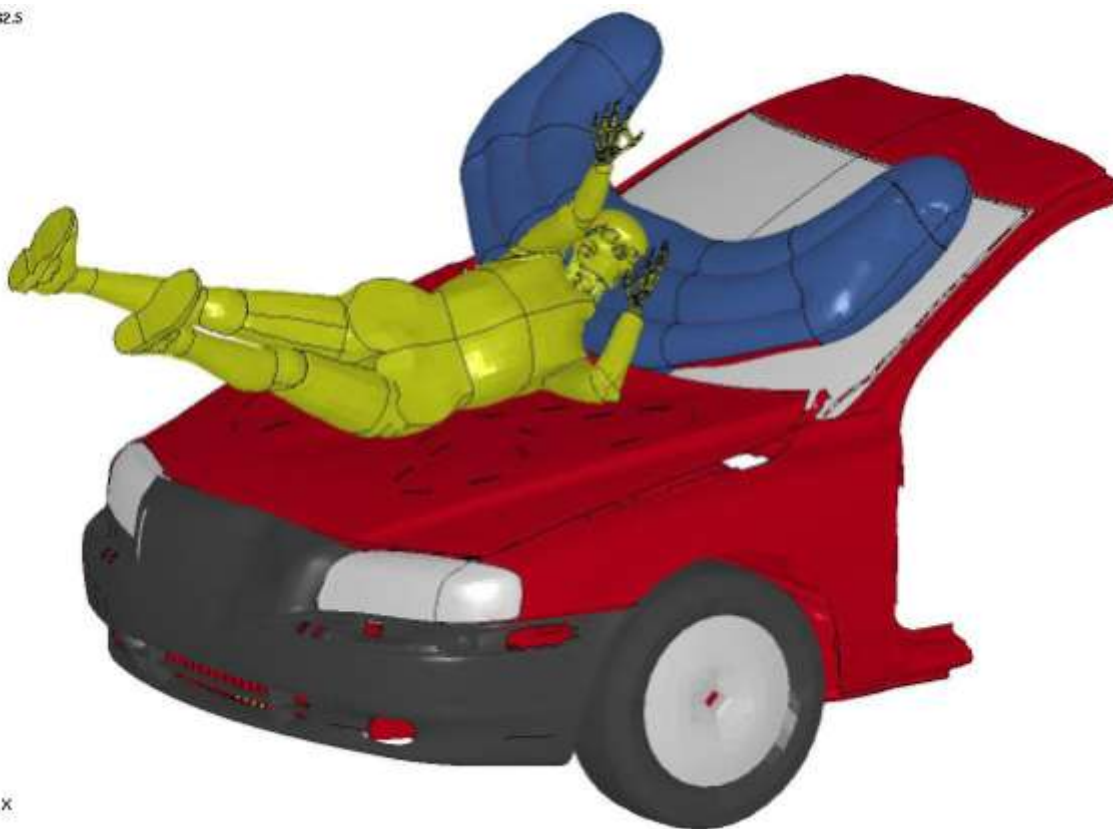


# Human Modell med Aktiv Nacke och Detaljerad Hjärna för Fotgängarskydd

142.5



-x

Författare: Bengt Pipkorn

Datum: 140203

Delprogram: Fordons och Trafiksäkerhet

## Innehåll

<b>1. Sammanfattning.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Syfte.....</b>	<b>5</b>
<b>Målet med projektet är att:.....</b>	<b>5</b>
<b>8. Utvärdera och förbättra axelmodell THUMS .....</b>	<b>5</b>
<b>9. Använd den kombinerade modellen för att utvärdera fotgängare slag Motåtgärder.....</b>	<b>5</b>
<b>10. Genomförande.....</b>	<b>6</b>
<b>11. Resultat .....</b>	<b>7</b>
5.1 Bidrag till FFI-mål .....	7
<b>12. Spridning och publicering.....</b>	<b>7</b>
6.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	7
6.2 Publikationer .....	7
<b>13. Slutsatser och fortsatt forskning.....</b>	<b>8</b>
<b>14. Deltagande parter och kontaktpersoner .....</b>	<b>10</b>
<b>15. Referenser .....</b>	<b>10</b>

### Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi)

## 1. Sammanfattning

En matematisk modell av en människa med en nacke där musklerna kan aktiveras som hos en levande människa har utvecklats i projektet. Människomodellen har också kompletterats med en detaljerad modell av hjärnan.

