

ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 565 2004



Riktning och hastighet hos kedjeskott

Louise Johansson, Svensk Maskinprovning
Ulf Hallonborg & Paul Granlund, Skogforsk



Ämnesord: Kedjeskott, sågkedjor, maskinteknik, säkerhet, skördare

Skogforsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

Skogforsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom Skogforsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna m.fl., som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

Skogforsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på tre centrala frågeställningar: Skogsodlingsmaterial, Skogsskötsel samt Råvaruutnyttjande och produktionseffektivitet. På de områden där Skogforsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien ARBETSRAPPORT dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från Skogforsk publiceras i följande serier:

NYTT: Nyheter, sammanfattningar, översikter.

RESULTAT: Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

REDOGÖRELSE: Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

HANDLEDNINGAR: Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

ISSN 1404-305X

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Summary.....	2
Bakgrund	2
Syfte	2
Två etapper	2
Förstudie	3
Genomförande	3
Resultat	4
Snärteffekten påvisad.....	4
Krafter i kedjan	5
Kedjehastighet	5
Hinder för kedjan.....	6
Primitiva skottskydd.....	7
Huvudstudie	7
Genomförande	7
Fullskalig testtrigg motsvarande normala driftförhållanden	7
Genomfört testprogram.....	9
Kedjans rörelse filmad	9
Kedjeskottens riktning.....	9
Kedjeskottens hastighet	9
Olika delars hastighet och energi	10
Resultat	10
Hur bildas kedjeskotten?	10
Skottens riktning.....	11
Kedjeskottens hastighet	11
Kedjedelarnas olika hastigheter	11
Enkelt skydd.....	12
Slutsatser och diskussion.....	12
Referenser.....	12
Genomförda försök Bilaga 1	13
Bildsekvenser Bilaga 2	14

Sammanfattning

I denna undersökning har det fastställts hur kedjeskott på skördaraggregat uppstår. I en verklighetsnära rigg studerades hur sågkedjan rör sig efter det initiala brottet och tills kedjeskottet uppstått, vilken riktning skottet får i förhållande till sågsvärdet och vilken hastighet det har. Det visar sig att skottet skapas ur den ”pisksnärt” som bildas när den fria kedjeänden efter brottet rullar ut bakom drevet respektive framför noshjulet, beroende på var kedjan slits av. Med hjälp av höghastighetskamera har verkliga skott dokumenterats. Kedjeskotten skapas i ett begränsat område relativt svärdet och det är därför möjligt att med skydd hindra kedjans rörelse så att skott ej kan uppstå.

Summary

Within this research we have shown how chain shots from processors accrues. The movement of the chain immediately after the breakage has been studied in a rig especially built for testing chain shots. The speed and the direction of the shots have been recorded. It was shown that the shots come from a “whiplash” on the end of the chain, when the chain rolls backwards the sprocket or forwards the nose wheel, depending on where the breakage of the chain is. The single shots have been filmed with a high-speed camera. The shots start in a certain area in relation to the guide bar. Tests have shown that it is possible to construct a protective equipment which prevent the movement of the chain in such a way that the “whiplash” does not occur.

Bakgrund

Det rådde stor osäkerhet om hur kedjeskott uppstår och framför allt vilken riktning och hastighet de har. En allmänt spridd uppfattning har varit att kedjan efter det initiala brottet kastas ut från svärdet i en relativt vid båge. I så fall är kedjans riktning i förhållande till svärdet, när den sedan sträcks, ganska osäker. De av den avslutande snärteffekten losslitna delarna, kedjeskottet, kan då få högst varierande riktning. Om en sådan variation föreligger försvårar det utformningen av effektiva skydd mot kedjeskott på skördaraggregaten.

Syfte

Syftet har varit att undersöka hur sågkedjan rör sig efter det initiala brottet och tills kedjeskottet uppstått, vilken riktning det får i förhållande till sågsvärdet och vilken hastighet det har.

Två etapper

Projektet har genomförts i två etapper. I en förstudie har kedjans rörelse runt svärdspetsen studerats och fotograferats vid låga hastigheter. I dessa hastigheter kunde några kedjeskott inte förväntas. Resultaten från denna studie lade grunden för utformning av en mer avancerad försöksrigg där normala driftförhållanden kunde skapas. I den har omfattande försök utförts, där kedjans rörelse filmats och skottens hastighet och riktning fastställts.

Förstudie

GENOMFÖRANDE

Kedjans rörelse runt svärdspetsen studerades i en enkel rigg, figur 1, där kedjan sträcktes med fjäder som förspändes med en hydraulcylinder tills en brytpinne skjuvades av och släppte iväg den ände av kedjan som var fäst på svärdets översida. Den kraft som uppnåddes när brytpinnen gick av mättes med en dynamometer. Kedjans rörelse filmades med en videokamera med 1 000 bilder per sekund mot en rutig bakgrund. Bildfrekvensen var tillräcklig för att se kedjans beteende och med hjälp av rutmönstret uppskattades dess hastighet som kedjeändens förflyttning mellan två bilder, en millisekund. Prov gjordes med kedjor av olika längd som dels fick röra sig fritt i luften, dels slå mot hinder. Hindren var fästade i balkar framför noshjulet, figur 2, och satt på olika avstånd och höjd framför noshjulet. Slutligen simulerades enkla skottskydd också de fästade framför noshjulet, men så nära att någon snärt i kedjan inte kunde få plats.



Figur 1.
Enkel testrigg för förstudie.

