

Folksams test av cykelhjälmar 2015

Folksam

Därför testar vi cykelhjälmar
Varje dag drabbas tre cyklister av skallskador i Sverige, vilket är bland det farligaste en cyklist kan råka ut för. Statistik från verkliga olyckor visar svart på vitt att cykelhjälmen är av mycket stor betydelse. Två av tre av alla skallskador vid cykelolyckor hade kunnat undvikas om cyklisten burit hjälm.

Vi engagerar oss i det som är viktigt för våra kunder och för dig. När vi testar och rekommenderar säkra cykelhjälmar tror vi att det kan bidra till en tryggare tillvaro och ge tips om hur du förebygger skador.

Hur får en cykelhjälm märkningen Bra val?
Hjälmar som får det bästa totalresultatet i Folksams test av cykelhjälmar får märkningen Bra val. Symbolen Bra val får bara användas av produkter och tjänster som fått bäst betyg i någon av våra tester.



Helena Stigson
Trafiksäkerhetsforskare

Läs mer på folksam.se/cykel

Folksam

Sammanfattning

Folksam har testat 18 cykelhjälmar för ungdomar och vuxna på den svenska marknaden. Alla hjälmar som ingår i testet är sedan tidigare testade och godkända enligt CE-standard, som innebär att hjälmarnas energiupptagning är testad vid rakt slag mot hjälmen. Detta speglar inte till fullo olycksförloppet vid en cykelolycka. När en cyklist ramlar omkull eller blir påkörd av en bil och slår i huvudet, blir islaget i princip alltid snett mot marken eller bilen. Vi har efterliknat detta i Folksams test av cykelhjälmar eftersom ett snett slag mot skallen kan orsaka svåra huvudskador såsom kraftig hjärnskakning, vilken kan ge långvariga konsekvenser.

Fyra krocktester är genomförda: test av hjälmens skyddsförmåga i cykelolyckor med olika islagsvinklar – snett islag mot ovandelen av hjälmen, snett islag mot sidan av hjälmen och snett islag mot bakre delen av hjälmen samt ett rakt islag enligt liknande principer som i lagkrav som utvärderar hjälmarnas stötupptagning. Dessutom har en datasimulering genomförts för att bättre värdera risken för skada vid de sneda islagen baserat på testresultaten. I datasimuleringen används en modell av människohjärnan som är framtagen av forskare vid Kungliga Tekniska Högskolan. Eftersom datasimuleringsmodellen är uppbyggd utifrån hjärnans toleransnivåer, användes denna för att avgöra om de uppmätta värdena var skadliga samt vilken hjälm som reducerar krafterna på hjärnan bäst.

Totalt utmärker sig fem hjälmar i testet. Bäst resultat fick huvudskyddet Hövding 2.0 som vid en olycka skyddar huvudet med en krockkudde. Även de konventionella cykelhjälmarna Bell Stoker MIPS, Giro Savant MIPS, POC Octal AVIP MIPS och Spectra Urbana MIPS som alla är utrustade med MIPS (Multi-directional Impact Protection System) kom bra ut i testet. Generellt kommer hjälmarna som är utrustade med skyddssystemet MIPS bättre ut i testet då skyddet mildrar rotationsvåldet som huvudet utsätts för vid ett snett islag. Att en hjälm är utrustad med MIPS är dock ingen garanti för att det är en bra hjälm. Två hjälmar, Giro Sutton MIPS och Scott Stego MIPS, kommer sämre ut än medelhjälmen trots att dessa är utrustade med detta rotationsskydd.

Folksams tester visar att det finns en stor spridning av resultaten mellan hjälmarna i de olika testerna och att det därmed finns potential att göra dem säkrare. Det finns en potential att med andra koncept och material förbättra egenskaperna hos cykelhjälmar. Hövding 2.0 fick överlägset bäst testresultat både gällande stötupptagning och vid sneda islag. Cykelhjälmar behöver bättre kunna mildra huvudets rotationsacceleration vid islag för att förebygga hjärnskador. Testerna visar också att det är möjligt att uppfylla lagkravet med stor marginal. Lagkravsnivån ligger klart över skadegenererande våldsnivåer. Resultatet visar att en hjälm som klarar dagens lagkrav på 250g ändå kan ge hjärnskakning vid en cykelolycka. Därför är det angeläget att se över nuvarande testkriterier för godkännande av hjälmar, nivån bör minst halveras för att understiga en rimlig nivå på risk för hjärnskakning.

Den största skillnaden mellan en bra och en dålig hjälm är hur väl den skyddar huvudet vid sneda islag. För att undvika att hjälmar säljs utan rotationsskydd bör lagkraven ändras så att även sneda islag omfattas. Folksam har sedan 2012 utfört hjälmtester för att hjälpa konsumenter att välja en säker hjälm och för att påverka hjälmtillverkare att göra säkrare hjälmar. Andelen hjälmar med rotationsskydd har under denna period ökat kraftigt, vilket visar att konsumenttester är viktiga för att driva på utvecklingen.

Bakgrund

Varje dag drabbas tre cyklister av huvudskador i Sverige (STRADA), vilket är bland det farligaste en cyklist kan råka ut för. Total inträffar 70 procent av alla huvudskador vid singelolyckor, det vill säga när de kör omkull utan att någon annan varit inblandad[1]. Mindre än en femtedel av alla huvudskador uppstår vid kollision med bil men dessa resulterar oftast i de allvarligaste följderna. Statistik från verkliga olyckor visar svart på vitt att cykelhjälmen är av mycket stor betydelse. Två av tre skallskador vid cykelolyckor hade kunnat undvikas om cyklisten burit hjälm (Rizzi m.fl., 2013). Vid svårare skallskador är skyddseffekten än högre (Thompson m.fl., 2009). Olycksstatistik visar att de vanligaste skadorna på huvudet är islag mot tinningen eller bakhuvudet (Bjornstig m.fl., 1992). Sneda islag resulterar i rotation av huvudet, vilket hjärnan är mycket känslig för (Margulies och Thibault, 1992).

I dagens certifieringstester där hjälmen släpps rakt mot ett platt städ och ett kantstensstäd utvärderas endast energiupptagningen vid ett rakt slag. En godkänd hjälm ska klara gränsvärdet 250g (Svensk standard SS-EN 1078, 1997). Stöten som provhuvudet utsätts för vid testet måste därför understiga 250g, ett gränsvärde som motsvarar en 40 % risk att drabbas av en skallfraktur vid ett slag mot huvudet. Det innebär att slaget som huvudet utsätts för efter att hjälmen har dämpat stöten, ligger långt över risken för hjärnskakning. Enligt Zhang m.fl. (2004) kan hjärnskakning med eller utan medvetslöshet inträffa redan vid cirka 60-100g. Forskare (Margulies och Thibault, 1992, Kleiven, 2007) har även visat att hjärnan är mycket känsligare för rotationsrörelse än de linjära krafterna. Risken för hjärnskakning eller allvarligare skador så som diffus axonal skada (DAI), blödning eller kontusion är inte kopplat till translationsaccelerationen utan mer till rotationsaccelerationen och rotationshastigheten (Gennarelli m.fl., 1987, Holbourn, 1943, Löwenhielm, 1975). Trots detta används främst translationsacceleration idag för att optimera hjälmar och skyddsutrustning i exempelvis bilindustrin.

Syfte

Folksams cykelhjälmtest syftar till att utvärdera dagens hjälmars energiupptagning vid såväl raka islag som vid sneda islag mot huvudet för att bättre än lagkraven täcka in olika skadegenererande olycksförlopp. Detta för att kunna ge konsumenter och butiksägare ett bättre underlag vid val av cykelhjälm. Dessutom hoppas vi med Folksams tester kunna påverka hjälmtillverkare till att göra bättre hjälmar.

Metod

Totalt ingår 18 cykelhjälmar i testet, Tabell 1. Vid val av hjälmar tittade vi på utbudet i cykel/sportbutiker och webbutiker. Detta för att kunna välja de hjälmar som är vanligt förekommande på den svenska marknaden men även modeller som har speciella skyddslösningar.

[1] Statistiken är baserat på data från Stada Sjukvård skadeår 2014

***Tabell 1**. I studien ingående hjälmar*

Cykelhjälmar 2015	Typ av hjälm	Pris (kr)
Abus S-Force Peak Officiella Vasaloppshjälmen	Klassisk	700-900
Bell Stoker MIPS*	MTB	1000-1400
Biltema cykelhjälm	Klassisk	100
Carrera Foldable	Klassisk	700-900
Casco Active-TC	Klassisk	700
Giro Savant MIPS*	Klassisk	1000-1300
Giro Sutton MIPS*	Skate	1000
Hövding 2.0	krage	2700
Limar Ultralight	Klassisk	1200-1500
Melon Urban Active	Skate	600
Occano U MIPS Helmet	Klassisk	500
Occano Urban Helmet	Klassisk	350
POC Octal	Klassisk	2700
POC Octal AVIP MIPS*	Klassisk	3500
Scott Stego MIPS*	MTB	1700
Smith Forefront**	MTB	2000
Spectra Urbana MIPS*	Klassisk	650
YAKKAY med och utan överdrag	Skate	600-700 + 400 överdrag

** Hjälmen har ett så kallat MIPS-system, ett extra skydd som skall mildra krafterna vid sneda islag*
*** Smith Forefront är delvis uppbyggd av material med bikupestruktur*

Sju av hjälmarna, *Bell Stoker med MIPS, Giro Savant MIPS, Giro Sutton MIPS, Occano U MIPS Helmet, POC Octal AVIP MIPS, Scott Stego MIPS och Spectra Urbana MIPS*, har ett så kallat Multi-directional Impact Protection System (MIPS) med syfte att minska huvudets rotation vid ett islag. Skyddet bygger på ett extra lågfriktionskal på insidan av hjälmen som kan glida på hjälmens insida. Hjälmen Smith Forefront valdes för att den utges vara extremt lätt och stöttålig då materialet i hjälmen delvis uppbyggd av bikakestruktur[2]. Hjälmen Yakkay valdes då den säljs med överdrag som extrautrustning. Vi ville se vilken effekt detta har på testresultaten. Skatehjälmen Melon Urban Active valdes då den i jämförelse med andra skatehjälmar har en betydligt lättare konstruktion (upp till 30 % lättare), vilket den fått den internationella cykelindustrins pris, the Eurobike Award 2013, för. Skatehjälmar har generellt kommit sämre ut i Folksams tidigare hjälmtester (Stigson m.fl., 2012, Stigson m.fl., 2013). Eftersom ytterskalet på Melon Urban Active är tunnare var hypotesen att den därför skulle absorbera mer slagenergi än tidigare testade skatehjälmar. Hjälmen Limar Ultralight valdes då den marknadsförs som världens lättaste cykelhjälm. Folksam har sedan tidigare testat huvudskyddet Hövding (Stigson m.fl., 2012). Vid den tidpunkten var endast möjligt att testa Hövdings energiupptagning i det raka islaget. Dessutom har huvudskyddet kommit i en ny uppdaterad version Hövding 2.0. Vid årets test har Folksam tillsammans med SP tagit fram en testmetod där det var

[2] Tidigare studier har visat att bikakestruktur minskar translationsaccelerationen med 14 % och roationsaccelerationen med 34 % (Hansen m fl 2013)

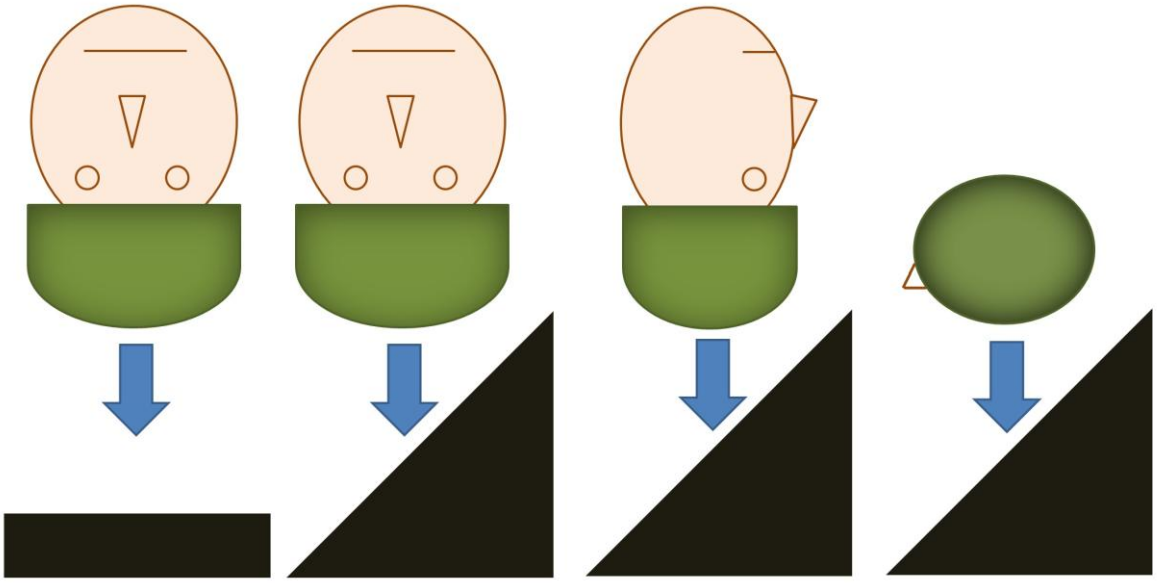
möjligt att även testa Hövding 2.0 för sneda islag. Alla hjälmar i testet är CE-märkta, i enlighet med den europeiska säkerhetsstandarden (Svensk standard SS-EN 1078, 1997) eller direktiv 89/686/EEG[3]. Hjälmar som ingår i testet ligger i prisintervallet 100 kr – 3500 kr.

De fyra ingående slagproven är utformade för att jämföra hjälmarnas förmåga att ta upp slagenergi samt att utvärdera hjälmens skyddsförmåga vid en cykelolycka. Följande tester är genomförda: Ett rakt slagprov enligt liknande principer som i lagkrav och tre tester av hjälmens skyddsförmåga i en cykelolycka (snett islag mot ovandelen av hjälmen, snett islag mot sidan av hjälmen, snett slag mot bakre delen av hjälmen), Tabell 2 och Figur 1. De uppmätta accelerationspulserna från dessa tester har därefter applicerats på en validerad datasimuleringsmodell av människohjärnan (Kleiven, 2003, Kleiven, 2006b, Kleiven, 2007).

