

Särtryck och preliminära
rapporter nr 28

**MÄTNING AV FALLHEJARES
ANSLAGSHASTIGHET VID
PÅSLAGNING**

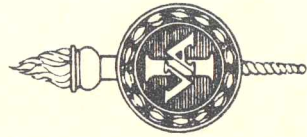
Karl-Erik Sundström^{x)}



INGENIÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
PÅLKOMMISSIONEN

INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN

Pålkommisionen



Särtryck och preliminära
rapporter nr 28

MÄTNING AV FALLHEJARES
ANSLAGSHASTIGHET VID
PÅSLAGNING

Karl-Erik Sundström^{x)}

^{x)} Civilingenjör, Fysiska institutionen, Uppsala Universitet

Stockholm maj 1970

FÖRORD

IVA:s pålkommission har på sitt program bl a att studera lämplig utformning av hejare och slagdyna för påslagning. Detta arbete sorterar under en arbetsgrupp benämnd Hejare- slagdynagruppen. Det har bedömts lämpligt att börja gruppens arbete med en undersökning av de vanligen använda fallhejarnas effektivitet, dvs hur stor den effektiva fallhöjden (fallhöjd utan friktionsförluster m m) är i jämförelse med den anbefallda. Som en inledning har därför gruppen utvecklat en anslagshastighetsmätare, som beskrivs i följande rapport av gruppens utredningsman civilingenjör Karl-Erik Sundström. Dessutom redovisas en del resultat från några försöksmätningar.

MÄTNING AV FALLHEJARES ANSLAGSHASTIGHET VID PÅSLAGNING

Karl-Erik Sundström

Allmänt

Vid bedömning av slagna pålars bärförmåga används ofta slagformler. Den i Sverige normalt använda slagformeln är den numera något modifierade Kreügers formel

$$P_{\text{brott}} = 0,8 \frac{kh}{e + \frac{c}{2}} Q_H \left(1 - 0,1 \frac{Q_P}{Q_H}\right) \text{-----} 1$$

(Svensk Byggnorm 23:6471a)

Slagformeln anger att brottlasten P_{brott} är direkt proportionell mot hejarens fallhöjd vid fritt fall kh , där h är hejarens ansatta fallhöjd och k är en korrek-tionsfaktor för denna. Ekvation 1 bygger bland annat på energiprincipen vid fritt fall, dvs lägesenergins omvandling till rörelseenergi enligt

$$mg(kh) = \frac{mv^2}{2} \text{-----} 2a$$

där m = hejarens massa
 g = jordaccelerationen
 (kh) = hejarens fallhöjd vid fritt fall
 v = hejarens anslagshastighet

Ekvation 2a kan omformas till

$$(kh) = \frac{v^2}{2g} \text{-----} 2b$$

Som ekvation 2b visar beror fallhöjden vid fritt fall, dvs den effektiva fallhöjden, på kvadraten på anslagshastigheten. Den verkliga anslagshastigheten är alltid lägre än vad som motsvaras av hejarens ansatta fallhöjd på grund av de förluster som erhålls i pålkranen av exempelvis friktion och tröghet i linor, linhjul och trummor. Korrektionsfaktorn k avser dock att ta hänsyn till detta. Enligt Svensk Byggnorm ska korrektionsfaktorn sättas till

$k = 1,0$ för fritt fall och

$k = 0,8$ när hejaren är upphängd i enkel medlöpande part.

Korrektionsfaktorn tar dock endast hänsyn till några av de faktorer som orsakar minskning i anslagshastighet. Beaktas dessutom svårigheten för pålmaskinisten att under pågående slagning hålla den ansatta fallhöjden, variationerna mellan olika pålkranar m m, inses att bedömningen av en påles bärformåga med hjälp av slagformler är osäker. Det är därför önskvärt att erhålla en mer noggrann bestämning av den effektiva fallhöjden, vilket kan göras genom att närmare studera hejarens anslagshastighet vid påslagning.

Metoder att bestämma anslagshastighet

Det finns ännu ingen enkel metod att mäta anslagshastighet. En del försök har dock gjorts. Sahlin och Hellman (1966) redogör för en metod att bestämma verklig anslagshastighet, genom att mäta tiden på en given kort sträcka i slutet av fallet. Hellström (1968) redovisar en metod med filmning av slagsekvensen. Genom analys av hejarens rörelse och vetskap om bildhastigheten kan sedan anslagshastigheten bestämmas. Metoden har dock visat sig omständlig och resultaten är ej tillräckligt noggranna. Detta har inneburit att en del nya metoder diskuterats. För att erhålla en tillräcklig noggrannhet bör hastigheten mätas på elektronisk väg. Man har då ett flertal möjligheter att välja mellan. För samtliga gäller att mätsystemet är uppbyggt av en givare, ett mätinstrument och en utläsningsenhet.

Givaren kan placeras antingen på hejaren eller på dynan. Från givaren ska sedan mätsignalen överföras till mätinstrumentet. Med tanke på givarens placering måste såväl denna, som den signalöverförande enheten vara oöm för mekaniska påfrestningar. Det innebär att den mest tilltalande lösningen med trådlös överföring av mätsignalen faller, då det för närvarande är omöjligt att till rimlig kostnad anskaffa en tillräckligt robust sändare. Den återstående möjligheten är då att använda en konventionell mätkabel.