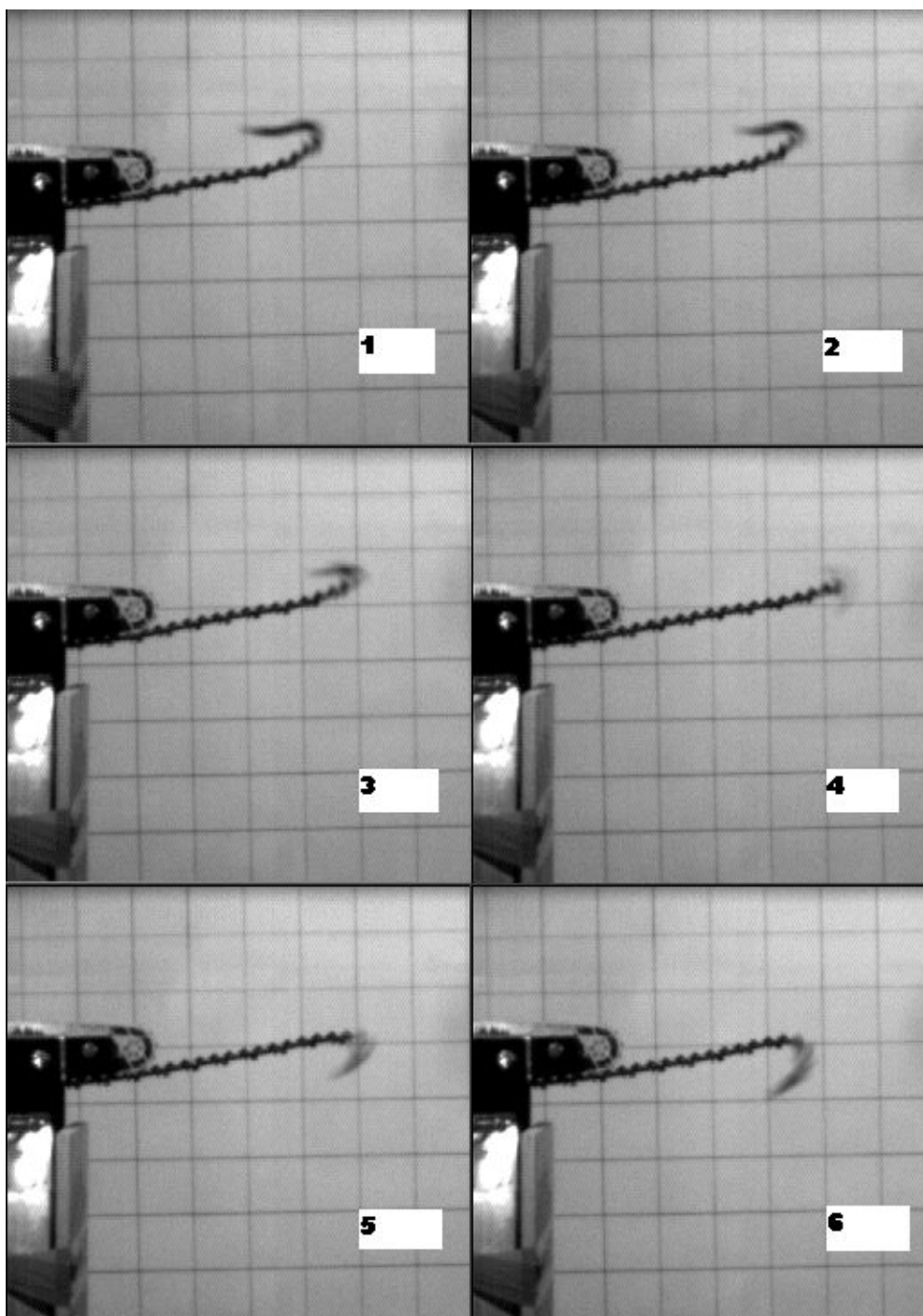


Figur 2.
Riggens med monterat hinder.

RESULTAT

Snärteffekten påvisad

En kedja som inte hindras efter det initiala brottet uppför sig på ett mycket repeterbart sätt. Den kastas inte ut från svärdet utan "rullar ut" i svärdets riktning med i stort sett bibehållen form. När den nått nästan maximal längd vrider sig de yttersta länkarna med mycket hög hastighet kring sina egna nitar och ger snärteffekten som kan avknoppa ett kedjeskott. Figur 3 visar en kedja som rör sig fritt i luften under snärtögonblicket.



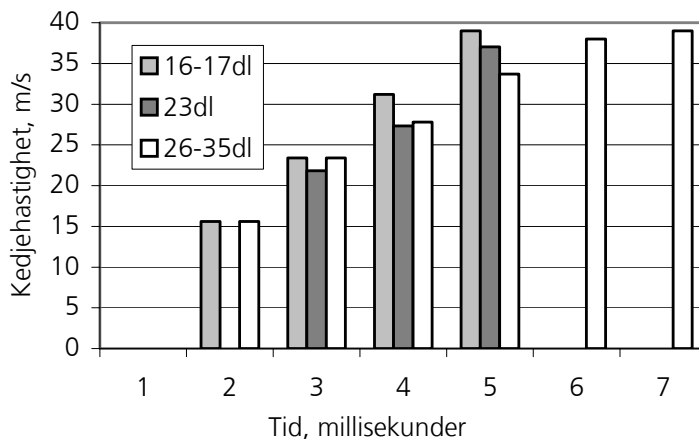
Figur 3.
Snärteffekten hos en fri kedjeände.

Krafter i kedjan

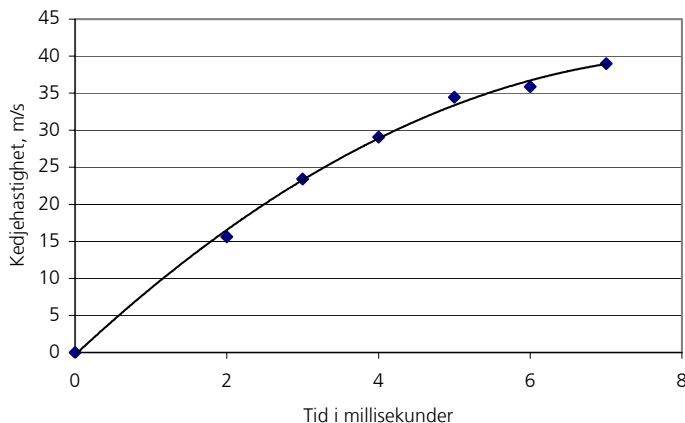
Dragkraften i kedjan när brytpinnen gått av varierade mellan 6 och 7,3 kN beroende på spridning i brytpinnens skjuvhållfasthet. I genomsnitt var den 6,7 kN. För skadade kedjor är brottkrafter av den här storleksordningen ganska vanliga. Med den grova metod vi använde för att skatta kedjans hastighet har vi inte kunnat konstatera att brottkraftens variation haft någon inverkan på kedjans acceleration.

Kedjehastighet

Kedjans längd räknat från noshjulets vertikala tangent till brytpinnen varierades mellan 16 och 35 drivlänkar motsvarande 33 och 72 cm. En kort kedja med liten massa får snabbare acceleration, figur 4, men hinner inte nå samma hastighet före snärten som en lång kedja. Figuren visar den uppskattade hastigheten strax före snärten. Av figur 5 som visar medelhastigheten framgår också att accelerationen avtar med tiden, kurvan böjer av nedåt, vilket är naturligt eftersom fjäderkraften avtar mer ju längre sträcka kedjan har att gå före snärten. Detsamma gäller den elastiska energi som är lagrad i en spänd kedja.

