov eller med hjälp av humanmodell. Att avlasta bröstet och ta mer last vid axeln visade också en kraftig reduktion av bröstdeflektion. För att utvärdera sneda kollisioner reproducerades ett fullskaleprov från NHTSA i slädmiljö. Då THOR i slädmiljö inte rörde sig på samma sätt som i bilprovet, avslutades provningen efter sex prov. En utvärdering med FE-THOR kunde ge mer information kring vilken parameter som behövde åtgärdas, men då modellen inte fanns framme förrän sent i projektet har den sneda belastningen inte kunnat utvärderas som önskat.

Att bättre förstå skademekanismer och skadekriterier vid sneda kollisioner kvarstår och är en fråga för fortsatt forskning. Även att förstå risken för skada med olika krockvåld som är representativt för fältfall, och att kunna prediktera skada bättre är något som kräver mer forskning. Rekonstruktioner av verkliga fall är en väg framåt för att nå ökad kunskap kring detta.

Efter några iterationer var FE-THOR tillräckligt validerad för att använda i en jämförelse med THUMS. THOR och THUMS kördes i den generiska miljön med de tio olika skyddssystemen. Skaderisk för AIS2+ skada på bröstet för THOR och THUMS som 45 och 65 årig åkande jämfördes. Generellt så visade THOR på mindre risk för skada. Risknivåerna för alla föreslagna kriterier såväl som för de olika skyddssystemen var relativt lika, men med större intern variation än för THUMS.

Projektet har genererat resultat kring användning, hantering, utvärdering och repeterbarhet för den fysiska THOR såväl som för FE-THOR. Denna kunskap gör att Svensk industri och akademi kan ha en ledande ställning i arbetet mot att reducera antalet svåra och dödliga skador för åkande. Projektet har resulterat i muntliga presentationer vid ett antal tillfällen. Genom projektet har även andra samarbeten möjliggjorts vilket har resulterat i ett antal vetenskapliga publikationer.

## 2 Executive summary

This project aimed to understand the thoracic loading of the upgraded THOR crash test dummy in frontal and oblique loading conditions using current and state-of-the-art restraint systems. In addition, the project aimed to evaluate and rank proposed injury criteria in terms of real life relevance and capability of countermeasure differentiation. In order to understand potential benefits and limitations of the THOR dummy, a Finite Element (FE)-model was needed. This led to that a large part of the project focused on developing the FE-THOR since an updated and valid model was not available at the project start. In addition, The FE human body model THUMS was used to relate the FE-THOR crash test findings to humanlike responses.

For a detailed evaluation of the thoracic response, the physical THOR dummy was subjected to quasi-static loading. A probe was pressed down on the thorax to check if localized loading was picked up by the four IR-Traccs measuring chest deflection in three directions. The thorax's capability of identifying variations due to belt routing was checked by pulling the belt in different angles across the thorax (table top tests). Sled tests using a body-in-white (BIW) was performed to evaluate if the head and chest responses in a complete vehicle oblique impact crash test method (proposed by NHTSA), could be replicated in a sled test environment. Additionally, generic sled tests were performed to check variations to different types of restraints. For the development and validation of the FE-THOR, all the physical tests were replicated virtually. In addition, thoracic responses and overall kinematic of the occupant models were compared using FE-THOR and THUMS in the generic sled setup using ten different restraint configurations.

The quasi-static tests showed that the THOR thorax is sensitive enough to detect localized loading and that repeatability for the chest deflection measured by the IR-Traccs is acceptable in x-direction but questionable for the resultant deflection. The different belt routing positions from the quasi-static tests were replicated in the generic sled tests, and variations in dummy response due to belt routing was detected. Restraint variation in the generic sled tests did result in different dummy response showing that a firm restraint of pelvis or low or distributed loading of the thorax results in low thoracic deflection.

Correlation of the FE-model to physical tests with the THOR was good in the quasi-static tests, generic sled test and the complete vehicle tests. The FE-THOR showed similar kinematic behaviour as THUMS although the less flexible spine resulted in slightly smaller excursion and, as a result of that, different interaction with the restraint systems in terms of head contact to driver airbag and area and shoulder belt deformation. In the comparison of FE-THOR and THUMS, the thoracic response to the different restraint variations was compared using injury criteria with corresponding injury risk functions developed for AIS2+ injuries. For all restraint variations, as well as for two different ages, THOR predicted a lower injury risk compared to THUMS. For the THOR, NHTSA proposed criteria showed more age dependency than the other criteria.

