

# FULLSKALE-SIMULERING

av

## BIL-ÄLGKOLLISION MED ÄLGKADAVER

Simulation of moose-car collision  
with moosecadaver

*examensarbete*

av

**Gert Nilson**

**Mats Svensson**

Institutionen för Trafiksäkerhet

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg

1986

## FÖRORD

Föreliggande examensarbete har utförts vid Institutionen för Trafiksäkerhet vid Chalmers Tekniska Högskola under handledning av docent Per Lövsund.

Vi tackar honom liksom institutionens professor Bertil Aldman och veterinär Bengt Ole Röken för utmärkt samarbete. Vi tackar också Volvo Personvagnar AB och Statens Väg- och Trafikinstitut för benäget bistånd. Kontaktpersoner för dessa har varit Jécabs Terins respektive Thomas Turbell.

Slutligen vill vi tacka för den stimulerande entusiasm samtliga berörda personer visat vårt examensarbete och oss.

Göteborg i september 1986



Gert Nilson



Mats Svensson

## **ABSTRACT**

Passenger cars colliding with mooses has become an increasing problem in Sweden in recent years. A method of testing the crash-worthiness of cars in this very particular kind of impact is needed.

This report describes a staged collision in which a Volvo 240 is impacted a moosecadaver. The results presented are supposed to be used in the development of a moose dummy.

Some compairments with previous crashsimulations are also made.

## 1 SAMMANFATTNING

Mot bakgrund av att antalet älgolyckor i vårt land tenderat att öka samt att det skydd bilar ger de medåkande vid sådana olyckor är ofullständigt utrett fick vi i uppdrag att som examensarbete ta fram underlag dels för en förbättring av den älgattrapp som konstruerats av Statens Väg- och Trafikinstitut, dels för en metod att prova bilars krocksäkerhet vid älgkollisioner.

Vi inledde vårt arbete med litteratur- och andra teoretiska studier, fortsatte med att genomföra en kollisionsprovning där en Volvo 240 av 1985 års modell kördes mot ett relativt färskt älgkadaver.

Provningen gav som resultat accelerationskurvor och höghastighetsfilmer som beskriver egenskaper hos en med god noggrannhet typisk älgkollision, samt slutdeformationer hos en vanlig bilmodell där ingångsparametrarna hastighet och älgvikt är kända. Vi har använt detta för att formulera förslag till utformning av en ny attrapp. I ett senare skede kan resultaten användas som referensmaterial vid validering av denna attrapp.

Anmärkningsvärt hos resultaten är att älgen är mycket mjuk, den tycks helt sakna "inre struktur". Därigenom tränger delar av den långt in i kupén, som längst befinner sig älgen bara ett fåtal centimetrar framför b-stolparnas plan.

Vi konstaterar därför att den gamla attrappen är för hård och för styv, så att man vid framtagning av en ny attrapp bör sträva efter att få den betydligt mjukare och böjligare, t ex genom att använda vatten eller annat visköst material som fyllning.

Vidare finner vi att vind- och sidorutorna splittras vilket får till följd att glassplittar yr omkring i kupén med skärskador på de medåkande som följd. Det plus inträngda plåtdetaljer och älgkroppens egen inträngning är de huvudsakliga skadeframkallande faktorerna. Vi föreslår därför införandet av splitterfria rutor, vaddering av de detaljer som kan trängas in och om möjligt en takkonstruktion som minskar vindruteöppningen och därmed älgens inträngning vid en kollision.

# INNEHÅLL

	sid nr
1 SAMMANFATTNING	1
2 INLEDNING	4
3 MATERIAL OCH METODER	6
3.1 Litteratursökning	6
3.2 Personkontakter	6
3.3 Arbetets kronologi	9
3.4 Nedskalade försök	9
3.5 Försöksobjekten	10
3.5.1 Bilen	10
3.5.2 Älgen	10
3.6 Mätningar	11
3.5.1 Bilen	11
3.5.2 Älgen	12
3.7 Standardiserade tester	15
3.8 Utomhus eller inomhus?	16
3.9 Krockbanan	16
3.10 Älgens upphängning	19
3.11 Mätutrustning	20
3.12 Sprängutlösningen	23
4 RESULTAT	25
4.1 Mätningar på bilen	25
4.2 Mätningar på älgen	27
4.3 Höghastighetsfilmerna	31
4.4 Älgens skador och vikt	34
4.5 Bilens kvarstående deformationer	35

4.6	Framräknade värden	37
5	AVSLUTANDE DISKUSSIONER-SLUTSATSER	41
5.1	Är provet representativt?	41
5.1.1	Hastigheten	41
5.1.2	Vikten	41
5.1.3	Benstommen	42
5.2	Erfarenheter	42
5.3	Jämförelser	44
5.3.1	Andra älgkrockade bilar	44
5.3.2	Prov mot den gamla attrappen	44
5.3.3	Datorsimulering	45
5.4	Diskussion kring krafter och energier	45
5.5	Kritiska egenskaper hos bilen	46
5.5.1	Glassplitter	46
5.5.2	Plåt detaljer	47
5.5.3	Älgens inträngning	47
5.6	Konstruktion av attrappen	48
5.6.1	Material	48
5.6.2	Form	48
5.6.3	Styvhet	48
5.6.4	Töjningsegenskaper	49
6	REFERENSER	50

APPENDIX 1	A1
Förslag till attrapp	A1
APPENDIX 2	A4
Jämförelse med datorsimulering	A4
APPENDIX 3	A7
Den elektriska mätutrustningen	A7
APPENDIX 4	A9
Diagram i fullskala	A9

## 2 INLEDNING

Antalet kollisioner mellan bilar och älgar har på senare år blivit ett alltmer uppmärksammat problem. Även om inte djurolyckor tillhör vare sig de största eller allvarligaste olycksgrupperna i trafiken orsakar de förluster för samhället och för dem som drabbas. Olyckorna inträffar slumpmässigt och är svåra att gardera sig emot för den enskilde trafikanten. Det gör att olyckstypen upprör mångas känslor.

Det finns i stort sett två sätt att begränsa de skador som bil-älgkollisioner kan medföra. Det ena är att hindra kollisioner från att inträffa. Det kan göras dels genom att man försöker hålla vägarna älgfria, genom t ex viltstängsel, -speglar och avskjutning i områden med tät trafik, dels genom att göra det lättare för bilförarna att upptäcka älgar, t ex genom att röja undan växtligheten metrarna närmast vägkanten och varna för älgtäta sträckor med skyltar.

Det andra är att öka säkerheten i bilarna, så att de skador passagerarna drabbas av vid en krock blir lindrigare.

Det första sättet - att förebygga kollisioner - har provats och visat sig ha flera brister. En undersökning visar att viltspeglar närmast saknar effekt. Viltstängsel är dyrt och kan dessutom stänga inne älgar på vägen i olyckliga fall. Att röja upp längs vägarna leder till att sly växer upp, vilket i sin tur lockar älgar till vägen. Det förekommer en relativt kraftig avskjutning, vilken av allt att döma spelar stor roll när det gäller att minska antalet viltolyckor, men avskjutningens storlek bestäms huvudsakligen av andra än trafikpolitiska (myndigheter och) skäl.

En älgkommitté sammansatt av representanter från Trafiksäkerhetsverket, SAAB, Volvo och Chalmers Tekniska Högskola, med adjungerade ledamöter från Statshälsan och Statens Väg- och Trafikinstitut (VTI) har arbetat med att kartlägga älgolyckorna i Sverige samt med att ta fram idéer



och metoder i syfte att minska desammas omfattning.

Ovanstående är bakgrunden till vårt examensarbete. Detta har initierats av älgkommittén och genomförts vid Institutionen för Trafiksäkerhet, CTH. Det har haft som mål att ta fram underlag för en provmetod att testa och förbättra bilars säkerhet vid älgkollisioner. Arbetet har främst syftat till att förbättra den attrapp som 1982 togs fram vid Statens Väg- och Trafikinstitut i Linköping att simulera älgkollisioner.

### 3 MATERIAL OCH METODER

#### 3.1 Litteratursökning

Den centrala frågan vid konstruktion av en älgattrapp för krockprovning är: Hur svarar en älgkropp på kraftigt, dynamiskt yttre våld? Vi letade idogt efter någon skrift som kunde hjälpa oss att svara på den frågan, men hittade ingen. Det närmaste vi fann att man kan komma är böcker som redovisar älgars anatomi respektive människors svar på yttre, dynamiskt våld. Inom det senare området har det gjorts utförliga tester, speciellt i USA [1], men bara i hastigheter upp till c:a 40 km/tim. De resultaten vågade vi inte använda, eftersom älgkrockar ofta sker vid dubbla hastigheten (d v s fyrdubbla energin) och vi inte ansåg det vara möjligt att extrapolera sambanden. Det senare p.g a att vi inte kunde förutsäga vad som händer om t ex revbenen och/eller ryggraden knäcks under förloppet.

#### 3.2 Personkontakter.

När inte litteraturen kunde hjälpa oss fick vi gå andra vägar. Vi ringde upp ett stort antal institutioner där vi antog oss kunna träffa på kunskaper om älgar, bl a Zoologiska institutionen vid Göteborgs Universitet, Naturhistoriska muséet, Bohus- och Hallands läns jaktvårdskonsulent, Svenska Jägareförbundet i Uppsala, Grimsö forskningsstation och Kolmårdens Djurpark.

Tre sakkunniga, fil lic **Finn Stålfelt**, docent **Gunnar Markgren** och veterinär **Bengt Ole Röken** gav oss följande upplysningar:

- Älgars anatomi (se figur 3.1 och 3.2 sid 8).
- Fjölårskalvar är klart överrepresenterade vid älgkol-  
lisioner.
- En typisk fjölårskalv väger 240-280 kg på hösten, omkring 100 kg mindre på våren.

Följande frågor förblev obesvarade:

? Vikten hos de krockdrabbade älgar som *inte* är fjolårskalvar.

? Om älgens massa eller bilens hastighet är mest betydelsefull för hur svåra skadorna blir vid en krock.

? Vår centrala fråga ovan, d v s hur en älgkropp svarar på kraftigt dynamiskt yttre våld.

Vad gäller det andra frågetecknet har en tidigare undersökning, gjord av med dr **Ulf Björnstig**, Regionsjukhuset, Umeå och adj professor **Jan Thorsson**, Statshälsan, Umeå dragit slutsatsen att älgmassan är av relativt stor betydelse [2].

Efter att ha satt sig in i den tredje frågan mera noggrant antog Bengt Ole Røken att en älg när den blir påkörd i hög hastighet kan jämföras med en vattenfylld säck. Han hänvisade till det faktum att buken hos hjorddjur inte uppbärs av muskler, utan helt enkelt hänger i en mycket stark hud (*se fig. 3.1 och 3.2*). Eftersom bukinnehållet till stora delar är vatten borde approximationen med en vattensäck vara giltig för den delen av kroppen. Vidare antog han att skelettstrukturen rasar och alltså inte spelar någon roll vid de stora kraftpåkänningar som en påkörning i >70 km/tim innebär. Hypotesen ställde han upp utgående från sin yrkesmässiga erfarenhet av stora djurs skelett. Det skulle göra approximationen hyggligt giltig även för framkroppen.

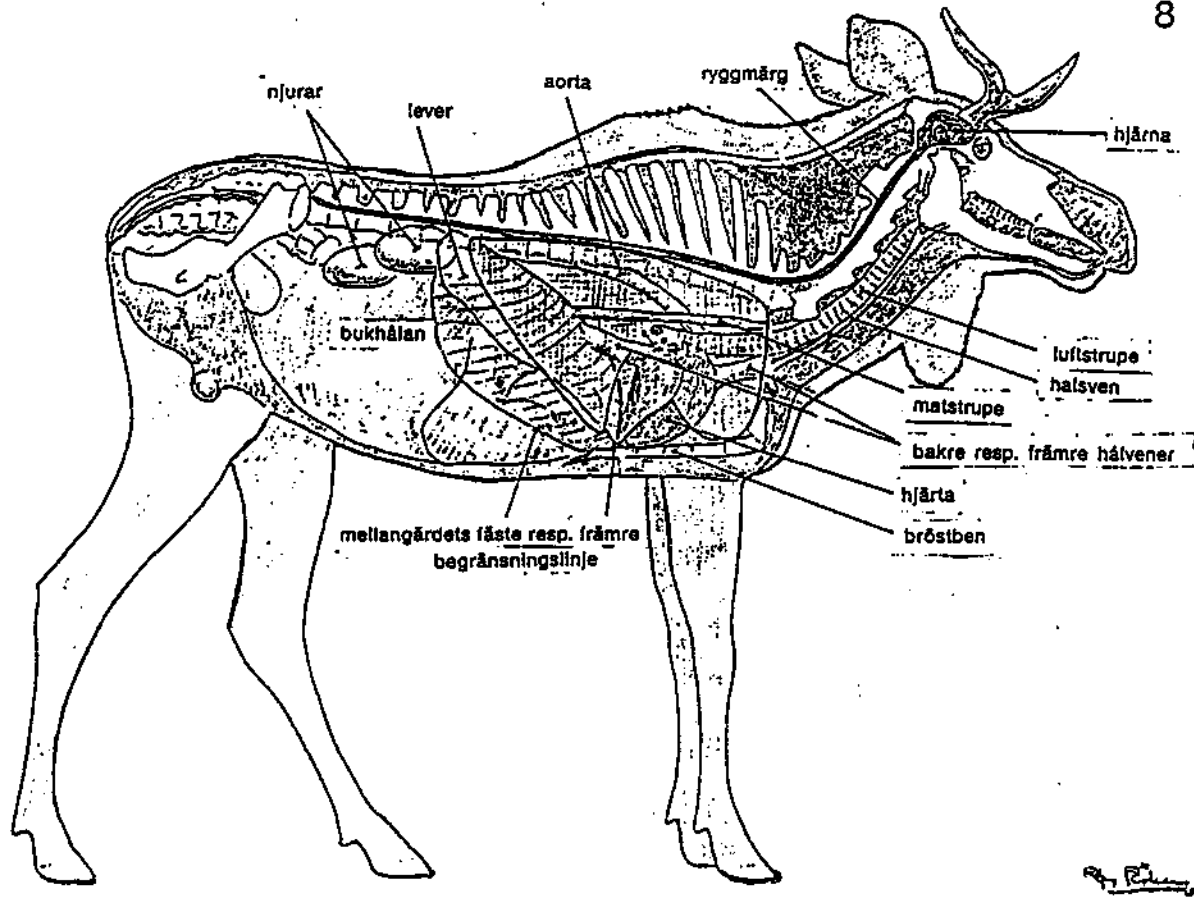


Fig 3.1 Älgens anatomi: Organen.

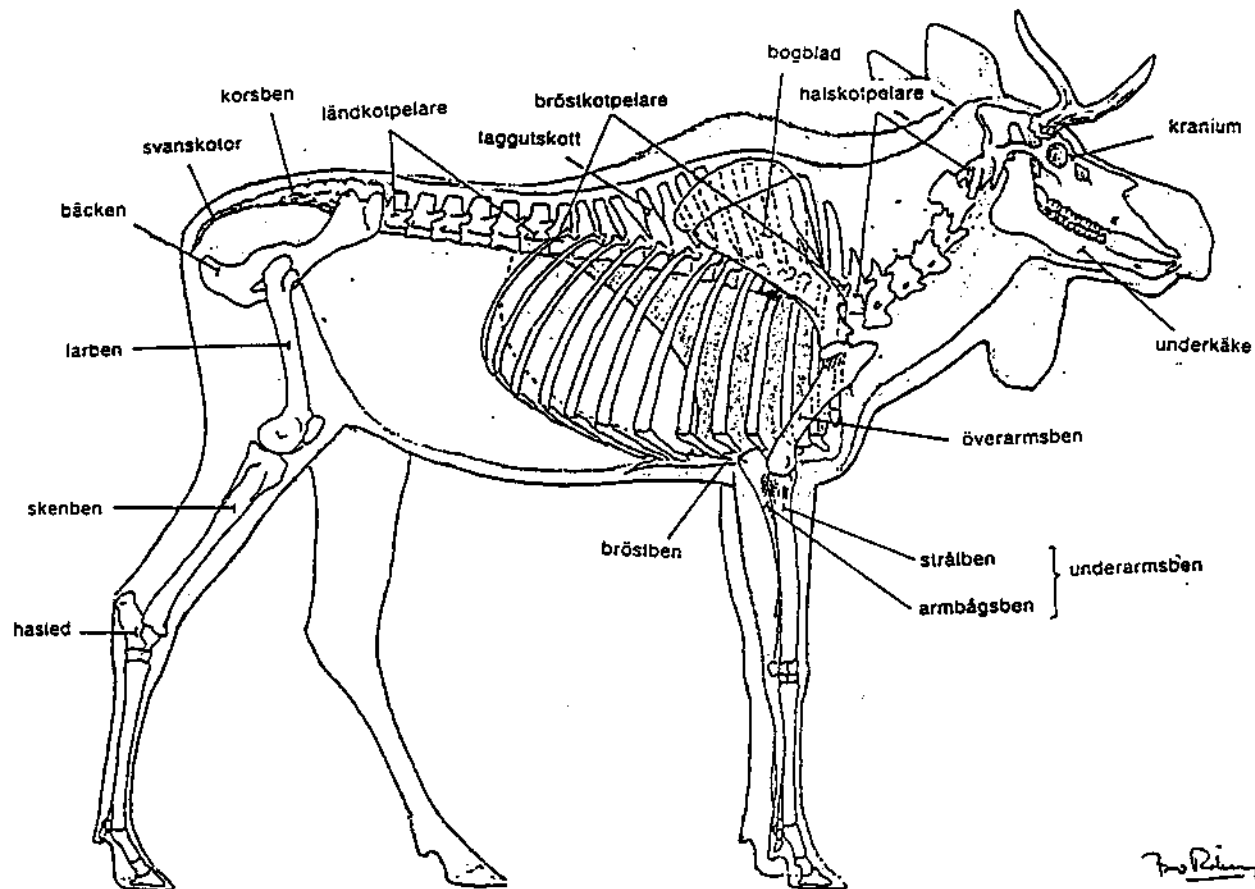


Fig 3.2 Älgens anatomi: Skelettet.

### 3.3 Arbetets kronologi.

Från början tänkte vi bygga en vattensäck; som hade en för ändamålet avpassad massa, som var stryktålig och som inte antog "päronform" när den hängdes upp. Formen ville vi snarare ha elliptiskt cylindrisk, för att efterlikna en älgkropp liksom för att få attrappen böjlig nog. En av bristerna med VTI:s attrapp antogs vara just dess höga böjstyvhet. För att få attrappen väldefinierad och enkel tänkte vi utelämna huvud och ben. Vi avsåg vidare hålla möjligheten öppen att efter att attrappen var färdig testa dess giltighet genom att genomföra en kontrollerad kollision mot ett älgkadaver och jämföra de dynamiska förloppen samt slutdeformationerna för älg- resp attrappkrock.

Vi tänkte också behålla några frihetsgrader hos konstruktionen för att kunna förbättra den efter jämförelsens utfall.

Gången blev den omvända.

När vi småningom nådde insikten att en jämförande krock var oundviklig insåg vi också, efter diskussioner med vår handledare och annan expertis på CTH, att det ur alla avseenden vore bättre att först göra ett krockprov i fullskala mot riktig älg och sedan konstruera attrappen. Med den turordningen minskar t ex riskerna för felaktiga antaganden under konstruktionen och därav följande tidsödande konstruktionsändringar betydligt.

### 3.4 Nedskalade försök.

Under diskussionerna förkastades förslag om nedskalade försök, t ex väldefinierade slagprov mot exempelvis grisdelar, som alltför osäkra. Vi konstaterade helt enkelt att det är många parametrar inblandade i en bil-älgkollision och att de är kopplade på ett så komplext sätt att händelsen inte kan efterliknas med något annat än ett prov i full skala.

### 3.5 Försöksobjekten.

#### 3.5.1 Bilen.

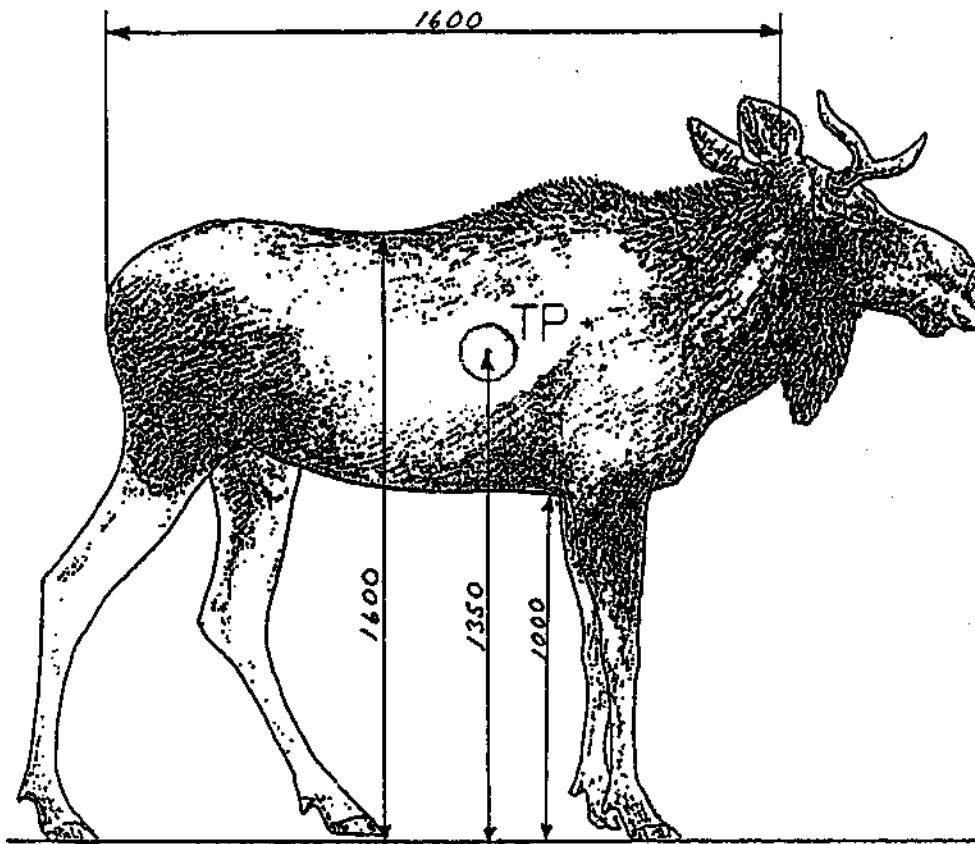
Den älgattrapp vi ville ta fram skulle i idealfallet vara giltig för alla biltyper, d v s den skulle så bra som möjligt motsvara en riktig älg oavsett med vilken bilmodell man valde att köra på den. Bästa sättet att få attrappen att svara mot detta krav vore möjligen att köra vårt prov mot en bil konstruerad som en sammansmältning av alla biltyper som förekommer på våra vägar med deras relativa förekomst som viktningsparameter.

Att ta fram en sådan bil fann vi vara orealistiskt. Vi valde att i stället använda en **Volvo 240**. Bilen är mycket vanlig i de nordiska länderna där också älgkollisioner är vanliga. Det betyder att det finns ett stort antal dokumenterade älg-Volvokollisioner, d v s ett brett referensmaterial för vårt prov.

#### 3.5.2 Älgen

Den älg som användes vid försöket var en **ca fyra år gammal älg**tjur. Djuret, som uppenbarligen varit allvarligt sjukt, var kraftigt avmagrat och vägde **264 kg** (se avsnitt 4.4). Normalt väger en tjur i den åldern omkring 350 kg. Avmagringen gjorde att djurets buk var betydligt mindre fylld än normalt samt att muskelmassan var något mindre än vanligt. Vår älg hade samma massa som en typisk fjolårskalv på hösten men skelett som ett vuxet djur d v s något kraftigare och större. Som exempel kan nämnas att försöksälgens boghöjd var **1 m** medan en typisk fjolårstjur har boghöjden 0.9 m.

Djurets tyngdpunkt var belägen **1.35 m** över marken mitt för sjunde revbenet (se fig 3.3. Hur vi bestämde tyngdpunktens läge finns beskrivet i avsnitt 4.4). Älgen var vid provet fri från likstelhet.



*Figur 3.3 Mått för provälgen. Angivna mått är höjd till svanken, tyngdpunkten och bogens underkant samt längden från svans till skallens bakkant. Samtliga angivelser i mm. Tyngdpunktens läge i längsled är i nivå med sjunde revbensparet.*

### 3.6 Mätningar.

Kollisionsprovet förväntades beskriva två saker; älgens respektive bilens svar på de under kollisionen verkande krafterna. För att nå det resultatet krävdes dock relevanta mätningar på båda objekten.

#### 3.6.1 Bilen

Volvos avdelning "Krocksäkerhetsprovning" har stor erfarenhet av att mäta krockpåkänningar i bilar. Vid sådana mätningar måste man alltid göra en av-

vågning mellan att få ut många mätdata och att göra få ingrepp i strukturen. Dessutom hade vi ett begränsat antal mätkanaler till vårt förfogande. Efter konsultation av avdelningens kompetens fastnade vi för följande bestyckning (för detaljer se avsnitt 3.11, sid 20 och figur 3.11, sid 22):

- Kraftgivare strax bakom varje b-stolpe, i taksvällaren. Med dem hoppades vi kunna mäta den kraft som gick in i taket utan att alltför mycket störa konstruktionen. Vi antog att inga deformationer skulle uppträda i området.

- Accelerometrar vid b-stolparnas infästning i taket och i trösklarna, för att mäta accelerationen i x-led samt skillnaden mellan tak och golv.

- Accelerometer i golvet, riktad i z-led, för att mäta accelerationen i den riktningen (för att i förlängningen kunna ta fram bilens rotation).

- Standardmålning på sidorna samt rutmönster i ytter- och innertak och på motorhuven för att kunna göra mätningar på höghastighetsfilmerna.

Direkta mätningar av kraftingången i a-stolparna och vindrutebalken slopade vi eftersom vi ansåg att kraftgivare i de områdena alltför kraftigt skulle störa strukturen, plus att vi där räknade med stora deformationer och vridningar som ändå skulle begränsa värdet av kraftgivaremätningar. Töjningsgivare utelämnades eftersom de bara kan mäta elastiska deformationer och det därför skulle bli svårt att placera dem - i det fallet förlitade vi oss på höghastighetsfilmning.