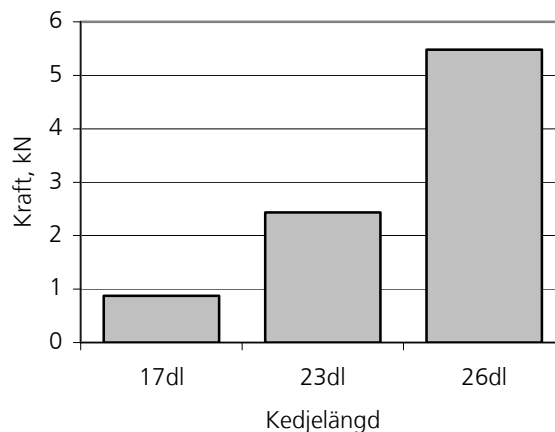


Figur 4.
Uppnådd hastighet vid olika kedjelängd (dl = drivlänkar).



Figur 5.
Kedjornas medelhastighet vid olika tid efter brott.

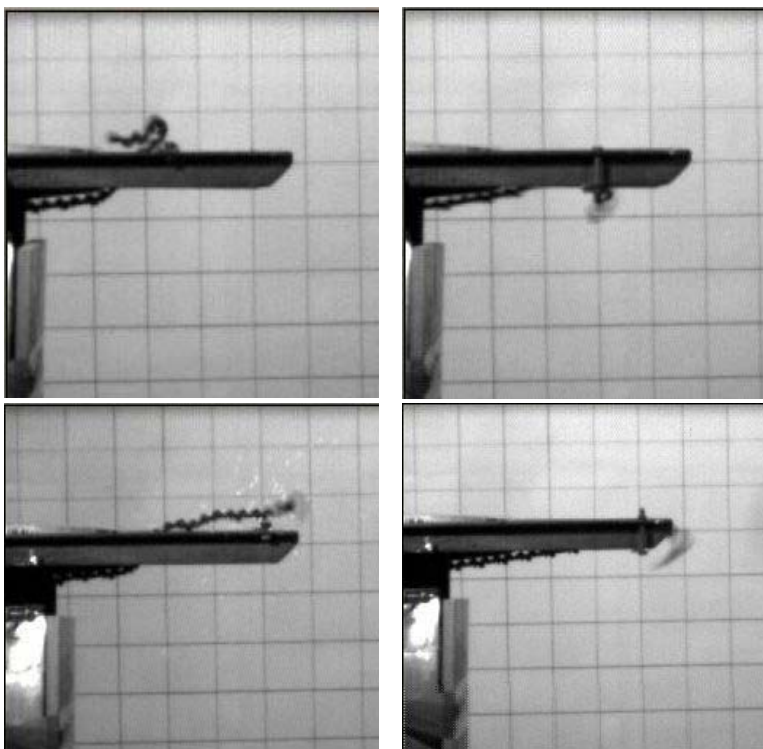
Periferihastigheten i snärten har uppskattats till 50, 80 och 115 m/s för kedjor med 17, 23 resp. 26 drivlänkar. Ur periferihastigheten, en antagen skottvikt och radie har kraften i kedjan under snärten uppskattats till maximalt 5,5 kN, figur 6, vilket är ungefär hälften av brottkraften hos en oskadad kedja.



Figur 6.
Uppskattad snärtkraft vid olika kedjelängd
(dl = drivlänkar).

Hinder för kedjan

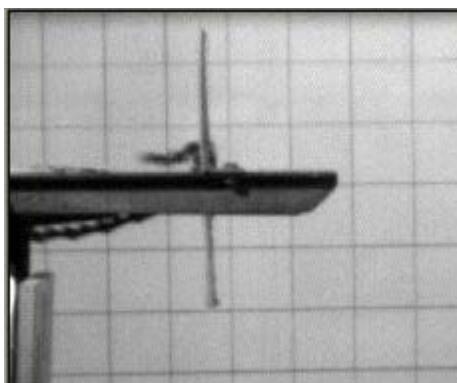
Framför noshjulet fixerades ett liggande plattjärn på olika avstånd, 9,5 – 22 cm, från och på olika nivåer – 2,5 cm över, respektive 3,5 cm under noshjulets centrum. Järnet placerades så att kedjan alltid nådde fram till det innan den rullat ut helt. Provet avsåg att efterlikna de järnbitar som normalt sitter i såglådans bakkant på de flesta skördaraggregat. Figur 7 visar några olika fall. Kedjan hindras visserligen i viss mån i sin utrullning men den kan rulla förbi smala hinder och fortfarande åstadkomma snärter. Det bekräftar att kedjor mycket väl kan ta sig ut ur såglådan baktill och orsaka kedjeskott.



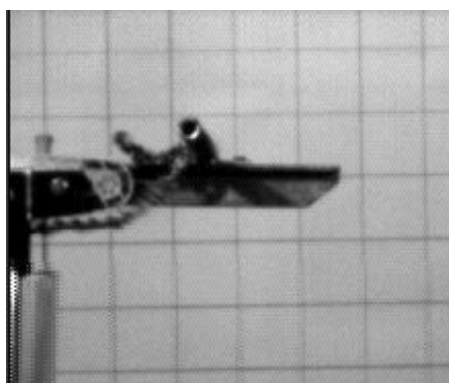
Figur 7.
Kedjans beteende vid olika hinder.

Primitiva skottskydd

På någon decimeters avstånd från noshjulet placerades vertikala skivor som fångade upp kedjan innan snärten inträffat. Hindren var en 3 mm tjock masonitskiva, figur 8, och en 7 mm tjock laminatskiva. Kedjan gick aldrig igenom något av dessa enkla hinder utan utrullningen plattades till mot skivan och miste kraften. Märkena antyder att kedjan bibehåller sin ”sågande” rörelse även under utrullningen. När den träffade laminatskivan i kanten sågade den ett djupt hack. Med tillräckligt hög energi i kedjan skulle den sannolikt såga sig igenom ett skydd och ha tillräcklig energi kvar för att ge en snärteffekt och ett eventuellt kedjeskott. Även en bit hydraulslang användes som hinder. Den var fastskruvad på ena, figur 9, eller båda sidor om svärdets plan. Slangen fjädrade undan och dämpade kraften i kedjan så att någon snärt inte uppstod.