One of the main achievements for this project is the availability of a FE model of the THOR dummy, and specifically the most recent version of the dummy (THOR-M). THOR is the most advanced crash test dummy, enabling higher flexibility in loading directions (oblique to frontal crashes) and higher quality in real world resemblance and responses. A FE model is of utmost importance for using a crash test dummy in vehicle development, due to the need of virtual tools in early phases. The tool and the knowledge gained in this project is of high importance for the partners (Chalmers, Autoliv and Volvo Cars); as restraint system development tool, but also as knowledge base positioner internationally. The knowledge and experiences from dummy handling, response and positioning, together with other results from the project, are disseminated in discussions with NHTSA as well as input to the EEVC working group on the THOR dummy. Using the FE THOR and the THUMS in back-to-back comparison has resulted in a deeper understanding on potentials and limitations for each of the tools available for occupant protection.

### 3 Bakgrund

För fortsatt reducering av dödliga och allvarliga skador och för att nå Nollvisionen krävs ytterligare förbättrade skyddssystem i bilar. Krockdockan THOR som motsvarar en 50 percentils man, uppgraderades nyligen inom det europeiska projektet THORAX och i samarbete med NHTSA, har visat sig vara mer biofidelisk och mer känslig för olika skyddssystem än dagens Hybrid III docka (HIII) som används i lagkrav- och konsumenttester. Även om THOR representerar en 50 percentils man, är denna förbättrade docka ett viktigt verktyg som behövs för att utveckla mer sofistikerade skyddssystem för frontala och möjligen också sneda kollisioner. För att täcka ett bredare spektrum av krockar som observerats i fältdata, är utvärdering av skyddssystem med hjälp av simulering ett måste. Detta kräver en validerad FE-modell av den fysiska dockan, och även om utvecklingen av THOR har pågått i flera år var en sådan modell inte tillgänglig i början av det här projektet.

## 4 Syfte, frågeställningar och metod

### 4.1 Syfte

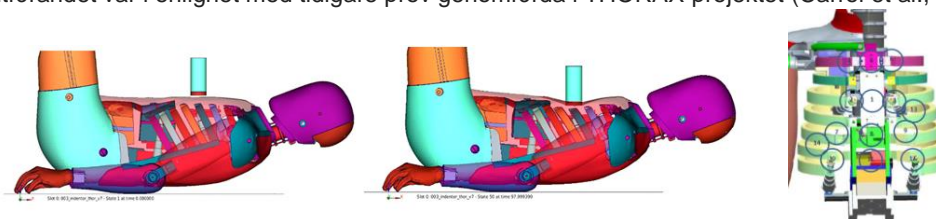
Syftet med det här projektet var att förstå den uppgraderade THOR-dockans thoraxrespons i frontal- och sned belastning vid användande av dagens skyddssystem. Projektet syftade också till att utvärdera och rangordna (relevans jämfört med mänsklig respons) de skadekriterier som tagits fram och presenterats av THORAX-projekt. För mänsklig respons användes humanmodellen THUMS. För att förstå THOR-dockans potentiella fördelar och begränsningar, samt för jämförelse med THUMS krävs simulering och därmed en validerad FE-modell av den fysiska dockan. Att en sådan inte fanns tillgänglig då projektet startade ledde till att en stor del av projektet fick fokusera på att utveckla FE-THOR.

### 4.2 Metod

För att förstå THOR-dockans thoraxrespons i olika typer av belastning utsattes den fysiska dockan för ett antal testscenarier. Parallellt med den fysiska provningen utvecklades FE-THOR och validerades mot fysiska provresultat när acceptabel nivå på respons och kinematik uppnåts. Avsaknaden av tillförlitlig FE-modell vid projektstart ledde till att fokus skiftade under projektet och en större insats gick åt till att utveckla en validerad FE-THOR än att utvärdera FE-THOR i jämförelse med THUMS. Svårigheter i att reproducera NHTSAs föreslagna fullskaletest NHTSA Oblique Impact i slädmiljö gjorde också att utvärdering av sned belastning uteblev.