### 3.6.2 Älgen

Vad gällde mätningar på älgen fanns ingen motsvarande kompetens att konsultera. Vi sökte älgkroppens impedans när den blev påkörd av en bil i landsvägsfart. M a o ville vi kunna uttrycka älgen i termer av fjädrande och dämpande egenskaper. För en vattensäck, som vilket vi ju tidigare antagit att älgen kan approximeras, gäller att trycket är lika i alla punkter vid alla tider



(då  $l \ll$  ljudhastigheten i vatten, där  $l$  är en karakteristisk längd för säcken och  $t$  en karakteristisk tid för det förlopp vi studerar. Detta är uppfyllt vid vårt försök.)

Att mäta trycket som funktion av tiden på några punkter i älgen kunde därför ge oss en uppfattning om dels hur bra vattensäcksapproximationen var, dels vilka krafter som gått in på olika punkter i älgen. Det senare kräver att vi känner kontaktytorna mellan bil och älg som funktion av tid och läge, men även att vattensäcksapproximationen är hyggligt giltig. Eftersom vi antog kontaktytorna vara mycket svårbestämda samt att älgen i de punkter vi placerar givarna kan avvika kraftigt från en vattensäck även om förenklingen gäller över stora volymer gav vi upp planerna på trycksensorer.

Vi valde att i stället placera accelerometrar parvis på älgens krocksida och på dess "skuggsida". På så vis antog vi få fram kroppens totala acceleration samt dess kompression, det senare genom att registrera tidsskillnaden mellan att träff- och skuggsidan börjar röra sig, alternativt skillnaden i tillryggalagd vägsträcka för de båda sidorna som funktion av tiden.

För att kunna jämföra olika delar av älgen ville vi ha givarparen på olika höjd. Vi antog, med ledning av tidigare studier kring vindrutors styrka kontra de krafter som verkar under en älgkollision [3], [4], att vindrutan inte skulle vara stark nog att utsätta älgen för något betydande våld. Vi räknade med att stora krafter skulle uppträda först då älgen träffade bilens vindrutebalk.

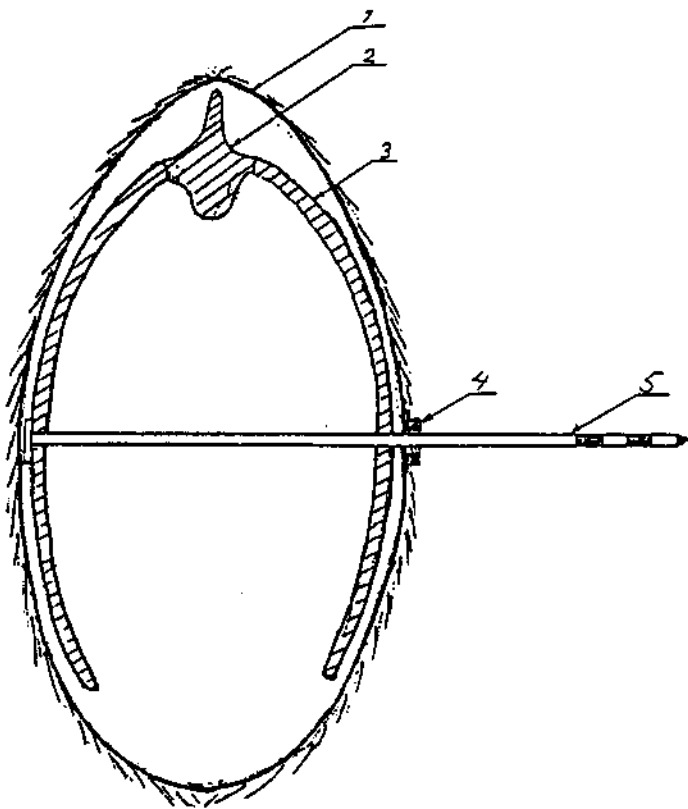
Eftersom vi ville studera just älgkroppens svar på denna kraftiga sammanstötning samt inte trodde älgen skulle rotera nämvärt [5] lade vi en givarnivå i höjd med vindrutebalken. Som jämförelse valde vi en lägre nivå, där älgkroppen inte skulle slå i någon stark struktur. På grund av begränsad tillgång på accelerometrar och mätkanaler använde vi bara tre accelerometerpar, två på den övre och ett på den nedre nivån. Den slutliga utplaceringen (se fig 3..5) bestämde vi i samråd med professor Bertil Aldman, CTH.

Samtliga givare fästes mot revben. Trots att vi ansåg en mätning någonstans i mjukdelarna vara intressant utelämnade vi den, då vi inte räknade med att där kunna fästa givarna på ett tillfredsställande vis.

I övrigt avsåg vi använda oss av höghastighetsfilmning. Vi märkte t ex ut

punkter på ryggraden för att kunna följa dess krökning på filmen.

För att skydda träffsidans accelerometrar fäste vi dem på spett som stacks igenom älgen och sattes fast strax innanför huden på träffsidan (se fig 3.4). Spetten färgmarkerades också för att kunna följas på film och därigenom visa i vilken riktning accelerometramna mätte i varje ögonblick.



1: Älgens hud.

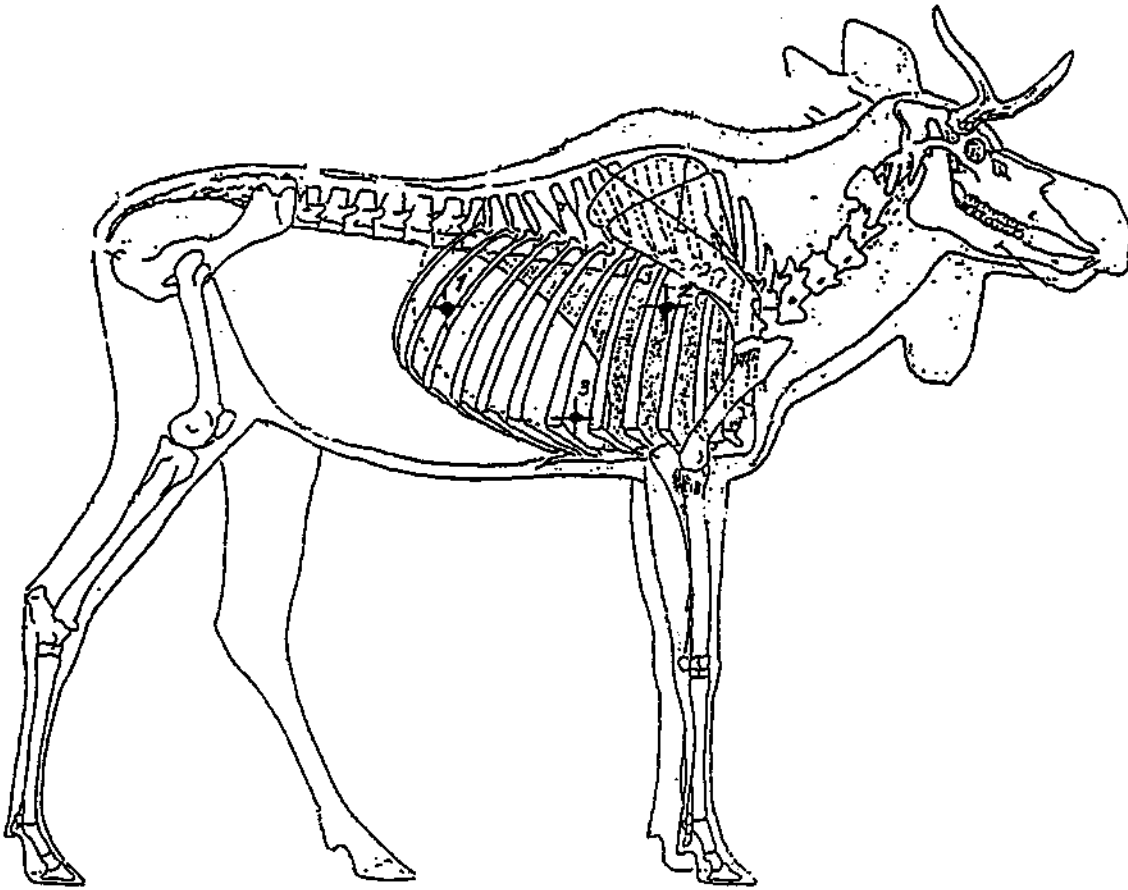
2: Ryggkota med taggskott.

3: Revben.

4: Referensplatta med accelerometer.

5: Spett med färgmarkering och accelerometer.

Figur 3.4 Accelerometrarnas montering på älgen.



Figur 3.5 Spettens (=accelerometrarnas) placering på älgen. Här ses dock älgen från "skuggsidan" vilket betyder att nr 1 i figuren i den fortsatta texten betecknas "övre högra", nr 2 "övre vänstra" och nr 3 "nedre".

### 3.7 Standardiserade tester.

Utöver ett rent krockprov diskuterade vi länge att utsätta älgen för väldefinierade tester, likt dem man använder på människor, för att bredda det allmänna vetandet om älgars impedans mot yttre våld. Vi kom dock inte fram till något lämpligt test som var genomförbart med de resurser vi hade; en älg, kort tid, en bana som inte var byggd för ändamålet etc, särskilt inte som bilkrocken i vilket fall prioriterats och vi alltså fått göra testerna på en älg som varit med om en påkörning. Vi koncentrerade oss på själva krocken.

### 3.8 Utomhus eller inomhus?

För att isolera de deformationer som orsakats av att vår provvagn krockat med en älg måste den bromsas upp på ett mjukt sätt efter krocken. Enklaste sättet att åstadkomma det är att använda en krockbana som är så lång att bilens egna bromsar räcker för att stanna den helt. På VTI finns en utomhusbana som erbjuder den möjligheten. Utomhus förenklas också problemen att hänga upp älgen, att placera höghastighetskameror på ett sådant avstånd att hela det förhållandevis långa krockförloppet täcks in utan att man behöver använda vidvinklig optik som ger svårbemästrade mätfel (vinkelavvikelser) och att sanera efter krocken.

Inomhus når man andra fördelar, t ex garanterat "solsken" och enklare mätinsamling (provet sker närmare mätdatorn).

De viktigaste fördelarna kan spaltas upp enl nedan:

#### **Inomhus**

- \*God belysning
- \*Väderokänslighet
- \*Enkel datainsamling

#### **Utomhus**

- \*Lång bromssträcka
- \*Lång accelerationssträcka
- \*Enkel kameraplacering

### 3.9 Krockbanan.

Inomhusalternativet bedömdes slutligen vara det bästa. Det betydde att VTI:s 60 m långa inomhusbana skulle räcka till följande:

- Acceleration av bilen till landsvägsfart (minst 70 km/h).
- Krockförloppet (av tidigare prov uppskattat till c:a 5 m).
- Nedbromsning av bilen till stillastående. För att slippa irrelevanta deformationer kunde vi inte tillåta att bilen gick in i barriär med någon som helst hastighet efter krocken.

VTI:s personal bedömde det som möjligt att nå 80 km/h med 25 m accelerationssträcka. För att kontrollera detta och andra egenskaper hos försöksuppställningen genomförde vi ett **förprov**. Vid det provet kördes en Volvo 142 av 1970 års modell mot VTI:s attrapp, bantad till 260 kg.

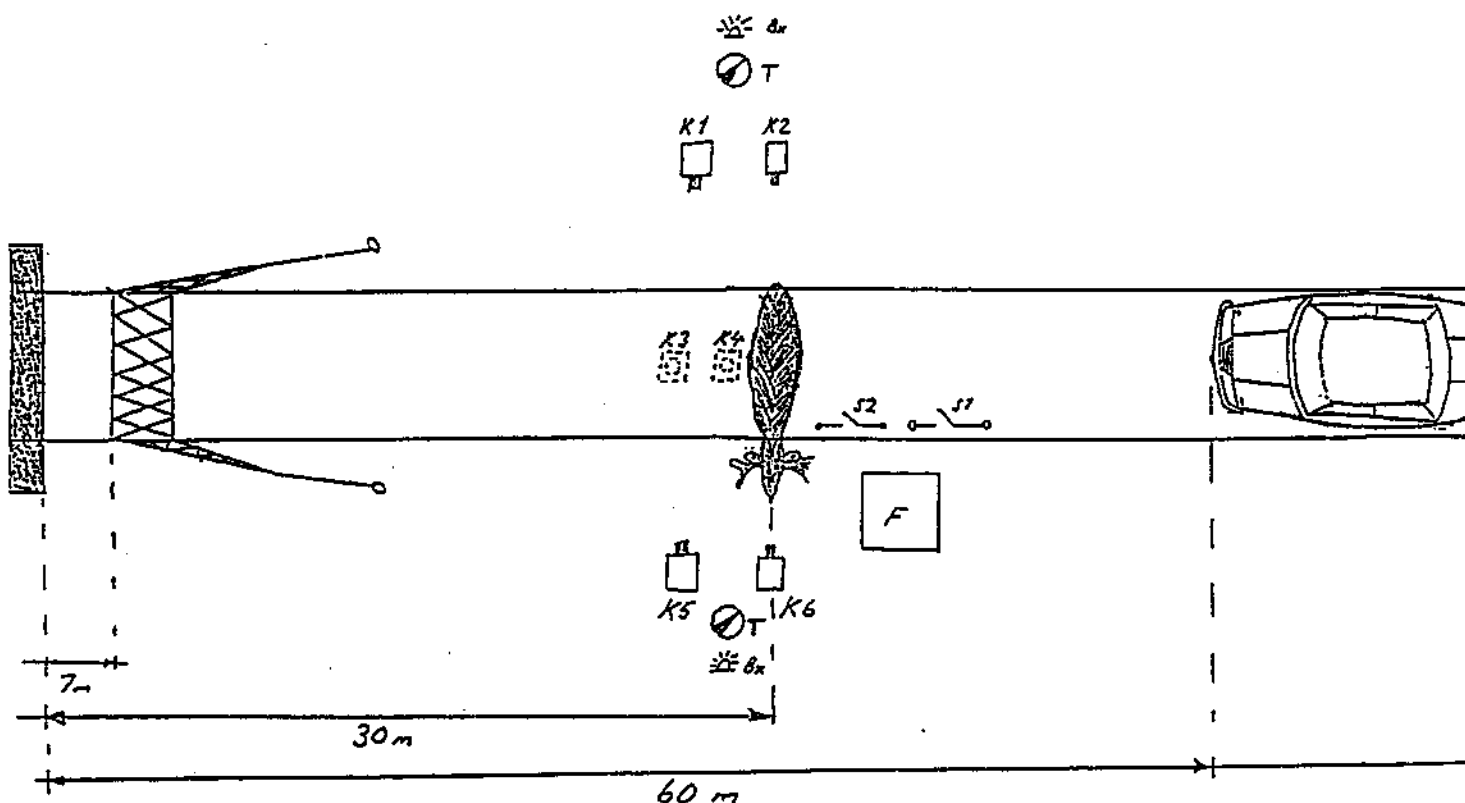
Förprovet visade att den antagna accelerationssträckan var tillräcklig. För att återstoden skulle räcka till krockförlopp och nedbromsning till stillastående med hjälp av enbart bilens bromsar belade vi drygt 20 m av banan med s k **halkskyddsmatta**. Enl tillverkaren är friktionstalet mellan sådan matta och gummi drygt 1. Vi räknade med att nå åtminstone samma friktionstal som mot torr asfalt (c:a 0.7), vilket skulle, med en bilhastighet av 65 km/h efter krocken, räcka att bromsa ned bilen till nästan stillastående.

För att ta upp eventuell kvarvarande rörelseenergi spände vi upp ett nät av **nylon** tvärs banan. Nätet förankrades via fyra st 12 mm stålvaivrar i lika många 2.5 ton tunga betongblock. Nätet angavs ha kapacitet att på egen hand ta upp rörelseenergi motsvarande en bil i 50 km/h, varför vi även antog det kunna fungera som nöduppbromsare om bilens självbromsning av någon anledning skulle bortfalla.

Vi placerade därmed älgen 30 m från barriär.

Den exakta positionen bestämdes bl a av möjligheten att placera en av sidokamerorna i en dörröppning. Krockbanan är inte avpassad för kollisioner så långt från barriären som 30 m - där är utrymmet på ena sidan så litet att det är svårt att täcka ett 5 m krockförlopp utan antingen ett stort antal kameror eller extremt vidvinklig optik. Det förra hade vi inte, det senare ville vi inte då vidvinklig optik ger en bild där längdskalan varierar mellan olika områden i bilden och utvärderingen därmed försvåras. Tack vare dörröppningen behövde bara en av kamerorna på den trånga sidan förses med extremt vidvinkelobjektiv (5 mm brännvidd).

Toppvykamerorna beredde oss motsvarande svårigheter. Den högsta tillgängliga nivå där kamerorna kunde placeras rakt ovanför bilen var traversbalkens. Genom att delvis låta de båda tillgängliga kamerorna täcka var sin del av krockförloppet och alltså ta risken för bortfall av någon del om en av kamerorna strejkade klarade vi oss här utan extremt vidvinklig optik.

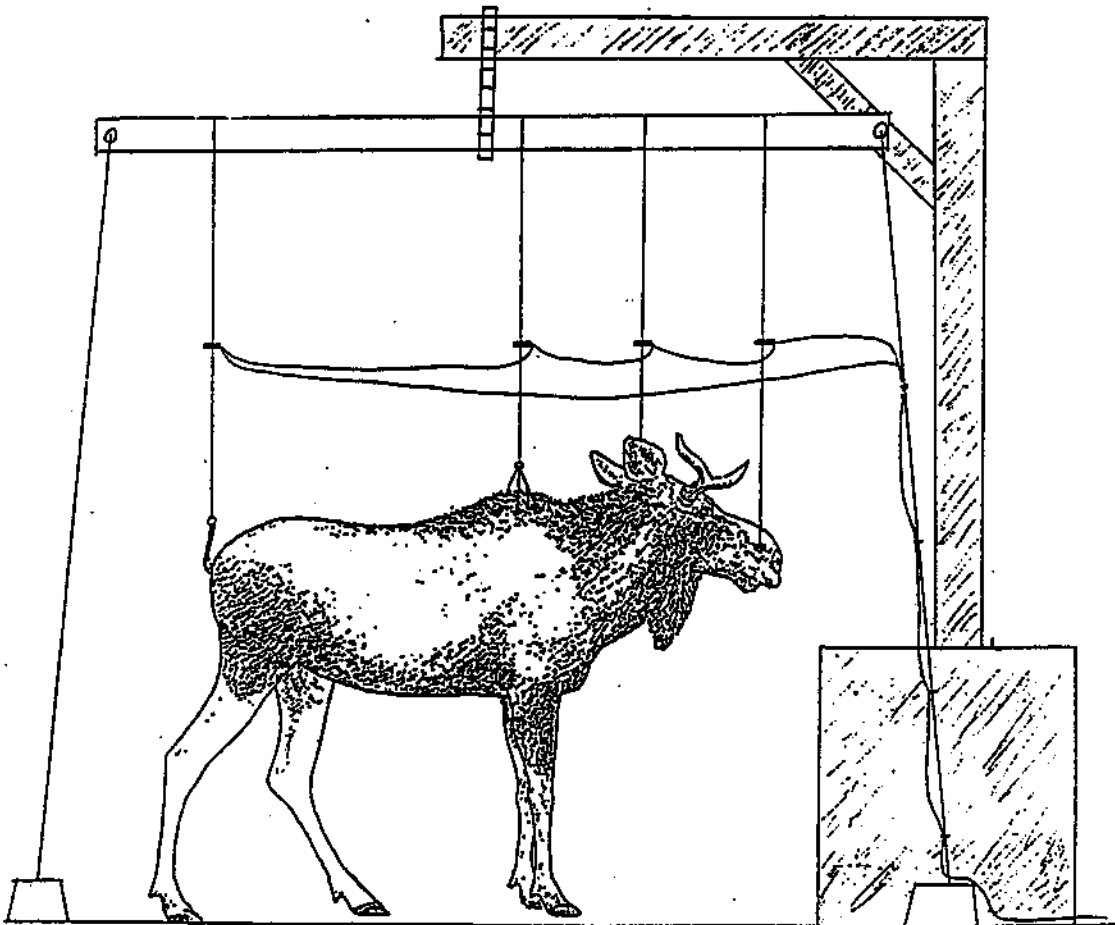


Figur 3.6 Krockbanan. Förutom bil, älg och bromsnät med respektive avstånd till barriären är kamerornas (principiella) placeringar markerade. Kamerorna har följande brännvidder: K1 - 5 mm, K2, K4 - 9 mm, K3, K5, K6 - 13 mm. "T" i figuren är klockorna för höghastighetsfilmningen, "Bx" symboliserar triggblixtarna (utlöses då  $t=0$ ), "S1" och "S2" är två brytare som slutes av bilens ena framhjul. Tidsskilnaden mellan slutningarna ger bilens hastighet. S2 fungerade också som trigg för blixtarna och för sprängningen av de vajrar som höll älgen uppe. F är fundamentet till den galge som älgen hängde i (se vidare fig. 3.7).

### 3.10 Älgens upphängning.

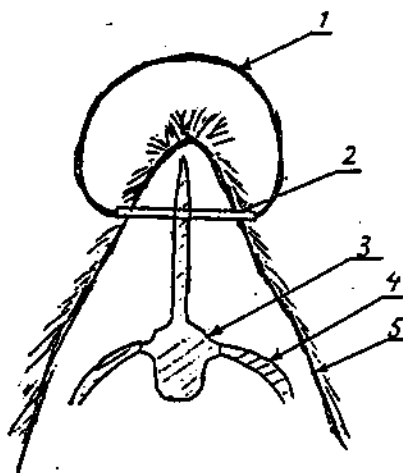
Vi beslutade att hänga upp älgen genom att fästa 4 st vajrar i älgens ryggrad (se fig 3.7 o 3.8). Det skulle enligt veterinär Röken ge älgen en naturlig hållning, utan att fördenskull ändra älgens skelett (t ex knäckanvisa ryggraden) på något avgörande vis. Vajrarna lät vi hänga vertikalt från en kraftig balk som vi i sin tur hängde enl figur 3.7.

Problemet att få vajrarna att släppa i rätt ögonblick löste vi genom att fästa elektriskt utlösbara spränganordningar på varje vajer. (Se avsnitt 3.12). Först planerade vi en mekanisk utlösning, men den elektriska gav såväl en förenklad konstruktion som större bedömd pålitlighet.



*Figur 3. 7 Älgens upphängning. 5 st stålrör borrades genom älgen: i mulen, i bakhuvudet och genom tre intill varandra liggande taggutsnitt från ryggkotor vid manken (se fig 3.8). Genom vardera röret trädde en vajer, diam. 4 mm, som sedan gjordes till en ögla. Genom varje ögla löpte sedan andra vajrar till en tvärbalk. (Samma vajer löpte genom samtliga tre öglor vid manken.) Dessutom fästes en krok under älgens svanskota. Varje lodrät vajer var länkad via ett spännbart band, så att älgens ställning kunde finjusteras i efterhand. När allting var på plats lyftes tvärbalken upp av en travers och hängdes i en galge bestående av kraftiga balkar fästade i ett tre ton tungt betongfundament. Tvärbalkens horisontalläge fixerades med hjälp av vajrar fästade i ett betongblock på vardera baksidan. I krockögonblicket klipptes de lodräta vajrarna av genom att en sprängladdning på varje vajer sköt fram en kniv (se detalj, fig 3.12).*

- 1 4 mm, plastad vajer.
- 2 Stålrör inborrat i taggutsnitt.
- 3 Ryggkota med taggutsnitt.
- 4 Revben.
- 5 Hud.



Figur 3. 8 Vajerinfästning i älgen, detalj.

### 3.11 Mätutrustning.

Utgående från de överväganden kring och beslut om mätningar som redovisats i avsnitt 3.6 utrustades bilen resp älgen enl nedanstående:

På bilen monterades *en-axiella accelerometrar* (spec: se appendix) på följande ställen:

- Vänster tröskel (max känslighet 25 g, utstyrd för  $\pm 25$  g).
- Höger tröskel (max känslighet 200 g, utstyrd för  $\pm 50$  g).
- Vänster b-stolpe (dubblett, 200 g:s utstyrd för  $\pm 200$  g resp 100 g:s utstyrd för  $\pm 50$  g).
- Höger b-stolpe (som vänster b-stolpe).

Samtliga mätte i bilens rörelseriktning.

En accelerometer (200 g:s, utstyrd för  $\pm 50$  g) satt också monterad på kupégolvet, i z-riktningen (vertikalt).

På bilen monterades också *kraftgivare* (spec: se appendix) strax bakom b-stolparna, båda med max mätområde=utstyrning=  $\pm 20$  kN.



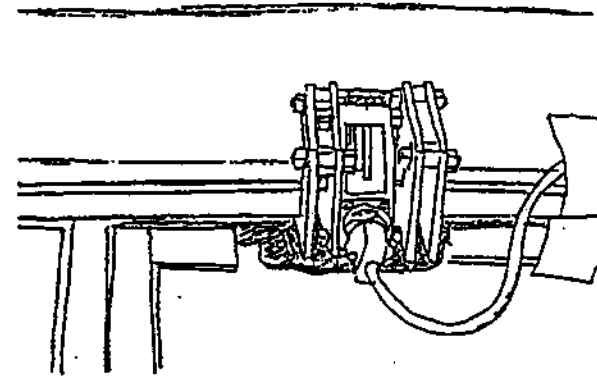
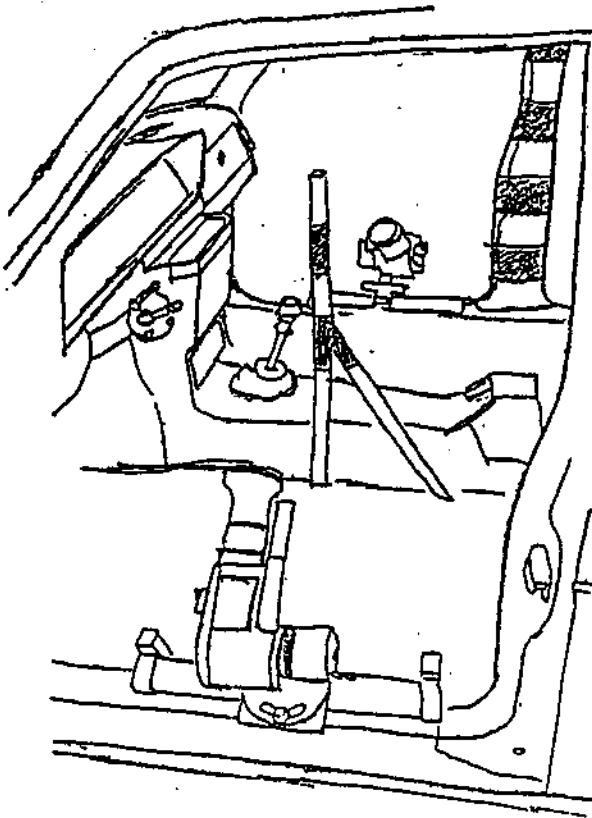
**Medåkande kameror** monterades på vardera tröskeln (se fig 3.10), med siktfält om motstående sidas takhaiva, från vindrutebalk till b-stolpeplan. Kamerorna placerades långt fram för att vi skulle få vindrutebalken mitt i siktfältet, parallellt med filmens sidor. En medåkande kamera monterades också bakpå bilen, i bilens mittlinje, med hela vindrutebalken samt en golvmonterad referens i siktfältet (se fig 3.11). Bakrutan demonterades för att undvika ljusreflexer.