Figur 8.
Kedjan träffar en 3 mm tjock masonitbit.



Figur 9.
Kedjan studsar mot en fjädrande hydraulslang.

Huvudstudie

GENOMFÖRANDE

Fullskalig testrigg motsvarande normala driftförhållanden

En speciell rigg byggdes där huvudparten av ett skördaraggregat monterades, figur 10. Riggen var byggd så att kedjan drevs av en 15 kW elmotor med varvtalsstyrning, för att önskad hastighet på kedjan kunde ställas in.



Figur 10.
Testrigg.

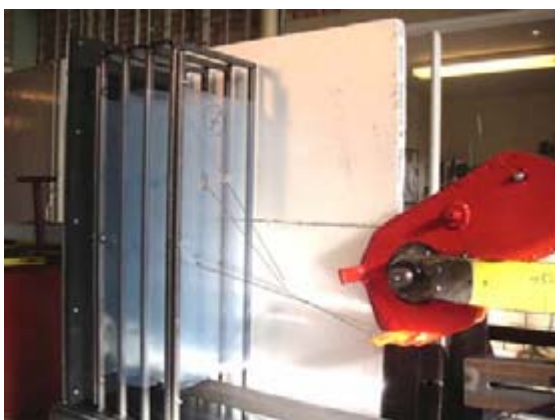
Försöken genomfördes vid kedjehastigheterna 20, 30, 40 och 50 m/s. Kedjehastigheten i praktisk drift är cirka 40 m/s vid kapning. Sträckning och smörjning av kedjan skedde med ordinarie anordning till det valda skördaraggregatet. En speciell anordning med ”yxa” slog an underifrån mot kedjan, när kedjan nått den inställda hastigheten. Yxan kunde förskjutas i längdriktningen på svärdet för att kunna simulera att brottet uppstår vid olika avstånd från kedjedrevet, vilket motsvarar att kedjan hugger fast i något eller kläms under kapning, figur 11. Då yxan klämmer fast kedjan, slits kedjan av



Figur 11.
Klämyxa.

eftersom drivningen fortsätter att dra i kedjan tills brottgränsen på kedjan nås. Ett stort svänghjul var monterat på drivaxeln. Svänghjulets tröghetsmoment säkerställde att kedjan fortsatte att drivas trots att kedjan klämts fast och belastningen på drivmotorn ökade. Detta innebär att kedjebrottet skedde när kedjan mellan kedjedrevet och yxan sträcktes till sin egen brottgräns. I tidigare undersökningar har

denna kraft visats vara cirka 10 000 N för oanvända kedjor [1][2][3]. Efter brottet fortsatte den fria änden av kedjan att drivas med den ursprungliga hastigheten, tills den lämnade drivhjulet på grund av centripetalaccelerationen. Kedjan kastades bakåt (åt vänster) av hastigheten och av att sträckkraften i kedjan släppte. Bakom kedjedrevet fanns väggar av tunn plastfilm uppspända så att skottens hål kunde registreras, och skottriktning bestämmas, figur 12. Burens bakvägg var beklädd med en 20 mm tjock matta av slitgummi för att fånga upp skottdelarna. Även burens tak var försedd med uppspänd plast och platta för att registrera och fånga upp skotten. Av säkerhetsskäl var hela riggen inbyggd i en demonterbar skyddsbur, figur 13. För att hela förloppet skulle kunna filmas med snabb videokamera var en 12 mm margardruta monterad i burens framsida.



Figur 12.
Registrering av skottens riktning.



Figur 13.
Testrigg med skyddsbur.

Genomfört testprogram

Totalt har mer än 70 försök genomförts, varav ett tiotal blev misslyckade. Registrerade försök finns redovisade i Bilaga 1. Försöken har genomförts vid olika kedjehastigheter, olika avstånd från kedjedrev till brottställe, med kedjan klämd både på ovan och undersidan av svärdet, samt med olika lägen på hinder bakom kedjedrevet

Kedjans rörelse filmad

Samtliga försök har videofilmats med 100 bilder per sekund. 28 försök filmades med höghastighetskamera med en bildhastighet på 1 000, 2 000 eller 5 000 bilder per sekund. Vid de högsta bildhastigheterna kunde man också se själva skotten på filmen, se figur 19 och 20 i bilaga 2.

Kedjeskottens riktning

Det fanns väggar av plastfilm uppsatta i bakre delen av riggen. Genom att sticka styva ståltrådar genom skotthålen, kunde skottens riktning och utgångspunkt bestämmas, figur 12.

Kedjeskottens hastighet

En ny mätteknik utvecklades för att mäta kedjeskottens hastighet. På visst avstånd från varandra arrangerades två pappersark, vart och ett laminerat med två skikt av aluminiumfolie isolerade från varandra. När kedjeskottet passerade genom ett ark gav det kontakt mellan skikten. Genom att mäta tiden mellan de två kontakttillfällena kunde hastigheten beräknas med hjälp av sträckan mellan arken, figur 14.



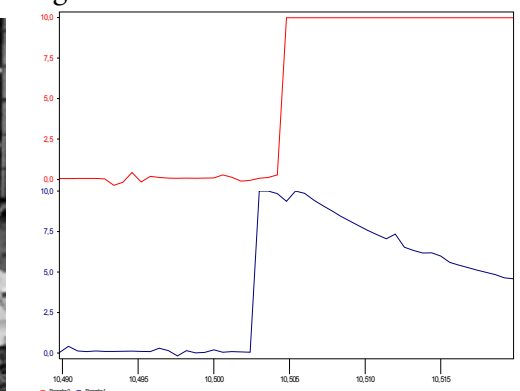
Figur 14.
Uppsättning med
kontaktskikt.

Metoden hade verifierats dels med hjälp av grytpistol (22 kort) och med hagelgevär där patronerna laddats med kedjeskrot. Uppmätt hastighet för pistolskotten var 145 och 183 m/s och för hagelskotten 345 och 418 m/s. Metoden bedömdes därför klara aktuella hastigheter hos kedjeskott.

Hastigheten mättes med en Fieldwork mät dator och ett 16 kanalers mätkort från Strawberry Tree (figur 15). Programmet för insamlingen av data var DasyLab och samplingshastigheten 2 mikrosekunder. Tiden för skottet att passera mellan mätskikten anges av avståndet mellan flankerna i figur 16 som avser skott 6 i tabell 1.