Målet med projektet var att utveckla ett unikt verktyg som kan användas för att utveckla och utvärdera skyddssystem för fotgängare som blir påkörda av bilar. Den utvecklade modellen validerades genom att jämföra predikteringar från modellen med resultat från motsvarande "Post Mortem Human Subject" (PMHS) prov. Rimlig validering av modellen uppnåddes i projektet. Dessutom validerades modellen genom att rekonstruera ett antal olyckor där fotgängare har blivit påkörda av bilar.

Modellen har använts för att studera inverkan av nackmusklerna på rörelsen hos huvudet i en kollision mellan ett fordon och en fotgängare. Liten inverkan av spända nackmuskler på islagshastigheten och träffpunkten av huvudet för en fotgängare påkörd i 20 och 40 km/h observerades.

Modellen har också använts för att studera inverkan av skuldra och ländrygg rörelse på huvudet kinematik. Modellen predikterade huvud och nack-kinematik när axeln belastas dymaniskt motsvarande kinematiken hos en människa med aktiverade (spända) nackmuskler.

Risken för en påkörd fotgängare att få hjärnskador utvärderades med den modifierade modellen med detaljerade modell av hjärnan. Ett uppblåsbart huvud skyddssystem för fotgängare visade sig avsevärt minska risken för hjärnskada.

Projektet har resulterat i en licentiatavhandling och 5 vetenskapliga publikationer.

## 2. Bakgrund

Fotgängarolyckor är vanliga och kan ofta orsaka allvarliga personskador på grund av kombinationen mellan fordonsegenskaper och att fotgängarna är oskyddade. Sannolikheten för att en fotgängare skall skadas eller dödas trafiken är mycket högre än för en fordonspassagerare. I 6,7 % av olyckorna där fotgängare blir påkörda av bilar i USA omkom fotgängaren. Motsvarande siffra för förare och passagerare i fordonet var endast 1,3 % (NHTSA, 2009). Fotgängare som omkommer i trafiken utgör en betydande andel av den totala andelen trafikrelaterade dödsfall i industrialiserad länder: från 11 % i USA (NHTSA 2009) till nästan 50 % - Sydkorea (Youn et al 2005). Den kroppsdel som

skadas oftast när en fotgängare blir påkörd av en bil är huvudet följt av bröstet (Yang 1997 Otte 1999) .

Det finns få lagkrav som reglerar vilket skydd en bil skall ha för att skydda fotgängare vid en olycka. Dock finns ”rating” tester som utförs för att bedöma säkerhetsnivån en bil erbjuder en fotgängare som blir påkörd. Dessa tester representerar inte vanliga olyckor där fotgängare blir påkörda av bilar. Testerna utvärderar vilka egenskaper huven, vindruta etc har. En orsak till detta är bristen på mekaniska och matematiska verktyg. I de provmetoder som används idag motsvarar provkropparna mänskliga kroppsregioner och inte hela kroppar. Det finns provkroppar som är modeller av ett mänskligt huvud, lår och underben. Det finns en mekanisk krockdocka som utvecklats av Honda för att användas för fotgångar provning men de är inte tillgängligt för allmänheten.

Det finns finita element modeller utav människor (HBM) på marknaden för att utvärdera fotgängarskydd. Dessa modeller inkluderar inte muskeltonus. Det finns ett behov av att utvärdera förmågan hos människomodeller med muskeltonus för att förutsäga kinematiken för en fotgängare som blir påkörd av en bil. De kommersiella tillgängliga mänskliga FE - modeller behöver en bättre kontroll av huvudets kinematik. Ett av de viktigaste randvillkoren för en mänsklig huvudrörelse är nacken. Det finns idag ingen kommersiell människomodell med en validerad nacke som inkluderar muskelaktivering.

Det finns en brist på kunskap om kinematiken för en fotgängare som blir påkörd av en bil. Islagspunkten och islagshastigheten är inte väl kända. För utveckling av skyddssystem är dessa parametrar mycket avgörande. Ett betydande antal av olyckorna inträffar vid låga påkörningshastigheter vilket innebär att muskeltonus kan avsevärt påverka huvudets islagshastighet och islagspunkt på bilen.

Dessutom finns det en betydande inverkan på nackens och huvudets kinematik av skuldrans egenskaper. Denna region av människan är mycket komplex. Skuldran är bara ansluten till bröstkorgen och ryggen med ligament, muskler och indirekt med nyckelbenet. Denna anslutning är mycket rörlig och kraften som krävs för att röra skuldran relativt bröstkorgen och ryggraden är mycket beroende av muskeltonus.