På golvet inuti bilen låg s k **Sylvania-blixtar**. Sådana brinner i en dryg sekund utan försörjning efter att de antänts. För att dels få bättre reflektion av ljuset, dels förhindra att golvmattan antändes av strålningsvärme, klädde vi kupégolvet med aluminiumfolie. Blixtarna utlöstes manuellt via vanlig elkabel med ström från bilens eget batteri. För att undvika skymmande glassplitter från sidorutorna tejpadess dessa.

Bilen **målades** utvändigt enl gängse standard, d v s orange med halvmeter-angivelser längs bilen, i höjd med sidlisten. Därutöver målades rutnät med rutstorleken en kvadratdecimeter på motorhuven och på takets in- och utsida (innertaket togs bort). Vartannat hörn i rutmönstret markerades med s k Patrick-märken. Sådana märken fäste vi också längs a- och b-stolparna och längs trösklarna, allt för att förenkla filmutvärderingen.

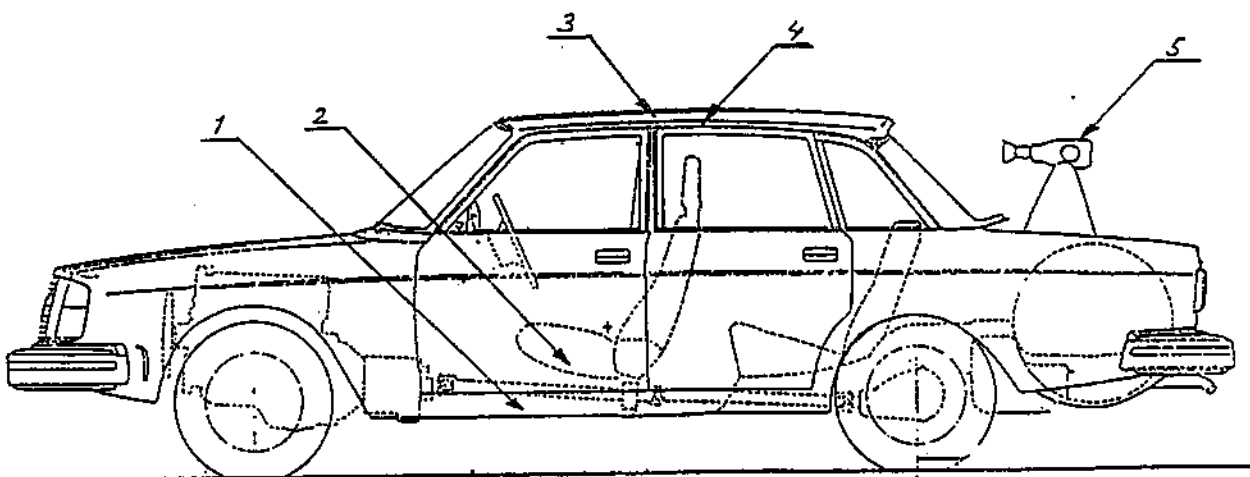
Bilens hydrauliska **bromssystem** försågs med tryckluftsautomatik. Luften påverkar hydrauliken på samma sätt som en pedaledtryckning. Systemet utlöses när en strömkrets bryts. Det ordnade vi så, att en vajer fästes med sin ena ände i krockbanans golv och den andra i en medåkande bygel. När vajersträcktes rycktes bygel ut och kretsen bröts.

På älgen monterades 3 st **en-axiella accelerometrar** på träffsidan och tre på motsvarande punkter på frånsidan. Samtliga hade max känslighet  $\pm 200$  g och var utstyrda för fullt mätområde.



Figur 3.9 Kraftgivarnas montering, detalj. Taksvällaren och dörrens fönsterkarm har skurits upp och givaren passats in.

Figur 3.10 Dörrkamerornas montering, detalj. I golvet mellan kamerorna monterades en referens att relatera tak- och övriga deformationer till.



Figur 3.11 Bilens bestyckning. 1/ Accelerometer i tröskel. 2/ Kamera i dörr. 3/ Accelerometer vid b-stolpe. 4/ Kraftgivare i taksvällare. 5/ Bakre kamera. 5/ sitter i bilens mittlinje i längsled, övrig utrustning finns även på motsvarande ställen på bilens andra sida.

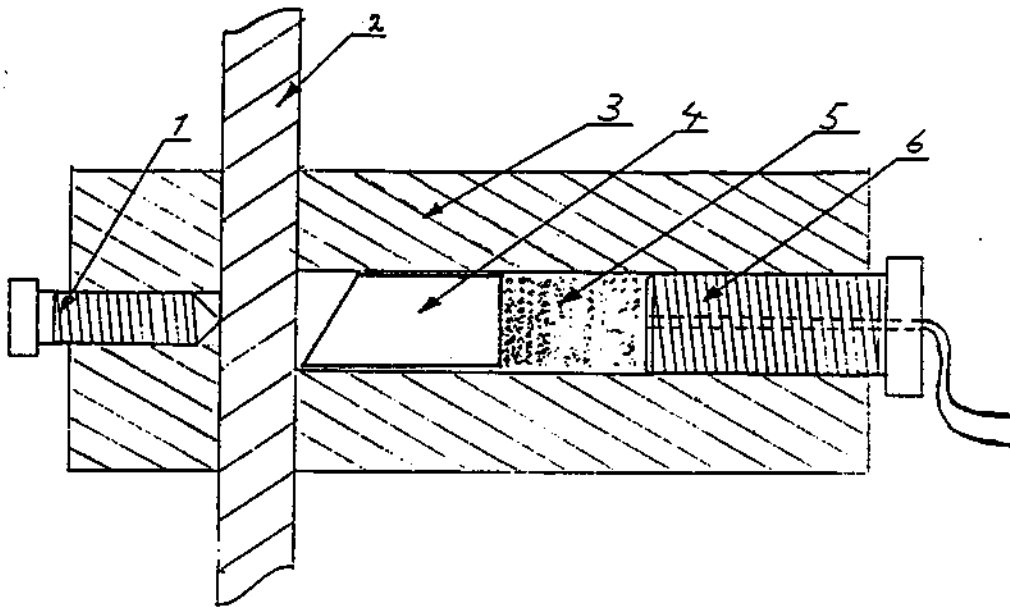
### 3.12 Sprängutlösningen.

Ett av de största problemen vad gällde utrustningen för provet var att få älgens upphängningsanordning att släppa i rätt ögonblick. Vare sig den släppte under de cirka två sekunder bilen behöver för att ta sig från utgångsläget till krockplatsen eller inte släppte alls skulle hela provet vara ödelagt. Vi tänkte från början använda oss av någon mekanisk utlösning, t ex låta de vertikala vajrarna i fig 3.6 (s 19) löpa runt stavar på baksidan av tvärbalken, så att de helt enkelt drogs/gled av när bilen körde på älgen. Att få ett sådant system att balansera fann vi dock vara ett alltför vanskligt företag.

En lösning som inte medförde balanseringsproblem, t ex någon form av låsbygel som öppnade sig i rätt ögonblick, medförde komplicerade konstruktionsproblem.

I stället kontaktade vi **Norabel AB** i Nora, specialister på udda sprängningsproblem. De utvecklade en lösning där vajern löper genom en cylinder, i radiell led. I cylindern ligger en kolv med en vass udd, och bakom kolven en sprängladdning (se fig 3.12). Laddningen utlöses av en svag strömpuls från en yttre källa. Flera laddningar seriekopplas. Genom att skicka en mycket liten ström genom kretsen omedelbart före sprängning kan man förvissa sig om att den är obruten. Systemet visade sig vara mycket pålitligt, det fungerade på önskat vis vid samtliga provsprängningar, vid förförsöket och vid det riktiga försöket. **Fördröjningen** mellan triggpuls och utlösning är **1-2 ms**.

Under utvecklingen av metoden konstaterade Norabel att metoden är mycket användbar för vajrar **upp till 4 mm effektiv diameter**. Däröver krävs en kraftig förstärkning av laddningen, vilket ger dimensioneringsproblem för cylindern. Vi använde vid försöket plastade vajrar med 4 mm diameter (effektiv diameter 2.5 mm).



Figur 3.12 Sprängutlösningens anordning. Vajern som ska skjutas av löper på tvären genom cylindern. En kolv med egg i ena änden ligger mot vajern. Bakom kolvens andra ände finns en krutladdning, som detonerar när den nås av en strömpuls. 1/ Ställskruv för att fixera vajern på cylindern. 2/Vajer. 3/Cylinderhölje. 4/Kolv. 5/Krutladdning. 6/Skriv eller "tändhatt", el-ledningen är streckad i fig.

## 4 RESULTAT

### 4.1 Mätgivarna på bilen.

Figurerna 4.1 - 4.6 nedan visar de kurvor vi erhöll från kraft- och accelerometergivarna på bilen. Kraftgivarna är inmonterade i taksvällarna, som är c:a 1 dm breda och löper längs takets kanter i bilens längsled. Kurvorna visar att till att börja med är kraftpåkänningen störst på takets högra sida (som träffar älgens bakdel). 40 ms efter träff ( $t=120$  ms) har höger taksvällare avlastats medan kraften då ökar kraftigt på vänster sida. Kraftpåkänningen är alltså inte symmetrisk, utan vandrar längs vindrutebalken under förloppet.

Accelerometerkurvorna är likartade, bortsett från att vid  $t=120$  ms (vänster) resp.  $t=90$  ms (höger) minskar stolparnas acceleration medan kraftingången ligger kvar eller t o m ökar. Skälet till denna olikhet torde vara att den elastiska deformationen av b- c- och d-stolpar vid de tiderna når sitt maximum. Fortvarande kraft deformerar taket plastiskt samt bromsar bilen. De tröskelmonterade accelerometrarna visar inte samma abrupta avbrott av retardationen.

Integration av accelerometrarnas signaler ger identiskt resultat för båda b-stolparna och höger tröskel. Vänster tröskels integral avviker, men den givarens kurva visar tydligt att givaren har bottnat under förloppet varför vi måste bortse från det resultatet. Vi utgår från att den från de tre givarna framintegrerade hastighetsminskningen är liktydig med bilens verkliga.

Accelerometern i z-led hade registrerat en överlagrad frekvens (c:a 100 Hz) av stor amplitud (c:a 10 g) som dominerar över bilens verkliga z-leds acceleration - sannolikt vibrerade den golvplåt som givaren satt i - varför vi i stället bestämde bilens rotation och rotationshastighet m h a filmerna.

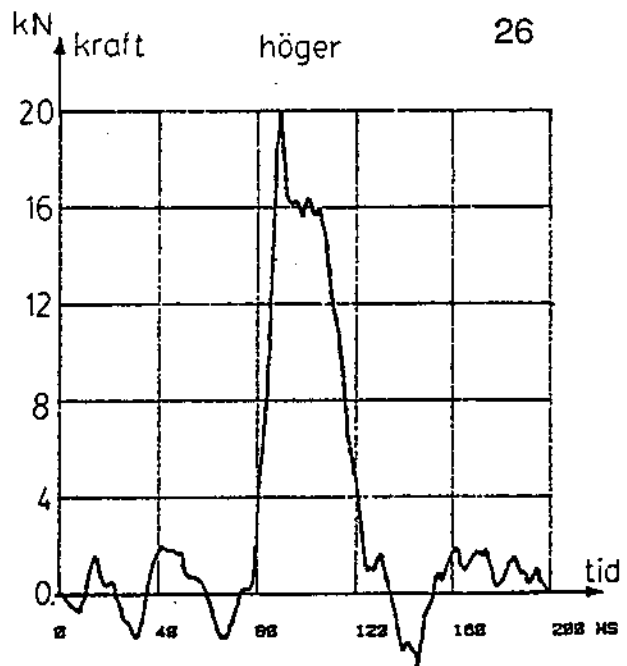
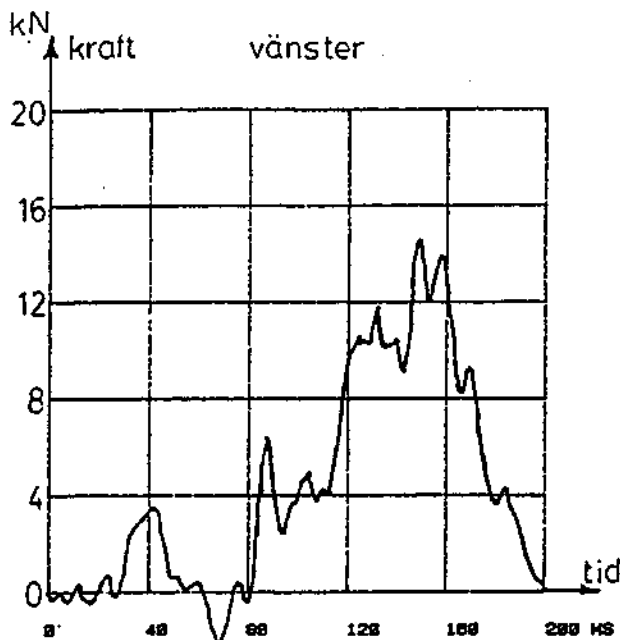


Fig 4.1 och 4.2 Kraftingången i taksvällarna. Givarna var placerade strax bakom b-stolparna, och inga (plastiska) deformationer uppträdde bakom eller nära framför dem. Här syns att kraftpåkänningen inilialt är störst för högra vindrutebalken. Där klingar den dock av relativt snabbt för att "flytta sig" till vänster sida. Älgen vrider balken så att den påminner om en spiral. Att inte kraftingången är identiskt noll för  $t < 80$  ms förklaras av att karossen är självbärande. Det gör att redan när älgen hamnar på bilens motorhuv och framskärmar går kraft in i taksvällarna. Skisser från höghastighetsfilmen (fig 4.13) visar att älgen vid  $t = 40$  ms knycklar till motorhuvens för att sedan dra den rätt igen innan träff i vindrutan. Se även fig 4.18, sid 37.

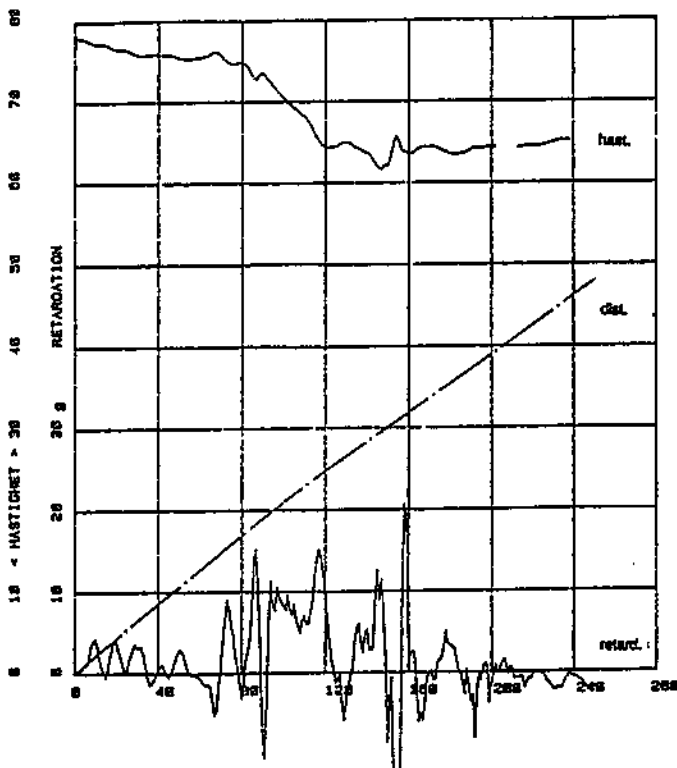


Fig 4.3 Acceleration hos vänster b-stolpe. Notera likheten med kraftingången för  $80 < t < 120$  ms. Att accelerationen sedan minskar medan kraften ökar tolkar vi som att den elastiska deformationen hos t ex b-, c- och d-stolpe nått sitt maximum, d v s b-stolpen flyttar sig inte längre relativt bilen. Det styrks av att när taksvällaren avlastas ( $t > 160$  ms) fjädrar b-stolpen tillbaka, dess hastighet t o m ökar under några ms.

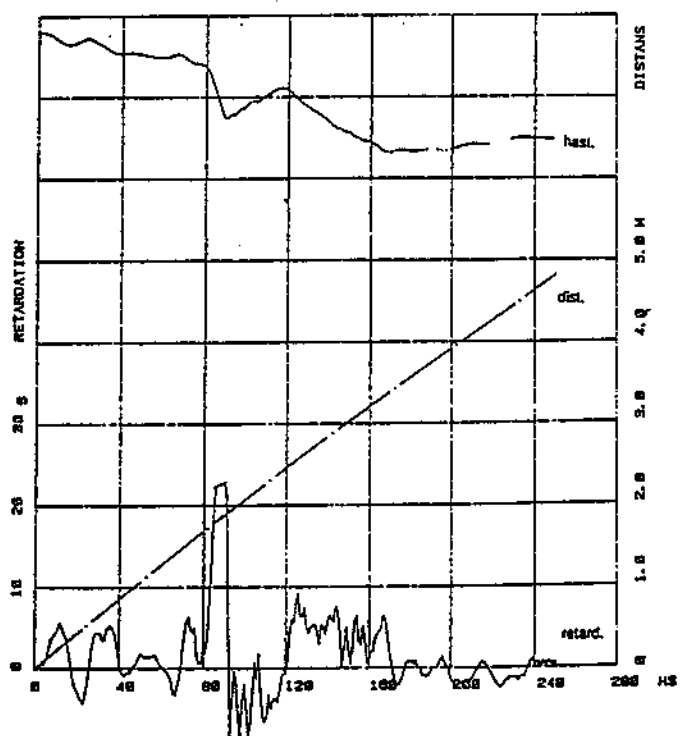
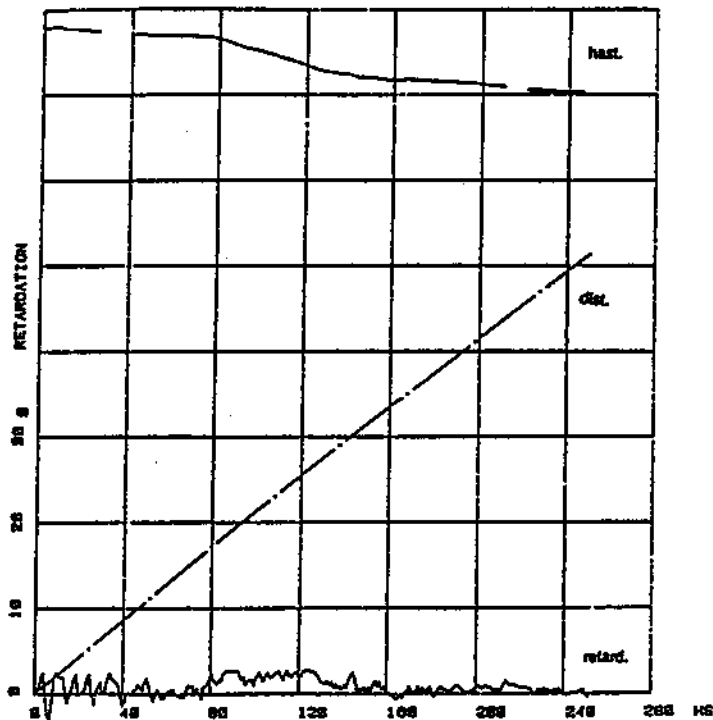
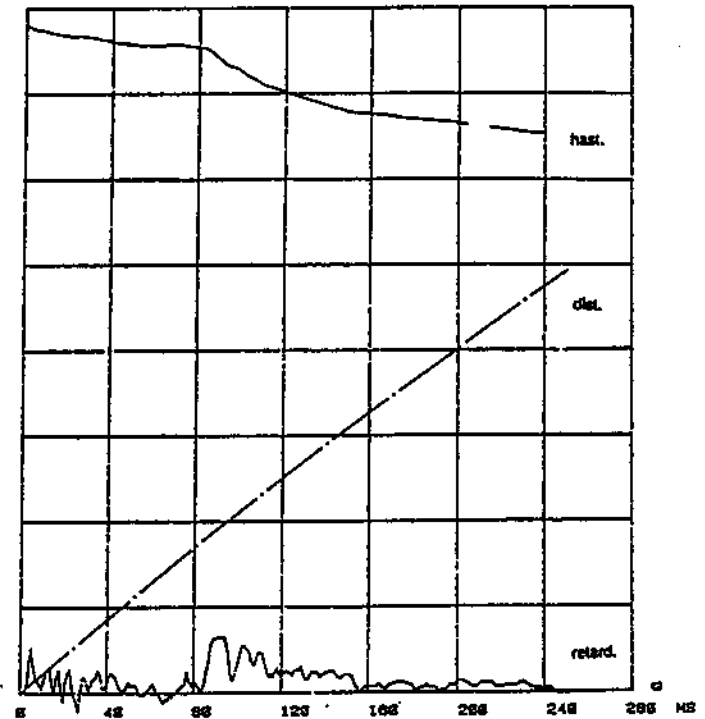


Fig 4.4 Acceleration hos höger b-stolpe. Här finns p s s som för vänster stolpe en klar likhet mellan kraft- och accelerationskurvorna för början av krockförloppet ( $t > 80$  ms). P g a den större kraftingången och kortare pulsen såväl bottnar som fjädrar b-stolpen tillbaka snabbare. Första integralen av stolparnas accelerationer, d v s hastigheterna, har identiska värden för  $t \geq 240$  ms, d v s då krockförloppet är över, vilket är mycket rimligt.



Figur 4.5 Acceleration hos vänster tröskel. Tyvärr har denna givare bottnat vid flera tillfällen och under relativt långa tidsperioder - förmodligen styrdes den inkommerade 25 g:s accelerometern ut som vore den en 200 g:s - varför den information som går att få ut av kurvorna är begränsad.

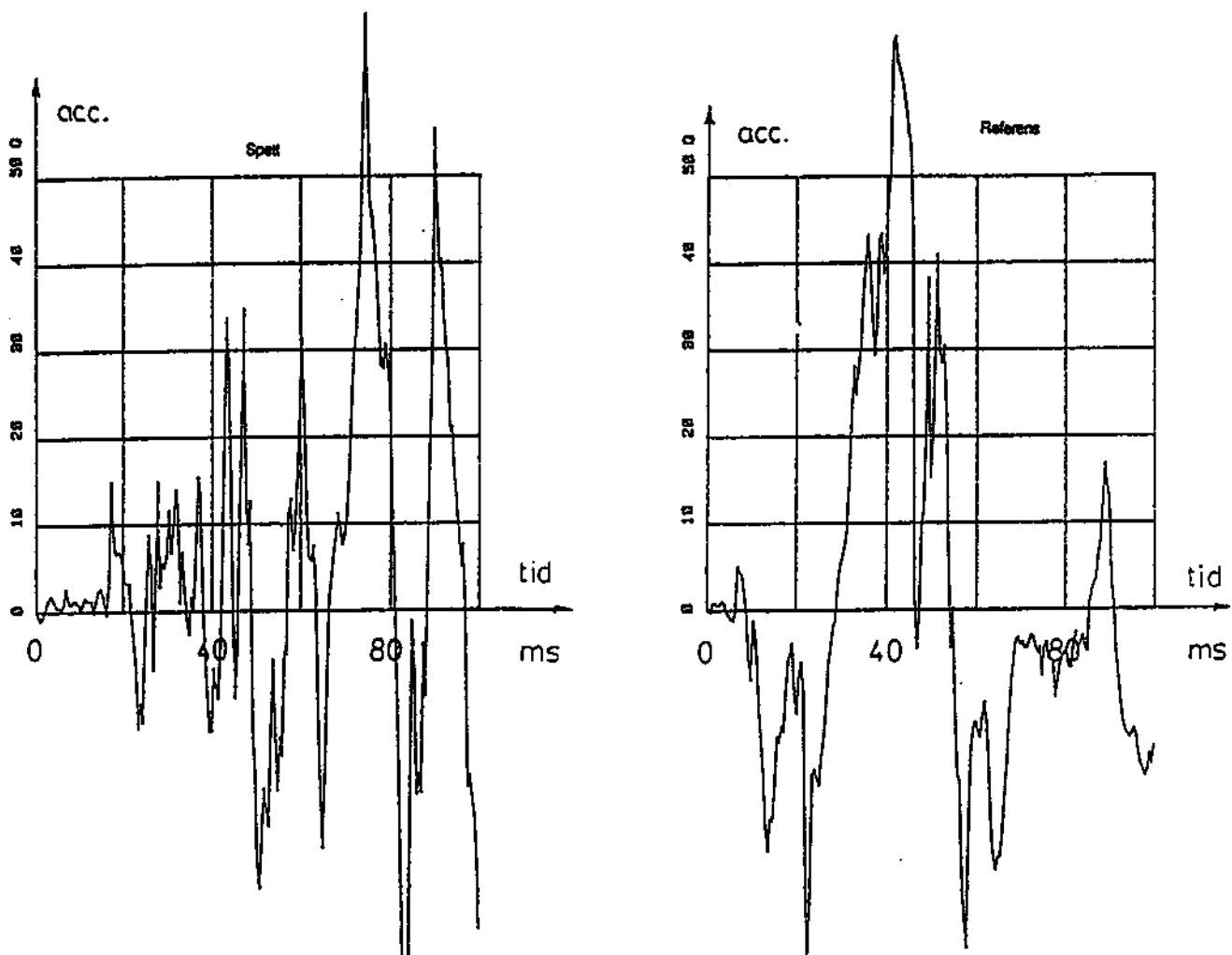


Figur 4.6 Acceleration hos höger tröskel. I likhet med b-stolpen har högertröskeln retarderats kraftigast strax efter  $t=80$  ms, men tröskeln har bromsats mjukare och retardationen avtar t o m  $t=160$  ms då den blir nära noll. Trots att man kan ana att givaren bottnat under några ms (en topp är normalt inte avhuggen som här vid  $t=90$  ms) överrensstämmer den framintegrerade sluthastigheten väl med de båda b-stolparnas sluthastighet.