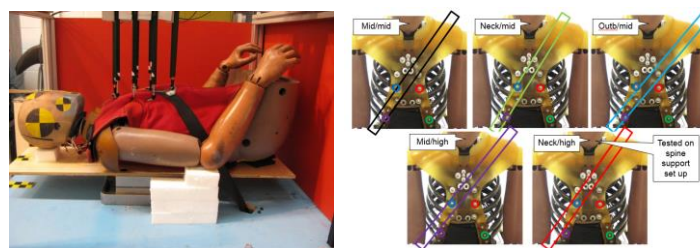
#### 4.2.1 Kvasi-statisk belastning

För att utvärdera dockarespons vid lokal belastning, har två typer av kvasi-statiska tester; indentorprov och Table Top prov. För indentorproven användes en stav till att trycka på bröstet i olika punkter enligt figur 1. Testutförandet var i enlighet med tidigare prov genomförda i THORAX projektet (Carrol et al., 2013).



Figur 1. Provsetup för indentortest (vänster) samt punkter för belastning på bröstkorgen (höger).

I Table Top-proven drogs ett säkerhetsbälte över thorax på olika sätt för att kontrollera deformationsgivarnas variation vid olika bältespositioner. Utförandet var i enlighet med vad som gjorts i THORAX-projektet och en bild på provsetup och olika bältesdragningar är presenterade i Figur 2.



Figur 2. Table Top setup (vänster) samt de olika bältesdragningarna (höger).

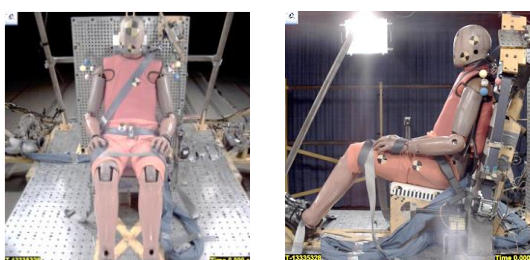
#### 4.2.2 Slädprov i kaross

Sex slädprov utfördes i ett försök att efterlikna det föreslagna fullskaleprovet NHTSA Oblique Impact. Slädproven utfördes i en Volvo S60 kaross och korrelerades med hjälp av data från ett krocktest av Volvo S60 från NHTSAs öppna databas. Alla interiörkomponenter var fordonsspecifika och byttes mellan varje prov. För att nå korrekt åkandekinetik och nå korrekt mätning i huvudet användes två olika inställningsvinklar; 20 och 25 grader. Använd krockpuls kom från fullskalans fordonsacceleration i x-led och

alla skyddssystem triggades i enlighet med fullskaleprovet. Några iterationer med modifieringar av förarbaggen gjordes för att uppnå en förståelse för variationen i korrelationen med krocktestet.

#### 4.2.3 Generiska slädprov

För utvärdering av THOR-dockans repeterbarhet och bröstorgans respons på olika skyddssystem genomfördes totalt 61 slädprov i en förenklad generisk provsetup som visas i figur 3. I provutförandet (enligt FN: s ECE R16) användes en rigid bilstol, bältesgeometri och krockpuls som är representativa för en medelstor modern bil. För att förstå THOR-dockans kinematik och respons för olika typer av skyddssystem, samt hur dessa påverkar deflektionsmätningen fokuserade utvärderingen på olika bältesystem. Crash locking tongue (CLT), användes för att förhindra bandglidning mellan diagonal och höftbälte. Pretensioning i axeln användes med en belastningsbegränsning på 4 kN. Pelvis pretensioning, PLP, jämfördes med dubbel PLP. Flerpunktsbälten (criss-cross och rygsäcks bälte) utvärderades också såväl som beltbag och wide webbing (brett bältesband) för att undersöka hur deflektionen påverkas av en lastfördelning som täcker en större del av bröstkorgen. Interaktion med en förarairbag (DAB) undersöktes också i två tester.



Figur 3. Generic sled test setup. Front view (left) and lateral view (right).

#### 4.2.4 FE-Modellering – Utveckling och validering av FE-THOR

En stor del av projektets tid och resurser ägnades åt att få fram en duglig FE-modell av THOR-M. Vid projektets start fanns en beta-modell av den upgraderade THOR-dockan med avseende på bröstkorgen. Vad som saknades var dock korrekt axelmodell.