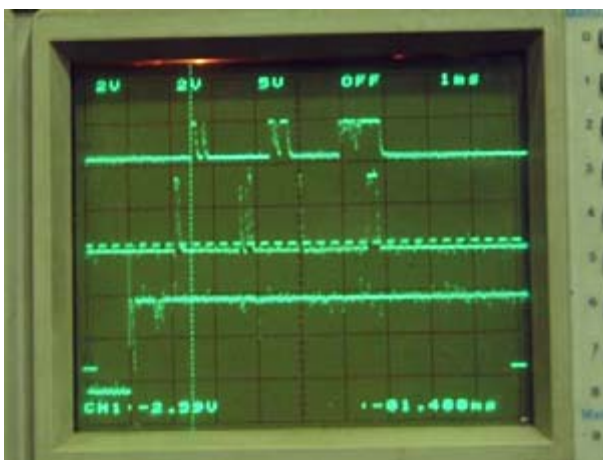
Figur 15.
Mät dator.



Figur 16.
Kurvornas flanker anger när skotten går genom mätskiktet.

Olika delars hastighet och energi

Kompletterande mätningar utfördes för att kunna hålla isär hastigheten hos olika kedjedelar. Här delades kontaktskikten upp på olika nivåer i höjddled och separata registreringar av tiden för de olika kedjedelarna gjordes med oscilloskop. Noggrannheten i tidmätningen blev på detta sätt mycket hög eftersom oscilloskopet har en upplösning på 0,001 millisekunder, figur 17.



Figur 17.
Test 2 med oscilloskop.

RESULTAT

Hur bildas kedjeskotten?

Efter brottet fortsatte kedjan runt drevet och framåt på grund av sin rörelseenergi. På grund av att sträckkraften i kedjan frigjordes, vid brottet, fick den fria kedjeändan en högre hastighet än den hastighet kedjan som helhet hade vid brottögonblicket. Den inspända fjädringskraften övergick i rörelseenergi hos den fria kedjeändan. Den fria kedjeändan fortsatte bakåt i kedjans ursprungliga rörelseriktning (figur 18, 19 och 20 i bilaga 2). Läget på svärdet och svärdets form fick här betydelse för kedjans riktning bakåt eftersom kedjan fortsätter i tangentens riktning. Kedjan rullade därför ut bakåt tills den sista delen av kedjan vände i rörelseriktningen. I detta ögonblick vred de sista länkarna sig kring sina

nitarna i mycket hög hastighet. Denna "pisksnärt" skapade kedjeskottet. Samtliga skott bildades i en punkt på ett visst avstånd bakom kedjedrevet respektive framför noshjulet. Avståndet beror på kedjans ursprungshastighet. Till skillnad från slutsatser från teoretiska studier gjorda på 1980-talet [4] har vi nu visat att skotten bildas inom ett bestämt område och orsakas av att kedjan i detta område bildar en kraftig "pisksnärt". De flesta försöken i riggen genomförda vid kedjehastigheter som överstiger 30 m/s resulterade i kedjeskott.

Skottens riktning

Kedjeskotten alstrades snett bakåt och uppåt om kedjan slets av mellan kedjedrev och kapställe (undersidan av svärdet). Om kedjan klämdes fast på övre sidan på svärdet riktades skottet snett framåt och neråt. Riktningen på skottet påverkades av om kedjan slog i något hinder innan "pisksnärten" bildades. I det verkliga fallet är sågen inbyggd i en såglåda som beroende på fabrikat har olika tvärgående ribbor som utgör hinder. Riktningen på skottet påverkades också av hastigheten på kedjan och av avståndet från kedjedrevet till kedjebrottet.

Kedjeskottens hastighet

I huvudstudien hann vi mäta hastigheten på sex kedjeskott innan ett interface till mät datorn förstördes helt på grund av ett belastningsfel på nätanslutningen. Dessutom studsade skott nr 2 mot skyddsburens tak, vilket sänkte hastigheten och gjorde sträckan osäker. Skott 5 innehöll så många länkar att det trasade sönder pappersskikten så mycket att den tillryggalagda sträckan blev osäker. Data för skotten framgår av tabell 1.

Tabell 1.
Data för beräknade skotthastigheter.

Skott nr	Kedjehastighet, m/s	Uppmätt tid, ms	Sträcka, m	Beräknad hastighet, m/s	Kommentar
1	40	1,2	0,37	310	
2	40	1,2			Gått i tak
3	40	2,4	0,43	181	
4	40	1,8	0,325	184	
5	50				Ej sparad
6	50	2,0	0,38	194	

Kedjedelarnas olika hastigheter

Resultaten från de kompletterande mätningarna redovisas i tabell 2. I tabellen redovisas även vilken kedjedel som utgjorde själva skottet, dess vikt och den energi skottet fick. Av resultaten ser man att skotten gick iväg med hastigheter i storleksordningen 250 till 325 m/s oavsett om det var en nit, en enskild länk eller flera delar som sitter ihop, (1DL+2ML avser två drivlänkar med två mellanlänkar som sitter ihop), figur 21, bilaga 2. I test 5 och 6 registrerades två separata kedjedelar, utöver nitarna, som sköts iväg med olika hastighet, figur 22, bilaga 2. Eftersom de olika kedjedelarna sköts iväg i olika riktning bakåt var det möjligt att mäta den enskilda bitens hastighet. Man får största energin i skottet när flera länkdeler sitter ihop. Skottets anslagsenergi hamnar i storleksordningen mellan ett salongsgevär och en fågelstudsare med 2 till 4 grams kulvikt. Kedjedelarna hade så höga energier att fyrkantrör med 2 mm godstjocklek och liknande i riggens bakre del sköts igenom, figur 23, bilaga 2. Även nitarna fick samma höga

hastighet. Energin i nitarna blir dock liten. Vi uppmärksammade också att länkarna som sköts iväg hade mycket hög temperatur. Detta kan förklara att skotthålen i rutorna ser ut att vara svarta och smälta. Man har också, vid de verkliga tillbud som registrerats i fält, kunnat konstatera att det ser ut som att länkarna snarare smält än skurit sig genom rutan.

Tabell 2.
Data för beräknade skotthastigheter och energier.