## 4.2 Mätgivarna på älgen.

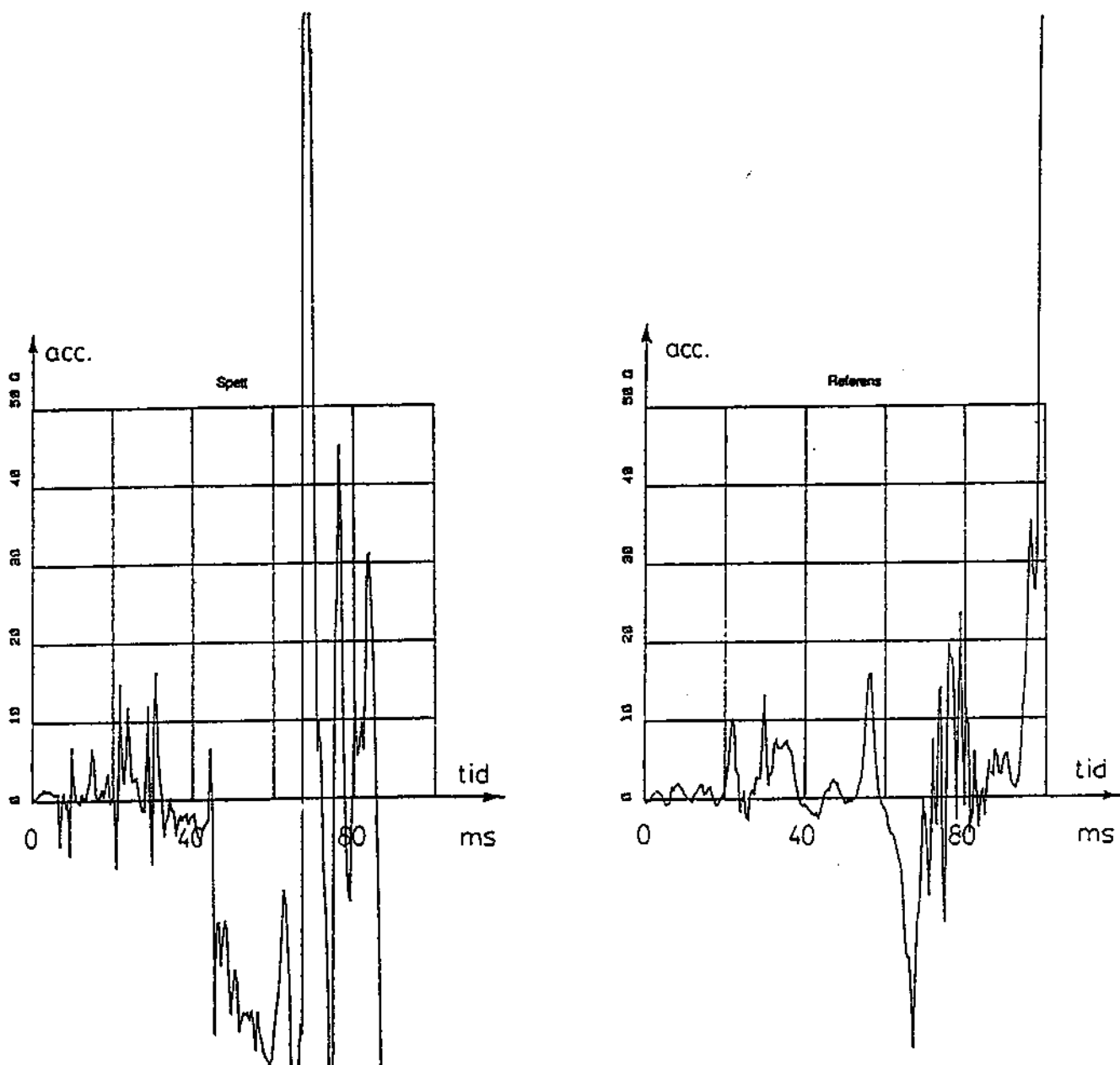
Figurerna 4.7 - 4.12 nedan visar signalerna från de accelerometrar som var placerade på älgen. Kurvorna är svårtydda. Det beror på att älgens ben grep tag under bilens stötfångare vilket medförde en vridning av huden som i sin tur innebar dels att fästpunkterna flyttade sig relativt kroppen, dels att accelerometrarna mätte i en annan riktning än den avsedda. Det senare felet hinner dock inte inverka nämvärt inom de tider figurerna nedan redovisar. De övre accelerometrarna var avsedda att träffas av vindrutebalken men p g a vridningen träffade de i stället vindrutan. Denna kollapsade tidigt och mätpunkterna "föll in" i bilen (se fig 4.7 - 10).

Värdet av kurvorna nedan är alltså begränsat vad gäller deras ledning till slutsatser om älgens impedans. Däremot överrensstämmer kurvornas utseende väl med vad som kan iaktas på höghastighetsfilmerna. *Placering av givarna - se figur 3.5, sid 15.*

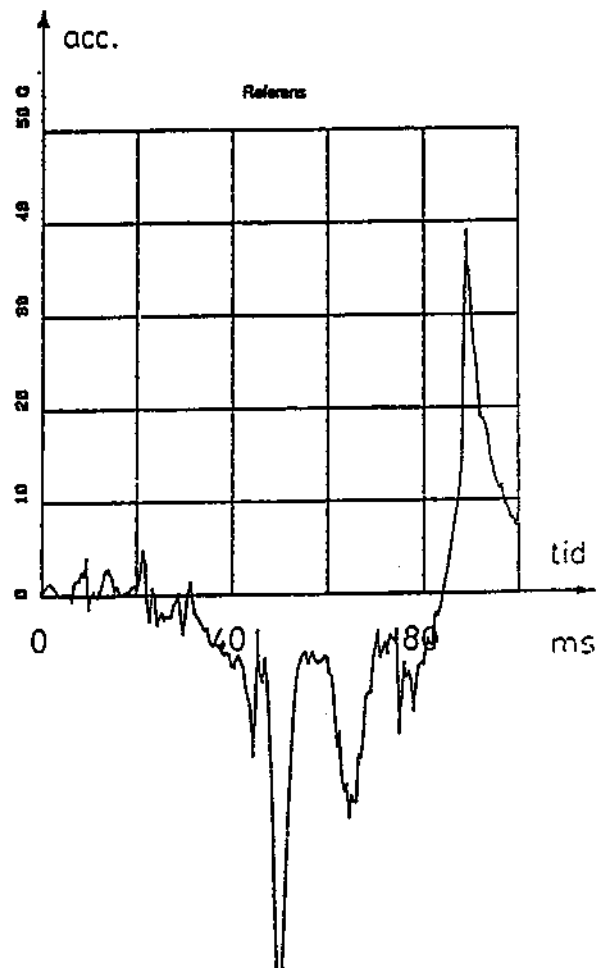
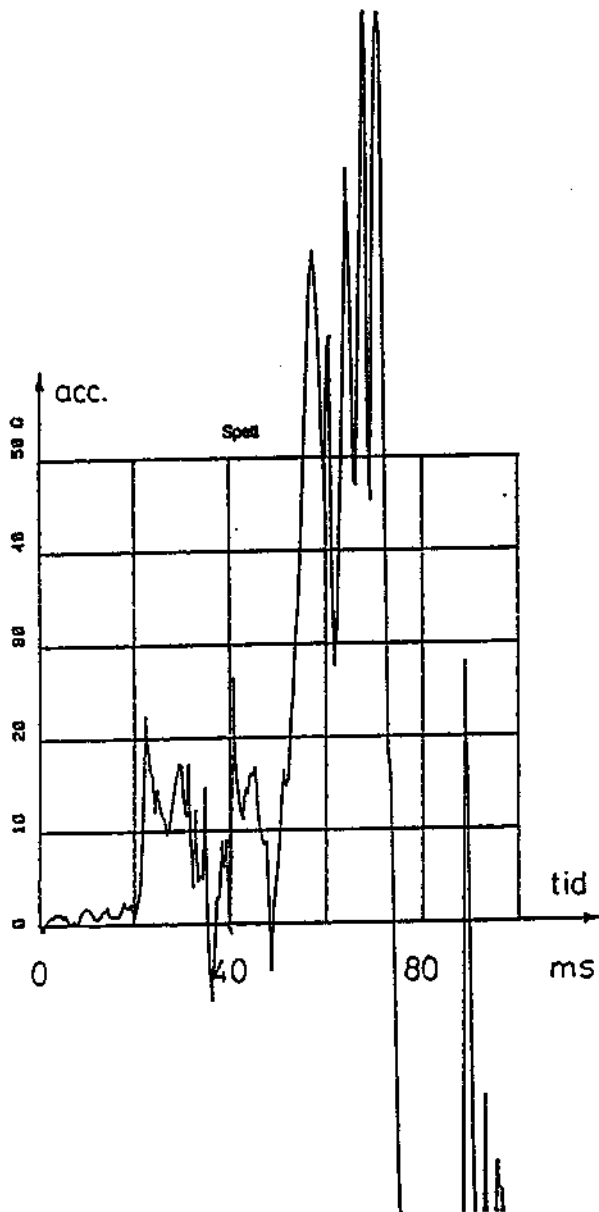


*Fig 4.7 och 4.8 Spelt- och referensacceleration för övre vänstra mätpunkten på älgen. Notera den tidiga accelerationen hos referensen, vilken beror på att frambenen fastnar under stötfångaren och drar med sig huden, så att referensen rör sig framåt tidigt. OBS! att referensens kurva är teckenvänd så att negativ acceleration sker i bilens rörelseriktning. Den kraftiga retardationen kommer av att referensen dras ner och träffar bilens motorhuv.*





Figur 4.9 och 4.10 Spett- och referensacceleration för övre högra mätpunkten på älgen. Tyvärr visar filmen att referensen helt har kommit ur läge och att dess signal därmed blir värdelös redan vid  $t=60$  ms. Samma sak händer med spettet c:a 30 ms senare. Filmen verifierar dock den bakåtrörelse som spettets kurva hävdar inträffade strax före spiken. Den kommer av att frambenen men inte bakbenen träffas av bilfronten vilket roterar älgen kring en vertikal axel så kraftigt att bakdelen (=högersidan) under en period rör sig i bilens negativa rörelseriktning. (Det är skrivaren som huggit av den vänstra kurvan nedtill - signalen i sig är kontinuerlig och givaren har inte bottnat.)



Figur 4.11 och 4.12 Spett- och referensacceleration för nedre mätpunkten på älgen. Även här gäller att referensens kurva är teckenvänd. Filmen visar att spettets signal är giltig t o m  $t=100$  ms, referensens t o m  $t=80$  ms. (Det är skrivaren som huggit av den vänstra kurvan nedtill - signalen i sig är kontinuerlig och givaren har inte bottnat.)

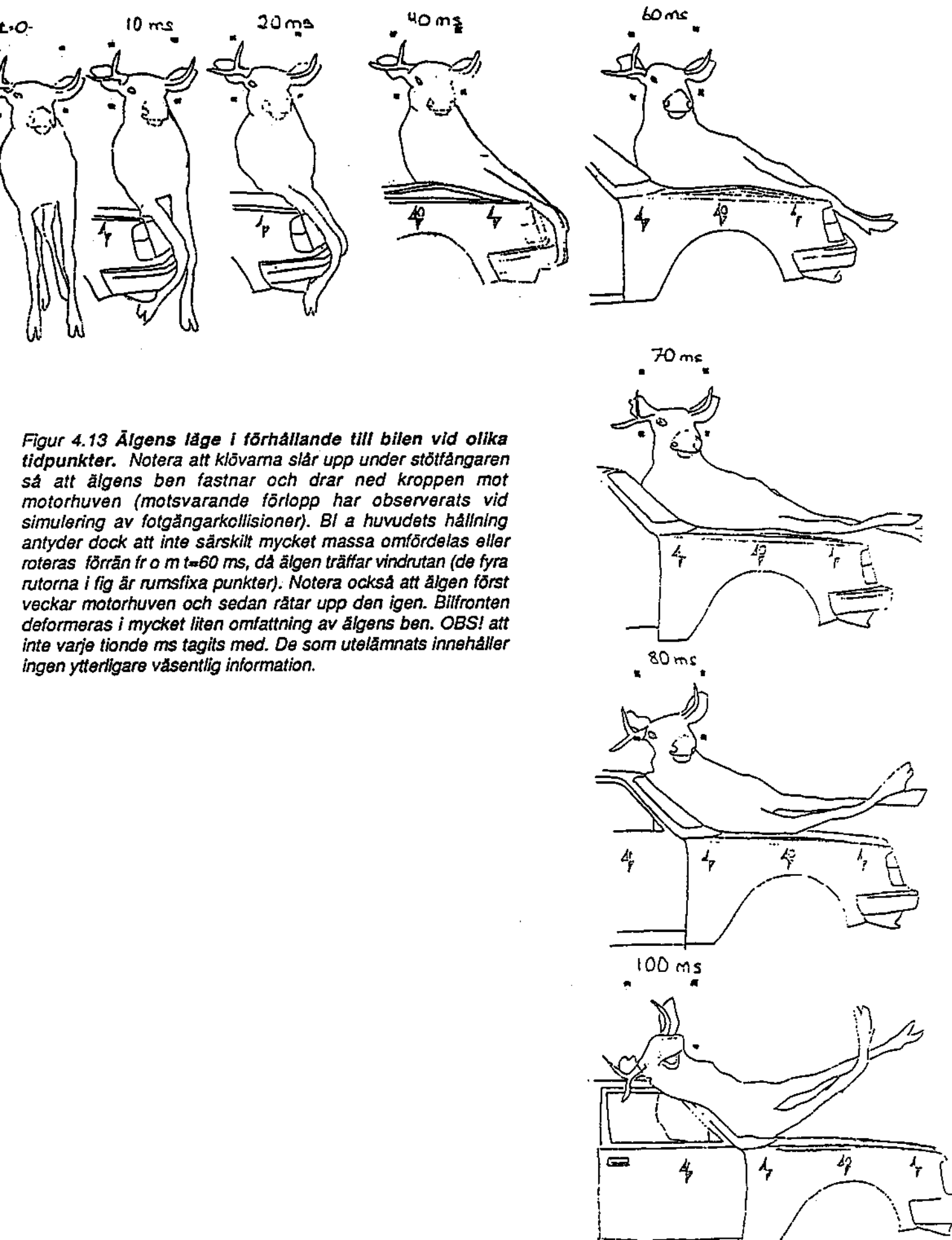
### 4.3 Höghastighetsfilmerna.

Vad gäller filmningen gav i stort sett samtliga kameror önskat resultat. Filmerna visar bl a att älgen som längst når in till strax framför b-stolparna och att benen kort efter sammanstötningen med bilfronten sätts i rörelse så att de efter 160 ms pekar i en riktning som skiljer sig med 180 grader från den ursprungliga. Skisser över älgens läge och ställning vid olika tidpunkter visas nedan.

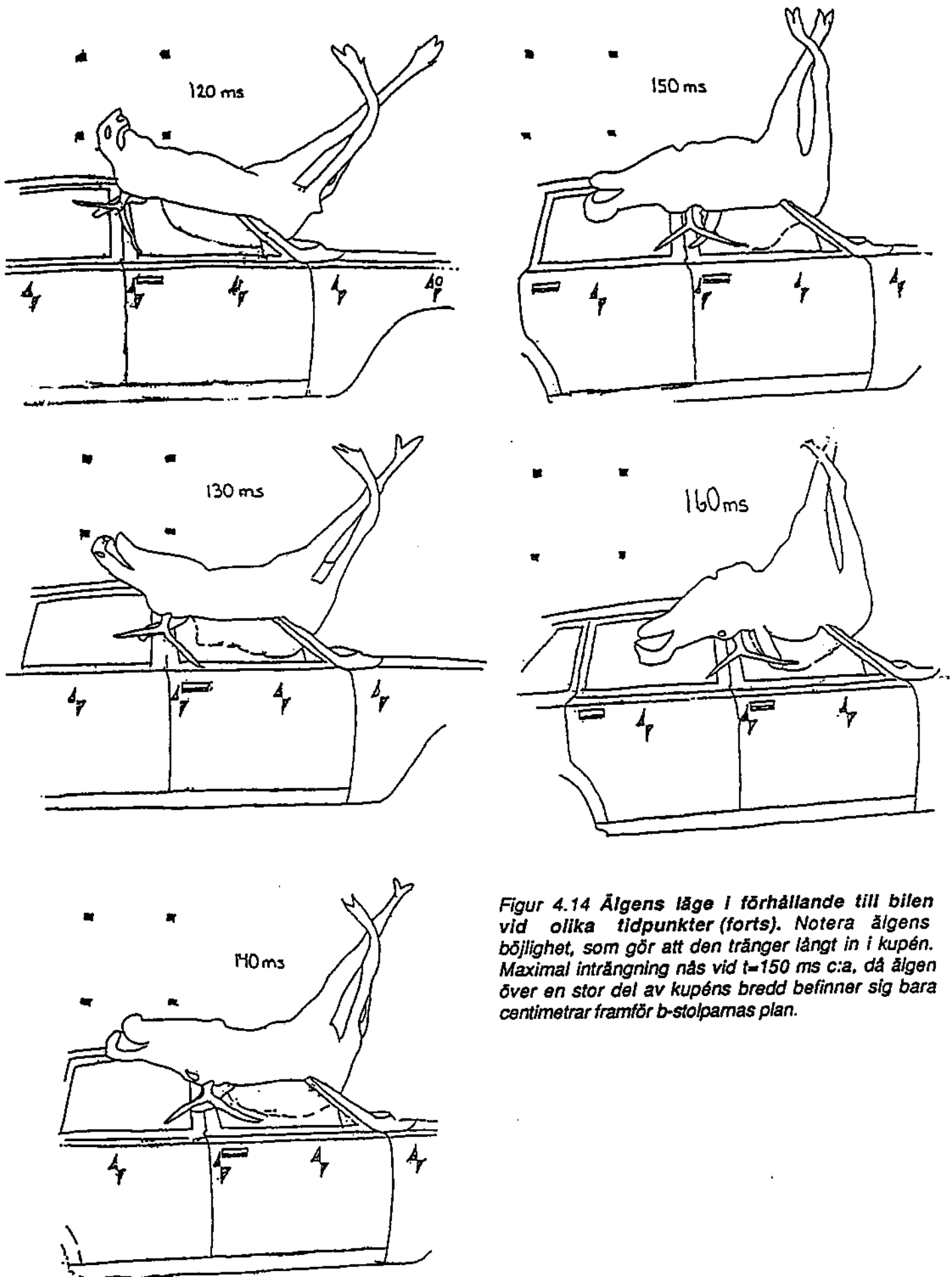
De kameror som gav mindre än väntat var främst de medåkande golvmonterade. Eftersom vindrutan på de bilar som testats mot VTI:s attrapp delvis hängde kvar i sin limning och alltså inte föll ner på kupégolvet samt att attrappen vid de testerna i stort sett följde vindrutebalkens inträngning, valde vi att placera kameror långt fram på vardera tröskeln. Tanken var att de filmerna skulle ge oss vindrutebalkens inträngning och a-stolparnas deformation som funktion av tiden.

Vid vår krock tränger dock älgen avsevärt längre in i kupén än vindrutebalken. På så vis ödeläggs filmningen genom att dels älgen själv skymmer takstrukturen, dels vindrutan helt lossnar och faller som ett mjölkvitt täcke över kamerorna.

Även toppvyerna gav mindre än väntat, främst beroende på att älgen roterade så att ryggraden skymdes av biltaket under hela det intressanta förloppet. Därmed gick den tänkta mätningen av ryggradens utböjning om intet.



**Figur 4.13 Älgens läge i förhållande till bilen vid olika tidpunkter. Notera att klövarna slår upp under stötfångaren så att älgens ben fastnar och drar ned kroppen mot motorhuven ( motsvarande förlopp har observerats vid simulering av fotgängarkollisioner). Bl a huvudets hållning antyder dock att inte särskilt mycket massa omfördelas eller roteras förrän fr o m  $t=60$  ms, då älgen träffar vindrutan (de fyra rutorna i fig är rumsfixa punkter). Notera också att älgen först veckar motorhuven och sedan rätar upp den igen. Bilfronten deformeras i mycket liten omfattning av älgens ben. OBS! att inte varje tionde ms tagits med. De som utelämnats innehåller ingen ytterligare väsentlig information.**



Figur 4.14 Älgens läge i förhållande till bilen vid olika tidpunkter (forts). Notera älgens böjlighet, som gör att den tränger långt in i kupén. Maximal inträngning nås vid  $t=150$  ms c:a, då älgan över en stor del av kupéns bredd befinner sig bara centimetrar framför b-stolparnas plan.

#### 4.4 Älgens skador och vikt.

Följande skador observerades vid obduktionen av älgen. OBS! Efter krocken bromsades bilen av ett nylonnät (se avsnitt 3.9) och av gummidämpare uppställda framför barriären. Älgen däremot fortsatte obromsad in i barriären. En del av nedanstående skador uppkom vid det tillfället.

##### **Yttre skador:**

Sår på vänster underarm och framknä. I övrigt inga andra skador än dem förorsakade av mätutrustningen. (Märk: Huden är frapperande oskadd med tanke på det våld den utsatts för.)

##### **Skelettskador:**

Vänster framben: lårbensbrott, distalt omfattande skenbensbrott, tre brutna mellanfotsben. Vänster bakben: fraktur på lårleden. Höger bakben: fraktur på lårbenet. Bäckben: ett flertal svåra frakturer. Revben: 8 - 13 revbenet brutet hö sida 15 cm från kotpelaren. Vä sida: 12 revbenet brutet, 4 och 11 revbenet brutet mot kotpelaren. Veterinären angav, efter provknäckning, att revbenen var anmärkningsvärt starka. Tagguskott: Brott vid 6 och 7 halskotan samt 1 bröstkotan, samtliga basala. Vid renkokning av skallen upptäcktes ett flertal sprickor i skallbenet. Veterinären höll det för troligt att skelettet hade flera sprickor som ej upptäcktes vid obduktionen.

##### **Mjukdelsskador:**

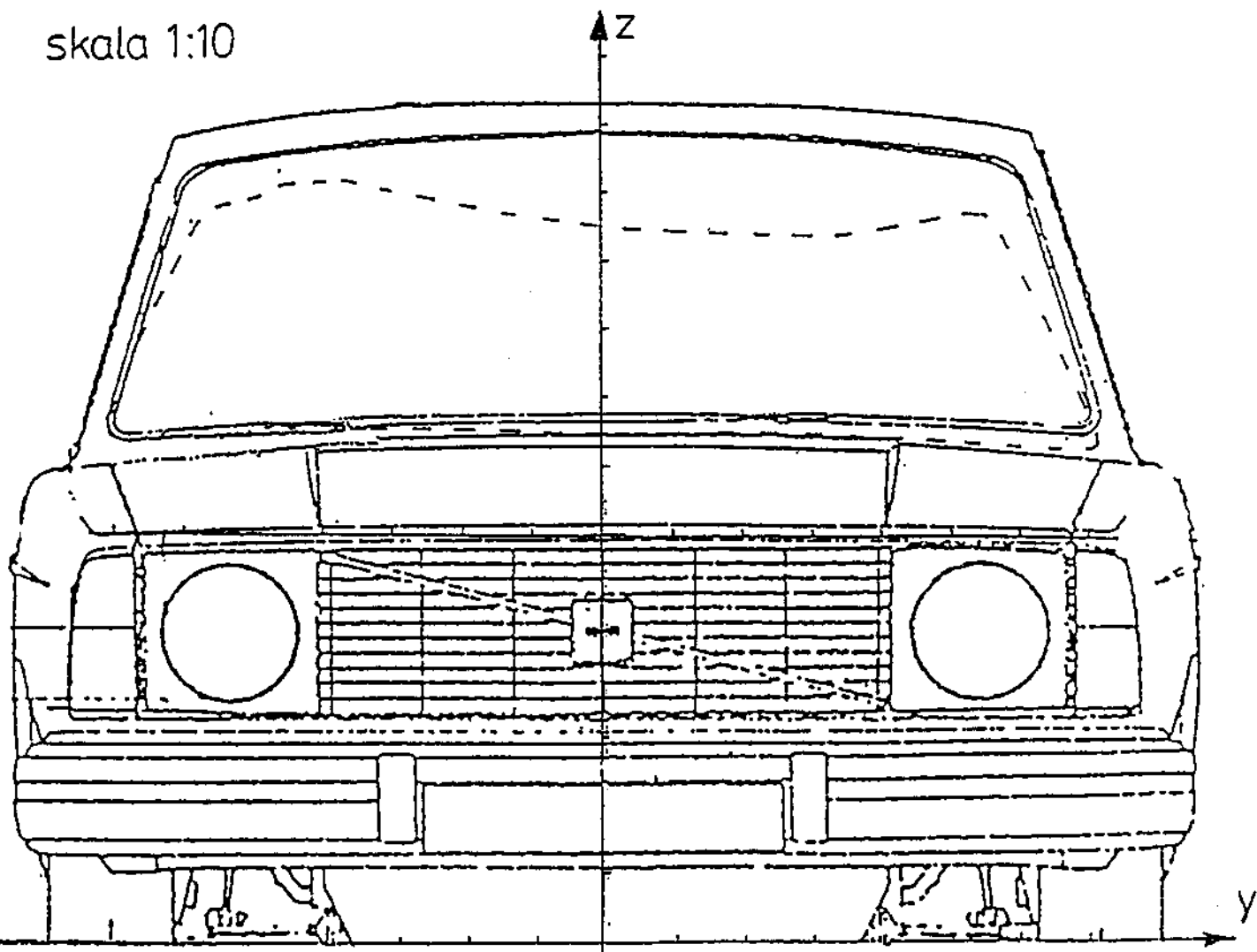
I och med avsaknaden av blodtryck är inre skador svårdektade. Brusten lever konstaterades dock.

I samband med obduktionen vägdes älgen i stycken. Vikten av våminnehållet uppskattades. Älgens sammanlagda vikt bestämdes till  $264 \pm 5$  kg.