***Tabell 2**. Beskrivning av de tre ingående krocktesterna*

Prov	Testhastighet	Beskrivning
Slagprov enligt lagkrav *Test av hjälmens stötupptagning. Rakt islag.*	20 km/h	Hjälmen släpps mot en horisontell yta, vilket endast speglar hjälmens stötupptagning vid raka islag.
Cykelolycka 1 *Test av hjälmens skyddsförmåga i en cykelolycka. Snett islag mot sidan av hjälmen.*	22 km/h	Hjälmen släpps mot ett lutat plan (45°), vilket exempelvis speglar ett fall från cykelns sida alternativt blir påkörd av ett motorfordon.
Cykelolycka 2 *Test av hjälmens skyddsförmåga i en cykelolycka. Snett islag mot ovandelen av hjälmen.*	22 km/h	Hjälmen släpps mot ett lutat plan (45°), vilket exempelvis speglar ett fall över styret.
Cykelolycka 3 *Test av hjälmens skyddsförmåga i en cykelolycka. Snett islag mot bakre delen av hjälmen.*	22 km/h	Hjälmen släpps mot ett lutat plan (45°), vilket exempelvis speglar ett fall från cykeln med snett slag mot bakre delen av huvudet.

[3] CE-märkning omfattar ett trettiotal produktområden t.ex. leksaker och personlig skyddsutrustning. För att en produkt skall godkännas krävs det att produkten uppfyller vissa grundläggande krav. Antingen testas produkten enligt en eller flera harmoniserade standarder såsom SE-EN 1078 som gäller för cykelhjälmar eller så anlitar företaget ett Anmält Organ (ex SP) som får utvärdera produkten avseende de grundläggande kraven för CE-märkningen. Därefter sker ackreditering av oberoende tekniska experter vid en myndighet. I Sverige sker ackrediteringen av Swedac (Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll). Testmetoden för cykelhjälm är designbegränsande då nuvarande standard (SS-EN 1078) är utformad för konventionella hjälmar och som tyvärr inte är tillämpbar för Hövding då den bl.a. kräver en nacke som stöd under uppblåsningsfasen. SP har tagit fram provmetoden för att utvärdera huvudskyddet Hövding och denna metod är ackrediterad av Swedac.



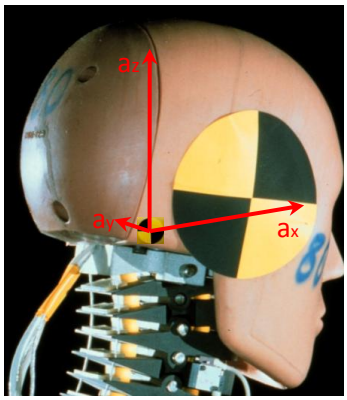
Figur 1. Test från vänster: 1) Slagprov enligt lagkrav, rakt islag mot horisontell yta, 2) Cykelolycka 1 – snett islag mot sidan av hjälmen, 3) Cykelolycka 2 – snett slag mot ovandelen av hjälmen, 4) Cykelolycka 3 – snett islag mot bakre delen av hjälmen

Provhuvud

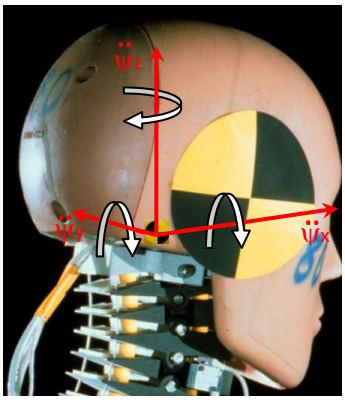
Vid testet som genomfördes enligt liknande principer som gäller vid lagkravsprov SS-EN1078 användes EN 960-provhuvud av storleken 575, Figur 2. Vid testerna som efterliknar en cykelolycka användes ett huvud från en krockdocka (Hybrid III) som motsvarar en genomsnittlig vuxen man med en huvudomkrets av 58 cm. Hybrid III-dockans huvud är mer likt ett mänskligt huvud än det provhuvud i aluminium som används vid certifieringstester. Eftersom testen i denna studie bland annat ska spegla sneda islag krävs ett dockhuvud som har liknande egenskaper som ett människohuvud. Krockdockhuvudet var utrustat med accelerometrar som ger mätvärden för både translations- och rotationsaccelerationer i alla riktningar. Accelerometrarnas värden filtrerades enligt CFC1000. I resultattabellerna redovisas två accelerationsbaserade storheter: translations- och rotationsacceleration. Translationsacceleration är den resulterande linjära accelerationen från mätningarna längs riktningarna x, y och z, Figur 3. Rotationsacceleration som mäts i radianer/s^2, är den resulterande vinkelaccelerationen från mätningarna runt x, y och z-axeln, Figur 4.



Figur 2. *EN 960-provhuvud som används vid lagkravstestning*



Figur 3. *Translationsacceleration- Linjär acceleration i tyngdpunkten längs x, y och z*



Figur 4. *Rotationsacceleration- Acceleration i rotationsled runt x, y och z-axeln*

Slagprov – rakt islag

Testet genomfördes enligt liknande principer som gäller vid lagkravsprov *SS-EN1078, 5.1 Shock absorption* (SS-EN1078) . Hjälmarna släpps från 1,5 m mot en horisontell yta vilket resulterar i en islagshastighet av 20 km/h, Figur 5. Testet speglar endast hjälmarnas stötupptagning vid raka islag och translationsaccelerationen får inte överstiga 250 g. Slagprovet genomfördes endast i en hjälmposition där det hjälmbeklädda huvudets initiala vinkel var 0 grader. Provet utfördes i 15°C.



Figur 5. *Hjälmprovningsrigg på SP som används för det raka islaget*

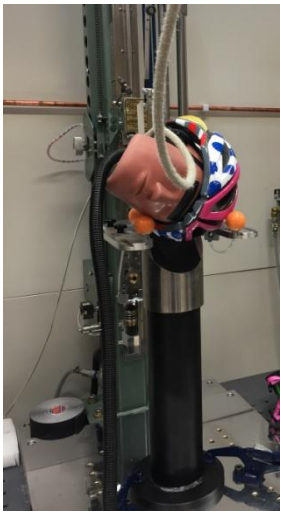
Hövding 2.0

Vid testet som genomfördes enligt liknande principer som gäller vid lagkravsprov SS-EN1078, *5.1 Shock Absorption* samt vid rotationstesterna har ett städ med större dimensioner används vid testning av Hövding 2.0. I standarden står det att det platta städet skall simulera en oändligt stor asfaltsyta. Om Hövding 2.0 skulle testats mot städet som används för en konventionell hjälm skulle det finnas risk att den skulle träffa städets kanter.

Test av hjälmens skyddsförmåga i en cykelolycka – Snett islag

För att testa hjälmarnas skyddsförmåga vid en cykelolycka har det hjälmbeklädda huvudet utsatts för ett snett i slag. Detta åstadkoms genom att det hjälmbeklädda huvudet accelereras vertikalt av gravitationen mot marken och träffar en vinklad (45°) sandpappersbeklädd stålplatta, Figur 6. Det sneda islaget, då det hjälmbeklädda huvudet träffar plattan, medför att huvudet utsätts för en kombination av translations- och rotationsacceleration. Testet utvärderar därmed hjälmens energiupptagning för ett snett islag mot huvudet till skillnad från dagens certifieringstester där

hjälmen släpps rakt ner mot ett horisontellt underlag. I testet mäts både den linjära (translations-) accelerationen och rotationsaccelerationen men testet är framförallt till för att analysera hur mycket av rotationskrafterna som tas upp av hjälmen. Testmetoden är framtagen av arbetsgruppen CEN Working Group 11 "Rotational Test Methods" inom den europeiska säkerhetsstandarden (Willinger m.fl., 2014, CEN/TC158-WG11, 2014).



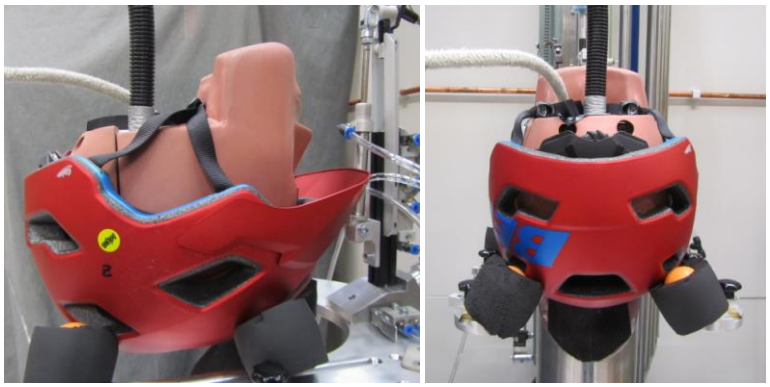
Figur 6. *Foto av hjälmprovningsrigg på SP. Det hjälmbeklädda dockhuvudet faller mot den 45° ytan med 6,0 m/s.*

Hjälmarna testats mot en sandpappersbeklädd stålplatta. Cykelolyckor med huvudislag kan ske mot många olika objekt och underlag. Anledningen till att hjälmarna testades mot en sandpappersbeklädd stålplatta är att den är robust och ger lika testvillkor för samtliga hjälmar. Friktionen motsvarar ungefär asfalt.

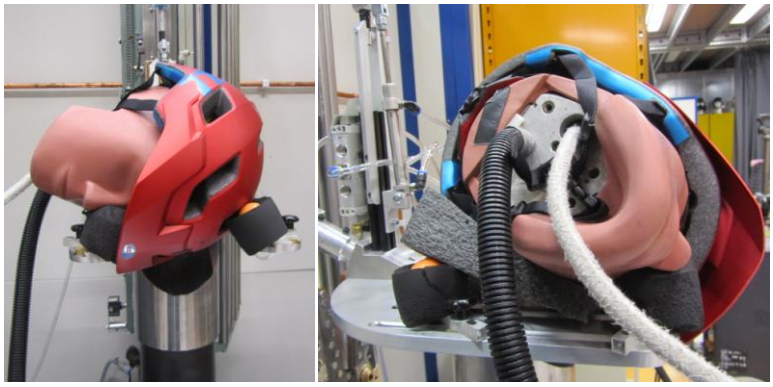
Totalt testades 18 hjälmar för tre olika islag, Figur 7-9. Val av islagspunkter begränsades av hjälmarnas design. Hjälmarna träffade en vinklad (45°) sandpappersbeklädd stålyta med en vertikal islagshastighet på 6,0 m/s (21,6 km/h). Stor noggrannhet lades vid att positionera hjälmarna utifrån dockhuvudets koordinatsystem. Ett mätinstrument för att mäta huvudets initiala vinkel användes för att ställa in huvudets position.



Figur 7. *Det hjälmklädda huvudets initiala position vid snett islag från sidan (rotation kring x). I islag 1 var huvudets initiala riktning så att näsan pekade 90° åt höger. Huvudets initiala vinklar kring X-, Y- och Z-axeln var 0°.*



Figur 8. *Det hjälmklädda huvudets initiala position vid snett islag på ovandel av hjälmen (rotation kring y) I islag 2 var huvudet roterat 180° och huvudets initiala vinklar kring X-, Y- och Z-axeln var 0°.*



Figur 9. *Det hjälmklädda huvudets initiala position vid snett islag på bakre delen av hjälmen (rotation kring z) I islag 3 var vinkeln kring x-axeln 20 ° och kring z-axeln 35°. Huvudets rotation kring Y-axeln var 0°.*

Hövding

För att testa huvudskyddet Hövding 2.0, användes samma testrigg som för övriga konventionella hjälmar, men för att hålla huvudet med den uppblåsta krockkuddehjälmen på plats användes en annan upphängningsanordning, Figur 10. Eftersom uppblåsningen av Hövding 2.0 inte kunde göras med den egna triggningsanordningen så fylldes Hövding med ett tryck av 0.55 bar alldeles innan provet. Hövding 2.0 testade med och utan nacke för att avgöra vilken inverkan som av ett stöd från axelpartiet har (Appendix B). För att kunna jämföra detta med de konventionella hjälmarna genomfördes även ett test med en konventionell hjälm med och utan nacke.

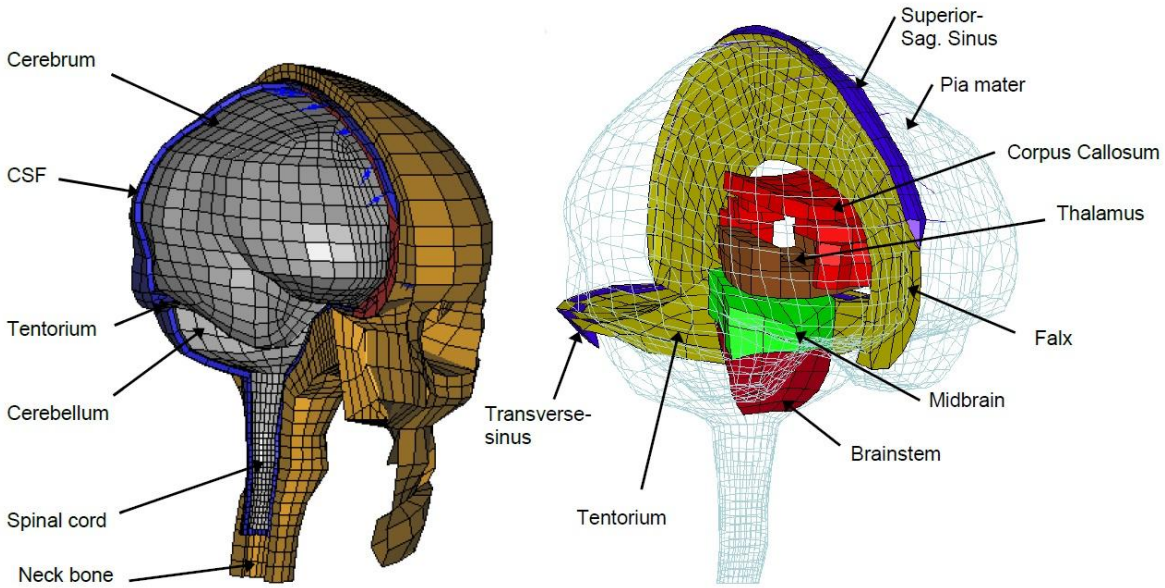


Figur10. *Provning av Hövding*

Alla tester genomfördes vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Datasimulering

Vid datasimuleringen används de uppmätta accelerationspulserna i krockdockans huvud som ingångsvärden till en simuleringsmodell (Finit Element-modell) av människohjärnan (Kleiven, 2003, Kleiven, 2006b, Kleiven, 2007), Figur 11. Modellen visar vilka krafter som verkar på hjärnan vid ett islag. Eftersom simuleringsmodellen är uppbyggd utifrån hjärnans toleransnivåer, användes denna för att avgöra om de uppmätta värdena i dockhuvudet vid de experimentella testerna var skadliga samt vilken hjälm som reducerade krafterna på hjärnan bäst. Modellen har tidigare visat att sneda islag med rotationsacceleration är mera skadliga för hjärnan än raka slag med endast translationsacceleration (Kleiven, 2007).