Axelkomplexet och dess lastupptagning och kinematik är av avgörande betydelse för hur bröstet belastas, i synnerhet när en tre-punktsbälte används. Därför utvecklade Törnvall et al. (2006) en mekanisk axel med människoliknande antropometri och rörelseomfång och som skulle kunna eftermonteras på övre ryggraden av THOR-NT. Den nya designen benämndes Shoulder Design 1 (SD1). Dess rörelseomfång uppdaterades och benämndes SD2. Hållbarheten i krockprov var dock bristfällig för SD2 och med fokus på hållbarhet och reproducerbarhet uppdaterades axeln inom THORAX-projektet (Lemmen et al 2012 och 2013a och 2013b), och den nya ansatsen betecknades SD3. I början av det här projektet skapades en FE-modell av SD3 axeln baserat på geometrier från 3D ritningar från NHTSA samt fysiska mätningar på den fysiska dockan. När modellen skapades fokuserades modelleringsarbetet på axeln rörelseomfång och styvhet genom validering mot fysiska prov gjorda för framtagning av den fysiska axeln. FE-SD3 korrelerade bra mot dessa prov.

FE-SD3 implementerades därefter i NHTSA FE-THOR version 2.0.5, och responsen (kinematik och deflektionsmätning) utvärderades för hela dockan med hjälp av fysiska testresultat från pendelprov (Kroell) och slädprov (Gold Standard). NHTSA FE-THOR var instabil och visade en dålig korrelation med de fysiska proven. På grund av det stora antalet problem som identifierats beslöt det att istället satsa på en kommersiell modell som tillhandahölls av Humanetics.

Ett samarbete med Humanetics etablerades där testresultat från fysiska prov (kvasi-statiska liksom generiska slädprov) lämnades till Humanetics för uppdatering av modellen. När efter uppdatering utvärderade, Autoliv och Volvo Personvagnar modellen i fordonstester samt ytterligare slädprov (generiska och BIW). Efter tre iterationer var modellen tillräckligt bra för att fortsätta utvärderingen för jämförelse med THUMS. På grund av de många iterationer under utvecklingen av FE-THOR har optimering av skyddssystem med hjälp av FE-THOR inte kunnat hanteras inom given tidplan och budget.

Modellvalideringen av FE-THOR modell 0.6.2 utfördes i en fordonssimulering av NHTSA Oblique Impact, samt i generiska slädmetoden med olika skyddssystem. Korrelationen mot det simulerade fullskaleprovet fokuserade främst på dockans på kinematik samt mätsignaler från huvudet (särskilt BRIC). Korrelationen i den generiska provuppställningen fokuserade på övergripande kinematik, bälteskraft, accelerationer och deflektioner.

## 5 Mål

Det förväntade resultatet av projektet var att få en ledande position i att förstå och använda den uppdaterade THOR-dockan med fokus på användbarhet, skadeprediktering och design av skyddssystem. Övergripande mål är att förstå THOR-dockans kapacitet för att ytterligare minska verkliga skador i frontal- och sneda kollisioner som ett led i Nollvisionen.

Följande mål var ursprungligen uppsatta för projektet:

- Förbättrad kompetens för projektparter att använda och utveckla skyddssystem med hjälp av den uppgraderade THOR-dockan.
- Vetenskapliga artiklar om användbarheten av THOR.
- Utvärdering av föreslagna skadekriterier som indata till R94 och EuroNCAP.
- Vetenskapliga artiklar på THOR respons i relation THUMS.
- Input till design av framtida fordons- och skyddssystem.
- Förbättrad kunskap kring utvärderingsmetoder för effekter kring sneda lastfall.

Projektet har levererat mycket provdata och kunskap kring användbarhet, repeterbarhet och svagheter med den fysiska dockan. Även en god inblick i modellen och dess begränsningar har erhållits i och med samarbetet med Humanetics. I och med fokus på att utveckla och validera FE-THOR har dockans respons i relation till människoliknande respons, THUMS, inte kunnat genomföras i önskad utsträckning. Med hjälp av provdata från fysiska prov i generisk miljö har viss utvärdering av skadekriterier gjorts, och jämförts med riskprediktion med hjälp av THUMS. Inom projektet har ett stort jobb gjorts i att förstå hur ett fysiskt fullskaleprov i NHTSA Oblique Impact kan köras i förenklad slädsetup, men utvärdering av skademekanismer och nya skyddssystem hade förutsatt en valid FE-Modell tidigare i projektet.

## 6 Resultat och måluppfyllelse

### 6.1 Resultat från fysiska krockprov

#### 6.1.1 Kvasi-statiska prov

Repeterbarhet: Provkonfiguration och THOR-dockan är repeterbara nog att göra adekvat bedömning. Deflektion i x-riktning i förhållande resultatanten kan i vissa fall förklara variationen mellan prov. Temperatureffekt: Dockans temperatur måste beaktas. Efter dessa prov installerades tre temperaturgivare (huvud, hals och bröst). Bältets läge på axeln: Betydande effekter på max deflektion då bältet ligger på övre vänstra positionen. Bältets läge vid pelvis: Bältets läge har inga, eller begränsade, effekter på max deflektion.