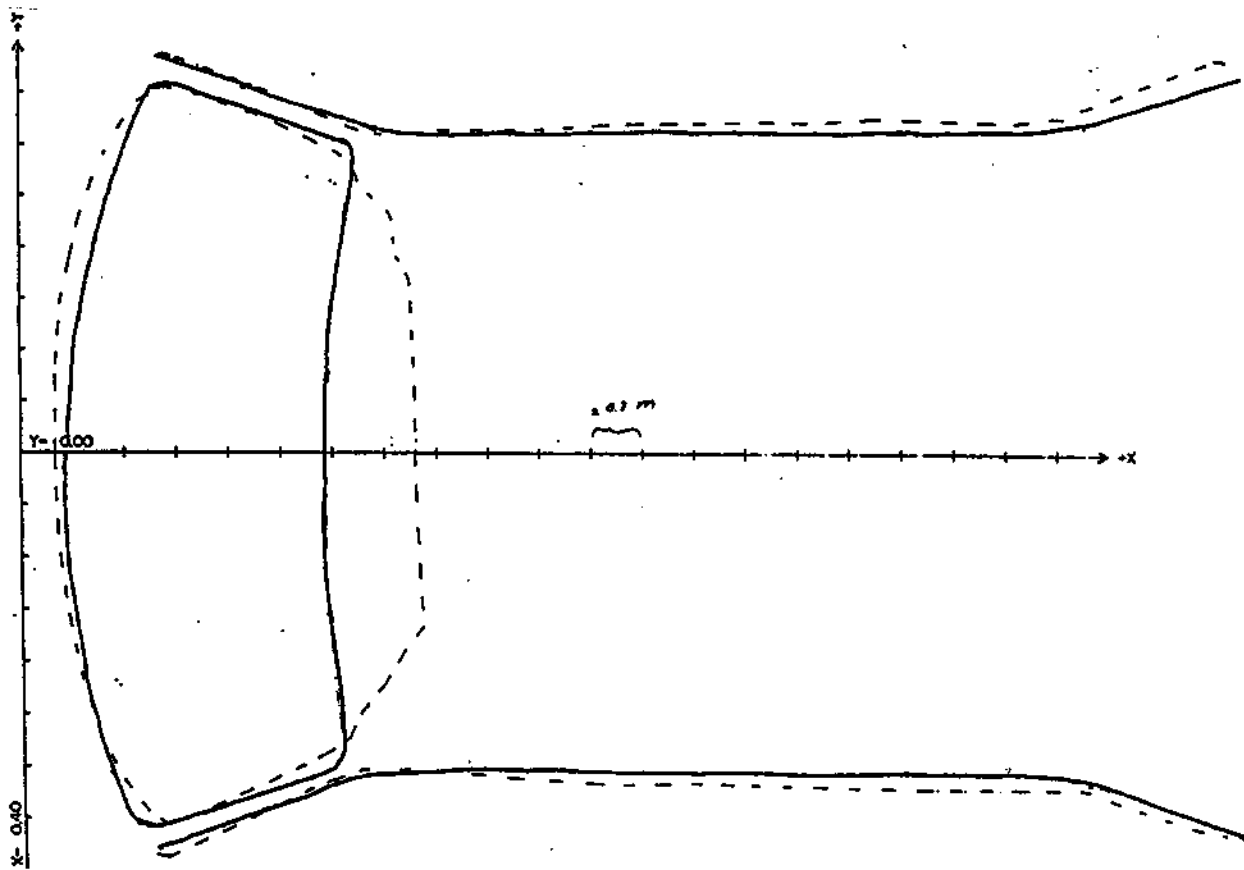
#### 4.5 Bilens kvarstående deformationer.

Efter kollisionen stereofotograferades bilen. En dator jämförde fotografierna med motsvarande foton av en odeformerad bil. Datorn räknade sedan fram deformationen i vissa punkter och ritade upp projektionen av vindruteramens och dropplisternas läge på tre mot varandra vinkelräta plan. Kurvorna visas nedan. Vindrutebalken har som mest flyttats 18 cm bakåt och 13 cm nedåt. Förskjutningen bakåt är i det närmaste konstant över en stor del av kupéns bredd (se fig 4.16).

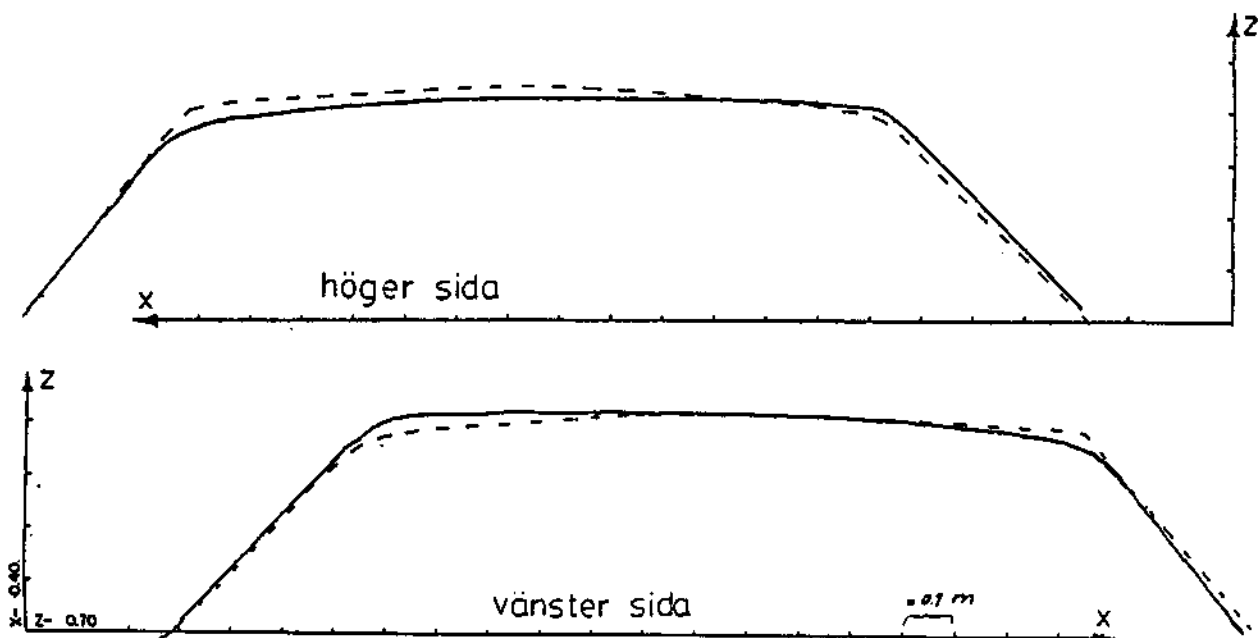
skala 1:10



Figur 4.15 Vindruteramens förskjutning i yz-planet. Den största nedtryckningen, c:a 13 cm, återfinns något till vänster om bilens mittlinje. Den delen av bilen träffade älgens bog. Heldragen linje visar odeformerad, streckad linje deformerad kontur.



Figur 4.16 Vindruteramens och dropplistens förskjutning i  $xy$ -planet (=sett uppifrån). Vindrutebalken har tryckts in 17-18 cm över en stor del av kupéns bredd. Helderagen linje visar odeformerad, streckad linje deformerad kontur.



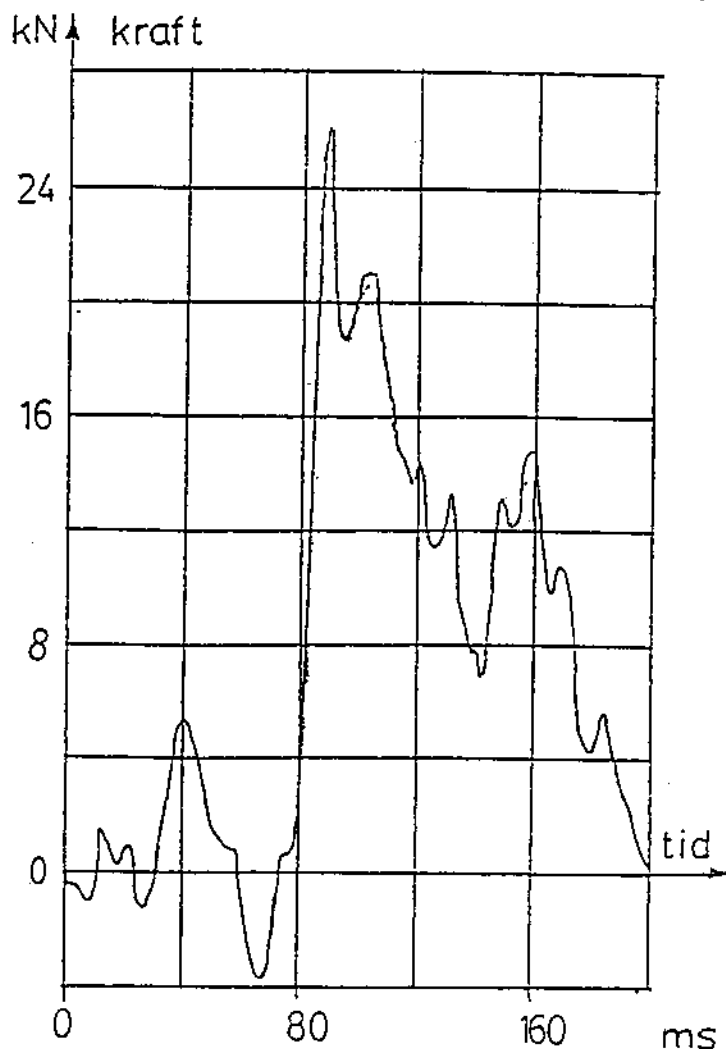
Figur 4.17 Höger (överst) och vänster dropplists förskjutning i respektive  $xz$ -plan. Listerna har som mest flyttats c:a 3 cm i såväl  $x$ - som  $y$ -led, vid  $a$ -stolparnas takinfästningar. Helderagen linje visar odeformerad, streckad linje deformerad kontur.



#### 4.6 Framräknade värden.

Bilens hastighet vid krockförloppets början ( $t=0$ ) uppmättes elektriskt till 78.9 km/h. Accelerometrarna registrerade sedan en hastighetsminskning av totalt 13.0 km/h under krockförloppet, d v s bilen hade efter förloppet, före inbromsningen en hastighet av 65.9 km/h. Impulslagen säger att  $m_{in} \cdot v_{in} = m_{ut} \cdot v_{ut}$ . Det ger att bilens massa gånger ingångshastigheten ska vara lika med bilens plus älgens massa gånger utgångshastigheten (förutsatt att älgen stannar kvar på bilen, vilket den gjorde i vårt fall). Insättning av värdena ovan i ekvationen ger älgmassan 262 kg, vilket överrensstämmer väl med vad den uppvägdes till under obduktionen.

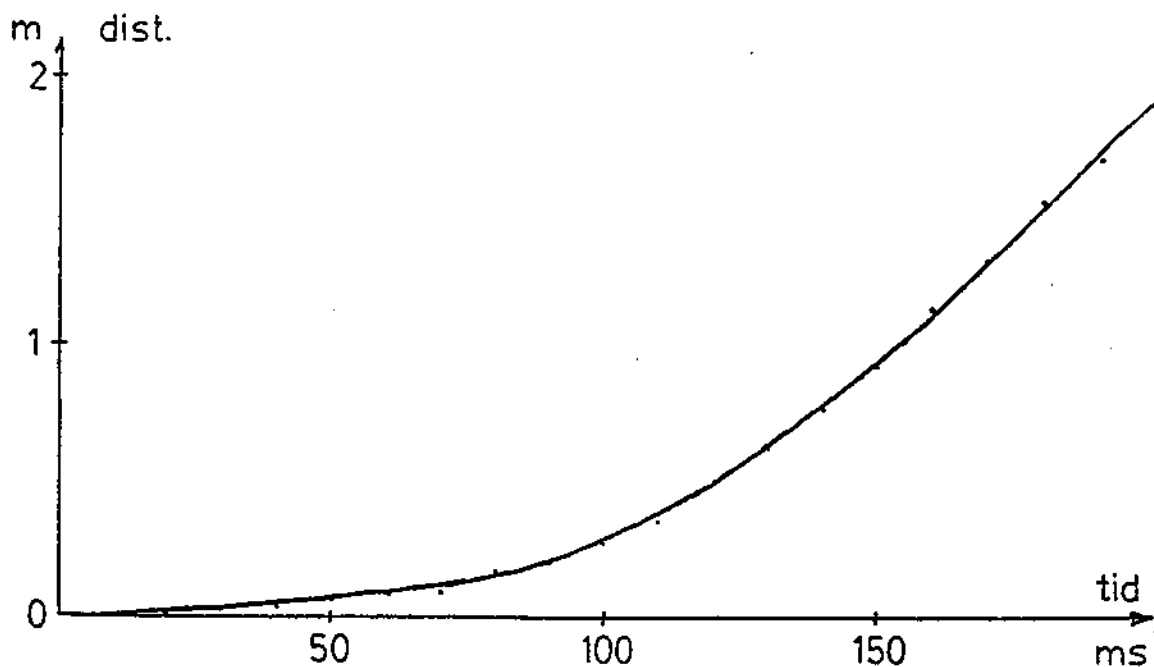
För att få en tydligare bild av den totala kraften mot taket adderade vi signalerna från de båda kraftgivarna. Additionen utfördes helt manuellt, d v s vi läste av de båda kurvorna (fig 4.1 och 4.2) i ett antal punkter och plottade summan i ett nytt diagram. Detta visas i fig 4.18.



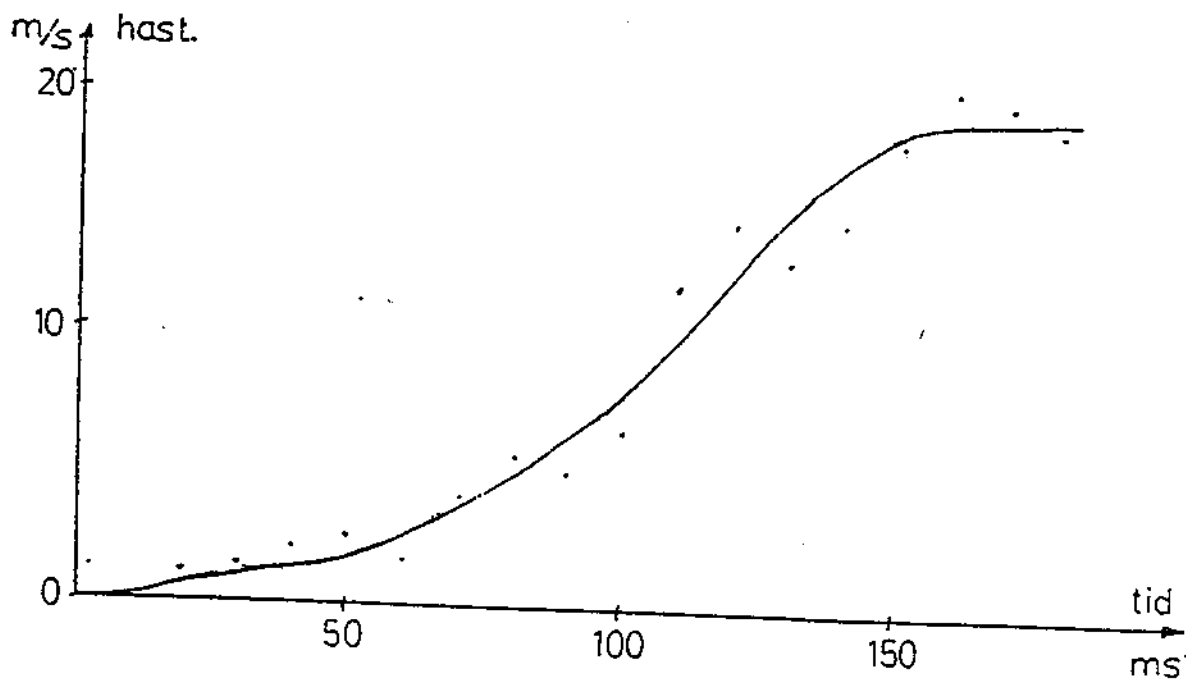
Figur 4.18 Summasignalen från de i taksvällarna monterade kraftgivarna. Kurvan har vi fått genom att i punkt för punkt markera summan av värdena för vardera givaren. Se även figurerna 4.1 och 4.2, sid 26.

Innan provet genomfördes bestämde vi läget av älgens tyngdpunkt i höjd- och längsled. Det gick till så att älgen placerades på en platta, vars tyngdpunkt från början befann sig rakt ovanför en horisontell axel. När systemet älg-platta var i balans ovanför samma axel var älgens tp bestämd i en ledd. Förfarandet upprepades för den andra ledden. Inverkan av att plattan flyttats från sitt ursprungliga läge när systemet med älg var i balans försummade vi, med ledning av att plattan dels inte flyttats särskilt mycket, dels att den bara vägde c:a 10 kg totalt. Likaså bortsåg vi från att älgen låg ned vid tillfället. Tyngdpunktens läge, samt diverse övriga mått hos vår provälg finns redovisade i figur 3.3, sid 11.

Från höghastighetsfilmerna försökte vi att uppskatta ändringen av älgens tp-läge under kollisionen. En sådan uppskattning blir självfallet mycket grov, men kan ändå ge en viss uppfattning om när under förloppet stora krafter verkar. Uppskattningen finns redovisad i figurerna 4.19 (läget) och 4.20 (hastigheten).

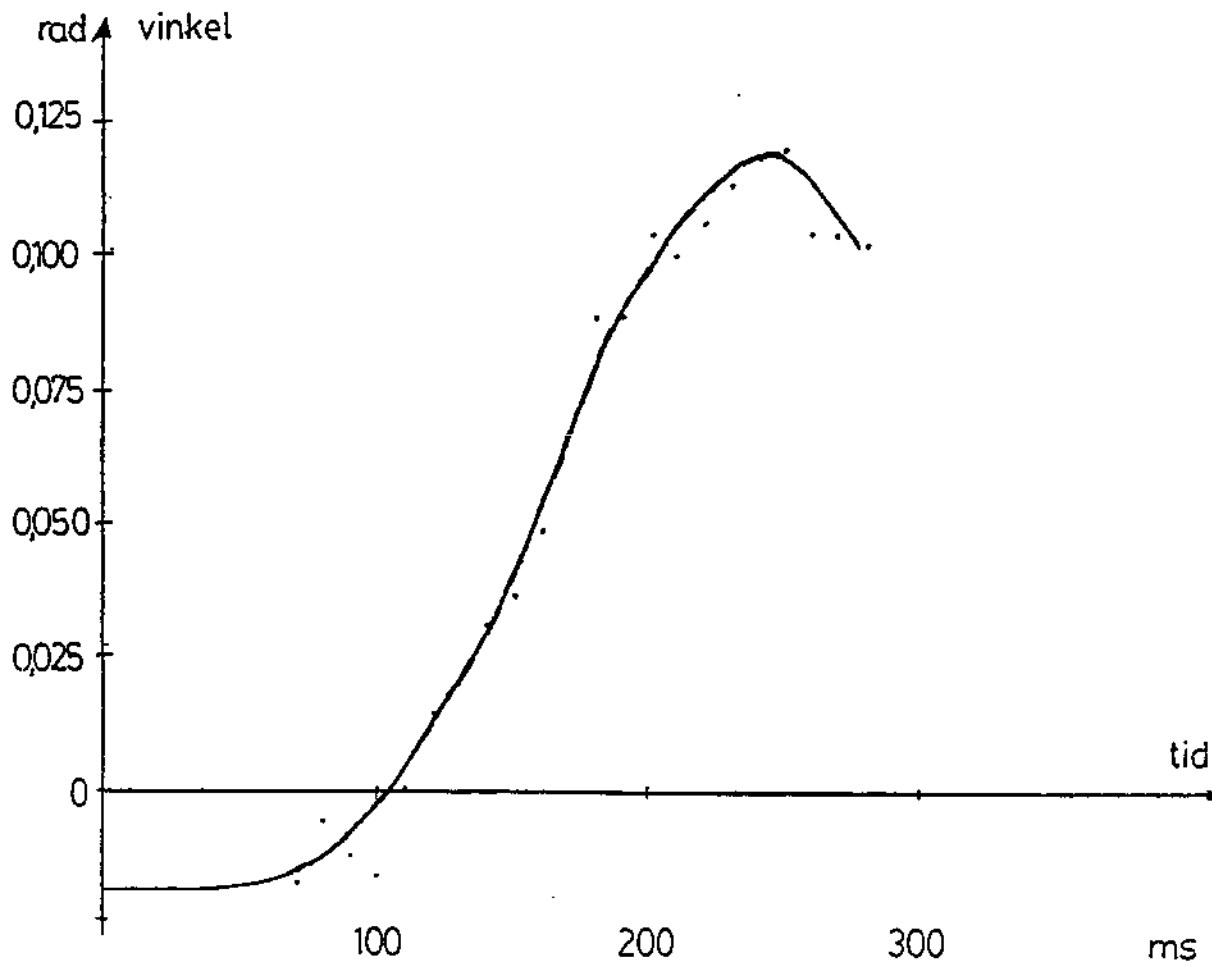


Figur 4.19 Älgens tyngdpunkts läge i rummet under krocken. Läget har uppskattats visuellt från höghastighetsfilmerna. Diagrammets origo motsvarar älgens tp-läge vid krockförloppets början, d v s vid första kontakten mellan bil och älg (se fig 4.13, sid 32). Sedan anges tyngdpunktens förflyttning i bilens rörelseriktning som funktion av tiden.



Figur 4.20 Hastigheten hos älgens tyngdpunkt relativt det fixa rummet under krocken. Kurvan har fåtts ur kurvan i figur 4.19 genom att denna stegvis approximerats till andragsgradspolynom följt av derivering.

Huvuddelen av en älg träffar, som tidigare diskuterats, högt upp på en bil vid en sammanstötning. Bilens tyngdpunktsaxel i tvärlid ligger däremot lågt. Momentet med avseende på den axeln blir därför stort vid en älgkrock. Av den anledningen får bilen en kraftig rotation kring nämnda axel. Det kallas att bilen "pitchar". I figur 4.21 redovisas bilens pitchvinkel som funktion av tiden. Pitchen i sig spelar knappast någon roll för skadeuppkomst eller annat av primärt intresse vid en krock. Huvudskälet till att vi tar med den här är att ett tidigare examensarbete [5], ett program för datorsimulering av älgkollisioner, får ut den som ett resultat vid körning. Våra värden kan därför användas för intrimning av det programmet. Dessutom kan den ha relevans vid jämförelse mellan vår krock och krock mot den attrapp vårt arbete förhoppningsvis leder fram till.



*Figur 4.21 Bilens pitchvinkel som funktion av tiden. Figuren redovisar vinkeln mellan en linje i höjd med bilens sidlist och golvplanet för varje ögonblick under krocken. Vinkeln är definitionsmässigt = 0 då bilen står stilla.*

## 5 AVSLUTANDE DISKUSSIONER - SLUTSATSER

### 5.1 Är provet representativt?

Vid bedömning av relevansen hos vårt prov togs framför allt tre saker upp till diskussion:

- Bilens hastighet.
- Provälgens massa.
- Provälgens i förhållande till dess vikt kraftiga benstomme.

#### 5.1.1 Hastigheten

Under förberedande diskussioner med älggruppen och andra slogs det fast att hastigheter under 70 km/h inte är intressanta. Älgkollisioner i de farterna orsakar sällan eller aldrig allvarliga personskador. Uppåt var hastigheten begränsad dels av krocklaboratoriet, dels av att vi inte ville ha alltför våldsamma deformationer. Vi bestämde oss för att välja det värsta fall som krockbanan tillät med given möblering, nämligen ca 80 km/h. Eftersom provresultaten bör kunna ligga till grund för utveckling och verifiering av en älgattrapp skulle förenklade kompletterande prover kunna upplysa om vilken inverkan ändrad hastighet har på krockförloppet. Därmed skulle man med jämförande prover kunna avgöra hur mycket hastigheten kan avvika från 80 km/h vid attrapprov utan att resultaten blir missvisande. Med användande av en ungefärligen homogen attrapp bör man, med bibehållen densitet och ändrade yttermått, kunna ändra attrappens vikt utan att resultaten blir allvarligt missvisande.

#### 5.1.2 Vikten

Vår älg vägde ca 260 kg vilket är en representativ vikt för en fjolårskalv på hösten. Massan 260 kg kan ses som ett värsta fall av en fjolårskalv. De

erfarna älgforskare som vi samtalat med säger att fjolårskalvar är klart överrepresenterade vid älgolyckor.

I Thorsons rapport [2] indikeras att äldre djur är oftare förekommande vid svårare olyckor.

Enligt veterinär Röken väger de flesta vuxna älgar mellan 300 och 350 kg. Älgar tyngre än 400 kg är sällsynta.

På grundval av argumenten ovan vågar vi påstå att älgmassan 260 kg är en hygglig kompromiss.

### 5.1.3 Benstommen

Vad gäller benstommen karakteriserade prof. Aldman vår provälg som "en god modell av en riktig älg", med hänvisning till att benstommen trots överdimensioneringen inte tycktes påverka älgens krockegenskaper.

Så långt vi kunde se visade nämligen höghastighetsfilmerna att älgen formar sig efter bilstrukturen och tycks sakna egen "inre struktur". Tyvärr kan vi dock inte följa ryggraden på filmerna, eftersom den lägger sig mot vindrutebalken (se fig 4.13 - 14, sid 32-33).

## 5.2 Erfarenheter

Som nämnts föll några av våra mätningar bort. Vi saknar framför allt möjligheten att följa deformationen av taket. Den försvann i och med att vindrutan föll in över golvkamerorna och att älgen skymde taket på ovansidan. Den informationen hade varit bra att ha inför en jämförande krock mot attrapp.

Ur basforskningssynpunkt var det även tråkigt att accelerationsmätningarna och därmed möjligheten att uppskatta dämpningen hos älgkroppen inte gav vad vi väntat oss. För konstruktion av attrappen spelar det bortfallet mindre roll, eftersom en jämförande mätning på attrappen blivit svår att genomföra.

Övriga mätningar gav lika mycket, om inte mer, som vi väntat oss trots att vinkelavvikelser och ljusbrist gjorde filmerna från ett par av kamerorna

mindre användbara.