Figur 11. Finit element-modell av människohjärnan

Huvudmodellen har validerats mot flera hjärnrörelseexperiment (Kleiven och Hardy, 2002), intracerebrala accelerationsexperiment (Kleiven, 2006b), skallbensfrakturexperiment (Kleiven, 2006a) och experimentella mätningar av intrakraniellt tryck (Kleiven och Hardy, 2002). Dessa experimentella data som används omfattar fyra islagsriktningar (frontalt, occipitalt, lateralt och axiellt), korta och långa durationer (2-150 ms), hög och låg skadenivå (hjärnskakning till dödligt) samt både penetrerande och icke-penetrerande skador. Dessutom är den matematiska modellen validerad mot verkliga huvudislag (Kleiven, 2007). Totalt har 58 fall från amerikansk fotboll, NFL, analyserats. Av dessa fick 25 en hjärnskakning varav 4 fick allvarlig hjärnskakning med medvetslöshet. Vidare har modellen används för att studera hjärnskakningar vid huvudislag under australiensisk fotboll där spelarna ej använder hjälm (Patton, 2014).

Datasimuleringen genomfördes av forskare vid avdelningen för Neuronik, Skolan för Teknik och Hälsa, KTH. Vid simuleringen hade forskarna ej vetskap om vilka de testade hjälmarna var. KTH har sedan 1996 arbetat med forskning kring hjälmsäkerhet. Datamodellen är framtagen av forskarna vid KTH och modellen möjliggör en sammanvägning av de uppmätta värdena från krocktesterna.

Skadekriterier

Den matematiska modellen predikterar 50% risk för hjärnskakning vid töjningar på 26% i den gråa hjärnvävnaden. Simuleringen visar vilken maximal töjning som sker i hjärnans vävnad vid varje test, vilket i sin tur kan översättas till risk för skada.

Resultat

Nedan redovisas resultaten från fyra krocktester: ett slagprov enligt liknande principer som i lagkrav, och tre sneda islag (snett islag mot ovandelen av hjälmen, snett islag mot sidan av hjälmen)

Rakt islag – hjälmens förmåga att absorbera energi

Hövding 2.0 fick överlägset bästa resultat vid det raka islaget. Translationsaccelerationen uppmättes till 48 g. Av de konventionella cykelhjälmarna absorberade hjälmen POC Octal mest slageenergi och den resterande kraften som uppmättes i dockhuvudet var 135 g, Tabell 3. Högst värde uppmättes i Yakkay (242 g). Medelvärdet var 175 g och medianen 172 g. I fem hjälmar (Abus S-Force Peak Officiella Vasaloppshjälmen, Carrera Foldable, Giro Sutton MIPS, Occano Urban Helmet och Yakkay) uppmättes värden över 180 g, vilket motsvarar minst 5% risk för skallfraktur(Mertz m.fl., 1997).

Tabell 3. *Uppmätta värden vid rakt islag*

Fabrikat	Translationsacceleration (g)
Abus S-Force Peak Officiella Vasaloppshjälmen	202
Bell Stoker MIPS	155
Biltema cykelhjälm	189
Carrera Foldable	225
Casco Active-TC	170
Giro Savant MIPS	153
Giro Sutton MIPS	212
Hövding 2.0	48
Limar Ultralight	169
Melon Urban Active	173
Occano U MIPS Helmet	178
Occano Urban Helmet	192
POC Octal AVIP MIPS	140
POC Octal	135
Scott Stego MIPS	166
Smith Forefront	231
Spectra Urbana MIPS	168
YAKKAY med överdrag	242
Medel/Median	**175/172**

Snett islag mot hjälmens sida

Varje hjälm testades vid tre olika sneda islag (Tabell 2). I testet, som speglar hjälmens skyddsförmåga i en cykelolycka med snett islag mot hjälmens sida (rotation kring x-axeln), uppmättes translationsaccelerationer (medelvärde 129 g) som ligger betydligt lägre än tröskelvärdet för dagens hjälmstandarder (250 g), Tabell 4 och Appendix A. Lägst translationsacceleration uppmättes vid test av Hövding (42 g) och högst värde uppmättes vid test av Carrera Foldable (180 g). Medelvärdet av rotationsaccelerationerna var 6 406 radianer/s^2, vilket är över gränsvärdet för risk hjärnskada. Lägst rotationsacceleration uppmättes i Hövding (1 546 radianer/s^2). Medelvärdet för rotationshastigheten uppmättes till 27,5 radianer/s . Det högsta värde uppmättes i Scott Stego MIPS (35,4 radianer/s) och det lägsta värdet uppmättes i Hövding (19,4 radianer/s).

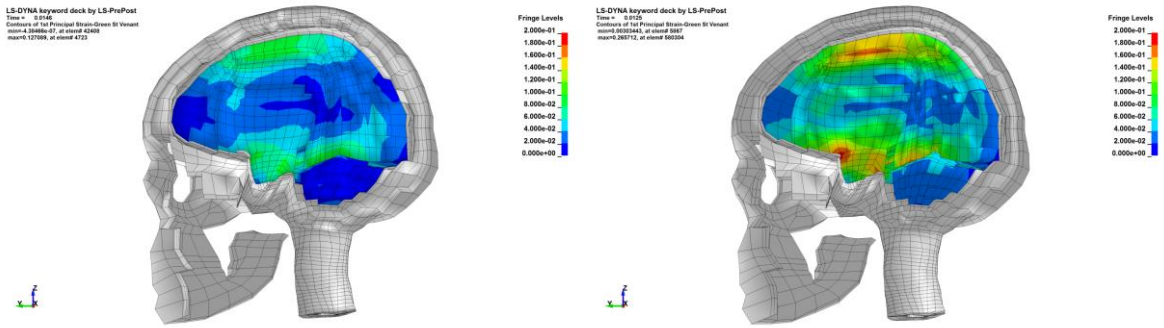
Resultat datasimulering

För att väga samman de uppmätta värdena och avgöra risken för att skadas genomfördes datasimuleringar som visade att töjningen varierade mellan 6-22 % i den gråa hjärnvävnaden. Alla uppmätta värden är under gränsen för 50 % risk för hjärnskakning (26 % töjning). Lägst töjning uppmättes vid testet av huvudskyddet Hövding 2.0. Bilderna nedan visar tidpunkten då den maximala töjningen i hjärnan uppmättes vid test av bästa respektive sämsta konventionella cykelhjälmen samt Hövding 2.0, Figur 12 och Figur 13. Hjälmarnas skyddande förmåga har rangordnads utifrån den beräknade töjningen från FE modellen som presenteras i Tabell 4.

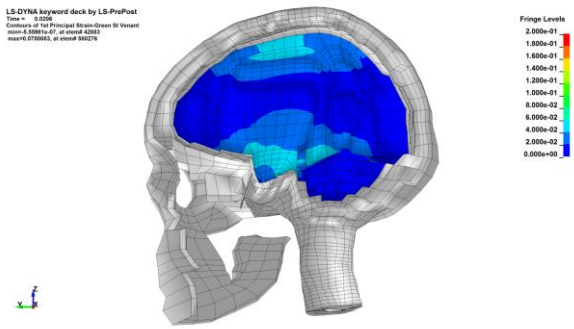
Tabell 4. *Uppmätta värden vid test som speglar cykelolycka med snett islag mot hjälmens sida, islag 1 (rotation kring x)*

Fabrikat	Translations-acceleration (g)	Rotations-acceleration (krad/s2)	Rotations-hastighet (rad/s)	Töjning (%)
Abus S-Force Peak Officiella Vasaloppshjälmen	175	7,5	29,9	16
Bell Stoker MIPS	112	4,2	23,2	11
Biltema cykelhjälm	124	5,1	29,3	15
Carrera Foldable	180	7,9	27,6	16
Casco Active-TC	123	7,8	31,3	20
Giro Savant MIPS	120	5,3	24,7	12
Giro Sutton MIPS	124	4,5	23,8	11
Hövding 2.0	42	1,5	26,9	6
Limar Ultralight	132	8,5	31,5	18
Melon Urban Active	138	6,1	29,2	16
Occano U MIPS Helmet	121	5,1	23,9	12
Occano Urban Helmet	161	7,5	31,6	17
POC Octal	102	7,6	32,2	19
POC Octal AVIP MIPS	95	5,3	23,2	12
Scott Stego MIPS	94	6,8	35,4	19
Smith Forefront	136	8,1	31,5	18

Spectra Urbana MIPS	155	6,1	21,9	12
YAKKAY med överdrag	150	5,8	19,2	14
YAKKAY utan överdrag	174	10,8	33,8	22
Medel/Median	**129/124**	**6,4/6,1**	**27,5/29,2**	**15/16**



Figur 12. *Maximala töjningen i hjärnan vid snett islag med rotation runt x-axeln - slag mot hjälmens sida. Bilden till vänster visar hjälmen som fick lägst värde och bilden till höger den som fick högst värde. Töjningen visas från 0 (Blått) till 22% töjning (Rött).*



Figur 13. *Maximala töjningen i hjärnan vid snett islag med rotation runt x-axeln - slag mothuvudskyddet Hövding 2.0 sida.*

Snett islag mot hjälmens ovandel

I testet som speglar hjälmens skyddsförmåga i en cykelolycka med snett islag mot hjälmens ovandel uppmättes translationsaccelerationer (medel 119 g) som ligger relativt lågt jämfört med dagens hjälmstandarder där tröskelvärdet är 250 g, Tabell 5. Värdet på translationsaccelerationen varierade mellan 37 g (Hövding 2.0) och 174 g (Yakkay utan överdrag). Rotationsaccelerationen varierade mellan 1 735 (Hövding 2.0) och 12 854 radianer/s^2 (Yakkay utan överdrag) och med ett medelvärde av 6 713 radianer/s^2. Medelvärdet för rotationshastigheten uppmättes till 33,1 radianer/s . Det

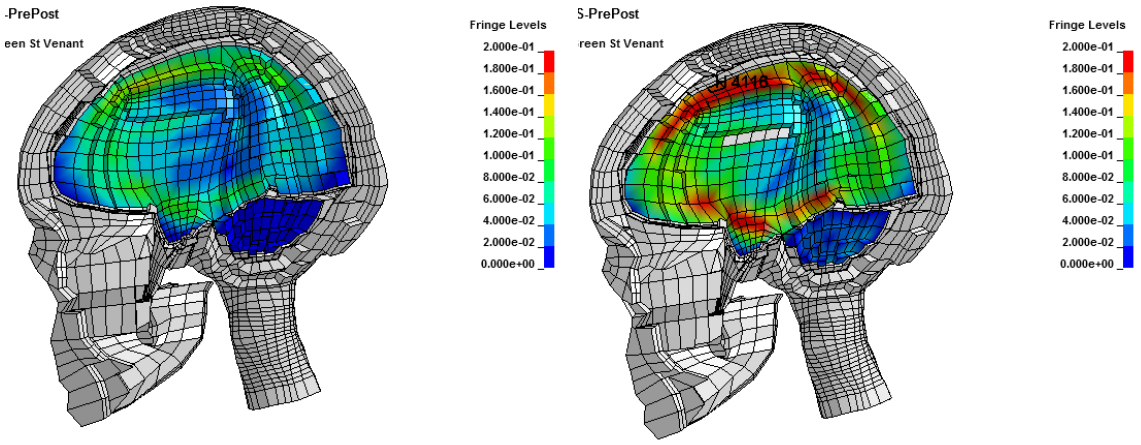
högsta värde uppmättes i YAKKAY utan överdrag (39,4 radianer/s) och det lägsta värdet uppmättes i YAKKAY med överdrag (24,3 radianer/s).

Resultat datasimulering

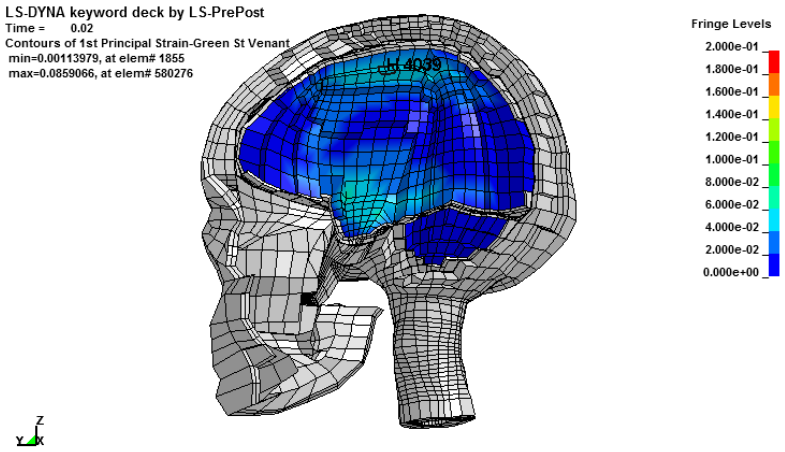
Den maximala töjningen i hjärnvävnaden för hela hjärnan varierade mellan 7 och 35 %, Tabell 5 och Appendix A. Lägst töjning uppmättes i Hövding 2.0. Bland de konventionella hjälmarna uppmättes lägst töjning vid testet av hjälmen YAKKAY med överdrag och högst töjning uppmättes i YAKKAY utan överdrag. I sex tester (Casco Active-TC, Limar Ultralight, Melon Urban Active, Smith Forefront och YAKKAY utan överdrag) uppmättes värden som ligger över gränsvärdet 26% som motsvarar 50% risk för hjärnskakning i de regioner i den gråa hjärnvävnaden där högst töjning uppmättes i dessa test(Kleiven, 2006b, Kleiven, 2007). Bilderna nedan visar tidpunkten då den maximala töjningen i hjärnan uppmättes vid test av bästa respektive sämsta hjälmen, Figur 14. Skillnaden mellan töjning i den bästa respektive sämsta hjälmen är stor. Töjningen visar från 0 (blått) till 39% töjning. De röda områdena på bilden visar delar av hjärnan som löper 50 % risk för hjärnskakning. Töjningen i hjärnan vid en träff på huvudskyddet Hövding 2.0 ovandel visas i Figur 15. Hjälmarnas skyddande förmåga har rangordnads utifrån den beräknade töjningen från FE modellen som presenteras i Tabell 5.