Skott nr	Kedje-hastighet, m/s	Uppmätt tid, ms	Sträcka, m	Beräknad hastighet, m/s	Kedjedel	Vikt, g	Beräknad energi i skottet, Nm
1	50	1,24	370	298	DL+2ML	5,6	249
2	50	1,48	365	307	nitar	0,3	14
2	50	1,06	325	245	DL+2ML	5,33	282
3	50	1,48	420	284	2DL+2ML	9,63	388
4	50	1,28	390	305	2DL+2ML	9,66	449
5	50	2,96	420	142	DL+2ML	6,14	62
5	50	1,31	363	277	DL	2,69	103
6	50	1,10	355	322	ML	1,90	98
6	50	0,93	330	316	DL	2,37	118

Enkelt skydd

Ett antal försök med olika typer av skydd bakom kedjedrevet gjordes. Det visade sig att energin och kraften i kedjan som träffar skyddet var hög och därför krävdes ett skydd av relativt kraftigt stål för att stoppa kedjans rörelse bakåt, figur 24. Kedjan skar in i skyddet kraftigt och efter ett antal försök bildades djupa spår om inte materialet hade hård yta.

SLUTSATSER OCH DISKUSSION

Undersökningen har visat att kedjeskotten bildas i ett relativt begränsat område. Genom att förhindra kedjan att röra sig bakåt, så att pisksnärten ej kan bildas, elimineras kedjeskotten i den riktningen. Det bör därför bli fullt möjligt att på skördaraggregaten utforma ett skydd som hindrar att dessa kedjeskott bildas. Det är viktigt att principen för skyddet skall vara att fänga och hindra kedjans rörelse bakåt eller framåt i svärdets riktning, och inte syfta till att fänga själva kedjeskottet. En viss bredd på skydden krävs också för att kedjan inte skall kastas ut vid sidan av skyddet. Centrerung och rakhet relativt svärdets riktning har betydelse. När det gäller skott framåt i svärdets riktning blir det dock betydligt svårare att utforma ett skydd eftersom svärdet vrids ur sitt läge under kapning. Risken för skott i den riktningen är dock betydligt mindre eftersom de tillfällen när kedjan kläms enbart på ovansidan inte är lika vanligt förekommande. Under upparbetning med svärdet riktat vertikalt skulle dessutom ett skott framåt få en riktning snett nedåt mot marken relativt svärdets riktning.

Referenser

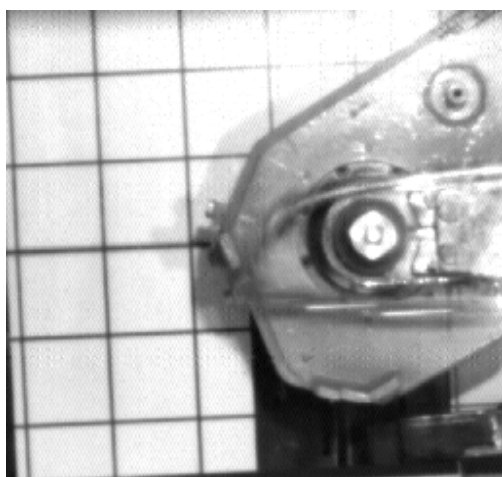
- [1] Hallonborg, U. 2003. Maskinkedjor i praktisk drift. Redogörelse nr 1, 2003.
- [2] Johansson, L. 1990. Maskinprovningarna, Meddelande 3248. SMP.
- [3] Johansson, L. 1991. Maskinprovningarna, Meddelande 3287. SMP.
- [4] Helgesson, T. & Söderqvist, A. 1985. Träteknikrapport nr 63. TräteknikCentrum.

Genomförda försök

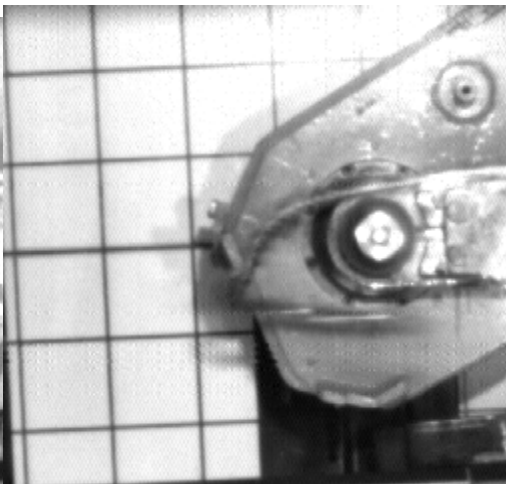
Bilaga 1

Test	Hinder	Riktning	Hast	Brottställe	Höghastighet	Skott	Anmärkn.	mätt hast
1	ja 30	bakåt	40	555		ja		
2	ja 30	bakåt	40	150		nej		
3	ja 30	bakåt	20	560		nej		
4	ja 30	bakåt	40	345			låg energi nitar	
5	ja 30	bakåt	20	105		nej		
6	ja 30	bakåt	40	565		ja		
7	ja 30	bakåt	40	555		ja	skär in i fyrkantsrör	
8	ja 30	bakåt	40	555		ja	skär in i fyrkantsrör	
9	ja 15	bakåt	40	555		ja	högre riktning, går igenom fyrkantsrör	
10	ja 15	bakåt	40	555		ja	högre riktning, går igenom fyrkantsrör	
11	ja 15	bakåt	40	335		ja, mindre	kedjan splittrats	
12	ja 15	bakåt	40	325		ja, mindre	kedjan splittrats	
13	ja 15	bakåt	40	nära drivhjul			låg energi	
14	nej	bakåt	40	335		nej	låg energi	
15	nej	bakåt	40	560		ja	kraftig rikoshett i taket	
16	nej	bakåt	40	555		ja	drivlänk fast i taket	
17	ja 30	bakåt	40	555		ja		
18	ja 35	bakåt	40	555		ja	många bitar, troligen vispat runt tvärså	
19		framåt	40	250				
20		framåt	40	250				
21	ja 30	bakåt	40	555	1 000	ja	med tidmätning	310
22	ja 30	bakåt	40	555	1 000	ja	studsar i tak	
23	ja 30	bakåt	40	555	2 000	ja	med tidmätning	181
24	ja 30	bakåt	40	555	2 000	ja	med tidmätning	184
25	ja 30	bakåt	50	555	2 000		en hel bit av kedjan gick av	70
26	nej	bakåt	50	555	2 000	ja	med tidmätning	194
27	nej	bakåt	50	555	5 000	ja		ej
28	nej	bakåt	50	555	5 000	ja		
29	nej	bakåt	50	555	2 000	nej	monterat gummiskydd	
30	nej	bakåt	50	555	2 000	nej	drivremsskydd	
31	nej	framåt	40	250	5 000	nej	en hel bit av kedjan gick av	
32	nej	framåt	40	250	5 000	ja		
33	nej	framåt	50	250	5 000	ja		ung 250
34	nej	framåt	50	250	fel			
35		framåt	50	250	5 000		kedjan splittras	
36		framåt	50	250	5 000	ja		
37		framåt	40	250	fel			
38		framåt	40	250	2 000	ja		ung 200
39		framåt	50	250	2 000	ja		ung 300
40		framåt	30	250	2 000	(ja)	låg energi	
41		framåt	30	250	2 000	(ja)	drivlänk snett uppåt	
42		framåt	40	kortare	2 000	nej		
43		framåt	40	kortare	5 000	nej		
44	ja 30	bakåt	30	565	2 000	nej	kedjan lämnar drivhjulet	
45	nej	bakåt	30	565	2 000	nej		
46	eget	bakåt	50	565	2 000	nej men bitar	konstruerat skydd	
47	eget	bakåt	50	565	2 000	nej	konstruerat skydd	
48	eget	bakåt	50	565	1 000	nej	konstruerat skydd	
49	eget	bakåt	50	565	1 000	nej	konstruerat skydd	
50	ja 30	bakåt	40	565		ja	demo på seminarium	
51	ja 30	bakåt	50	750		ja	med tidmätning	298
52	nej	bakåt	50	565		ja	med tidmätning	307
53	nej	bakåt	50	565		ja	med tidmätning	284
54	nej	bakåt	50	565		ja	med tidmätning	305
55	nej	bakåt	50	565		ja	med tidmätning	277
56	nej	bakåt	50	565		ja	med tidmätning	322