I ett tidigare projekt (IVSS AL80 A 2005 15805) utvärderades ett antal finita element HBM:s och matematiska modeller av krockdockor för slag från sidan, lateral belastning när de var positionerade som en människa i en bil stol. (Pipkorn et al, 2008; Lanner et al, 2009). Ett av huvudspåren i projektet var att utvärdera axelns beteende under lateral belastning. Modellerna validerades med hjälp av dynamiska prov där PMHS belastades på axeln med en pendel. I proven utvärderades axelns kinematik. Dessutom, gjordes data från volontär prov tillgängliga för detta projekt. I volontärproven belastades axeln med en pendel. Data från dessa projekt och pågående studier på Chalmers kommer att användas för att utveckla en axel modell som kan prediktera beteendet hos en människas axel under dynamisk lateral belastning.

När en fotgängare blir påkörd av en bil och omkommer är en skallskada den vanligaste orsaken. Huvudets kinematik i en påkörningsolycka är en kombination av translations- och rotationsacceleration. ”Head Injury Criteria” (HIC) är det enda kriteriet som används idag för att förutsäga skallskador, kriteriet är otillräckligt eftersom det endast omfattar translations- acceleration och inte tar impulsens riktning i beaktande. Det innebär att ett verktyg för bedöma risken för en huvudskada är en nödvändighet för att framgångsrikt förutsäga risken för fotgängare kommer att få en huvudskada i en påkörningsolycka. Utvecklingen av ett förbättrat huvudskade kriterium, ett globalt kriterium eller ett lokalt hjärnvävnadskriterium, kräver parallella forskningsaktiviteter, såsom detaljerad rekonstruktion av olyckor, material provning testning och användning av djurmodeller och FE - modeller av dessa djurförsök.

### 3. Syfte

Målet med projektet är att:

1. Inkludera den detaljerade och validerade aktiva nacken som utvecklats av KTH på Total Human Model for Safety (THUMS)
2. Lägg till den detaljerade och validerade hjärnmodellen som utvecklats av KTH på THUMS
3. Validera den modifierade modellen med avseende på helkroppskinematik med hjälp av publicerade PMHS testresultat
4. Validera den modifierade modellen med avseende på helkroppskinematik genom att utföra olycksrekonstruktioner.
5. Utvärdera och förbättra axelmodellen på THUMS
6. Använd den kombinerade och validerade modellen för att utvärdera olika ”rating” provmetoder
7. Använd den kombinerade modellen för att utvärdera skyddssystem för påkörda fotgängare

## 4. Genomförande

För projektets genomförande har alla partners Autoliv, VCC, KTH och Chalmers en gemensam modell av en människa. Modellen är Total Human Model for Safety som ursprungligen är utvecklad av Toyota Research. Modellen är mycket grov och ingen validering av den är tidigare utförd.

Både KTH och Chalmers har mycket kunskap och verktyg för att införa aktiva muskler i HBM:s för att förbättra kinematiken. KTH har en unik FE modell av det mänskliga huvudet och nacken och de viktiga omgivande vävnaderna. Chalmers har erfarenhet av att använda matematiska modeller för att rekonstruera skador på fotgängare. De har också erfarenhet av modellering av aktivering av muskler. Båda de akademiska parterna har lång erfarenhet av nack- modellering. Vidare har Chalmers och KTH erfarenhet av experimentell biomekanik och utformning av axelmodeller. Chalmers roll i projektet kommer att vara att vidareutveckla och validera modellen av axeln och skuldran på humanmodellen THUMS. Vidare skall Chalmers studera hur skuldrans kinematik påverka nackens och huvudets kinematik vid dynamisk lateral belastning på axeln.

KTH har lång erfarenhet av att utveckla och använda detaljerade FE modeller av den mänskliga nacken och huvudet för att förebygga trafikskador. KTH:s roll i projektet är att integrera deras aktiva nacke och detaljerade huvud modell på den gemensamma THUMS modellen. KTH skall även studera påverkan av nackens muskeltonus på huvudets kinematik hos en fotgängare som blir påkörd.

Autoliv har lång och gedigen erfarenhet av att utveckla begränsningar för att minska skadeutfall av fotgängarolyckor. VCC och Autoliv har stor förståelse för fotgängare kollisioner från många års olycksanalys, mekanisk provning och provningsmetoder. VCC och Autolivs roll i projektet är att använda den modifierade THUMS modellen för att utvärdera relevansen av existerande ”rating” provmetoder där modeller av delar av människan används för att bedöma fordonets roll för uppkomsten av en skada hos en fotgängare i en påkörningsolycka. Vidare skall Autoliv och VCC använda modellen för att utvärdera skyddskoncept.