Följande saker bör beaktas vid attrappförsök eller vid ytterligare försök med älgkadaver:

- Golvmonterade medåkande kameror slopas eller placeras längre bak i provvagnen (placering längre bak försvårar utvärderingen). Alternativt kan framrutan tas bort. Försök med statisk dragning antyder att den har mindre betydelse [4].
- Vindrutebalkens deformation kan mätas som funktion av tiden med hjälp av referensspett av samma typ som vi använde på älgkroppen eller m h a någon elektro-mekanisk lägesgivare.
- För filmningens skull bör man använda en provbana där de yttre kamerorna kan placeras på längre avstånd, detta för att bättre täcka upp det utdragna krockförloppet samt för att minska de avvikelser i längdskalan på filmen som speciellt vidvinklig optik ger upphov till.
- För kartläggande av påkänningar och rörelser hos attrapp resp. kadaver kan eventuellt tryckgivare och triaxiella accelerometrar monterade på lämpligt vis vara bra. Med ett arrangemang liknande våra spett ger triaxiella accelerometrar möjlighet att integrera fram givarnas riktning och läge i rummet under förloppet. Ett noggrant målat ruttmönster på kadaver/attrapp kan underlätta filmutvärdering.
- Om ytterligare fullskaleprov mot älgkadaver blir aktuella skulle säkert medåkande dockor i framsätet kunna ge en del värdefull information.

### 5.3 Jämförelser.

#### 5.3.1 Andra älgkrockade bilar.

Enligt **Bo Lind**, haverikommissionen, Volvo PV hade vår provbil ett för Volvobilar som varit inblandade i älgkrockar karakteristiskt utseende efter kollisionen. Däremot trodde han inte, med utgångspunkt i slutdeformationerna, att kollisionen skulle medfört dödsfall eller livshotande skador för någon medåkande.

#### 5.3.2 Prov mot den gamla attrappen.

Vår provbil hade dock inte ett karakteristiskt utseende för bilar som testats mot VTI:s attrapp. Den största skillnaden är a-stolparnas deformation, som är betydligt kraftigare hos de attrappkrockade bilarna. Den riktiga älgen deformerar vindrutebalken i klart större grad än attrappen. Å andra sidan är jämförelserna inte helt rättvisande, eftersom VTI-attrappen vid de tidigare testerna hade betydligt större massa än provälgen och dessutom var placerad på en lägre nivå än älgkroppen.

Jämförelse av accelerometerkurvorna från förprovet - då attrappen var bantad till de 260 kg provälgen vägde, visar dock att bilen bromsades mycket mera abrupt när den körde på attrappen - där ligger hela hastighetsminskningen inom ett kort intervall direkt efter sammanstötningen.

Slutsatsen blir att det borde gå att komma närmare verkligheten med en ny attrapp.

#### 5.3.3 Datorsimulering

En körning av det i ett annat examensarbete [5] framtagna datorprogrammet för simulering av älgkollisioner med våra indata visade att det programmet kräver intrimning innan det ger utdata som ligger nära verkligheten. Eftersom



sådan intrimning inte gjorts vågar vi inte bedöma relevansen hos datorprogrammet och de antaganden det bygger på närmare (resultaten av körningen finns i appendix).

#### 5.4 Diskussion kring krafter och energier.

Energilagen säger att kinetiska energin  $E_{kin} = 1/2 * m * v^2$ . Med för provet gällande data fås följande värden:

Ingångsenergi:	318.5 kJ
Utgångsenergi:	259.2 kJ
I krocken förlorad energi:	<b>59.3 kJ</b>

Vart har den förlorade energin tagit vägen? Den har rimligen använts att deformera och rotera såväl bil som älg. En uppskattning av älgens tröghetsmoment kring en längdaxel genom tyngdpunkten relaterat till den rotationshastighet som kan observeras på filmerna säger att älgens rotationsenergi är försumbar (älgkroppens rotation bromsas när kroppen pressas mot takstrukturen). Enl. bl a den datorsimulering som finns redovisad i *appendix 2*, där verkliga värden på bilens stötdämpare och fjädrar är insatta, är även bilens rotationsenergi försumbar. Energiförlusten har alltså huvudsakligen **deformerat bil respektive älg**.

En grov uppskattning av kraft och energi i bilens takstruktur under krockförloppet lyder som följer:

- Vi koncentrerar oss på den del av krockförloppet där taket deformeras, d v s från  $t=80$  till  $t=160$  ms ( $t=0$  vid första kontakten mellan bilen och älg). Under den tiden ändras bilens hastighet från 21.6 till 18.0 m/s. Bilens förlust av kinetisk energi blir 94.5 kJ. Om retardationen approximeras vara konstant hinner bilen avverka 1.58 m under inverkan av totalkraften **59.7 kN**.
- Med hjälp av kraftgivarnas kurvor uppskattar vi medelvärdet av den

kraft som togs upp av strukturen bakom b-stolparna till **20 kN**.

· I publikationen Bil-Älgkollisioner från Hedemora Bilteknik [4] presenteras böjning som funktion av böjmoment för a-stolpar till bl a Volvo 240. Med ledning av dessa diagram och slutdeformationerna på takstrukturen uppskattar vi medelkraften som åtgått till att böja samtliga a- och b-stolpar till c:a **3 kN**.

· Här återstår en obekant - medelvärde av dragkraften i a-stolparna - som alltså bör ha varit av storleken **35 kN**.

## 5.5 Kritiska egenskaper hos bilen

Under nedanstående rubriker diskuteras de egenskaper hos bilar vi fann är avgörande för skadebilden hos de medåkande vid en älgkollision.

### 5.5.1 Glassplitter

Glassplitter från sidorutor och vindruta flyger omkring i passagerarutrymmet strax efter sammanstötningen. Det är dokumenterat [2] att de **vanligaste** personskadorna efter en älgkollision är skärskador i ansikte, på hals/nacke och på armar. Det vore en fördel om man kunde förse bilarna med rutor som inte lämnar något splitter eller vassa kanter. Dagens laminerade rutor är inte fullkomliga i det avseendet.

### 5.5.2 Plåtdetaljer

Där takstrukturen tryckts in finns risk att medåkande slår i de intryckta plåtdetaljerna. Med stor sannolikhet är det på så vis de **svåraste** personskadorna uppstår [2], [5]. En strävan att minska deformationerna samt motverka att vassa plåtkanter blottas, t ex genom att vaddera vissa detaljer skulle förbättra säkerheten. Retardationspåkänningarna på de medåkande är så små att en förstyvning av taket knappast medför någon farlig ökning.

### 5.5.3 Älgens inträngning

Vi ser på höghastighetsfilmerna att älgens buk tränger långt in i kupén. Med tanke på att vindrutan hamnar mitt emellan medåkande och älgbuk vore det bra om inträngningen kunde minskas. (Det har hänt att hela älgkalvar åkt in genom vindruteöppningen och hamnat inne i kupén.) En minskad deformation av takstrukturen ger en viss hjälp även här. Men störst effekt i det avseendet ger troligen en konstruktion där **öppningen** för älgkroppen blir mindre. Kanske är det möjligt att konstruera ett biltak som deformeras på ett sådant sätt att vindruteöppningen minskar när en älg träffar vindrutebalken, utan att plåtdetaljer fördenskull kommer i farlig närhet av de medåkandes huvuden.

## 5.6 Konstruktion av attrappen.

### 5.6.1 Material

Som vi tidigare berört verkade älgen (att döma av höghastighetsfilmerna) sakna inre struktur när den blev påkörd. Den tycktes styras helt av masskrafter som vore den en slapp säck med mjukt, homogent innehåll. Visserligen vred den sig under vårt försök så mycket att ryggraden lade sig mot vindrutebalken och skymdes för filmkamerorna, varför vi inte kan avgöra huruvida ryggraden vid en annan krockkonfiguration (eller ens i vårt fall) gör älgkroppen styvare eller ej, men vi antar ändå att den "vattensäcksapproximation" vi talar om i kapitel 3, avsnitt 3.2, är tillräckligt bra ur attrappkonstruktionssynpunkt. Möjligen kan man tänka sig en fyllning av annat mjukt material där densiteten justeras genom iblandning av t ex sand, om en vattenfylld attrapp blir för lös och inte anses kunna skada en påkörande bil i tillräcklig omfattning.

### 5.6.2 Form

Tidigt under förloppet förlorade också älgkroppen formen av en elliptisk cylinder. Det gör att vi ur den synvinkeln kan överge vårt ursprungliga krav att attrappen skulle ha den formen. En cirkulär cylindrisk attrapp duger sannolikt lika bra, och är lika sannolikt enklare att realisera. Då befriar man sig också från alla funderingar kring rotation hos attrappen under krocken. Som vi tidigare konstaterat (avsnitt 5.4) är bara obetydliga energier inblandade i den i och för sig klart märkbara rotationen av älgkroppen under kollisionen.

### 5.6.3 Styvhet

En annan sak är att det kan visa sig att attrappen blir för styv om den byggs cirkulär cylindrisk, och av det skälet måste tunnas ut på mitten. När det gäller

styvheten är attrappens förmåga att tränga in i kupén en central parameter. Våra höghastighetsfilmer visar att älgen tränger in mycket långt - som längst befinner sig älgkroppen bara centimetrar framför b-stolparnas plan - och att inträngningen därför med stor sannolikhet spelar roll för uppkomsten av skador hos de medåkande. Dessutom är det lätt att följa inträngningen på våra filmer, vilket gör det möjligt att använda denna parameter för att validera attrappen.

#### 5.6.4 Töjningsegenskaper

Attrappens böjlighet antas vara en central parameter i diskussionerna ovan. Att bygga attrappen i ett mjukt material kan dock medföra problem, t ex att dess **längdtöjning** kommer att skilja sig från en riktig älgs. Sannolikt är en älg svårare att töja ut i längsled än en attrapp byggd i något gummimaterial. Hur det verkligen förhåller sig vågar vi dock inte säga, eftersom vi inte haft möjlighet att studera vare sig en riktig älgs eller en attrapps töjningsegenskaper under de förhållanden attrappen kommer att användas (det är, då vi inte förberedde sådana utvärderingar, omöjligt att från våra höghastighetsfilmer skaffa sig en uppfattning om älgens töjningsegenskaper). Eftersom det finns ett urval armerade gummimaterial att välja mellan är dock parametern varierbar vad gäller attrappen.

## 7 REFERENSER

1. W F King och H J Mertz, "HUMAN IMPACT RESPONSE"  
Plenum Press, New York, 1973
2. "DJUROLYCKOR I TRAFIKEN, SPECIELLT BIL-ÄLGKOLLISIONER",  
Rapport över TFD-projekt nr 68/82-52,  
(Anslagsmottagare: Jan Thorsson),  
Institutionerna för hygien och miljömedicin, kirurgi samt  
rättsmedicin vid Umeå Universitet, samt statshälsan i Umeå,  
1985
3. Thomas Turbell, Statens Väg- och Trafikinstitut,  
"SIMULERADE ÄLGKOLLISIONER, EN METODSTUDIE",  
VTI meddelande Nr 402, 1984
4. Hedemora Bilteknik, "BIL-ÄLGKOLLISIONER",  
Trafisäkerhetssymposium i Hedemora, 17 maj, 1984
5. Lars Hallén och Anders B Johansson,  
"DYNAMISK DATORSIMULERING AV BIL-ÄLGKOLLISION",  
Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1985
6. Bo Lind,  
"VILTOLYCKOR, SAMMANSTÄLLNING AV OLYCKSMATERIAL",  
Volvo Personvagnar AB, Informationsavdelningen,  
405 08 Göteborg
7. "ÄLGEN, JAKTEN, JÄGAREN" ,  
Svenska Jägareförbundet  
Box 26091  
100 41 Stockholm

8. "ÄLGEN, NÄRING OCH MILJÖ-JAKT OCH VÅRD" , 1975  
Svenska Jägareförbundet  
Box 26091  
100 41 Stockholm
  
9. "JÄGARSKOLAN, ÄLGEN" ,  
Svenska Jägareförbundet och Förbundet Skog och Ungdom,  
Bokförlaget Natur och Kultur, Stockholm, 1967
  
10. "ARTIKLAR OM ÄLGFORSKNING OCH ANDRA FRÅGOR  
RÖRANDE ÄLGEN" , 1980  
Svenska Jägareförbunde  
Box 26091  
100 41 Stockholm
  
11. "THE ELK, PRESERVATION AND SHOOTING" ,  
Swedish Sportsmen's Association  
Box 26091  
S-100 41 Stockholm

## APPENDIX 1

### Förslag till attrapp

Vi har tagit fasta på de fakta vi känner till om älgkroppen samt de resultat som krockprovet gav när vi utarbetat förslaget nedan.

För användaren är det viktigt att attrappen (förutom att den påverkar provvagnen på ett realistiskt sätt):

- \* är enkelt reproducerbar.
- \* kan användas flera gånger, helst utan att någon reparation eller justering blir nödvändig.
- \* är lätt att reparera när den väl går sönder.

Vi anser att älgkroppen, utan att göra provmetoden orealistisk, kan approximeras med en elliptisk (ev cirkulär - om inte denna blir för styv, se avsnitt 5.6.2 och 5.6.3) cylinder dvs vi bortser ifrån ben och huvud etc. Denna approximation bör vara acceptabel med tanke på den stora spridning i träffpunkt och träffvinkel som förekommer i verkliga älgkrockar. Benstommen verkar ha begränsad betydelse vid kollisioner i de hastigheter som vi är intresserade av så vi bortser från denna.

### **Förslag 1:**

En älgkroppens densitet är c:a 1 och dess innehåll till stor del vatten. Vi har därför tänkt använda oss av en fyllning baserad på vatten eller något annat visköst ämne med densitet nära 1. För att få en konsistens som liknar en djurkroppens inre föreslår vi en fyllning av syntetisk tvättsvamp. Denna kan måttbeställas helt enligt önskemål (t ex av Nordflex AB i Göteborg). Vätskan är tänkt att ligga uppsugen i svampen. Attrappens "hud" måste vara böjlig, smidig och mycket rivtålig. Här föreslår vi att cylinderns väggar kläs med ett flertal omlott liggande ringar av samma typ av gummimatta som används till transportband inom bl a gruvindustrin (t ex Trelleborg Cord Ply). Skälet till att inte använda ett enda, sammanhängande stycke är att detta minskar



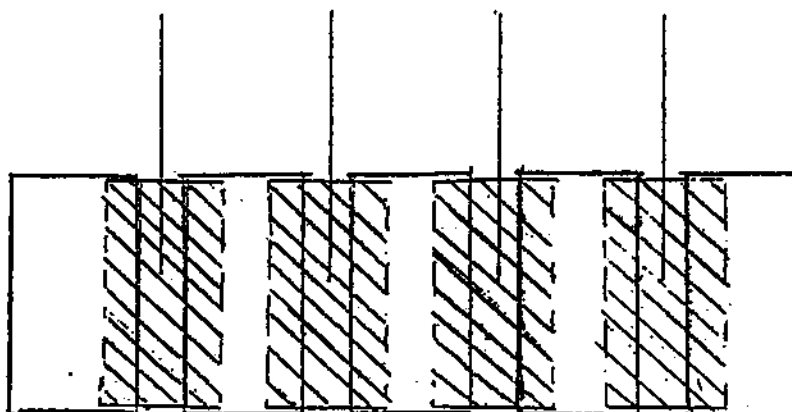
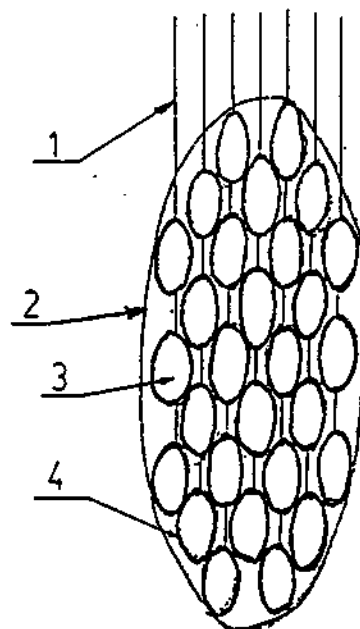
attrappens böjlighet. *Se figur A1.2.*

För att attrappen inte skall anta "påronform" tänker vi oss att fyllningen lägges i tryckluftslang (förslagsvis med innerdiameter 102.0 mm, finns hos t ex Trelleborg). Slangarna staplas på höjden genom att hängas i kolonner. Flera kolonner hängs intill varandra så att en ungefärlig ellipsform bildas. *Se figur A1.1.*

Slangarna tillslutes i ändarna genom att klämmas så att de blir platta m h a någon lätt, slagstålig klämanordning.

Figur A1.1: Attrappen i genomskärning.

1. Wire som håller slangkolonn.
2. Attrappens "hud" av transportbandsmatta.
3. Slangens fyllning av vätska i tvättsvamp.
4. Tryckluftslang.



Figur A1.2: Attrappen sedd från sidan.

## Förslag 2

Körningar av ett datorsimuleringsprogram [5], där man låtit älgkroppens inre dämpning variera med övriga parametrar fixa, indikerar att dämpningen hos attrappen har underordnad betydelse. Detta betyder att man bör kunna bygga en attrapp där man i första hand tar hänsyn till densitet, fjädrande egenskaper och yttre geometri när man försöker efterlikna älgkroppen. Vi tänker oss här en attrapp med homogent innehåll, t ex skumplast, blandat med sand för densitetens skull. Attrappen kan sedan klädas med något rivtåligt och böjligt material. Formen kan antingen vara elliptiskt- eller cirkulärcylindrisk enligt tidigare resonemang.

## APPENDIX 2

Jämförelse med datorsimulering.

Nedan följer en jämförelse mellan våra provresultat och några värden som tagits fram med ett datorsimuleringsprogram (se ref. nr 6). Datorprogrammets beräkningsmodell utgår ifrån det mekaniska system som finns presenterat i fig. A2.1 .

Tabell A2.1 visar utdata från en körning av programmet med med indata som svarar mot de förhållanden som gällde vid vårt prov (Provvagnens hastighet före krock, provvagnens massa, älgens massa). I figurerna A2.2 och A2.3 visas diagram som kan jämföras med utdata från vårt prov.

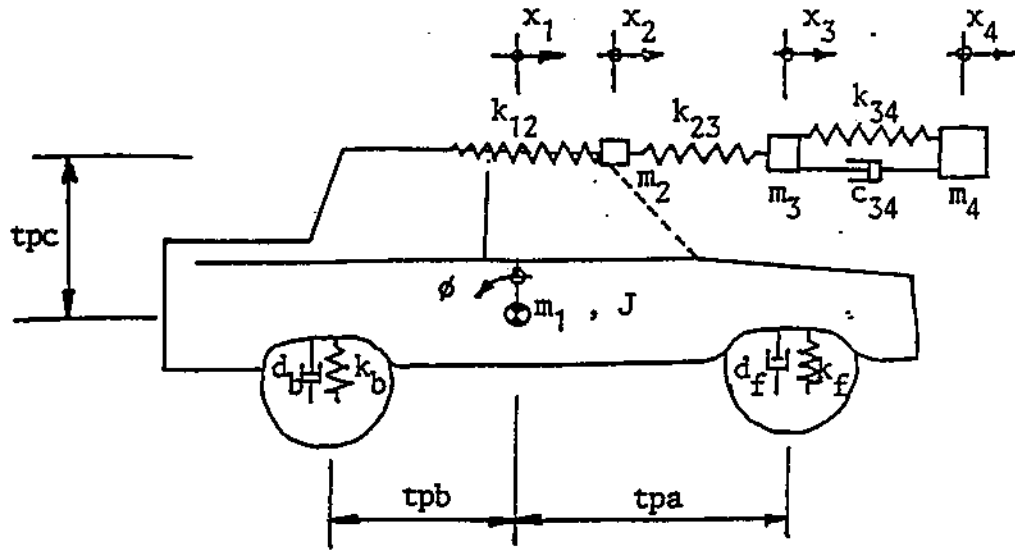
Tabell A2.1: Utdata från datorsimulering.

**Energier efter kollision [J]:**

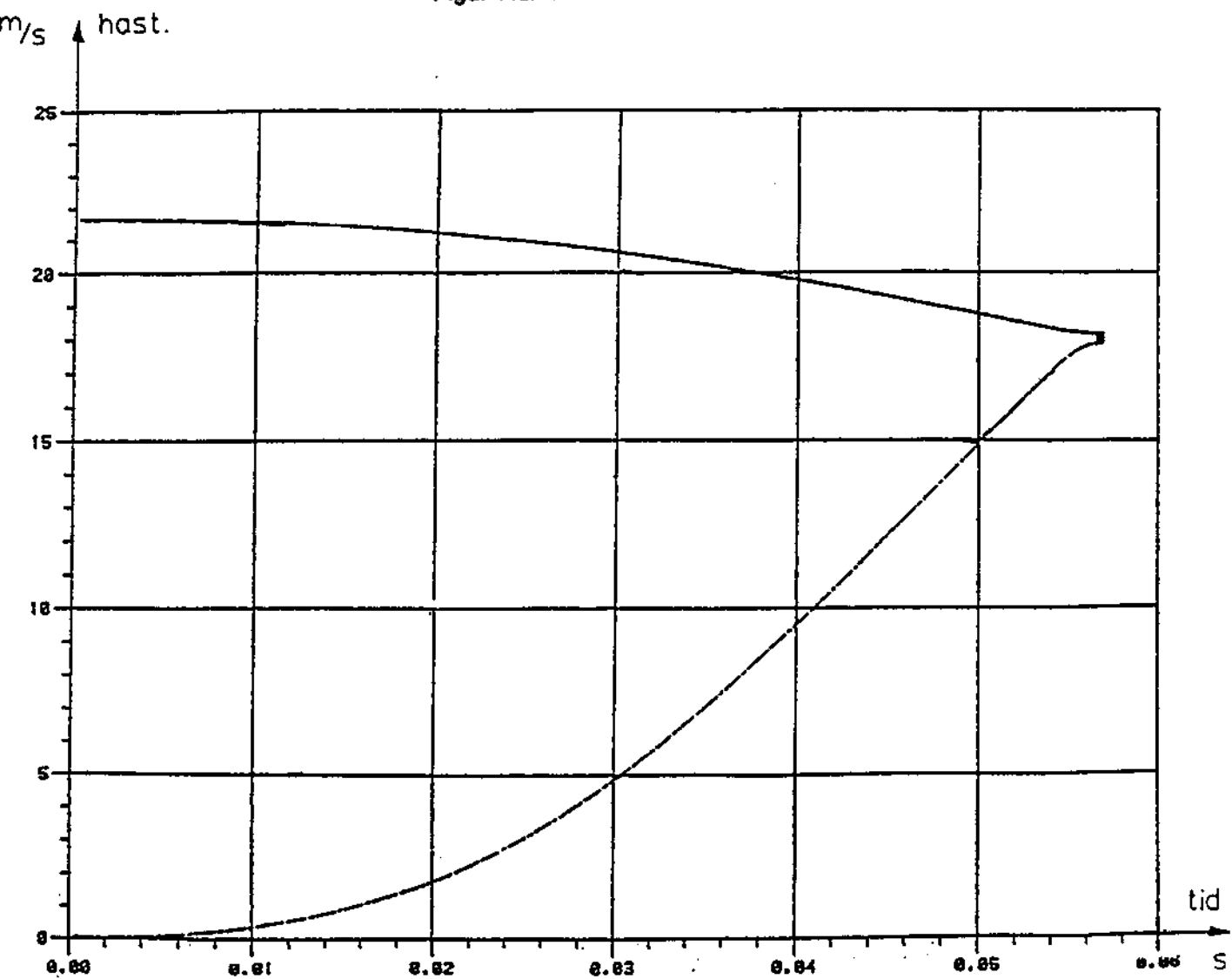
Bilens translationsenergi	218897.013
Bilens rotationsenergi	3124.163
Bilflädrarnas energiupptagning	888.948
Bilkarossens energiupptagning	26270.023
Älgens translations energi	41336.296
Älgfjädrarnas energiupptagning	12039.548
Älgdämparens energiupptagning	8685.157

**Totalenergier [J]:**

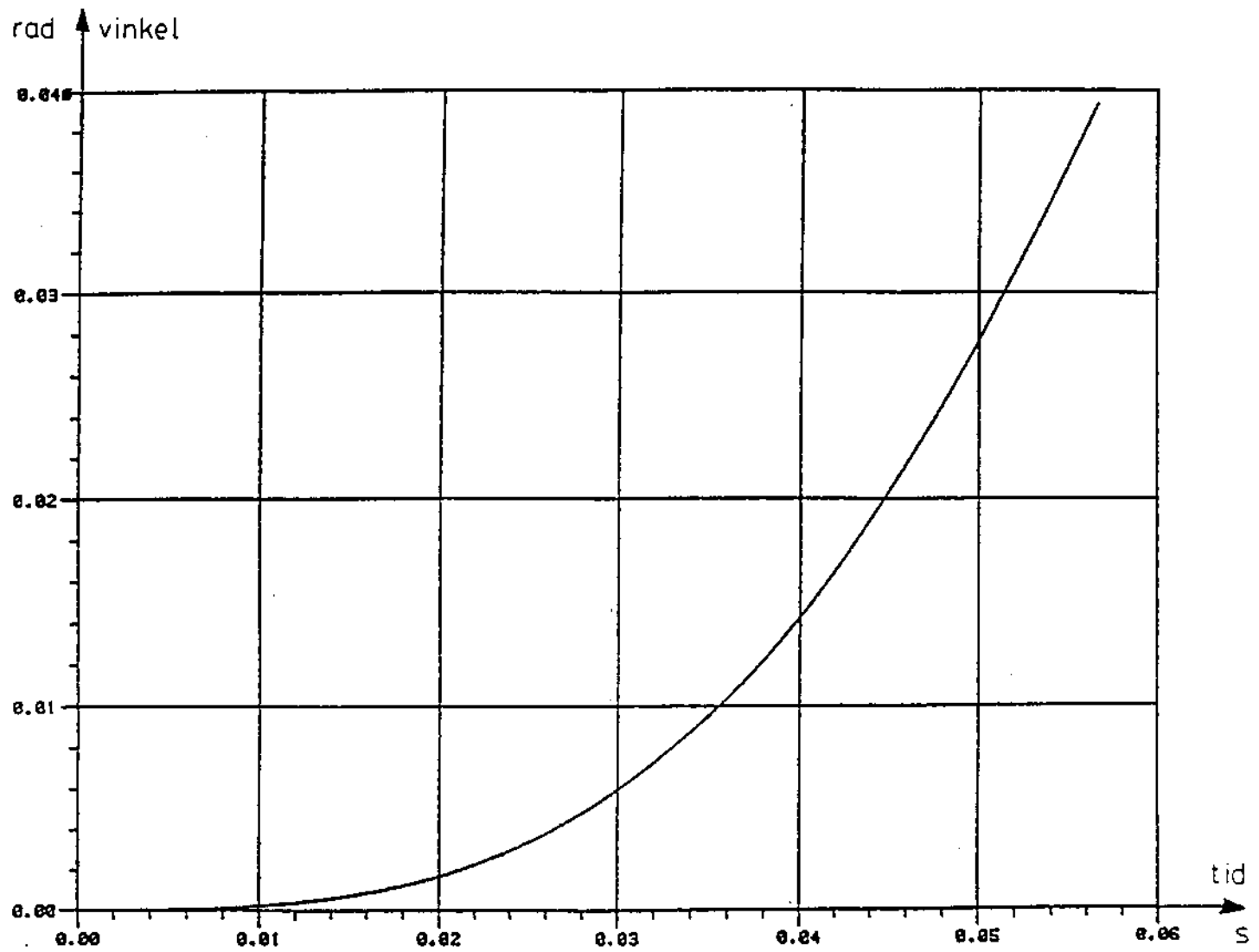
Total energi före kollision	311241.668
Total energi efter kollision	311241.148



Figur A2.1: Den mekaniska modellen



Figur A2.2: Hastigheter. Heldragen linje visar bilens hastighet som funktion av tiden. Punktstreckad linje motsvaras av älgens tyngdpunkts hastighet som funktion av tiden. Jämför figurena 4.19 och 4.20. Tidpunkten 0 motsvarar ca 80 ms efter krockförloppets början i vårt prov.