#### 6.1.2 Slädprov i kaross

Till skillnad från fullskaleprovet träffar THOR-dockans huvud förarairbagen senare, glider av, och träffar vänster interiör i slädproven. När huvudet glider av bagen minskar huvudets rotation kring z-axeln vilket resulterade i lägre BrIC-värden än som uppmätts i fullskalan. HIC är däremot högre då huvudet i släden har ett islag vilket inte skedde i det fysiska fullskaleprovet. Bröstdeflektion, i x-riktning var högst i den höger övre

och nedre kvadranten i både släde och fullskala, men max deflektion var lägre i slädproven. Resulterande deflektion, vilket kan vara lämpligare mått i sned belastning var väldigt olika i slädproven jämfört med fullskalan. Sammantaget motsvarade inte slädprovet fullskalan tillräckligt bra för att prediktera skada eller optimera skyddssystem. På grund av den försenade FE-THOR avbröts utvärderingen av sneda kollisioner.

### 6.1.3 Generiska slädprov

Repetierbarhet: Repeterade prov i serien sänkte spridningen i dockvärden. Temperatur effekt: Ingen tydlig ökning av deflektionen med högre temperatur. Resultaten betraktas som inom normal spridning. För hög repetierbarhet i en serie av prov med THOR, rekommenderas uppvärmningsprov.

För utvärderingen av skyddssystem finns en översikt över resultat med de olika systemen i figur 4, där gul färgkod betecknar ingen förändring, grön innebär bättre resultat och röda sämre resultat jämfört med referensen. Utvärderingen baseras på bröstdeflektion (max) samt bröstkorgens och pelvis framflyttning.

0-100ms	Std Ref	No PLP	Pre pt	Dual buckle	2xPLP	DAB	Std LLA	Chris X	Backpack
Cd res.									
Cd x-dir									
DC, Defl-Comb, x-dir									
Chest forw disp									
Pelvis forw disp									

Figur 4. Jämförelse av THOR:s respons med olika skyddssystem. Gul färg markerar ingen förändring, grön är bättre resultat och röd är en försämring.

## 6.2 Resultat från simulering

### 6.2.1 validering

Jämförelsen av NHTSA:s fullskaleprov med THOR och den virtuella versionen visade en god korrelation mellan fysisk THOR och FE-THOR. Vänster axel och huvudrörelser var liknande och bältet gled av höger axel på ett liknande sätt. En observation under simuleringarna var att modellen är mycket känslig för små förändringar i provuppställningen. En jämförelse med THUMS visade att axelpartiet rör sig på liknande sätt som för THOR med samma bältesrörelse, men ändå med en annan huvudrörelse. För framtida utvärdering av effekter från sneda lastfall är både THOR och THUMS lämpliga verktyg.

I den generiska släden var kinematiken mellan FE-THOR och fysiska THOR krockdockan bedömd likvärdig. Bälteskraft, accelerationer (huvud, bröstkorg och pelvis) och bröstdeflektioner replikerades bra i FE-THOR jämfört med fysiskt prov. En observation är att bältet i de fysiska proven och simulering, inte uppför sig på exakt samma sätt. I flera av de fysiska proven glider bältet mot halsen vilket inte sker i de simulerade proven. Detta kan ha en liten effekt på kinematik och dockrespon.

### 6.2.2 FE-THOR versus THUMS

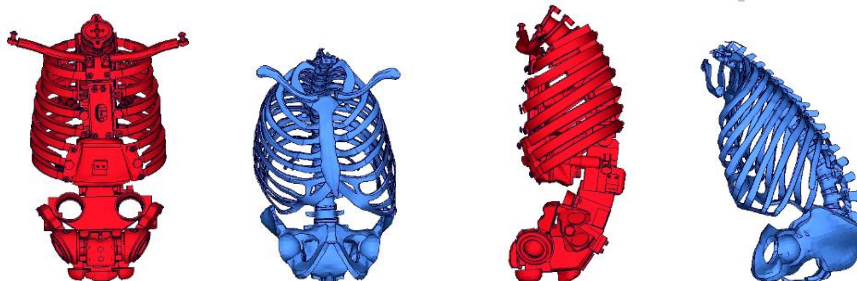
I de generiska slädproven rör sig THUMS mer framåt och nedåt jämfört med FE-THOR, och den mer flexibla ryggraden i humanmodellen påverkar till viss del bröstkorgens deformation, se Figur 5.