Tabell 5. *Uppmätta värden vid islag mot hjälmens ovansida (rotation runt y), islag 2.*

Fabrikat	Translations-acceleration (g)	Rotations-acceleration (krad/s2)	Rotations-hastighet (rad/s)	Töjning (%)
Abus S-Force Peak Officiella Vasaloppshjälmen	131	7,2	33,4	23
Bell Stoker MIPS	100	6,2	31,8	23
Biltema cykelhjälm	115	7,1	36,4	25
Carrera Foldable	147	7,8	32,9	25
Casco Active-TC	116	8,0	38,8	29
Giro Savant MIPS	100	4,2	28,3	17
Giro Sutton MIPS	116	6,1	34,2	23
Hövding 2.0	37	1,7	28,6	7
Limar Ultralight	121	7,0	36,9	26
Melon Urban Active	131	8,2	34,5	26
Occano U MIPS Helmet	126	5,3	29,1	20
Occano Urban Helmet	121	7,6	35,8	27
POC Octal	90	6,2	35,6	24
POC Octal AVIP MIPS	87	4,5	30,5	19
Scott Stego MIPS	103	6,7	32,7	24
Smith Forefront	166	10,0	38,9	30
Spectra Urbana MIPS	115	5,8	27,2	19
YAKKAY med överdrag	156	5,1	24,3	16
YAKKAY utan överdrag	174	12,9	39,4	35
Medel/Median	**119/116**	**6,7/6,7**	**33,1/33,4**	**23/24**



Figur 14. *Maximala töjningen i hjärnan vid snett islag med rotation i islag mot hjälmens ovansida. Bilden till vänster visar hjälmen som fick lägst värde och bilden till höger den som fick högst värde. Töjningen visas från 0 (Blått) till 35 % töjning (Rött).*



Figur 15. *Maximala töjningen i hjärnan vid snett islag mot huvudskyddet Hövding 2.0 ovansida*

Snett islag mot hjälmens bakre sida

I testet, som speglar hjälmens skyddsförmåga i en cykelolycka med snett islag mot hjälmens sida baktill (rotation kring z-axeln), uppmättes translationsaccelerationer (medelvärde 117 g) som ligger betydligt lägre än tröskelvärdet för dagens hjälmstandarder (250 g), Tabell 6 och Appendix A. Lägst translationsacceleration uppmättes vid test av Hövding (27 g) och högst värde uppmättes vid test av YAKKAY med överdrag (167 g). Medelvärdet av rotationsaccelerationerna var 12 042 radianer/s^2, vilket är långt över gränsvärdet för risk hjärnskada. Lägst rotationsacceleration uppmättes i Hövding (2 828 radianer/s^2). Medelvärdet för rotationshastigheten uppmättes till 40,9 radianer/s . Det högsta värde uppmättes i YAKKAY utan överdrag (46,6 radianer/s) det lägsta värdet uppmättes i Hövding (33,7 radianer/s).

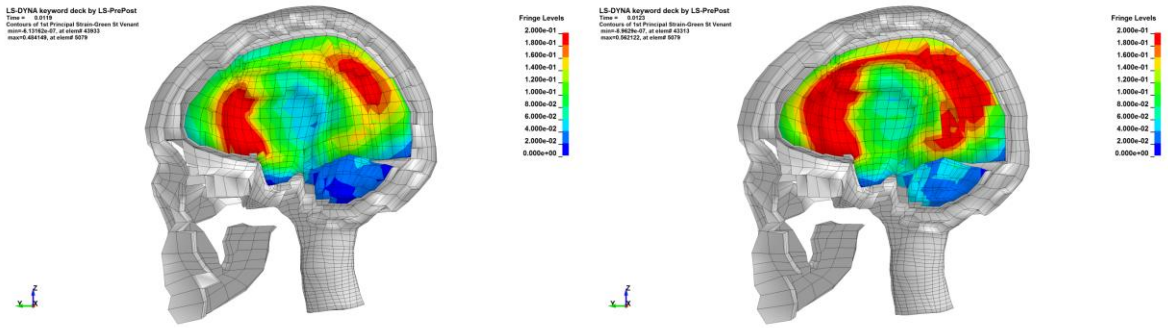
Resultat datasimulering

I testerna med sneda islag uppmättes det i samtliga tester av konventionella hjälmar töjningar över gränsen för 50 % risk för hjärnskakning då töjningen varierade mellan 31-44 %, Tabell 6. Vid test av

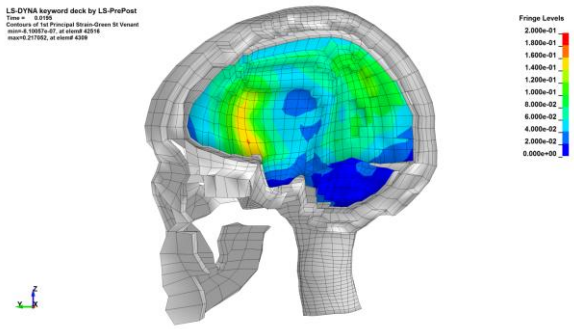
huvudskyddet Hövding 2.0 uppmättes en töjning på 19 % vilket är under denna gräns. Bilderna nedan visar tidpunkten då den maximala töjningen i hjärnan uppmättes vid test av den konventionella hjälmen som fick lägst värde respektive högst värde samt töjningen som uppmättes i huvudskyddet Hövding 2.0, Figur 16 och Figur 17. Bilden till vänster visar och bilden till höger en av de som fick högst värde. Töjningen visar från 0 (blått) till 26% töjning. De röda områdena på bilden visar delar av hjärnan som löper 50% risk för hjärnskakning. Hjälmarnas skyddande förmåga har rangordnads utifrån den beräknade töjningen från FE modellen som presenteras i Tabell 6.

Tabell 6. *Uppmätta värden vid islag mot hjälmens bakre sida (rotation runt z), islag 3.*

Fabrikat	Translations-acceleration (g)	Rotations-acceleration (krad/s2)	Rotations-hastighet (rad/s)	Töjning (%)
Abus S-Force Peak	145	14,4	39,5	33
Bell Stoker MIPS	114	10,5	39,1	31
Biltema cykelhjälm	126	13,8	42,1	34
Carrera Foldable	157	15,5	42,3	35
Casco Active-TC	76	10,1	44,4	35
Giro Savant MIPS	103	9,5	38,7	31
Giro Sutton MIPS	139	13,7	41,0	33
Hövding 2.0	27	2,8	37,1	19
Limar Ultralight	111	12,4	43,2	34
Melon Urban Active	128	12,6	40,5	33
Occano U MIPS Helmet	156	14,7	39,5	32
Occano Urban Helmet	131	13,9	42,6	35
POC Octal AVIP MIPS	77	9,2	43,5	33
POC Octal	74	10,2	42,1	33
Scott Stego MIPS	86	9,4	42,8	33
Smith Forefront	149	13,5	40,0	33
Spectra Urbana MIPS	109	10,5	40,2	32
YAKKAY med överdrag	167	14,1	36,0	30
YAKKAY utan överdrag	142	18,1	46,6	44
Medel	**117/126**	**12,0/12,6**	**40,9/41,0**	**33/33**



Figur 15. *Maximala töjningen i hjärnan vid snett islag med rotation mot bakre delen av hjälmen. Bilden till vänster visar hjälmen som fick lägst värde och bilden till höger den som fick högst värde. Töjningen visas från 0 (Blått) till 44 % töjning (Rött).*



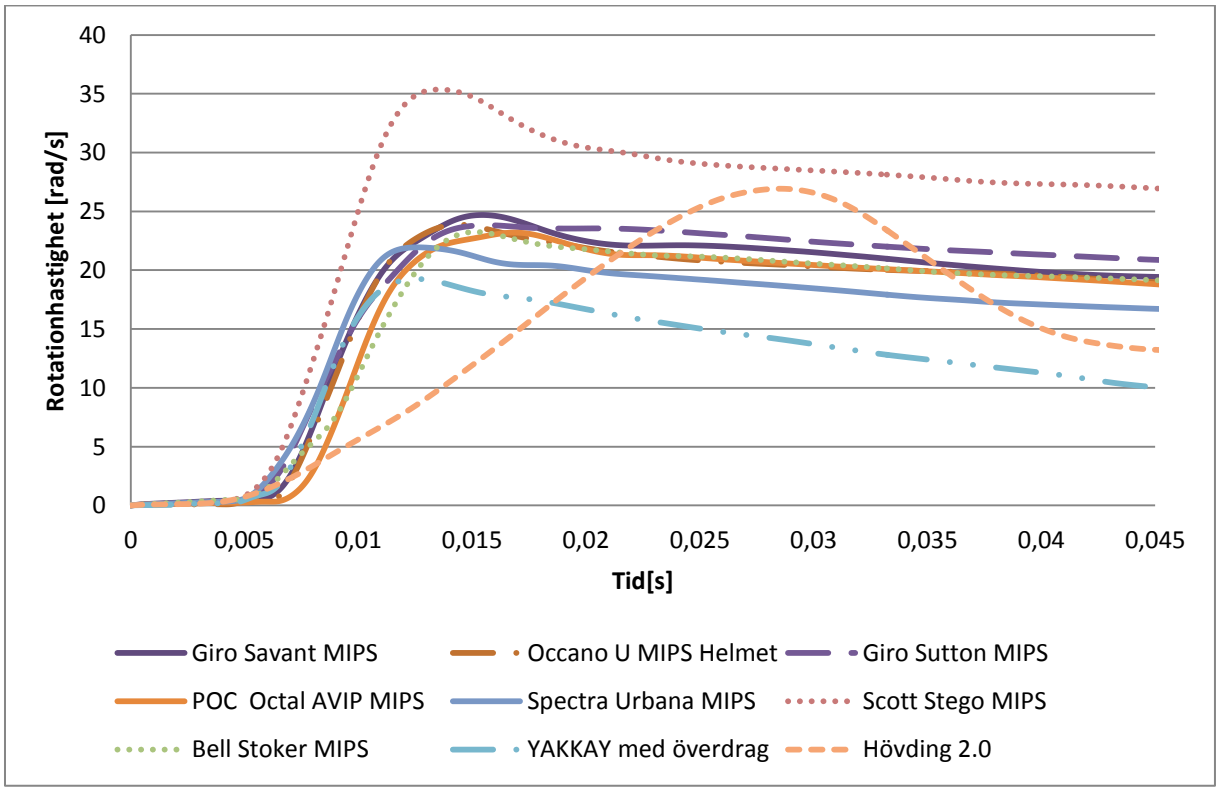
Figur 16. *Maximala töjningen i hjärnan vid snett islag mot bakre delen av huvudskyddet Hövding 2.0*

Diskussion och slutsatser

Alla hjälmar som ingår i testet uppfyller lagkraven som ställs på en cykelhjälm. Lagkraven omfattar inte hjälmens förmåga att mildra rotationsvåld, det vill säga då huvudet utsätts för rotation i samband med islag. Folksams test visar relativt stor spridning i testet för att jämföra hjälmarnas förmåga att ta upp slagenergi (48 – 242 g). Erfarenheter från amerikansk fotboll tyder på att huvudskador börjar inträffa vid 60 – 100 g (Zhang m.fl. 2004). Vidare minskas risken för skallfraktur radikalt (från 40 % till 5 % risk) om translationsaccelerationen sänks från 250 g till 180 g (Mertz m.fl., 1997). Därför bör hjälmar klara av att reducera translationsaccelerationen långt under lagkravets 250 g, under förutsättning att även hänsyn tas till rotationsvåldet för att undvika hjärnskador. Translationsaccelerationen är främst kopplad till risken för skallfraktur medan rotationsacceleration och rotationshastigheten är kopplad till hjärnskador. Resultat från Folksams hjälmtest visar tydligt att det är möjligt att konstruera en hjälm som klarar lagkraven med god marginal. Den konventionella hjälmen som fick bäst testresultat i detta moment, POC Octal, uppmätte 135 g jämfört med 250 g som är tillåtet. Vidare fick Hövding 2.0, ett huvudskydd som blåses upp vid en olycka och fungerar som en krockkudde för huvudet, överlägset bäst resultat i slagprovet av de hjälmar som ingick i testet. Translationsaccelerationen uppmättes till 48 g och värdet är 3 till 5 gånger lägre än för övriga

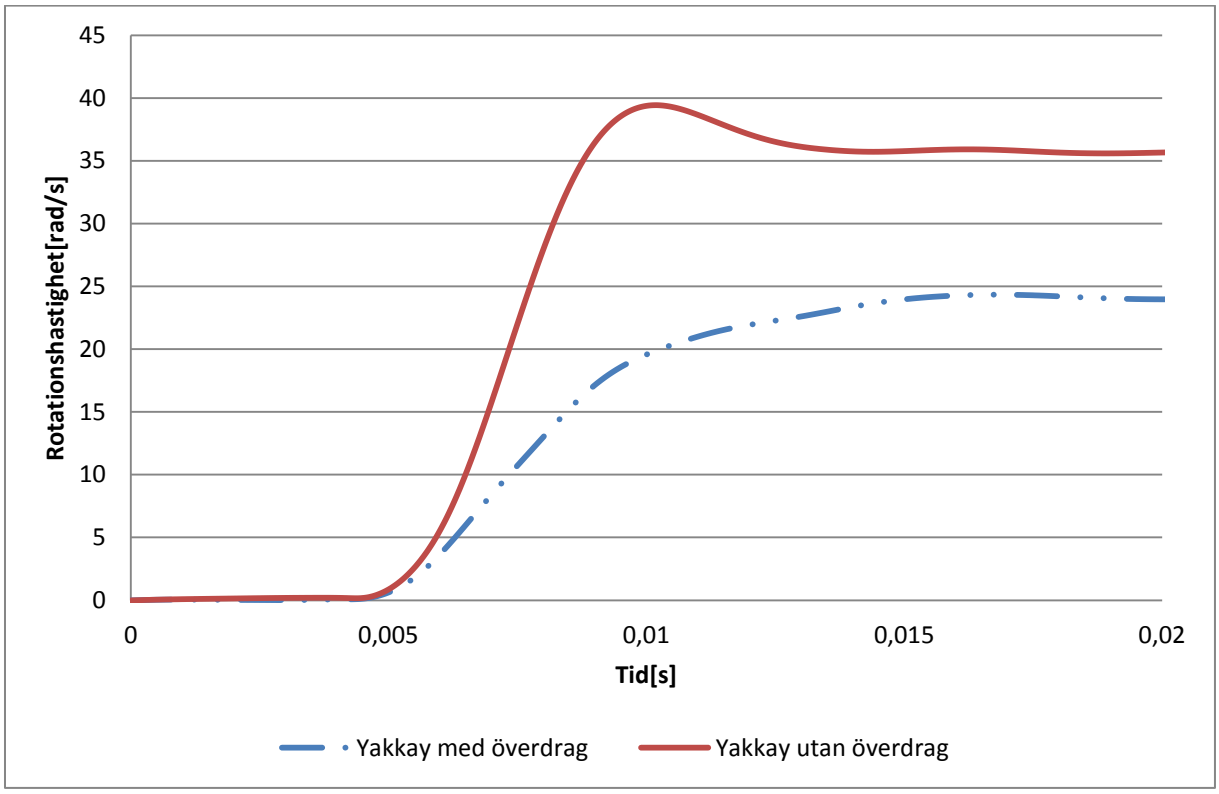
hjälmar. Testerna visar att det stötupptagande materialet i dagens hjälmar är alltför styvt. För att få lägre accelerationsvärden krävs mjukare stötupptagande material som kanske även bör vara något tjockare(Mills och Gilchrist, 2006, Asiminei m.fl., 2009, Fahlstedt, 2015). Samtidigt finns krav på kraftutbredning i och med lagkravstest mot kantsten. För att samtidigt klara det krävs ett hårt ytterskal. Genom att använda andra material och koncept skulle hjälmarna kunna bli mer effektiva på att dämpa stöten mot huvudet. Vid framtagning av en standard sätts många gånger gränsvärden utifrån tänkta befintliga materials skyddskapacitet. De flesta hjälmar har sett relativt likadana ut under en lång period och få förbättringar har gjorts trots att nya stötupptagande material, som är mer energiabsorberande, har utvecklats. En av hjälmarna, Smith Forefront, är uppbyggd enligt bikakestrukturprincip, som tidigare har visats vara effektivt för att reducera både translationsacceleration och rotationsacceleration (Hansen m.fl., 2013). Denna hjälm var dock i detta test för styv och blev en av de hjälmar där det uppmättes högst värden i.