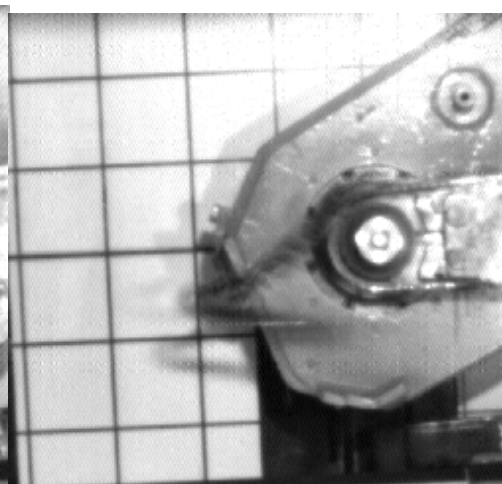
Bildsekvenser



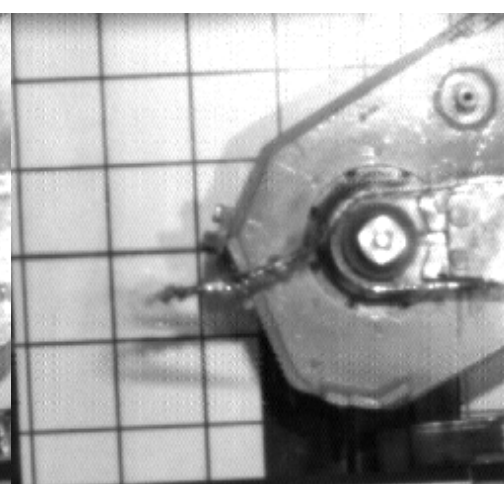
Figur 18 a bildsekvens test 21



18 b

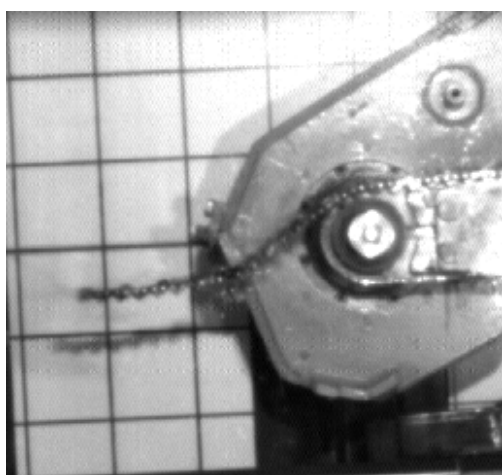


18 c

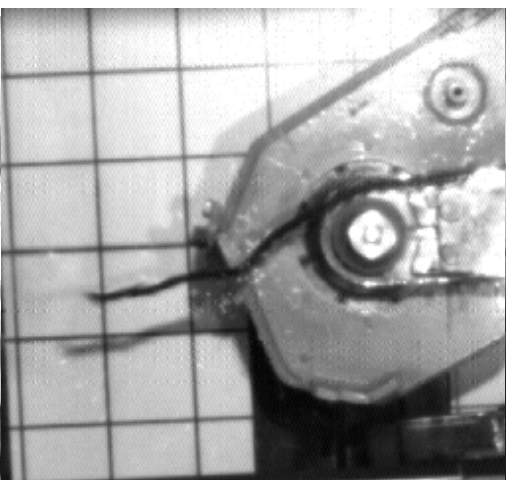


18 d

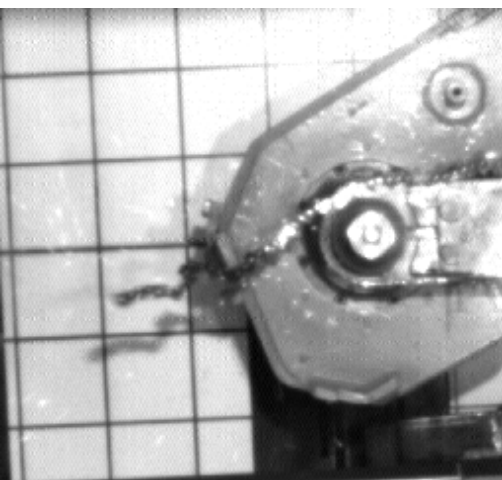
Bildhastighet 1000 bilder/s



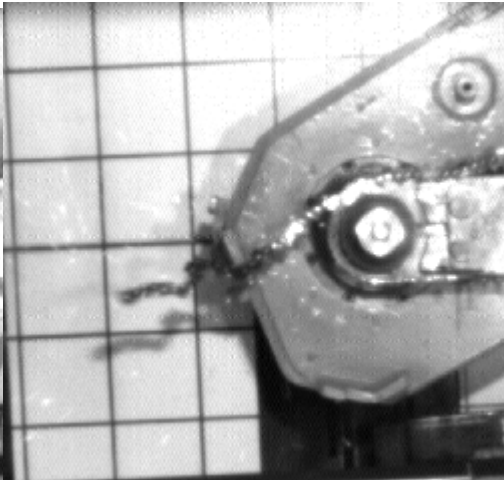
18 e



18 f



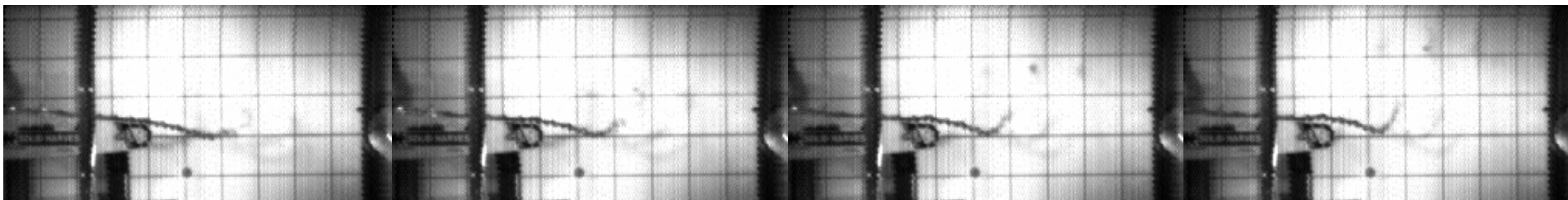
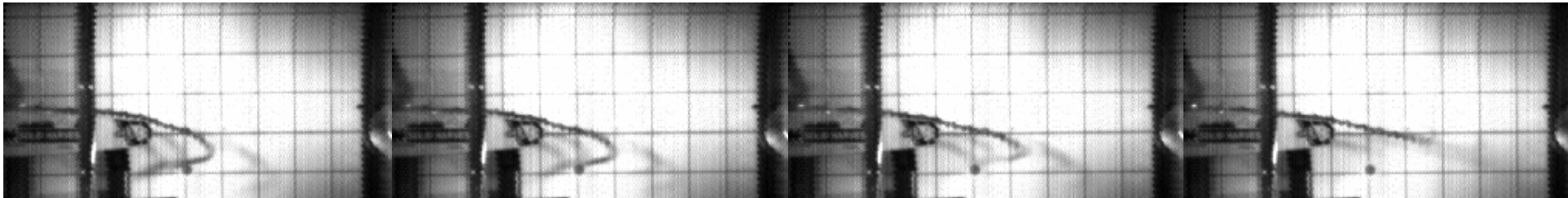
18 g



18 h



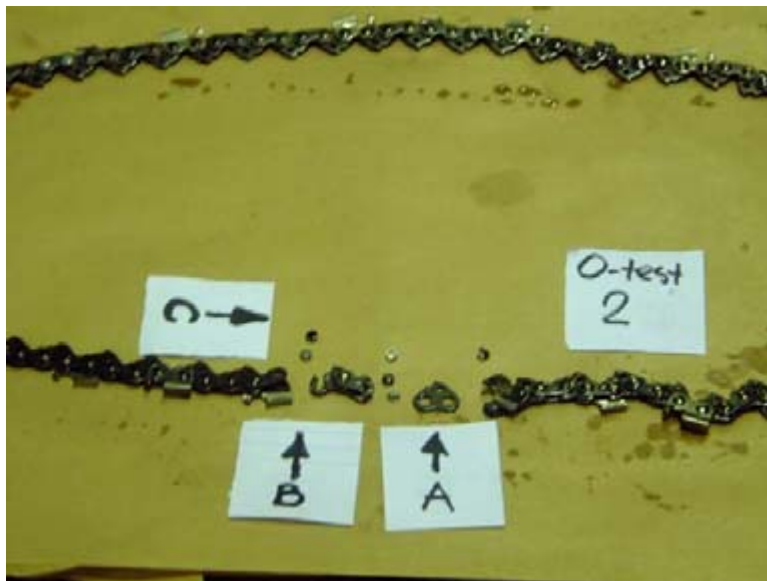