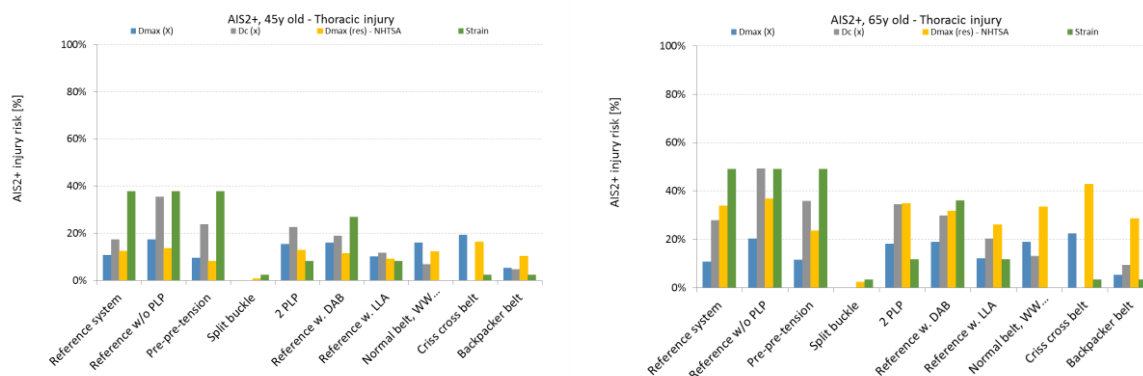


Figur 5. Jämförelse av FE-THOR (röd) och THUMS (grön och blå). Övergripande kinematik (övre) och detaljerad kinematik (nedre).

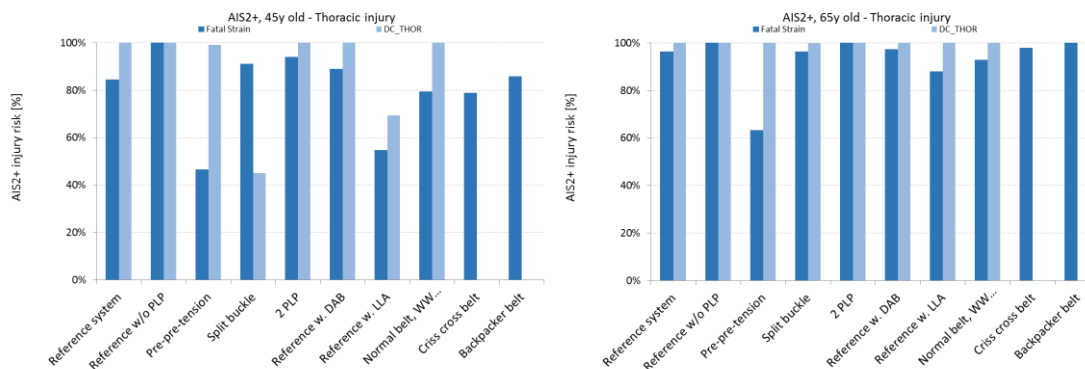
Risken för AIS2+ skada på bröstet för THOR som en 45 och 65 år gammal åkande visas i Figur 6. För en 65-årig åkande visar skadekriteriet från NHTSA en högre risk än kriterierna från THORAX-projektet.



Prediktering av två eller fler revbensfrakturer baserad på belastning, och AIS2+ bröstskada baserat på DC-THOR för 45 och 65 år gammal THUMS visas i Figur 7. För båda åldrarna visar THUMS betydligt högre skaderisk än THOR.



Figur 6. Risk för AIS2+ skada baserat på skadekriterier för THOR.



Figur 7. Risk för AIS2+ skada baserat på skadekriterier för THUMS.

Baserat på dessa simuleringar är Dmax, antingen i x-riktning som föreslagits av THORAX-projektet eller resultatanten som föreslagits av NHTSA, ett bra skadekriterie. Den höga risken för skador som predikteras av THUMS verkar orealistiskt och för att bättre förstå risknivåer samt skademekanismer krävs mer forskning kring skadeprediktering med humanmodeller.

### 6.3 Resultat som bidrar till FFI:s mål

Resultaten från detta projekt innebär en attraktiv kunskapsbas internationellt. Genom denna kompetens anses Svensk industri och akademi som mycket erfarna i hantering, utvärdering och positionering av den uppgraderade THOR-dockan. Resultaten från detta projekt sprids genom diskussioner med NHTSA samt inom EEVC:s arbetsgrupp kring THOR-dockan.