Få hjälmar ger ett bra skydd mot sneda islag (rotations- kombinerat med translationsacceleration), vilket troligen är det vanligaste olycksscenariot vid en cykelolycka med huvudislag. Ett snett slag mot huvudet riskerar att orsaka svåra skador, såsom hjärnskakning med medvetslöshet och nervskador (DAI). Flera av hjälmarna, *Bell Stoker med MIPS, Giro Savant MIPS, Giro Sutton MIPS, Occano U MIPS Helmet, POC Octal AVIP MIPS, Scott Stego MIPS och Spectra Urbana MIPS*, är konstruerad för att ta upp rotationsvåld. Dessa hjälmar kommer generellt bra ut i rotationstesterna men att en hjälm har rotationsskydd är dock ingen garanti för att hjälmen är bra. Vidare visar testerna tydligt att det finns en stor spridning mellan de 18 hjälmarna och även en stor spridning mellan hjälmar med rotationsskydd, Figur 17.



Figur 17. Rotationshastighet för hjälmar med rotationsskydd vid snett islag mot hjälmens sida (rotation kring x-axeln)

En av hjälmarna, Yakkay, som finns i ett utförande där det går att trä på ett överdrag i form av hatt/keps, testades både med och utan överdrag. En mycket stor skillnad uppmättes i de sneda testerna mellan Yakkay med och utan överdrag, vilket tyder på att dess överdrag ger ett bra skydd mot rotationvåld, liknande MIPS, Figur 17 och Figur 18. Skillnaden är att det glidande skalet i Yakkays fall sitter utanpå hjälmen. Det är förmodligen inget avsiktligt rotationsskydd, men visar att ett utanpåliggande skikt kan ge ett liknande skydd som ett innerliggande glidskikt. Det finns ett liknade koncept bland MC-hjälmar så kallat SuperSkin som har visats kunna reducera rotationsvåldet vid tester (PhillipsHelmets, 2015). Ett annat exempel är hjälmen 6D som består av två lager EPS vilka kopplas samman med ”dämpare” som tillåter energiupptagande glidning mellan lagren (6DHelmet, 2015). Hövding, som likt en krockkudde för huvudet blåses upp vid en olycka, fick överlägset bäst resultat i slagprovet av de vuxenhjälmar som ingick i testet 2012 (Stigson m.fl., 2012). Nu fick den även mycket bra resultat i rotationstesterna, Figur 17. När den är uppblåst kan det yttre tyget glida i sidled i förhållande till tyget på insidan mot huvudet. Därigenom skapas två glidande skikt som minskar belastningen avsevärt. Dessa exempel ovan visar tydligt att det är fullt möjligt att konstruera en hjälm på flera olika sätt för att ta upp rotationsvåld.



Figur 18. Rotationshastighet vid snett slag mot hjälmens ovandel (Rotation kring y-axeln)

En förklaring till spridningen i hjälmarnas testresultat är också skillnaden i geometrisk design. En cykelhjälmsdesign med många ventilationshål och kanter är mer mottaglig för en större spridning beroende på islagspunkt. Om exempelvis en kant träffas vid islaget så kan detta påverka de uppmätta accelerationerna negativt. Då exempelvis Scott Stego MIPS jämförs med Bell Stoker MIPS kan man se att Bell-hjälmen är rund och slät medan Scott-hjälmen har relativt markerade designkanter. Skatehjälmarna är slätare men har ofta ett hårdare ytterskal och får därmed generellt högre värden. Vidare kan spridningen bero på att hjälmen suttit olika hårt på krockdockshuvudet. Att hjälmarna satt lika hårt på huvudet är svårt att kontrollera. Hjälmarna monterades på huvudet med avsikten att

nackjusteringssystemet justerades så lika som möjligt enligt samma procedur som vid certifierings-tester. Spridningen av resultaten återspeglar dels av hjälmarnas variation i energiupptagnings-förmåga, men framför allt av att flera hjälmtillverkare inte utvecklar hjälmarna för sneda islag.

Alla hjälmar som ingår i testet uppfyller lagkraven som ställs på en cykelhjälm. Lagkraven omfattar dock inte hjälmens förmåga att mildra rotationsvåld. Resultatet från Folksams test visar tydligt att en hjälm som klarar dagens lagkrav på 250 g ändå kan ge hjärnskakning. Hjärnskakning eller så kallad mild traumatisk hjärnskada (MTBI, Mild Traumatic Brain Injury) med eller utan medvetslöshet inträffar i många aktiviteter, oftast till följd av att hjärnan utsätts för rotationsvåld vid antingen ett direkt eller indirekt våld mot huvudet. Hjärnskakningar kan leda till bestående besvär med exempelvis minnesstörningar, huvudvärk och andra neurologiska symtom. I åtta procent av fallen som rapporteras till Folksam, där en person drabbats av en huvudskada i samband med en olycka, leder till långvariga besvär med medicinsk invaliditet (Malm m.fl., 2008). Rotation av huvudet kan också ge upphov till mer allvarliga skador såsom deformation av hjärnvävnad, vilket kan leda till diffusa hjärnskador (DAI - Diffuse Axonal Injury). Risken för en hjärnskada är dock svårare att uppskatta endast utifrån accelerationspulserna då det idag inte finns några vedertagna skade-toleranser för rotationsvåld mot huvudet vid ett islag. De flesta studier som har visat risksamband mellan rotation och hjärnskada bygger på studier baserade på djurförsök alternativt matematiska modeller av hjärnan (Kleiven, 2007, Newman m.fl., 2000, Newman m.fl., 2005, Zhang m.fl., 2004). [4] I detta test har en datasimuleringsmodell, som beräknar töjningen i hjärnan och risk för hjärnskador, används för att utvärdera vilken hjälm som mest effektivt reducerar krafterna vid islag. Denna modell väger samman de ovan nämnda riskfaktorerna och är en av de mest tillförlitliga som finns att tillgå. Därför har utvärderingen baserad på datamodellen vägt tungt. I testet har vi bedömt hjälmarnas säkerhetsnivå relativt mot varandra. Varje hjälms betyg som presenteras på www.folksam.se/cykelhjalm baseras på "medelhjälmen".

De europeiska certifieringstesterna av cykelhjälmar är ofullständiga då de inte omfattar sneda islag mot hjälmen. Resultatet från denna studie tyder på att provmetoden för hjälmgodkännande bör förändras alternativt att fler konsumenttester genomförs för att driva på utvecklingen av cykelhjälmars utformning. Att förändra lagkrav brukar vara en långsam och byråkratisk process. Det är möjligen mer realistiskt att se lagkravet som ett ”golv” för vad som kan accepteras och istället verka för konsumenttester som hjälper konsumenter till bra val. Erfarenheter från bilars krocksäkerhetsnivå visar att det är konsumenttester som driver utvecklingen snabbast framåt. Alla bilar klarar lagkraven men skillnaden mellan bra och sämre bilar är stor och ingen tillverkare bortser från de testkriterier som stora konsumenttester sätter upp (exempelvis Euro NCAP). Folksam har testat hjälmar sedan 2012 och vi kan se att våra tester har påverkat utbudet i butikerna. Numera är det betydligt vanligare med hjälmar med rotationsskydd trots att detta är inget som hjälmtillverkarna premiernas för i lagkravstesterna.

Trots lagkravets relativt höga gränsvärde på 250g visar studier att dagens hjälmar har en mycket hög skyddseffekt (Rizzi et al 2013). Men skyddseffekten kan bli betydligt högre om man sänker gränsvärdet avsevärt samt inför sneda islag liknande de som gjorts i denna studie så att även hjärnskakningar omfattas. Under ett antal år har diskussioner pågått om att införa just sneda islag i standarden för cykelhjälmar (CEN/TC158-WG11, 2014). Den metod som använts i denna studie är

[4] För mer ingående skadekriterier se Stigson, H., M. Krafft, M. Rizzi, A. Kullgren, A. Ydenius och K. Lindmark (2013). Folksams cykelhjälmstest maj 2013. Ingår i.: Folksam forskning.

den som just är under diskussion. Att ändra lagkraven är dock en utdragen process och vi kan inte vänta oss att de ändras inom de närmsta åren. Det är därför av stor vikt att konsumenttester driver utvecklingen framåt med tuffare krav på de hjälmar som säljs. Vi hoppas med denna studie att öka konsumenternas medvetenhet när det gäller val av cykelhjälm och på så sätt bidra till att efterfrågan på säkra hjälmar ökar. Detta kan då påskynda en förändring av lagkraven.

Slutsatser

Folksams test av 18 cykelhjälmar visar att det finns en stor spridning mellan de testade hjälmarnas skyddsförmåga. Cykelhjälmar behöver bättre kunna mildra huvudets rotationsacceleration vid islag för att förebygga hjärnskador. Testerna visar också att det är möjligt att uppfylla lagkravet med stor marginal. Gränsvärdet för att få en hjälm godkänd ligger klart över acceptabla gränsvärde för hjärnskakning men även för skallfraktur. Därför är det angeläget att se över nuvarande testkriterier för godkännande av hjälmar, nivån bör minst halveras för att understiga en rimlig nivå på risk för hjärnskakning.

Den största skillnaden mellan en bra och en dålig hjälm är hur väl den skyddar huvudet vid sneda islag. Hjälmar som har rotationsskydd gav generellt lägre belastning på hjärnan. De flesta testade cykelhjälmarna skulle dock kunna bli betydligt bättre. För att undvika att hjälmar säljs utan rotationsskydd bör lagkraven ändras så att även sneda islag omfattas. Folksam har sedan 2012 utfört hjälmtester för att hjälpa konsumenter att välja en säker hjälm och för att påverka hjälmtillverkare att göra säkrare hjälmar. Andelen hjälmar med rotationsskydd har under denna period ökat kraftigt, vilket visar att konsumenttester är viktiga för att driva på utvecklingen.

Folksams tester visar att det finns en potential att med andra koncept och material förbättra egenskaperna hos cykelhjälmar. Hövding 2.0 fick överlägset bäst testresultat både gällande stötupptagning och vid sneda islag.

Tack

Tack till Mikael Videby och Karl-Gustaf Andersson, SP i Borås, för utförandet av tester och tack till Peter Halldin, avdelningen för Neuronik, Skolan för Teknik och Hälsa, KTH, för genomfarandet av datasimuleringarna.

Intressekonflikt

Peter Halldin arbetar också aktivt i MIPS AB och är en av grundarna till företaget bakom MIPS hjälmen. Vid simuleringen hade forskaren ej vetskap om vilka de testade hjälmarna var.

Referenser

6DHelmet. *Odstm (omni-directional suspensiontm)* [Online]. Tillgänglig via: http://www.6dhelmets.com/#!ods/c10b6 [Hämtad den 2015-05-10].

Asiminei, A., G. van der Perre, I. Verpoest och J. Goffin. 2009). A transient finite element study reveals the importance of the bicycle helmet material properties on head protection during an impact. Ingår i: The International Research Council on Biomechanics of Injury (IRCOBI) Conference, 2009 York, UK. 357–360.

Bjornstig, U., M. Ostrom, A. Eriksson och E. Sonntag-Ostrom (1992). Head and face injuries in bicyclists--with special reference to possible effects of helmet use. *Journal of Trauma,* 33(6), s. 887-93.

CEN/TC158-WG11 (2014). Cen/tc 158 - wg11 rotational test methods. Ingår i.

Fahlstedt, M. (2015). *Numerical accident reconstructions - a biomechanical tool to understand and prevent head injuries.* Doctoral Thesis, KTH Royal Institute of Technology.

Gennarelli, T., L. Thibault, G. Tomei, R. Wiser, D.I. Graham och J. Adams. 1987). Directional dependence of axonal brain injury due to centroidal and non-centroidal acceleration. . Ingår i: Proceedings of the 31st Stapp Car Crash Conference, Society of Automotive Engineers, 1987 Warrendale, PA.

Hansen, K., N. Dau, F. Feist, C. Deck, R. Willinger, S.M. Madey och M. Bottlang (2013). Angular impact mitigation system for bicycle helmets to reduce head acceleration and risk of traumatic brain injury. *Accident Analysis and Prevention,* 59, s. 109-17.

Holbourn, A.H.S. (1943). Mechanics of head injury. *Lancet* 2, s. 438–441.

Kleiven, S. (2003). Influence of impact direction on the human head in prediction of subdural hematoma. *Journal of Neurotrauma,* 20(4), s. 365-79.

Kleiven, S. (2006a). Biomechanics as a forensic science tool - reconstruction of a traumatic head injury using the finite element method. *Scand J Forens Sci.,* (2), s. 73-78.

Kleiven, S. (2006b). Evaluation of head injury criteria using a finite element model validated against experiments on localized brain motion, intracerebral acceleration, and intracranial pressure. *Internal Journal of Crashworthiness,* 11(1), s. 65-79.