SAFER har pågående aktiviteter på utredningar och rekonstruktioner av olyckor och har utvecklat teknik för dessa verksamheter. Metoderna kommer att tillämpas på olyckor i Göteborgsregionen och där offren med måttliga hjärnskador är eller har behandlats på sjukhus i regionen. Resultaten från analysen olyckan och återuppbyggnad kommer att användas som underlag för en detaljerad hjärnskada modelleringsuppgift på KTH.

## **5. Resultat**

### **5.1 Bidrag till FFI-mål**

FFI programmets specifika mål att utveckla teknik med potential att svara för en tredjedel av den minskning av antalet trafikdödade som riksdagens etappmål för år 2020 innebär har adresserats i projektet. Målet har adresserats genom att i projektet har modeller utvecklats för att utvärdera huvudskador hos fotgängare som blir påkörda. I projektet har en prototyp på ett skyddssystem för att minska huvudskador utvärderats med modellen med positivt resultat. Modellen kan användas för att förfina existerande skyddssystem för fotgängare och även utveckla nya system.

Det andra av FFI programmets specifika mål som har adresserats är att de svenska fordonsföretagen skall förbli världsledande när det gäller utvecklingen av säkra fordon och system för fordonssäkerhet. Målet har adresserats genom att modellerna som har utvecklats i projektet för det möjligt att driva utvecklingen väldigt långt virtuellt och kan på detta sätt på ett mycket kostnadseffektivt och tidseffektivt utveckla och utvärdera nya skyddssystemskoncept.

Projektet har stärkt samarbetet mellan industrin (Volvo Cars och Autoliv) och högskolorna KTH och Chalmers. I projektet har resultat från högskolornas forskning används av de industriella parterna.

## **6. Spridning och publicering**

### **6.1 Kunskaps- och resultatspridning**

Vilka förändringskrafter i projektets omvärld kan påskynda spridningen av projektresultaten? Kopplingar till andra interna/externa projekt som kan påskynda introduktion eller ge större genomslag?

### **6.2 Publikationer**

Paas, R., "Pedestrian Shoulder and Spine Kinematics and their Influence on Head Kinematics" Licentiate Thesis Chalmers University of Technology 2013

Victor S. Alvarez, Madelen Fahlstedt, Peter Halldin, Svein Kleiven  
Importance of Neck Muscle Tonus in Head Kinematics during Pedestrian Accidents  
IRCOBI 2013.

Paas R, Davidsson J, Masson C, Sander U, Brodin K, Yang J



FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

Pedestrian Shoulder and Spine Kinematics in Full-Scale PMHS Tests for Human Body Model Evaluation  
IRCOBI 2012

Importance of Neck Muscle Tonus in Head Kinematics during Pedestrian Accidents  
Alvarez V, Fahlstedt M, Halldin P, Kleiven S  
IRCOBI 2013

Paas R, Brodin K, Davidsson J (2013) Evaluation of THUMS head and shoulder response in view of application for pedestrian accident analyses  
To be submitted to Traffic Injury Prevention

Pipkorn B, Fredriksson R, Östling M, Ericsson M,  
Pedestrian head injury protection by means of inflatable protection systems  
To be submitted to AAAM 2014

## **7. Slutsatser och fortsatt forskning**

Slutsatserna från studien var:

Den utvecklade modellen av en fotgängare är unik

Den utvecklade fotgängarmodellen är delvis validerad

Skuldrans kinematik hos den utvecklade modellen är validerad

Det är minimal påverkan av nackens muskeltonus på huvudets islags hastighet och islagspunkt vid påkörning i 40 km/h.

I påkörningshastighet av 20 km/h påverkar nackens muskeltonus huvudets islagshastighet och islagspunkt.

THUMS skuldra verkar vara biofidelisk (för den utvärdering som är gjord i detta projekt)

Den av den modifierade THUMS modellens predikterade huvudrörelse när axeln belastas motsvarar en människas huvudrörelse med maximalt spända nackmuskler

Överensstämmelsen mellan resultat från en analys där en fotgängare blir påkörd och resultat från sub-system prov där endast modeller av delar av en människokropp har använts i utvärderingen är mycket begränsad.

Ett uppblåsbart skydd för att skydda en påkörd fotgängares huvud minskar signifikant risken för en allvarlig hjärnskada



Fortsatt forskning krävs för att hitta en teoretisk maximal nivå av ”steady state” aktivering av nackmuskulaturen för att bestämma eventuell inverkan av muskelaktivering på huvudets kinematik och slaghastighet. Forskning krävs och för att utvärdera hur muskelaktiveringen påverkar på töjningar i hjärnan och jämföra påverkan med andra parametrar.