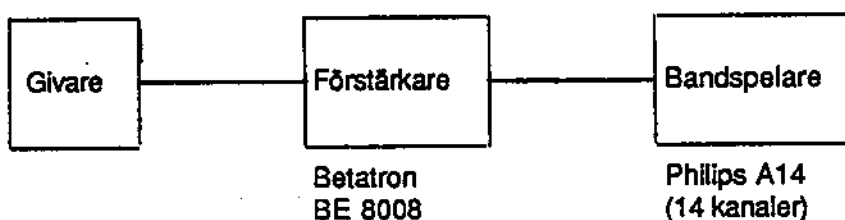
Figur A2.3: Bilens pitchvinkel som funktion av tiden. Tidpunkten 0 motsvarar ca 80 ms efter krockförloppets början i vårt prov.

## APPENDIX 3

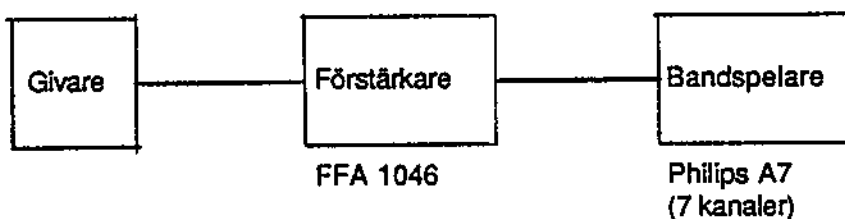
Den elektriska mätutrustningen.

I figur A3.1 beskrivs de elektriska mätsystemen schematiskt. Bilens givare finns specificerade i tabell A3.1 och ålgens givare i tabell A3.2

Figur A3.1 Datainsamlingsutrustning till bilen



Datainsamlingsutrustning till ålgen



Tabell A3.1

**Bilens givare**

<u>Placering</u>	<u>Mätområde</u>	<u>Typ</u>
Tröskel V acc.	± 25 g	Endevco 2262-25
Tröskel H acc.	±100 g	" 2262CA-100
Tak V acc.	±200 g	" 2262CA-200
Tak H acc.	±200 g	" 2262CA-200
Golv acc.	±200 g	" 2262CA-200
Kraft V	±12 kN	Loadindicator AB AB20
Kraft H	±12 kN	" AB20

Tabell A3.2

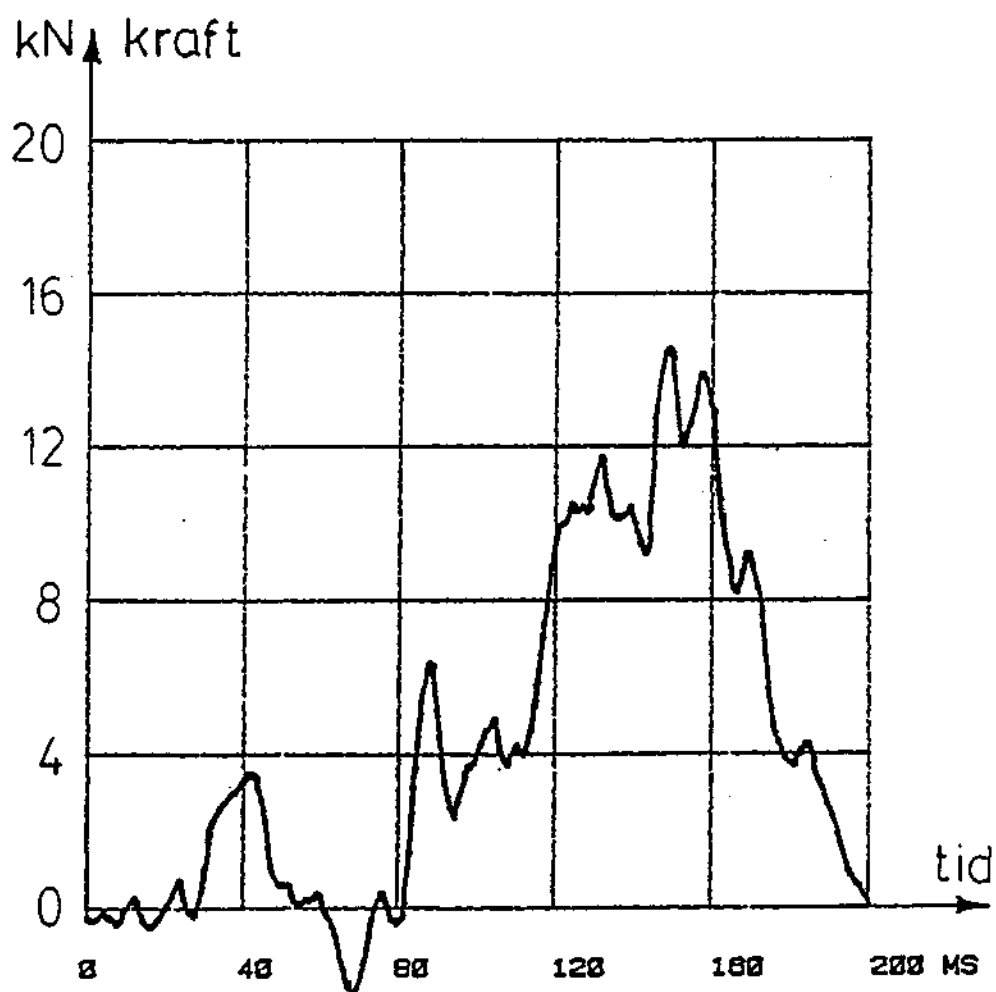
**Älgens givare**

<u>Placering</u>	<u>Mätområde</u>	<u>Typ</u>
<u>Krocksida:(spett)</u>		
Högra övre	±200 g	Kyowa AS 200A
Mittre nedre	±200 g	Kyowa AS 200A
Vänstra övre	±200 g	Kyowa AS 200A
<u>Baksida:(referens)</u>		
Högra övre	±200 g	Kyowa AS 200A
Mittre nedre	±200 g	Swema SA1-200
Vänstra övre	±200 g	Swema SA1-200

## APPENDIX 4

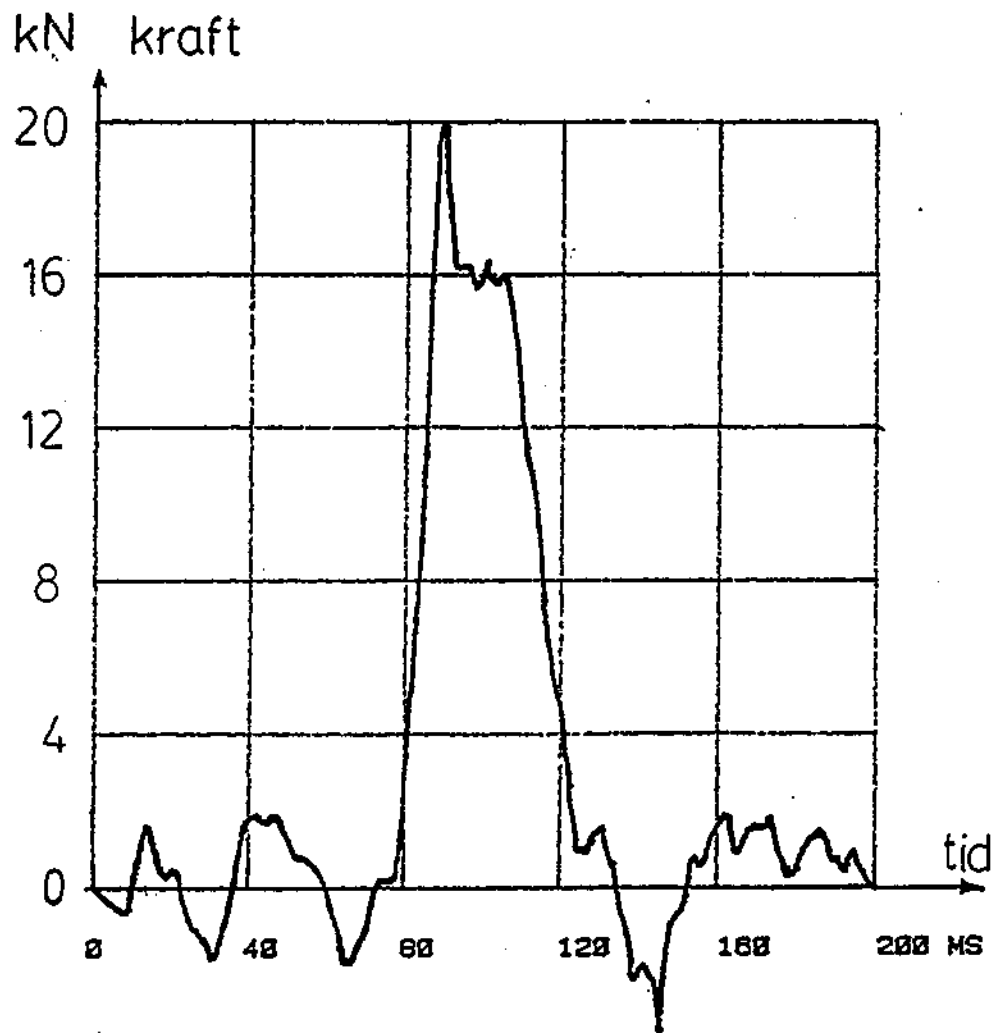
Diagram i fullskala.

Nedan följer de diagram som i nedskalad storlek finns med i rapportens resultatdel.

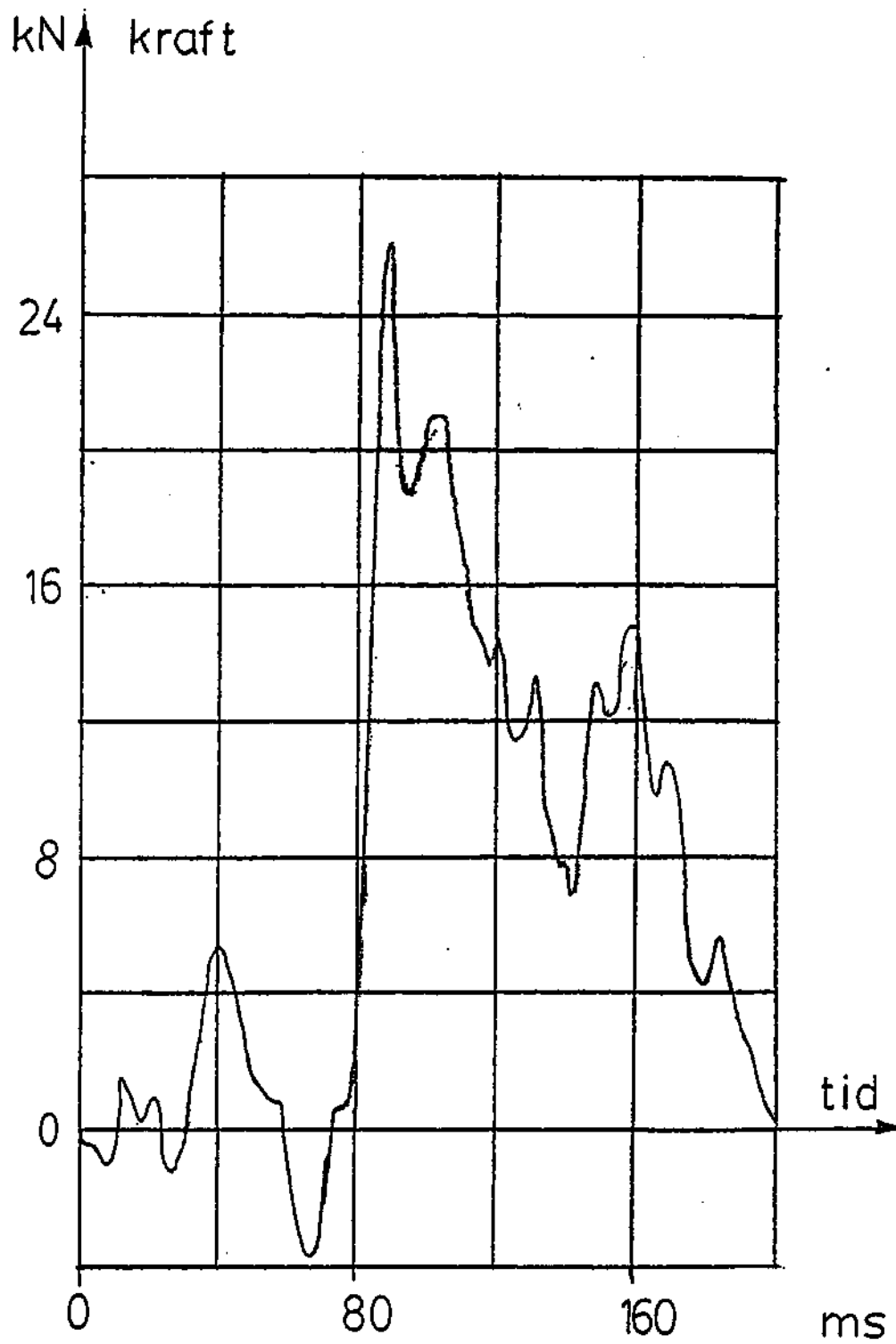


Figur A4.1, Kraftgång i vänster taksvällare: motsvarar fig. 4.1 .

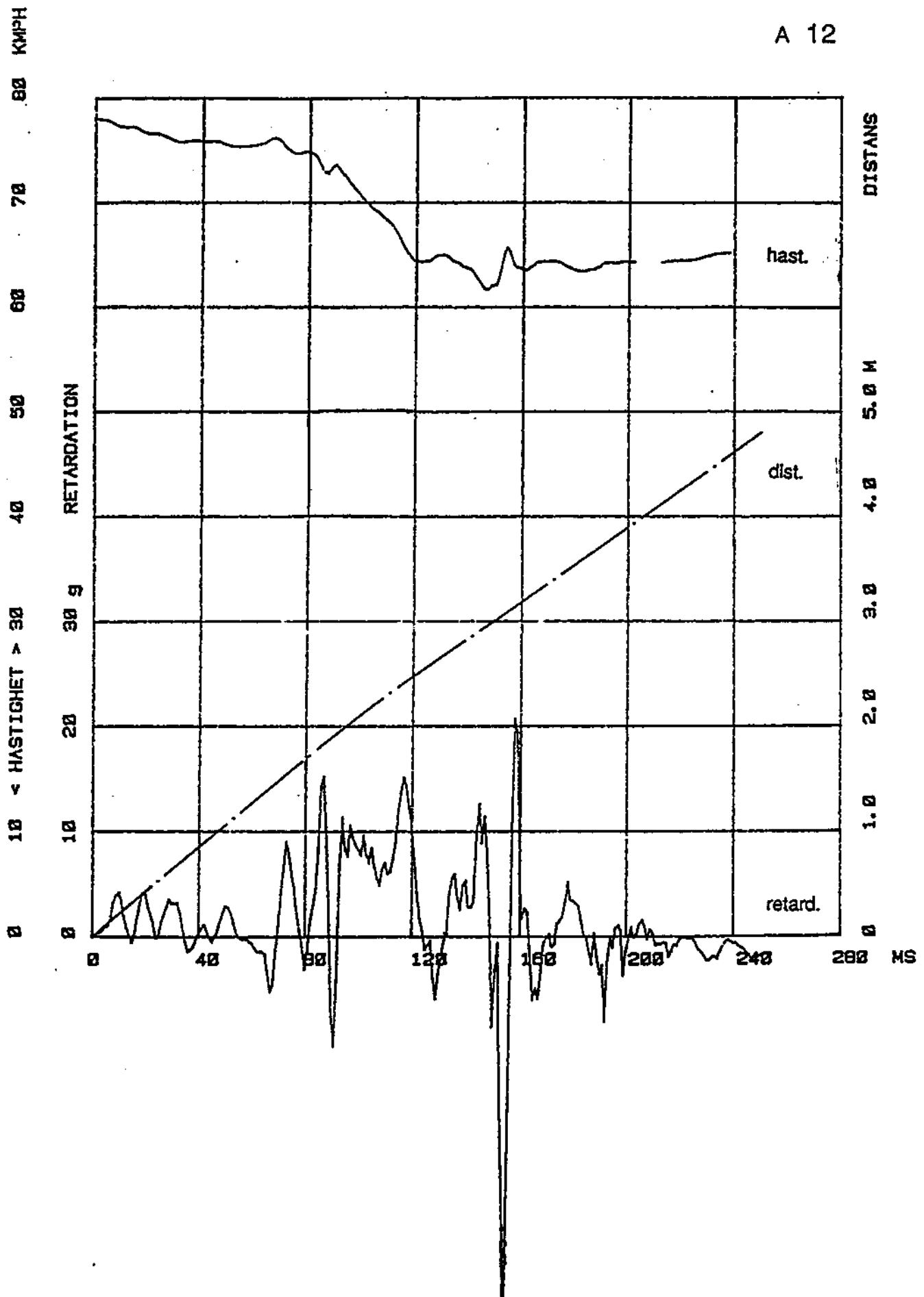




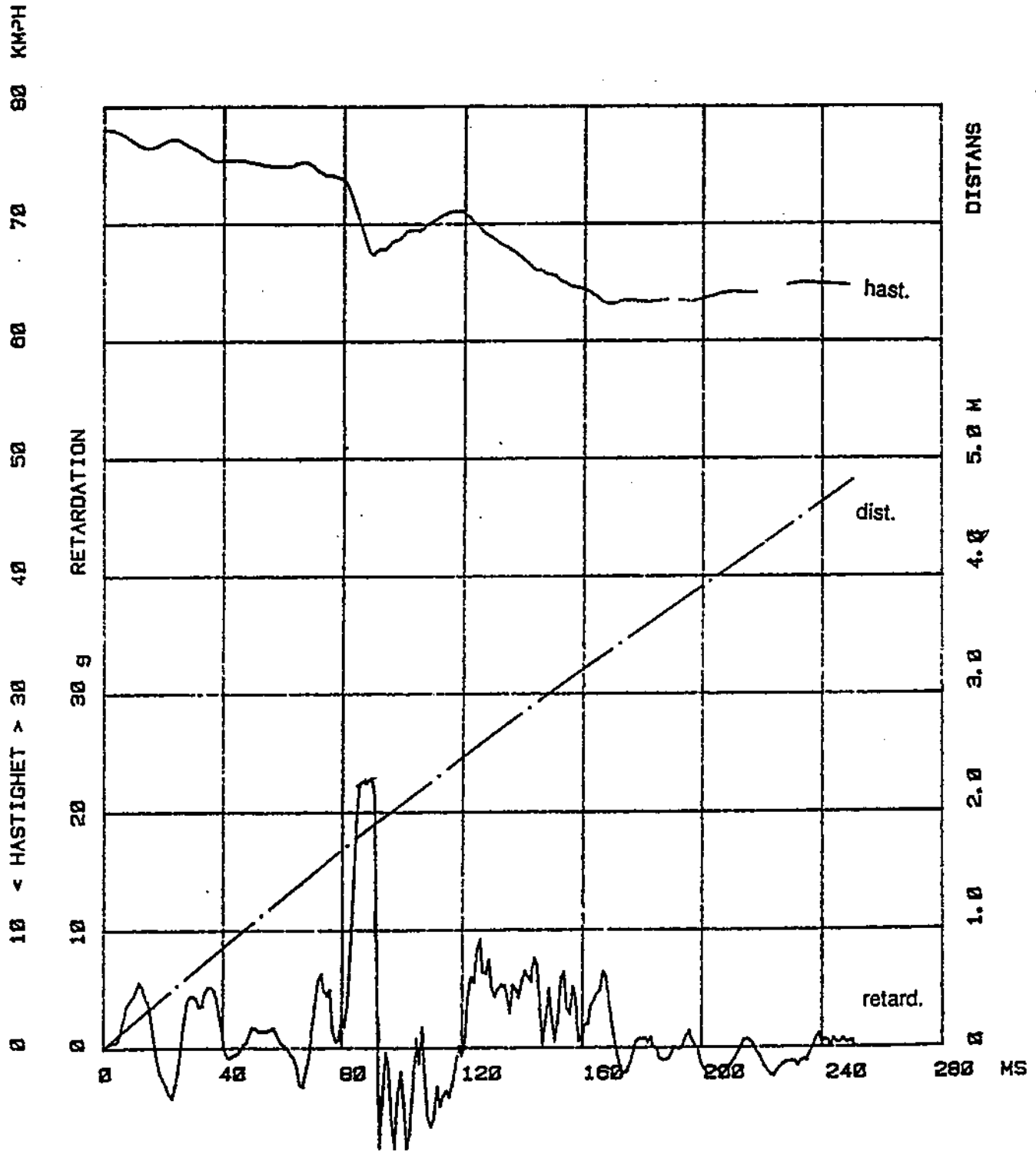
Figur A4.2, Kraftgång i höger taksvällare: motsvarar fig.4.2 .



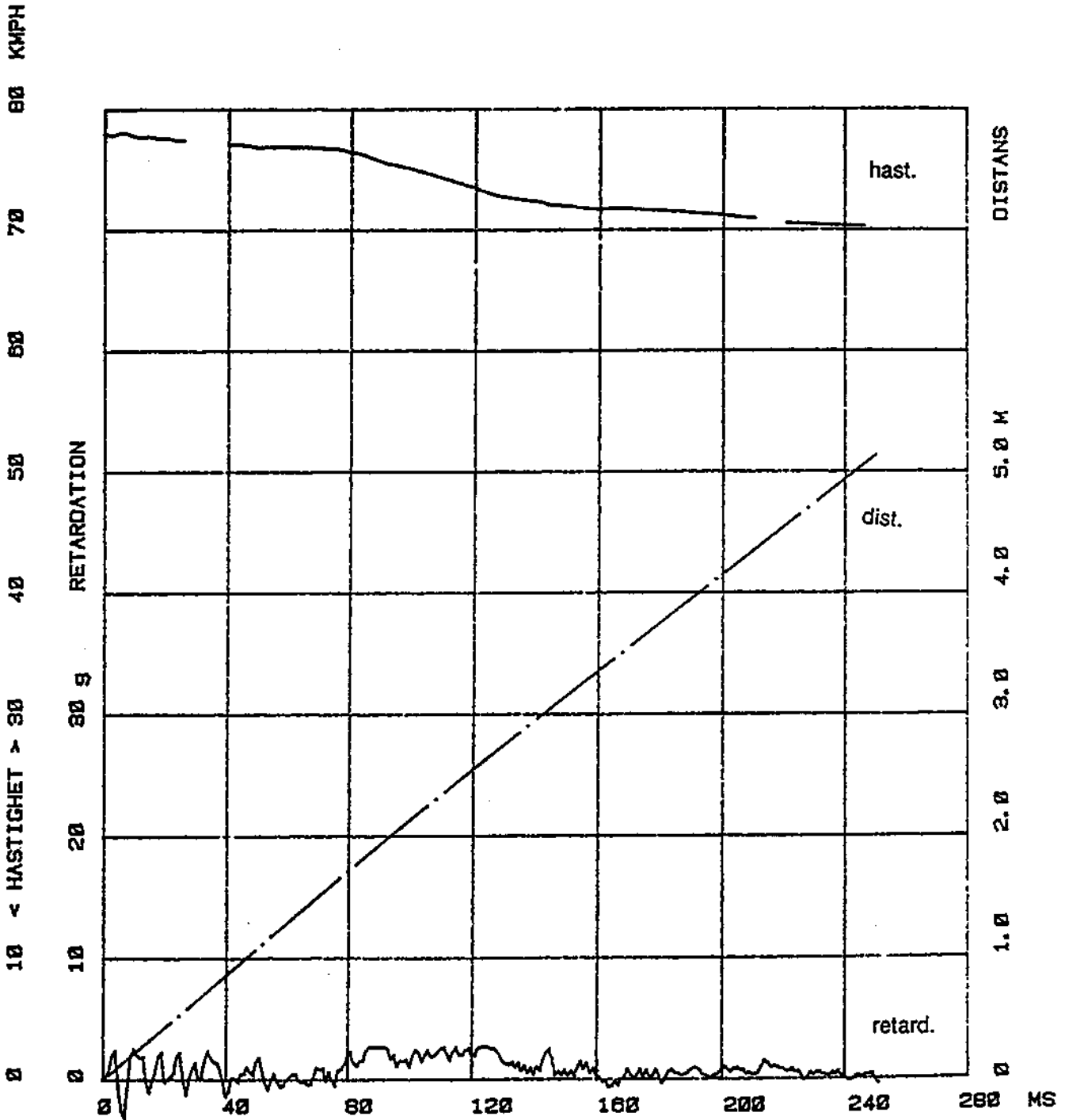
Figur A4.3, Summasignalen från de i taksvällarna monterade kraftgivarna: motsvarar fig. 4.18.