Kleiven, S. (2007). Predictors for traumatic brain injuries evaluated through accident reconstructions. *Stapp Car Crash J,* 51, s. 81-114.

Kleiven, S. och W.N. Hardy (2002). Correlation of an fe model of the human head with experiments on localized motion of the brain – consequences for injury prediction. *46th Stapp Car Crash Journal: 123-144.*

Löwenhielm, P. (1975). Mathematical simulations of gliding contusions. *J. Biomech. ,* 8, s. 351-356 doi:10.1016/0021-9290(75)90069-X.

Malm, S., M. Krafft, A. Kullgren, A. Ydenius och C. Tingvall (2008). Risk of permanent medical impairment (rpmi) in road traffic accidents. *Annu Proc Assoc Adv Automot Med,* 52, s. 93-100.

Margulies, S.S. och L.E. Thibault (1992). A proposed tolerance criterion for diffuse axonal injury in man. *Journal of Biomechanics,* 25(8), s. 917-23.

Mertz, H.J., P. Prasad och A.L. Irwin. 1997). Injury risk curves for children and adults in frontal and rear collisions. Ingår i: Proceedings of the 41th Stapp Car Crash Conference, 1997 Lake Buena Vista, Florida, US,. 13–30.

Mills, N.J. och A. Gilchrist (2006). Bicycle helmet design. *Journal of Materials,* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L(Design and Applications 220), s. 167–180.

Newman, J.A., M.C. Beusenberg, N. Shewchenko, C. Withnall och E. Fournier (2005). Verification of biomechanical methods employed in a comprehensive study of mild traumatic brain injury and the effectiveness of american football helmets. *Journal of Biomechanics,* 38(7), s. 1469-81.

Newman, J.A., N. Shewchenko och E. Welbourne (2000). A proposed new biomechanical head injury assessment function - the maximum power index. *Stapp Car Crash J,* 44, s. 215-47.

Patton, D.A. (2014). *The biomechanical determinants of sports-related concussion: Finite element simulations of unhelmeted head impacts to evaluate kinematic and tissue level predictors of injury and investigate the design implications for soft-shell headgear.* PhD Thsis, University of New South Wales.

PhillipsHelmets. *Phillips head protection system* [Online]. Tillgänglig via: http://www.phillipshelmets.com [Hämtad den 2015-05-10].

Rizzi, M., H. Stigson och M. Krafft. 2013). Cyclist injuries leading to permanent medical impairment in sweden and the effect of bicycle helmets. Ingår i: Int. IRCOBI Conf. on the Biomechanics of Injury, 2013 Gothenburg, Sweden.

SS-EN1078 Hjälmar för cyklister, skareboard och rullskridskoåkare. (1997).

Stigson, H., M. Hasselwander, M. Krafft, A. Kullgren, M. Rizzi och A. Ydenius (2012). In swedish: Folksams cykelhjälmtest juni 2012. Ingår i.: Folksam Forskning.

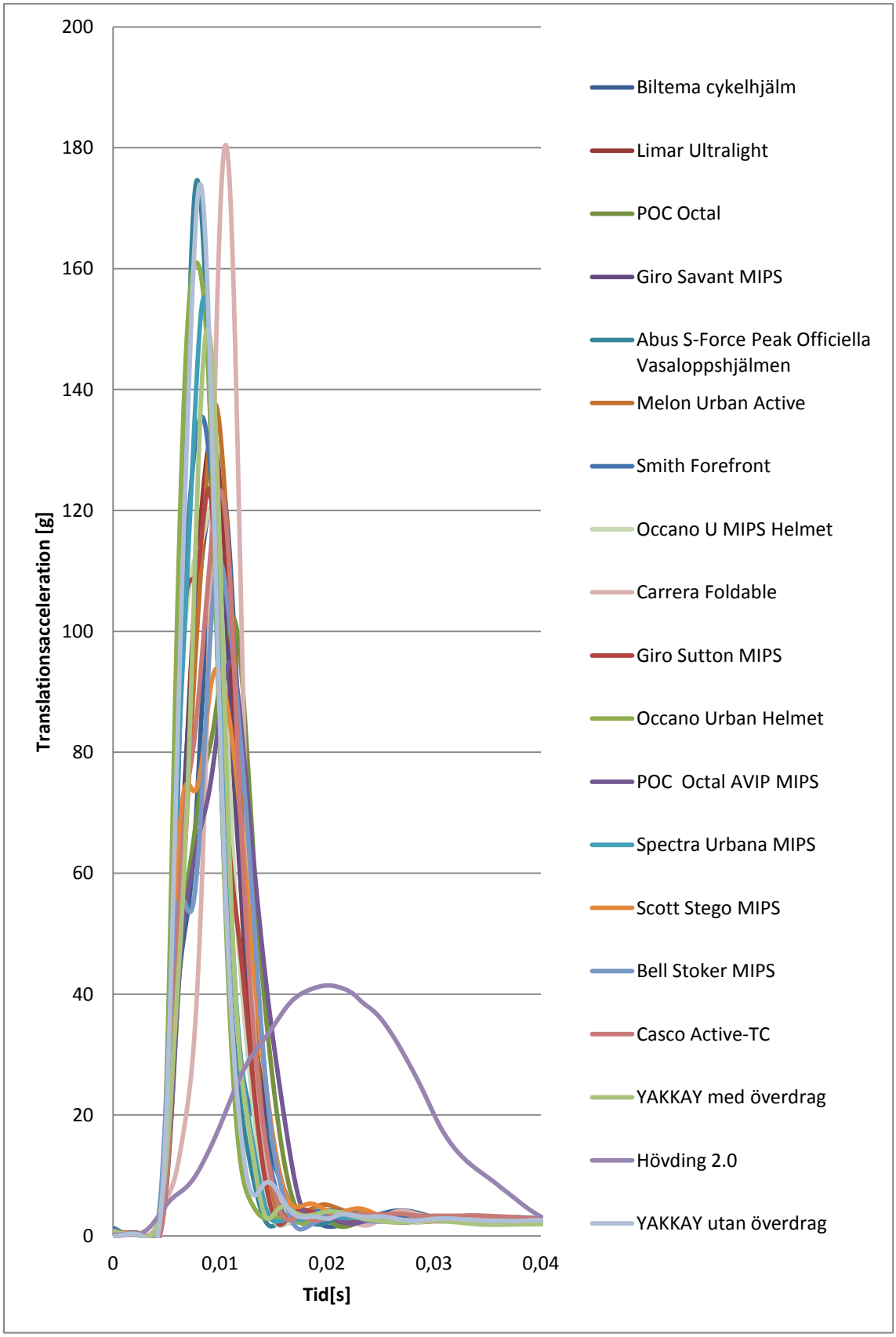
Stigson, H., M. Krafft, M. Rizzi, A. Kullgren, A. Ydenius och K. Lindmark (2013). Folksams cykelhjälmstest maj 2013. Ingår i.: Folksam forskning.

Thompson, D.C., F.P. Rivara och R. Thompson (2009). Helmets for preventing head and facial injuries in bicyclists (review). *Cochrane Database of Systematic Reviews 1999,* (Issue 4. Art.).

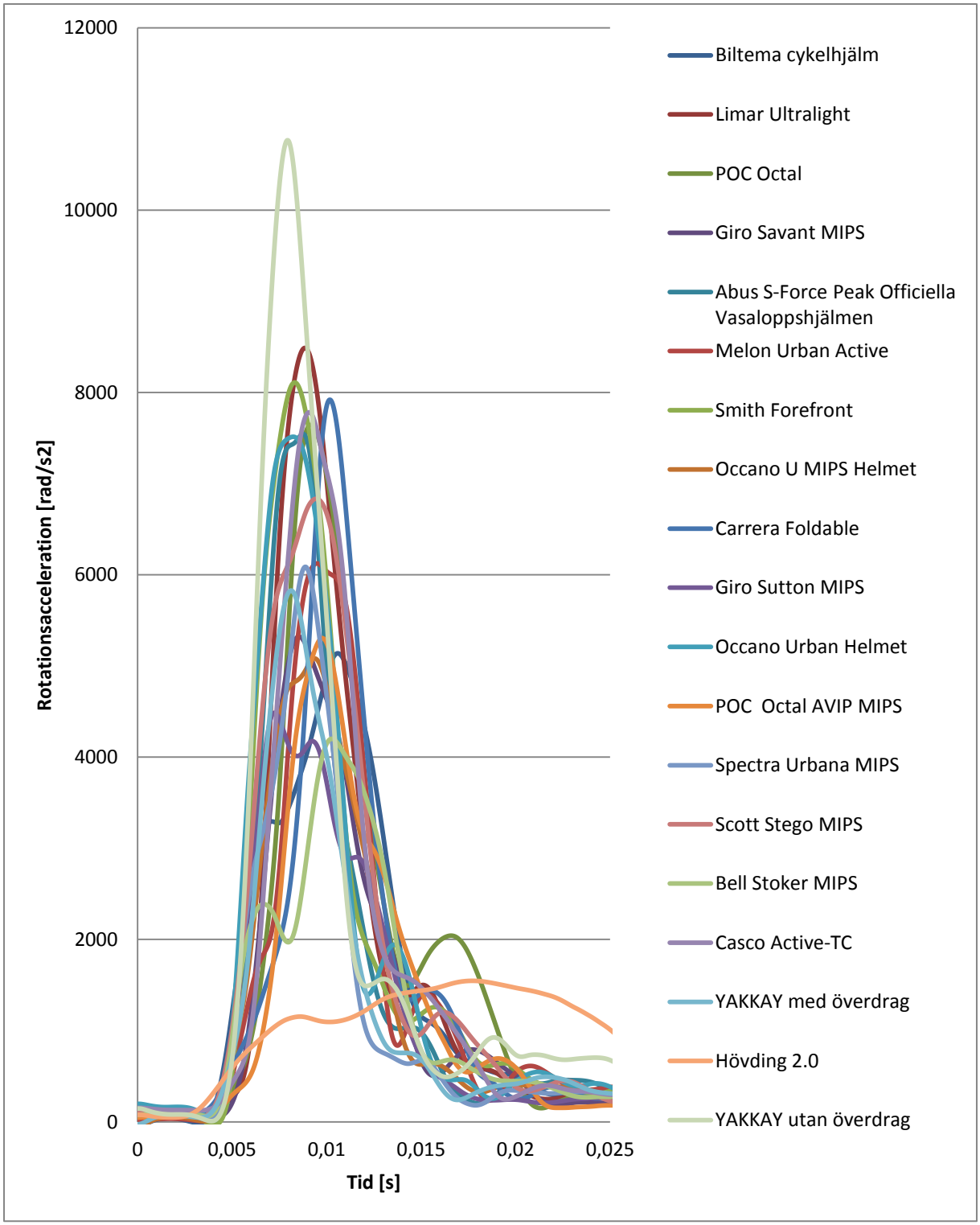
Willinger, R., C. Deck, P. Halldin och D. Otte. (18-19 November 2014). Towards advanced bicycle helmet test methods. Ingår i: International Cycling Safety Conference 2014, 18-19 November 2014 Göteborg, Sweden.

Zhang, L., K.H. Yang och A.I. King (2004). A proposed injury threshold for mild traumatic brain injury. *Journal of Biomechanical Engineering,* 126(2), s. 226-36.

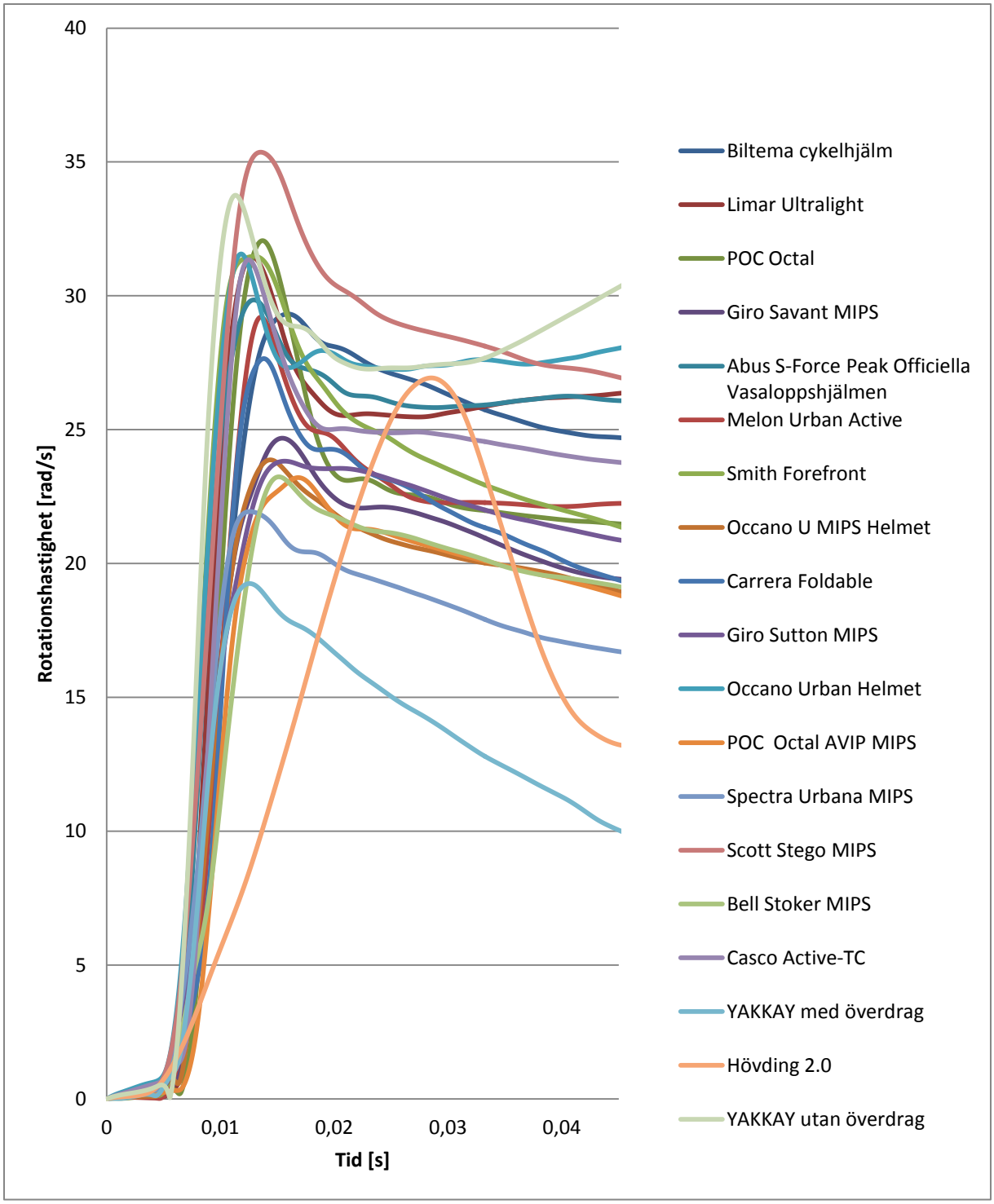
Appendix A – Grafer över testvärden från de tre rotationstesterna