Ytterligare Studier av dynamisk muskelaktivering med någon form av optimering krävs för att avgöra om dynamisk aktivering av musklerna har tid att påverka huvudets rörelse i större utsträckning än statisk aktivering eller en avslappnad nackmuskulatur för en fotgängare som blir påkörd av en bil. Hur skall en dynamisk aktiveringsrutin se ut?

Mer detaljerade studier behövs av effekten av ökad nackstyvhet p g a aktiverade nackmuskler på huvudets rörelse och återfjädring vid belastning.

Framtida arbete på hur slag mot skuldran påverkar huvudets rörelse för påkörda fotgängare bör inkludera:

- Validering av modellen för högre våld mot skuldran med utvärdering av huvudets och kotornas linjära och vinkelförskjutningar.

Utvärdering av huvudets rotation som en funktion av modellmodifieringar (förbättringar)

Dessutom bör följande delar utvecklas som inte har varit del av denna studie:

- Skador på skuldran, t ex nyckelbensfrakturer, acromioclavicular led stukningar, överarmsfrakturer, ledbandsavslitningar etc. . .
- Experiment med volontärer och PMHS vad gäller belastning som simulerar belastningen av kroppen i en fotgängarolycka förslagsvis kan impaktorer användas med varierande islagshastighet, vinkel etc. Detta skall också inkludera varierande kroppsposition och armposition.
- Skuldrans rörelseomfång vid armbågsislag mot det påkörande fordonet

Denna studie har begränsats till en fordonsgeometri och två fotgängarpositioner. Framtida undersökningar bör inkludera fler fordonsgeometrier och fotgängarpositioner för att ge mer kunskap beträffande skillnaderna i kinematik.

I detta projekt har ett begränsat antal parametrar utvärderats. Parametrarna har varit kroppstorlek och bilmodeller. Fler simuleringar bör utföras med mer variation än två för att ge en mer generell slutsats om en kombination MADYMO och THUMS kunde användas i olycksrekonstruktion för att göra en tidseffektiv studie. Metoden har utvärderats mot ett olycksfall. Rekonstruktion av fler olycksfall bör provas. Resultaten

från rekonstruktionen av olyckan bör utvärderas genom att jämföra huvudets kinematik med skadan och dess effekt på hjärnvävnaden.

Ett initialt arbete har utförts för att utvärdera hur betydelsefull fordonsgeometrin är för utfallet när en fotgängare blir påkörd av en bil. Mer kan göras och även huvudets kinematik fram till islag kan utvärderas.

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Det här projektet har genomförts av Autoliv Research, Volvo Car Corporation, Royal Institute of Technology (KTH) och Chalmers University of Technology (CTH) gemensamt. Kontaktperson är Bengt Pipkorn ([bengt.pipkorn@autoliv.com](mailto:bengt.pipkorn@autoliv.com)) på Autoliv Research.

## 9. Referenser

Lanner, D., Halldin, P., Iraeus, J., Holmqvist, K., Mroz, K., Pipkorn, B., Jakobsson, L., Backlund, M., Bolte, J.H., Kleiven, S. (2009). Evaluation of Finite Element Human Body Models in Lateral Padded Pendulum Impacts to the Shoulder, Accepted for publication by International Journal of Crashworthiness.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), (2009) Traffic Safety Facts 2007. DOT HS 811 017.

Otte, D., (1999), Severity and mechanism of head impacts in car to pedestrian accidents, IRCOBI Conference, Sitges (Spain), pp 329-341.

Pipkorn, B., Halldin, P., Jakobsson, L., Iraeus, J., Backlund, M., Mroz, K., Lanner, D., Holmqvist, K., Kleiven, S. (2008). Mathematical Occupant Models in Side Impacts – A Validation Study with Particular Emphasis on the Torso and Shoulder and their Influence on Head and Neck Motion. Proc. IRCOBI Conf. (International Research Council On the Biomechanics of Impact), Bern, Switzerland, 99-114.

Yang, J., (1997), Injury Biomechanics in Car-Pedestrian Collisions: Development, Validation and Application of Human-Body Mathematical Models. Doctoral Thesis, Department of Injury Prevention, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Youn Y., Kim S., Oh C., Shin M., Lee C. (2005) Research and Rule-Making Activities on Pedestrian Protection in Korea, Paper 05-0117, Proceedings of the 19th

FFI

FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV),  
Washington DC, United States.

FFI

FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

Adress: FFI/VINNOVA, 101 58 STOCKHOLM  
Besöksadress: VINNOVA, Mäster Samuelsgatan 56, 101 58 STOCKHOLM  
Telefon: 08 - 473 30 00