Ett av de viktigaste projektresultaten är att det nu finns en tillgänglig FE version av den mest avancerade krockdockan för frontala och sneda lastfall, THOR-M. Denna FE-modell är, på grund av behovet att använda virtuella verktyg tidigt i produktutveckling, av hög betydelse. Med den validerade FE-THOR kan utvecklingsprojekt redan nu utvärdera effekter med ett bättre verktyg än HIII.

Genom att använda FE THOR och THUMS i samma provuppställning har en djupare förståelse för möjligheter och begränsningar erhållits kring de verktyg som finns tillgängliga för utvärdering av skyddssystem. THOR är den mest avancerade krockdockan, som möjliggör större flexibilitet i lastriktningar och erbjuder högre mät känslighet. Att använda de mest avancerade verktygen kommer att hjälpa svenskt näringsliv att upprätthålla den ledande positionen i världen, samt möjliggöra bidrag till att minska skadade och dödade åkande i bil.

## 7 Spridning och publicering

### 7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Presentationer och publikationer där den uppdaterade THOR-dockan har utvärderats och använts.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	THOR är nu möjlig att användas för design av skyddssystem samt ett verktyg som kan användas för skadeprediktering i högre utsträckning än HIII. Jämförelse med THUMS visar också att

		skadepredikteringen med humanmodeller bör förfinas.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Utvecklingsprojekt inom Volvo Cars och Autoliv använder THOR.
Introduceras på marknaden	X	Projektresultat kommer att användas inom EEVC arbetsgrupp som utvärderar THOR för EuroNCAP
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut	X	I kommande diskussioner för uppdatering av R94 finns resultat att tillgå.

## 7.2 Publikationer

Projektet har resulterat i ett antal muntliga presentationer, interna rapporter samt gett möjlighet till andra samarbeten som resulterat i vetenskapliga publikationer.

### 7.2.1 Rapporter

Holmqvist K and Davidsson J. *Development of a Finite Element Model of the SD3 Shoulder*. Chalmersrapport.

### 7.2.2 Muntliga presentationer

M Dahlgren. THOR test vs CAE, restraint parameter study. Presentation vid Humanetics Crash Meeting i Heidelberg 2015.

M. Dahlgren. NHTSA oblique generic CAE study. Presentation vid Humanetics Crash Meeting i Heidelberg 2015.

M Östmann. Comparison of Occupant Behaviour (CAE-HIII, Thums, CAE-Thor and Physical Thor) in NHTSA Oblique Test. Presentation vid Humanetics Crash Meeting i Heidelberg 2015.

M Panzer. Evaluation of the NHTSA THOR Finite Element Model. Muntlig presentation vid THOR Public Meeting på NHTSA, Washington DC, 2015.

C Sunnevång. FFI-THOR - Repeatability and sensitivity of the THOR dummy, presenterad via Skype för EEVC 2015.

### 7.2.3 Publikationer relaterade till projektet

F. J Lopez-Valdes, O Juste, B Pipkorn, I Garcia-Muñoz, C Sunnevång, M. Dahlgren & J. J Alba. A Comparison of the Performance of Two Advanced Restraint Systems in Frontal Impacts. *Traffic Injury Prevention*, 2014:15 pp 119-125.

F. J Lopez-Valdes, O Juste. Innovative Restraints to Prevent Chest Injuries in Frontal Impacts. *ESV Conference 2015 Gothenburg*.

B Pipkorn, F.J Lopez-Valdes, C Lundgren, D Bråse, C Sunnevång. Innovative Seat Belt System for Reduced Chest Deflection. *ESV Conference 2015 Gothenburg*.

C Sunnevång, E Lecuyer, D Hynd, J Carroll, D Kruse & O Boström. Evaluation of Near-Side Oblique Frontal Impacts Using THOR with SD3 Shoulder. *Traffic Injury Prevention*, 2014:15 pp 96-102.

C Sunnevång, D Hynd, J Carroll, M Dahlgren. Comparison of the THORAX Demonstrator and HIII sensitivity to crash severity and occupant restraint variation. *IRCOBI Conference 2014*.

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

### 8.1 Slutsatser

En FE-THOR version 1.0 (representerande fysisk THOR-M krockdocka) är nu tillgänglig att använda för produktutveckling.