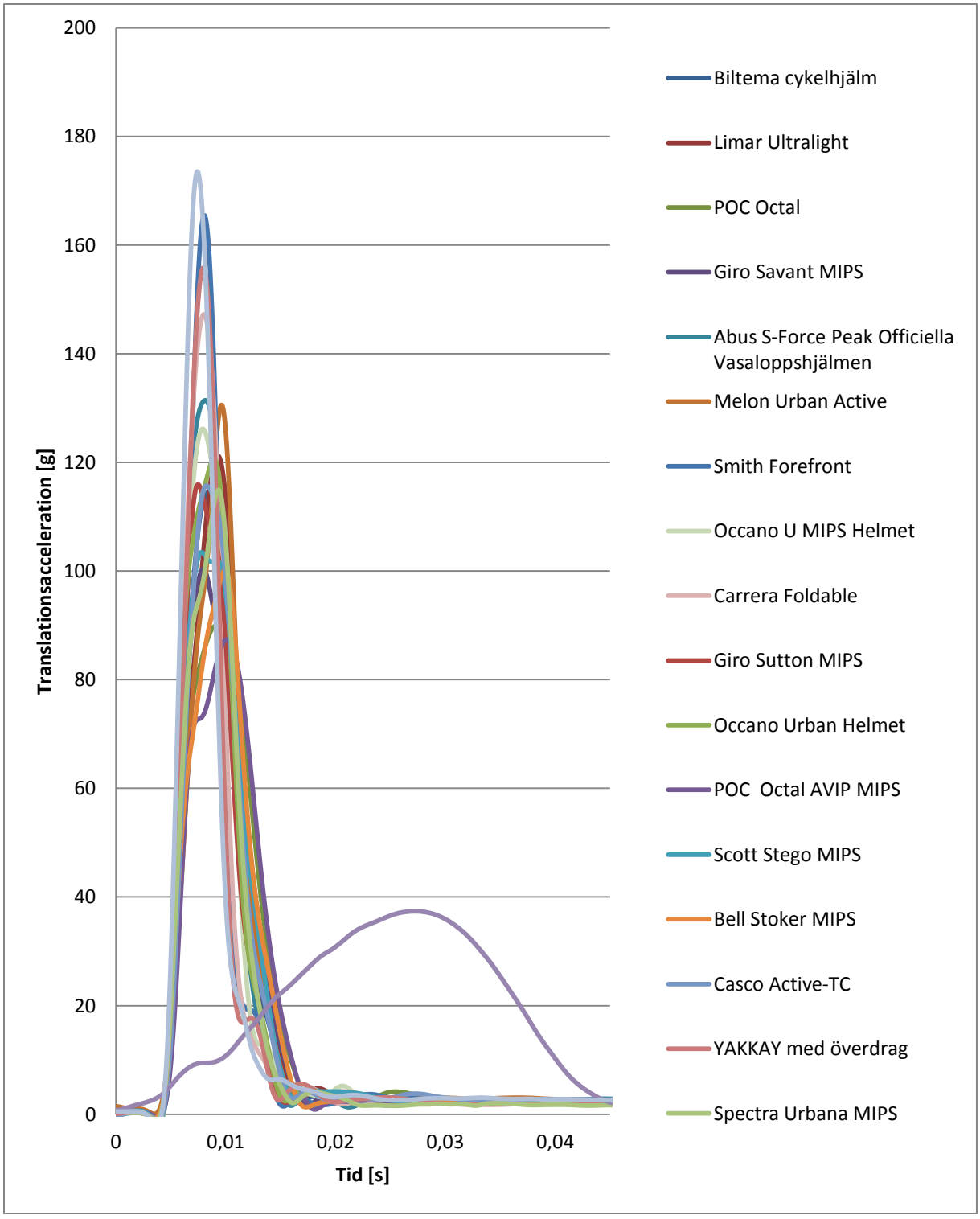
Figur A. Translationsacceleration vid snett islag mot hjälmens sida (rotation kring x-axeln)



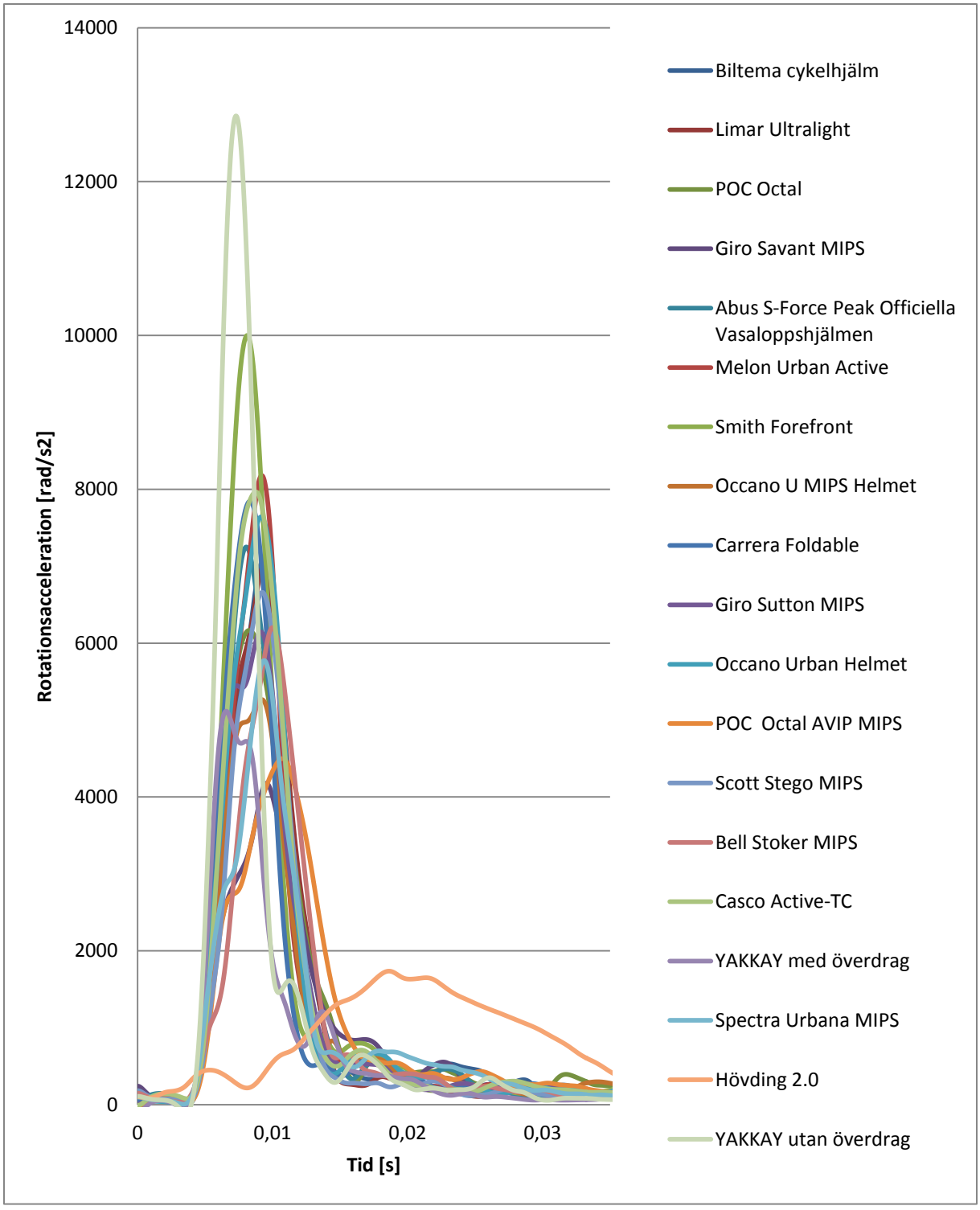
Figur B. Rotationsacceleration vid snett islag mot hjälmens sida (rotation kring x-axeln)



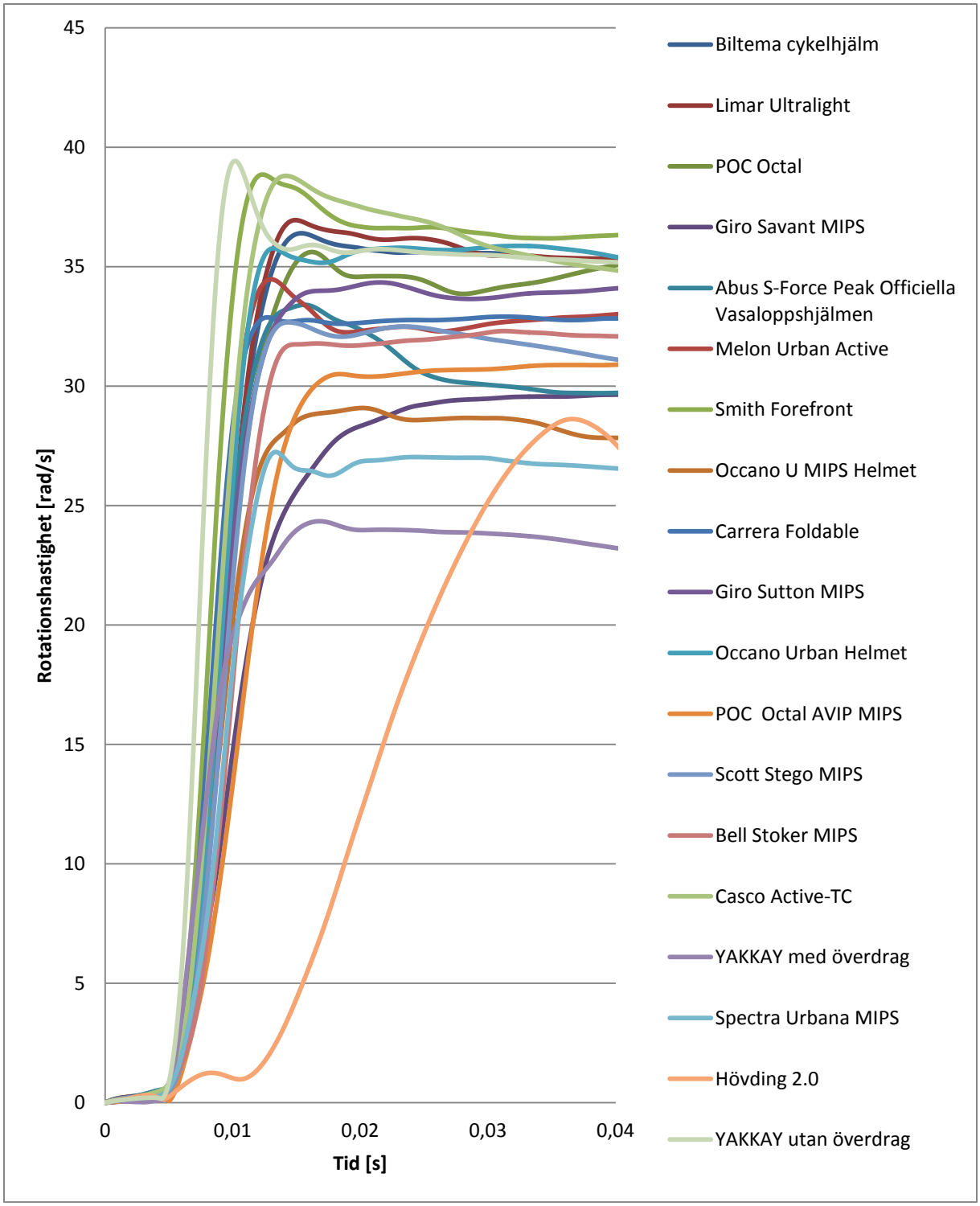
Figur C. Rotationshastighet vid snett islag mot hjälmens sida (rotation runt x-axeln)



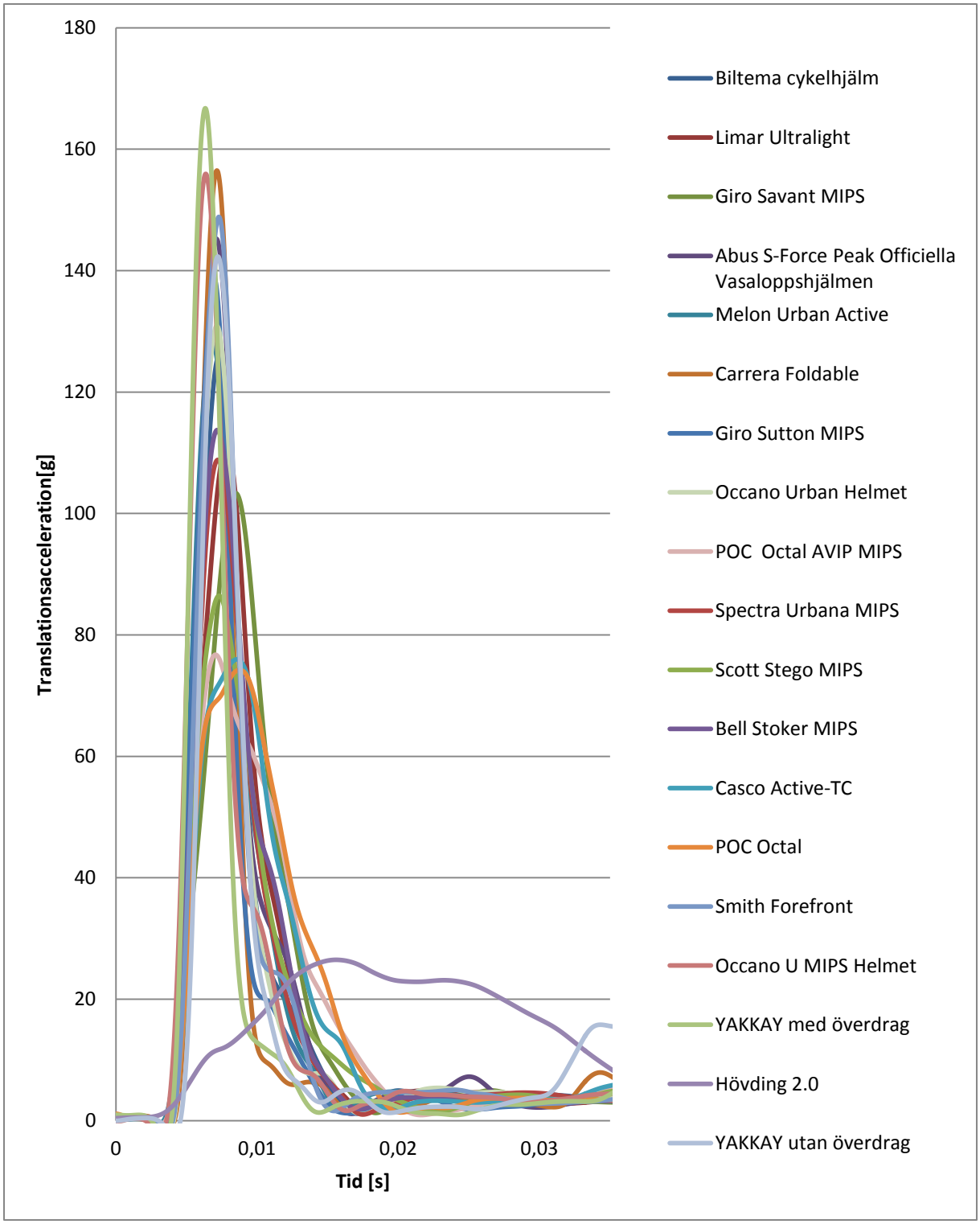
Figur D. Translationsacceleration vid snett islag mot övre delen av hjälmen (rotation kring y-axeln)