Figur 19.
Bildsekvens med synligt skott bakåt i 5:te till 7:de bilden. Test 28 med bildhastighet 5000 bilder/s.



Figur 20.
Bildsekvens med synligt skott framåt i 6:te till 8:de bilden (observera att kedjans rotation är vänd). Test 40 med bildhastighet 2000 bilder/s.



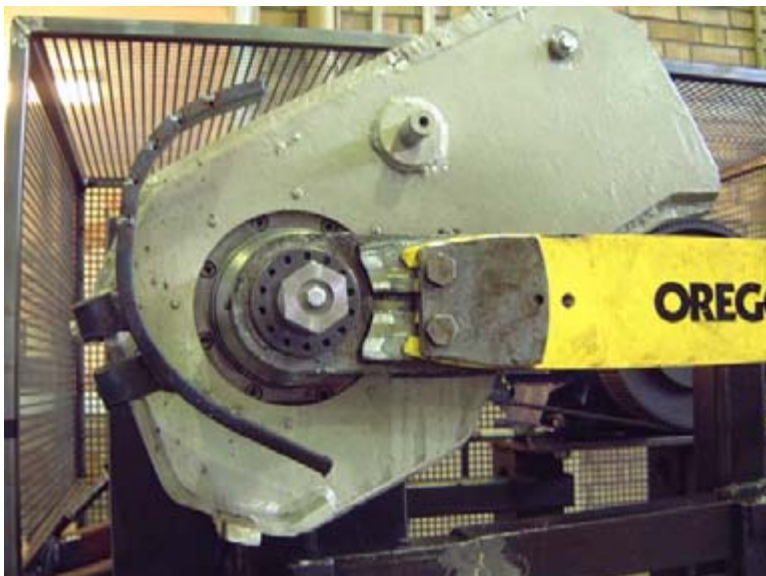
Figur 21.
Kedjeskott med flera delar.



Figur 22.
Test 2 med tidmätning.
A drivlänk.
B drivlänk + 2 mellanlänkar.
C nitar.



Figur 23.
Genomskjutna fyrkantbalkar.



Figur 24.
Enkelt skydd monterat.