Användning av THOR (FE och fysisk krockdocka) med föreslagna skadekriterier ger ökad möjlighet att designa skyddssystem för åkande.

Skadeprediktering med hjälp av THOR och THUMS i samma lastförhållanden resulterade i olika risknivåer, där THOR visade lägre risk för AIS2+ bröstskador. Bröst deflektionen var större i THUMS jämfört med THOR och i vissa fall var deformationen annorlunda på grund av olika kinematik som till stor del beror på ryggradens flexibilitet.

Alla skadekriterier för THOR visade liknande trender trots att nivåerna var något annorlunda. Resultaten från denna studie visar att deflektionen från en av fyra IR-Traccs (Dmax) är lika bra för riskprediktering som att använda DC (Combined Deflection)

### 8.2 Fortsatt Forskning

Då jämförelsen av skaderisk med FE-THOR och THUMS visade olika risknivåer är det viktigt att i fortsatt forskning kunna säga något om vilket verktyg som visar rimligast nivå. Ett sätt att bättre förstå risknivåer är att genomföra rekonstruktioner av verkliga olyckor. Det är också viktigt att förstå begränsningar för krockdocka såväl som för humanmodell. Med THOR som koppling till fysiska prov och THUMS för en djup förståelse för skademekanismer och detaljerad skadeprediktion täcks ett stort behov för framtida utveckling av skyddssystem för åkande.

Då detta projekt fick dra ner på ambitionen kring sneda kollisioner kvarstår denna forskningsfråga som bör utredas vidare. Både THOR och THUMS visar ett rörelsemönster som kan förklara skador på fältet, men det är fortfarande oklart hur dessa skador kan predikteras med tillgängliga verktyg.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner



#### Autoliv Development AB:

Cecilia Sunnevang, [cecilia.sunnevang@autoliv.com](mailto:cecilia.sunnevang@autoliv.com)

Mikael Dahlgren, [mikael.dahlgren@autoliv.com](mailto:mikael.dahlgren@autoliv.com)

Christer Lundgren, [christer.lundgren@autoliv.com](mailto:christer.lundgren@autoliv.com)



#### Volvo Car Corporation:

Lotta Jakobsson, [lotta.jakobsson@volvocars.com](mailto:lotta.jakobsson@volvocars.com)

Merete Östmann, [merete.ostmann@volvocars.com](mailto:merete.ostmann@volvocars.com)



#### Chalmers Tekniska Högskola AB:

Johan Davidsson, [johan.davidsson@chalmers.se](mailto:johan.davidsson@chalmers.se)

## 10 Referenser

Carroll J., Davidsson J., Martinez L., García A., Vezin P., Eggers A. (2013) Dummy validation report, THORAX D3.3.

Davidsson J, et al. Development of injury risk functions for use with the THORAX Demonstrator; an updated THOR. *Proceeding of the 2014 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact*.

Forman, J.L., Kent, R.W., Mroz, K., Pipkorn, B., Bostrom, O., Segui-Gomez, M., 2012. Predicting rib fracture risk with whole-body finite element models: development and preliminary evaluation of a probabilistic analytical framework. *Ann. Adv. Automot. Med.* 56, 109–124.

Lemmen P., Been B., Carroll J., Hynd D., Davidsson J., Song E., and Lecuyer E. (2012) Development of an Advanced Frontal Dummy Thorax Demonstrator, *Proceeding of the 2012 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact*.

Lemmen P., Been B., Hynd D., Carroll J., Davidsson J., Song E., and Lecuyer E. (2013a) Development of an Advanced Thorax / Shoulder Complex for the THOR Dummy, *Symposium on International Automotive Technology*, 9th-12th January, India, 2013-26-0019.

Lemmen P., Been B., Hynd D., Carroll J., Davidsson J., Martinez L., García A., Vezin P. and Eggers A. (2013b) An Advanced Thorax-Shoulder Design for the THOR Dummy, *23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Paper Number 13-0171.

Mendoza-Vazquez M., Davidsson J., Brolin K., (2015) Construction and evaluation of thoracic injury risk curves for a finite element human body model in frontal car crashes. *Accident Analysis and Prevention*. 85 (2015) 73–82.

Törnqvist F., Holmqvist K. and Davidsson J. et al. (2006). A New THOR Shoulder Design: Its Range-of-Motion in Comparison with Volunteers, the Hybrid III and THOR NT. *International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact*, Madrid, Spain. 409-412.