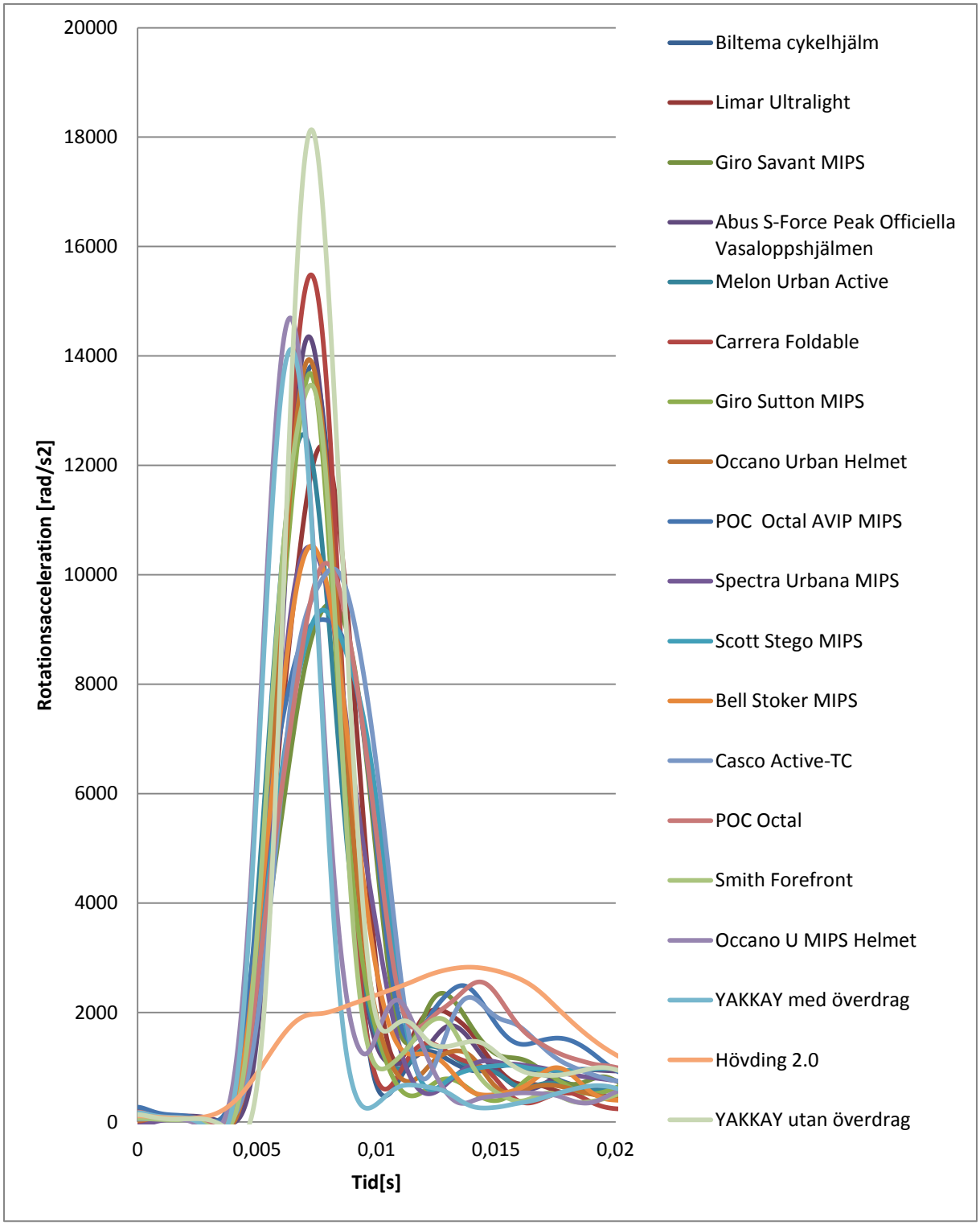
Figur E. Rotationsacceleration vid snett islag mot övre delen av hjälmen (rotation kring y-axeln)



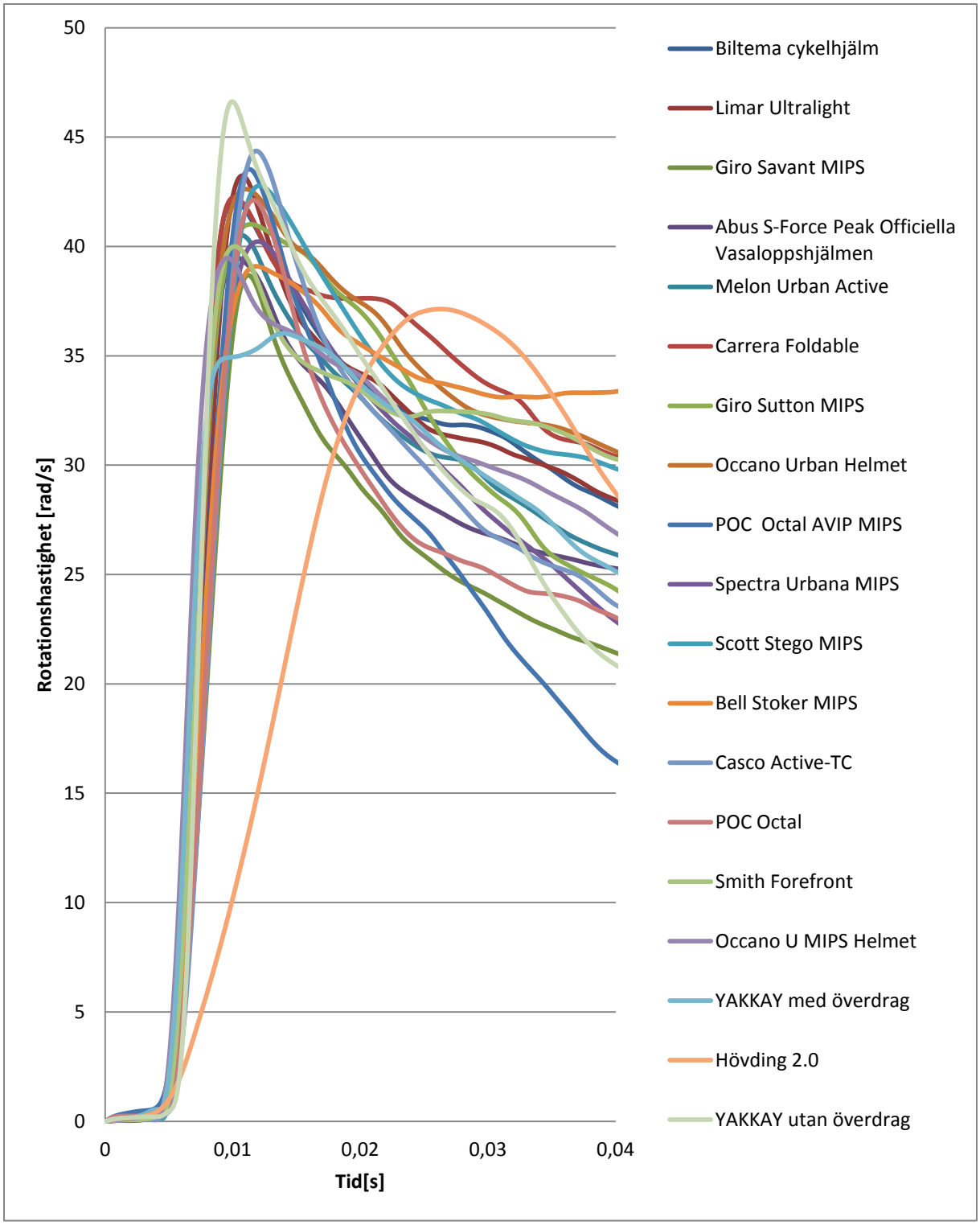
Figur F. Rotationshastighet vid snett islag mot övre delen av hjälmen (rotation kring y-axeln)



Figur G. Translationsacceleration vid snett islag mot bakre delen av hjälmens sida (rotation kring z-axeln)



Figur H. Rotationsacceleration vid snett islag mot bakre delen av hjälmens sida (rotation kring z-axeln)



Figur I. Rotationshastighet vid snett islag mot bakre delen av hjälmens sida (rotation kring z-axeln)

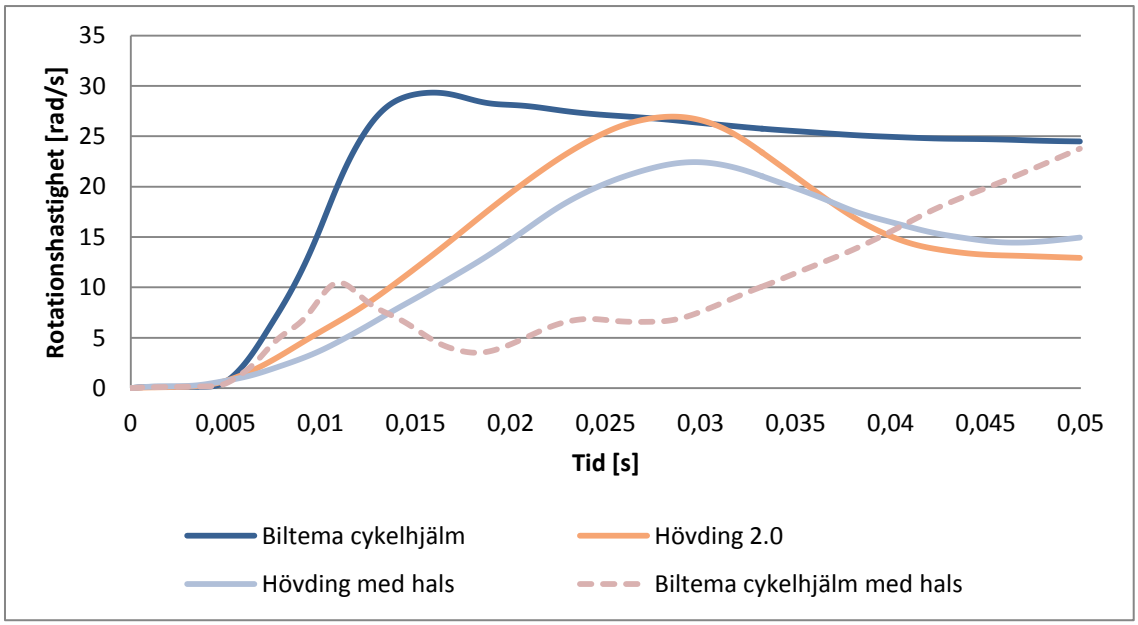
Appendix B – Hövding

Hövding 2.0 är en cykelhjälm i form av en krage som cyklisten bär runt halsen. Kragen innehåller en krockkudde som blåses upp och skyddar huvudet först vid en olycka. Cyklistens rörelser registreras kontinuerligt med hjälp av sensorer och gyron och om ett onormalt rörelsemönster detekteras kommer den att blåsas upp. Uppblåsningen tar en tiondels sekund. Trycket i krockkudden hålls konstant under flera sekunder och hjälmen skall därför skydda huvudet mot flera slag under samma olycka. När vi på Folksam testat hjälmen har den varit uppblåst (0,5 bar). Vi har därmed inte testat och verifierat Hövdings förmåga att detektera en olycka. Folksam har däremot tidigare genomfört en demonstration för att visa hur Hövding fungerar och använde då en stuntman som körde in i en stolpe och på så sätt aktiverade den. Vid utvecklingen av produkten och vid CE-märkning har dock företaget själva gjort krocktester på SP och VTI för att se att den aktiveras. Under dessa moment har de använt såväl krockdockor som stuntmän.

En begränsning med Hövding är att den inte skyddar då huvudet träffas direkt av ett föremål under cykling, alltså utan att du faller av cykeln. Det kan exempelvis ske om huvudet träffar en gren eller skylt under cykelturen. Dessa olyckor är dock ovanliga.

Inverkan av en nacke på testhuvudet

Eftersom en nacke förväntas ge ett nödvändigt stöd för Hövding i rotationstesterna, gjordes jämförande tester både med och utan en nacke på testhuvudet. Hövding 2.0 med nacke fick endast något högre rotationshastighet än utan, Figur A och Tabell A. I studien redovisas testresultaten för Hövding 2.0 utan nacke. Anledningen till detta är att för en konventionell hjälm påverkas testförloppet markant när den testas med nacke. Olycksförloppet och även testförloppet är mycket kort (10-20 ms) för en konventionell hjälm och tidigare studier har visat att nacken endast hinner vridas 10 grader under detta förlopp. Därför är det troligtvis fullt realistiskt scenario för de konventionella hjälmarna att inte använda någon nacke. Däremot har flera forskare belyst att detta bör utredas vidare (Fahlstedt, 2015) och det är framförallt viktigt att utreda vilken inverkan nacken har vid längre krockförlopp som för huvudskyddet Hövding 2.0.



Figur A. Rotationshastighet med och utan hals för en konventionell hjälm och Hövding 2.0

Tabell A Töjningsvärden från simulering med och utan nacke

	Töjning (%)		
Simulation	Rotation kring x-axel	Rotation kring y-axel	Rotation kring z-axel
Hövding	6,2	7	19
Hövding med nacke	6,8	10	18
Biltema	19,0	25	34
Biltema med nacke	5,6	16	36