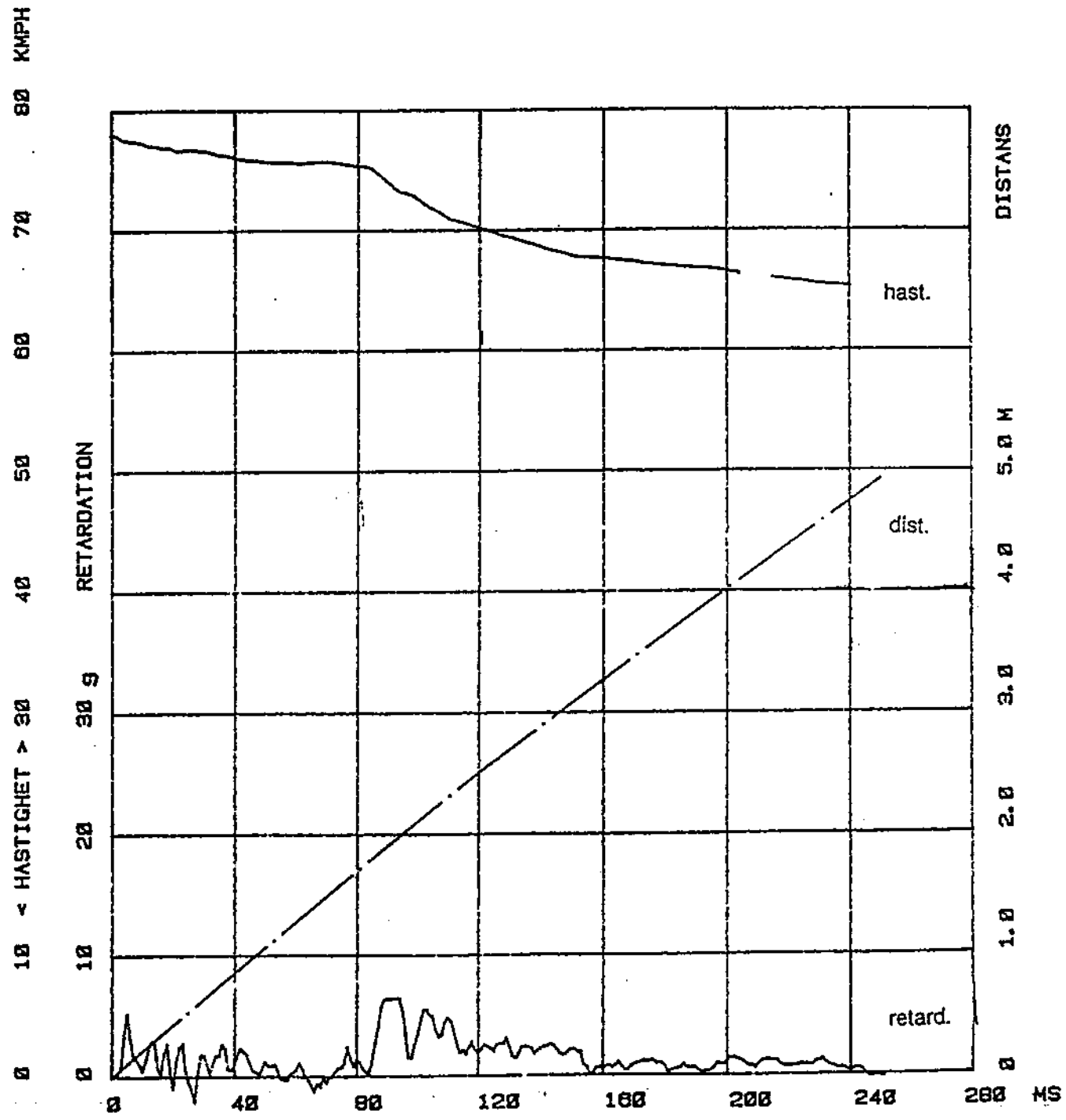
Figur A4.4, Accelerometerkurva för vänster b-stolpe: motsvarar fig. 4.3 .



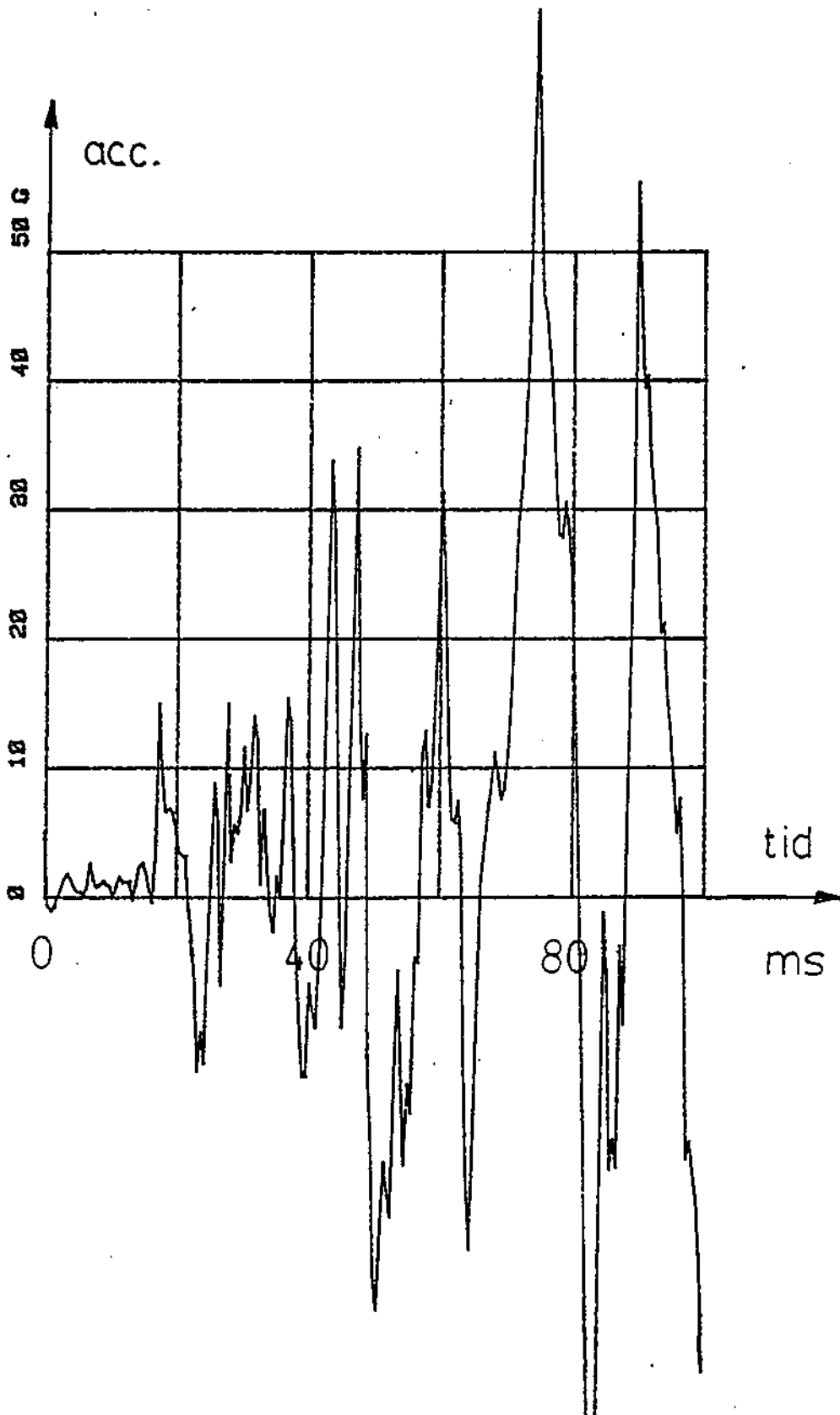
Figur A4.5 Accelerometerkurva för höger b-stolpe: motsvarar fig. 4.4 .



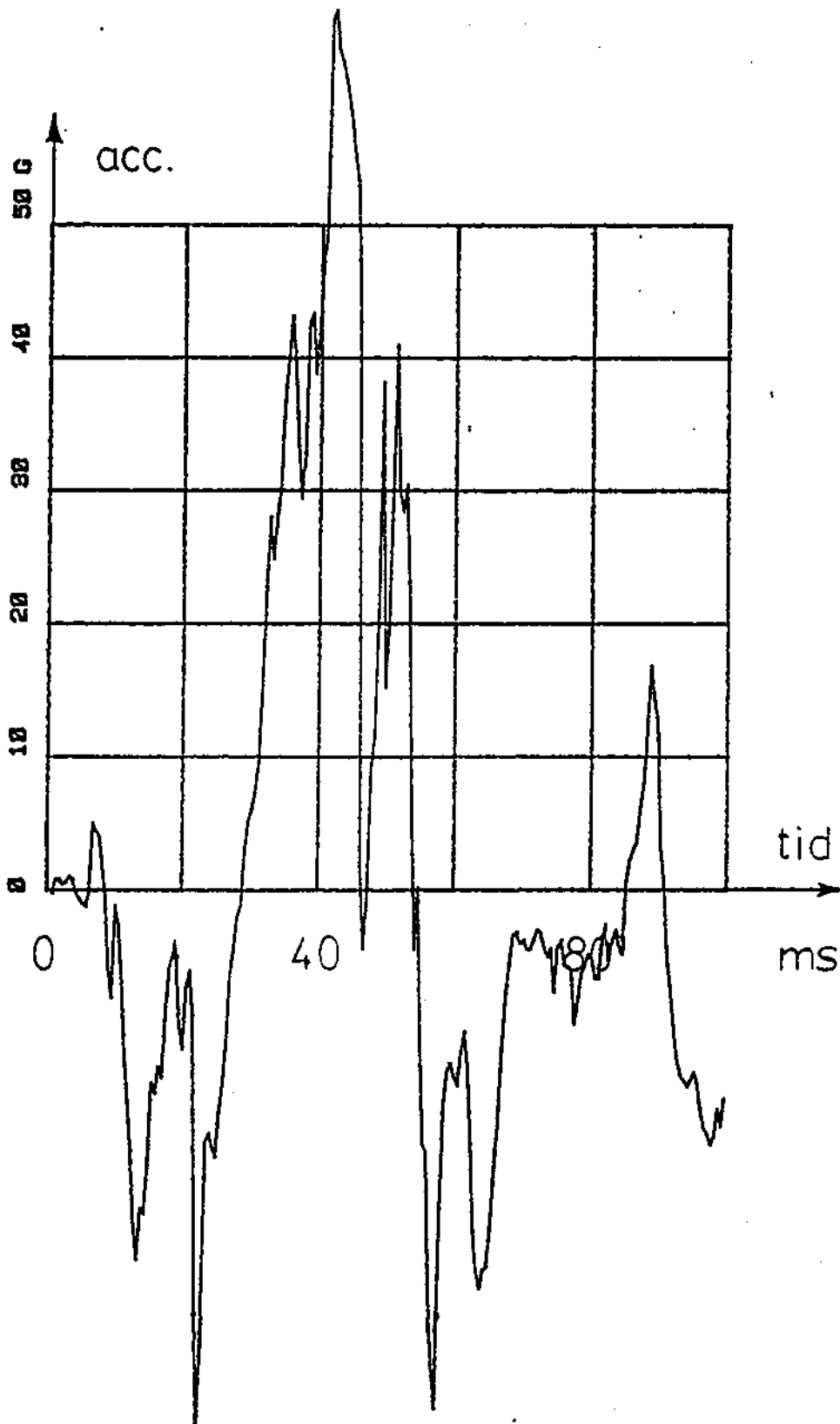
Figur A4.6 Accelerometerkurva från vänster tröskel: motsvarar fig. 4.5 .



Figur A4.7 Accelerometerkurva från höger tröskel: mosvarar fig. 4.6 .

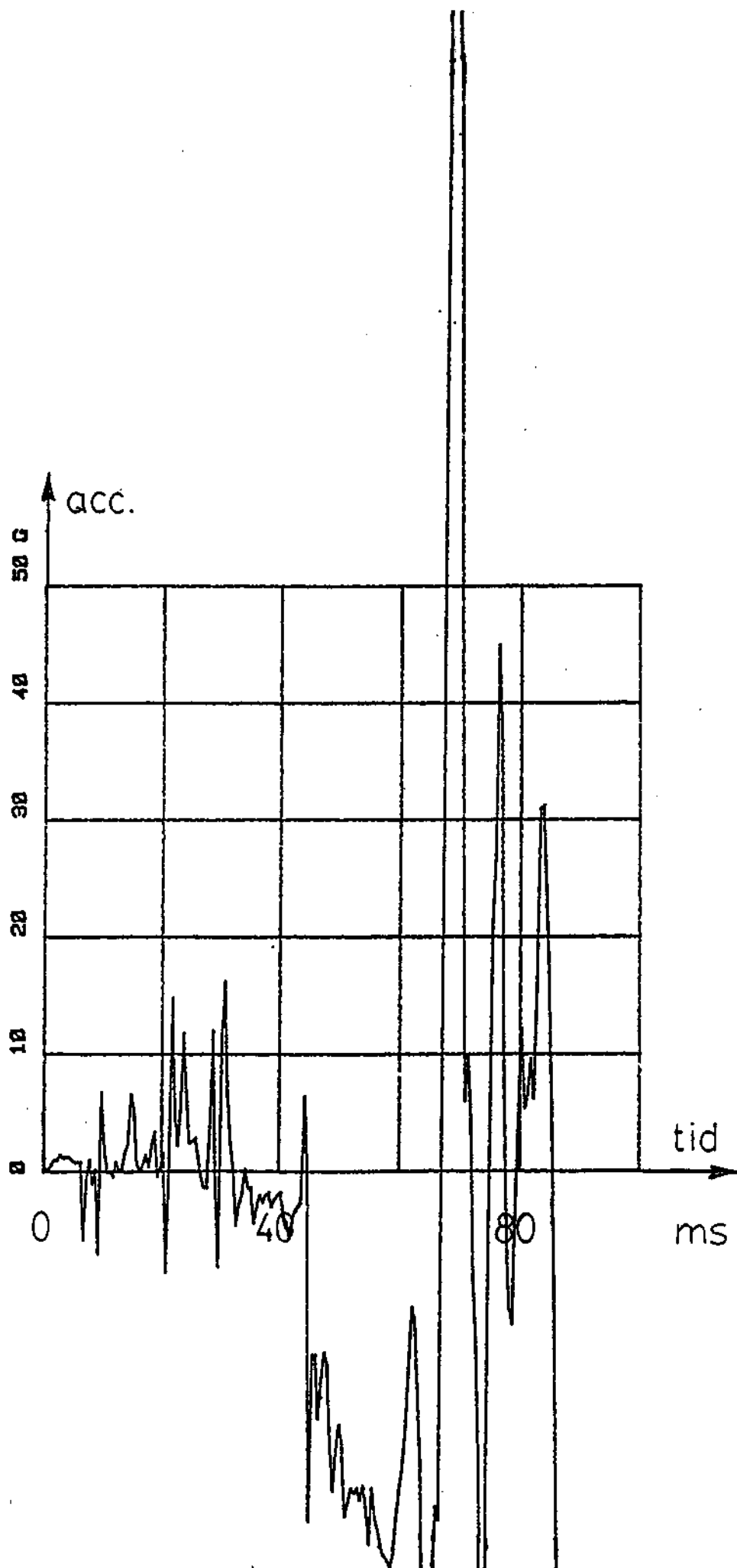


Figur A4.8 Acceleration hos övre vänstra spettet: motsvarar fig. 4.7 .

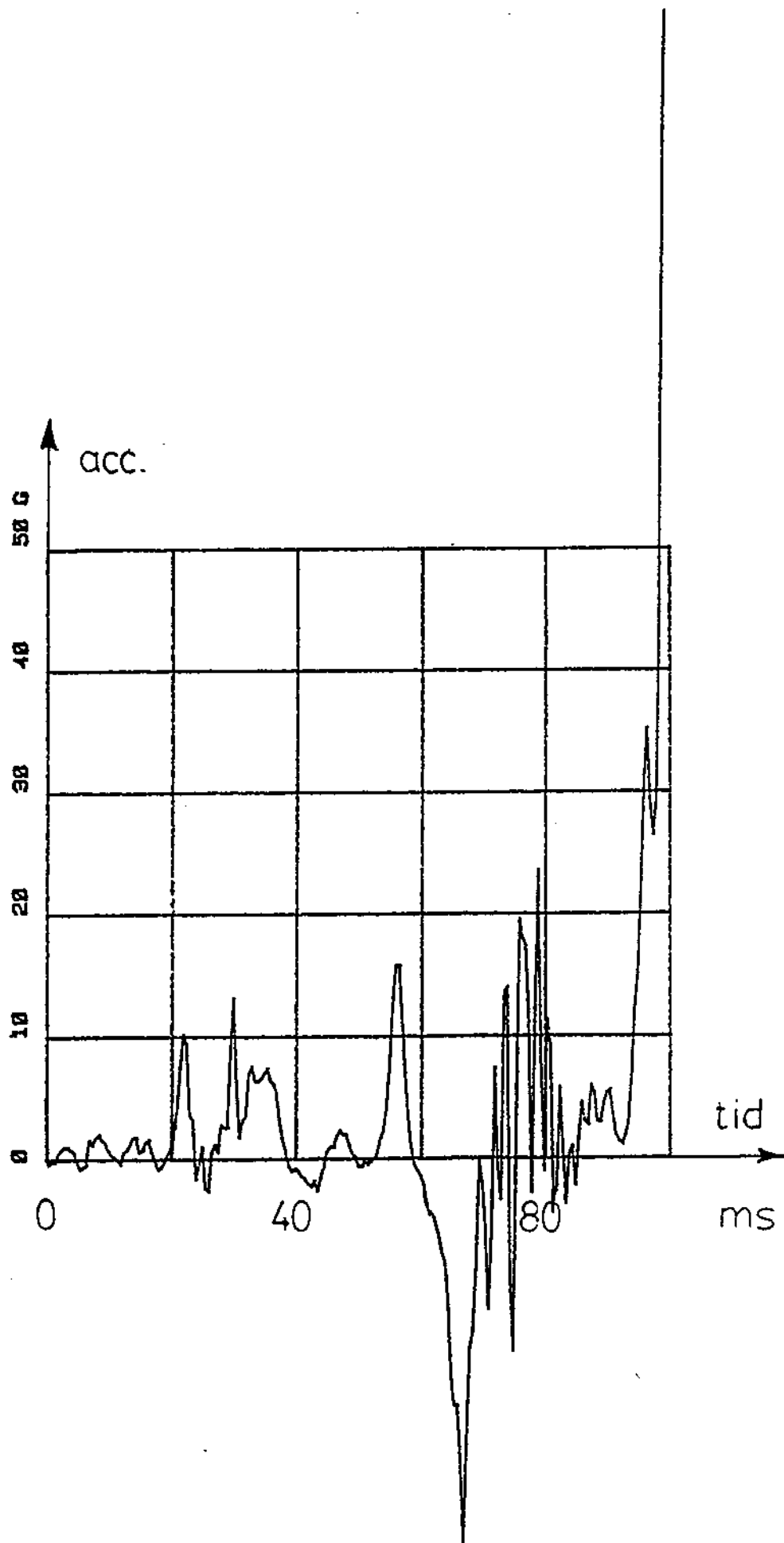


Figur A4.9 Acceleration hos övre vänstra referensen: motsvarar fig.4.8 .

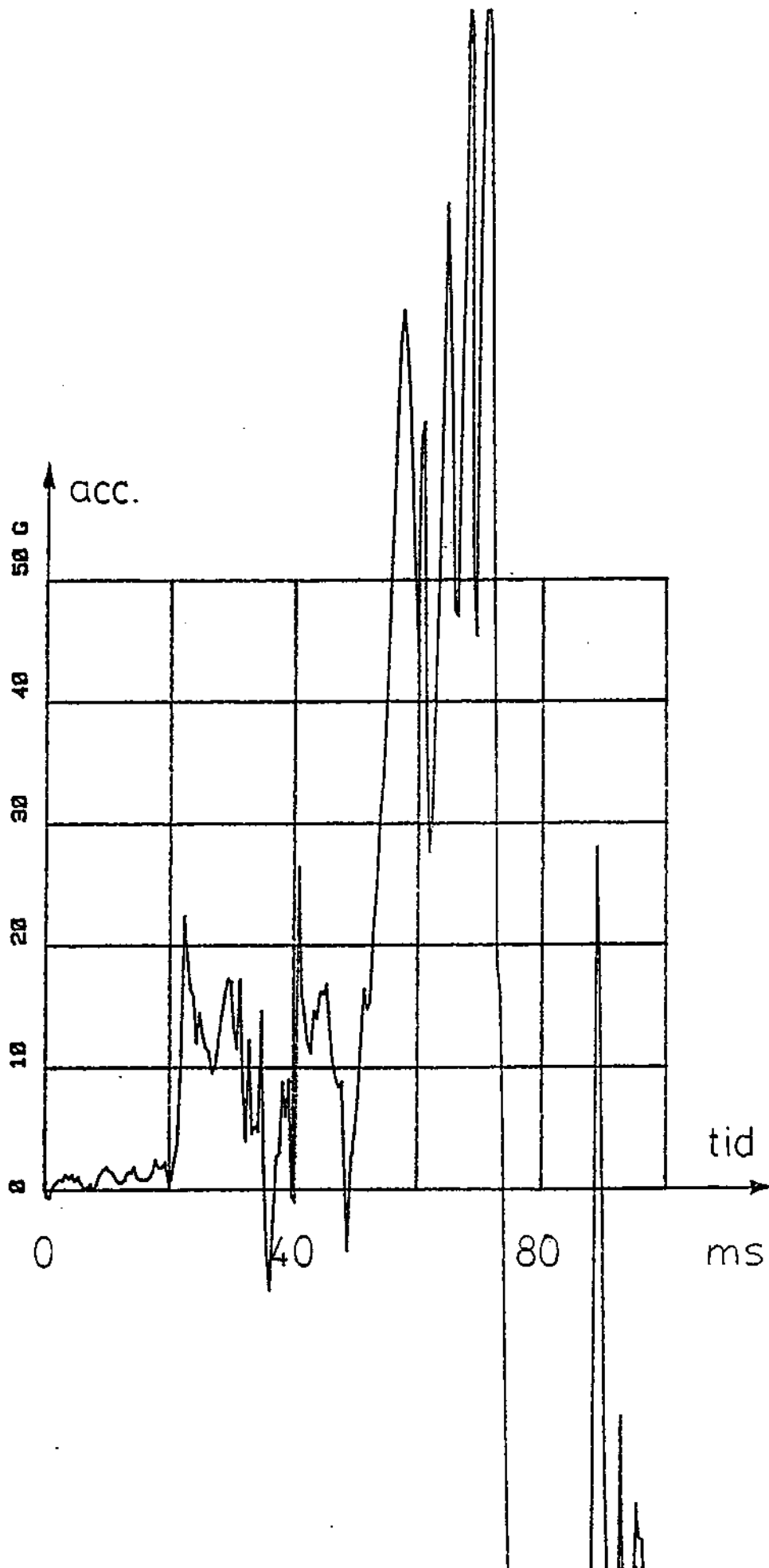




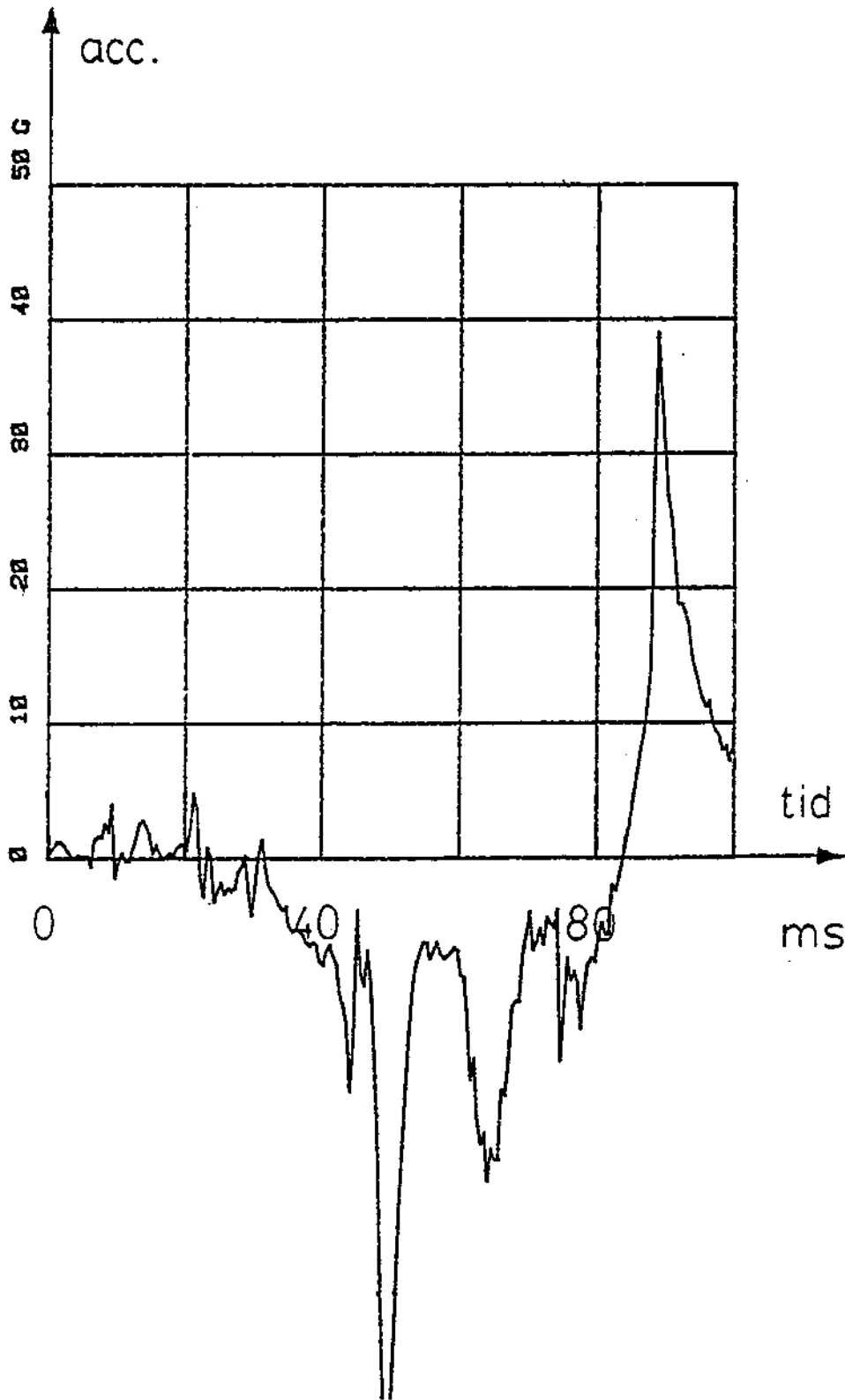
Figur A4.10 Acceleration hos övre högra spettet: motsvarar fig.4.9 .



Figur A4.11 Acceleration hos övre högra referensen: motsvarar fig.4.10 .



Figur A4.12 Acceleration hos spettet nedtill i mitten: motsvarar fig.4.11 .



Figur A4 .13 Acceleration hos nedre mittre referensen: motsvarar fig.4.12 .