Givaren kan vara av accelerometertyp. Här finns det ett antal olika att välja mellan; piezoelektriska, piezoresistiva eller trådtöjningsaccelerometrar. På grund av den stora känsligheten för temperaturgradienter kan dock de två första icke användas. Med det tredje alternativet har utförts en del förberedande prov på laboratorium. Accelerometergivaren registrerar accelerationen vid fallet och signalen integreras på elektronisk väg en gång varvid erhålls en mot hastigheten proportionell utamplitud. Vid de förberedande försöken har dessutom accelerationen registrerats direkt på ett oscilloscope, för att få en visuell uppfattning om vad som händer vid ett hejarslag.

En annan metod, som till sitt funktionssätt är lika den som beskrivits av Sahlin och Hellman (1966) har också undersökts. Härvid approximeras anslagshastigheten v genom att mäta den tid Δt som hejaren behöver för att falla en given kort sträcka Δd alldeles före tillslaget, så att $v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$ m/s. Utgående från denna approximation har försök utförts med en givare, som kan ge två mätsignaler, en i början och en i slutet av sträckan Δd . Signalerna indikeras och tiden mellan dem mäts, varur man får hastigheten v enligt ovan.

Mätningar med accelerometer

Accelerometern monterades på en hejare av trä, som man lät falla mot en träpåle, vilken var nerdriven i en behållare med sand. Se fig 1. Förloppen, då hejaren faller från 20 cm höjd och pålen är löst nerdriven i sand, visas i fig 2a - 2c.

Fig 2a visar hela slaget, med undantag för den retardationstopp, dvs stor negativ acceleration, som uppstår vid själva tillslaget, då accelerometers mätområde endast var ± 25 g.

Fig 2b utgörs av en förstoring av ett motsvarande slag. Den långsamma accelerationen mellan t_0 och t_1 kan förklaras med att hejaren ej kunde fås att falla med ögonblicklig start. Man kan dock anta att hejaren lämnat utgångsläget vid tiden t_0 och nått sin största acceleration vid tiden t_2 . Integration av ytan mellan t_0 och t_2 ger den uppmätta anslagshastigheten v_m , vilken har god överensstämmelse med den teoretiska hastigheten v_t .

$$v_m = \int_{t_0}^{t_2} a \cdot dt \approx 1,9 \text{ m/s} \quad \text{och} \quad v_t = \sqrt{2gh} \approx 2,0 \text{ m/s} - - - - 3.$$

Fig 2c slutligen är en förstoring i tid av förloppet då energin överföres från hejaren till pälén.

Mätningar med tidgivare (optoelektronisk givare)

Givaren består av en plastkropp i vars centrum ett stift av stål löper vertikalt med fjädrande återgång. I stiftet finns två små hål på ett avstånd Δd ($= 11,5$ mm) från varandra. Horisontellt och diametralt motsatta sitter på var sin sida av stiftet en miniatyrlampa respektive en fototransistor. När stiftet trycks in kommer en ljusstråle att passera genom först det ena sedan genom det andra hålet. Fototransistorn ger en signal för varje ljusstråle och tidsintervallet Δt registreras. Se fig 3.

Instrumentet som registrerar signalen arbetar i korthet på följande sätt.

Se fig 4. Signalerna från givaren triggar en pulsformare på så sätt att pulslängden blir lika med tidsintervallet Δt . Pulsen integreras i en linjär integrationskrets^{*)}, vilken ger en spänningsnivå, som är direkt proportionell mot pulslängden dvs den tid det tar för hejaren att falla sträckan Δd . Spänningsnivån, som ges av tiden Δt vid ett fall, läses in i ett minne. Därefter nollställs

*) Lineariteten i integrationskretsen är bättre än ± 1 %, och förändringen i integrationskretsens spänningsnivå vid inläsning till minnet är maximalt 0,35 %.

integrationskretsen, som därmed kan ta emot en ny puls från nästa slag. Ur minnet avläses den aktuella spänningsnivån, som överförs till utläsningsenheten, i detta fall en potentiometerskrivare. Om nästa slag har en annan hastighet, får man en ändring i den integrerade spänningsnivån. Den nya nivån läses in i minnet och resulterar i en ändring i nivån hos utläsningsenheten.

Vid stoppslagning mot fast underlag (berg) efterföljs första slaget av ett antal studsar, vilket skulle innebära att hastigheten på varje studs också skulle mätas. Därför har en blockeringskrets införts, så att mätinstrumentet ej påverkas av studsarna efter det att första slaget registrerats. Blockeringstiden kan ställas mellan 0,7 s och 1,2 s. Dessutom kan man manuellt blockera godtyckligt lång tid.

Med det ovan beskrivna mätsystemet har försök gjorts med Statens geotekniska instituts modellpålmaskin (fig 5). Denna har uppställts på institutets gårdsplan där ett stålrör har stoppslagits mot berg. Pålmaskinen hade en hejare vägnande 200 kg och fallhöjden har varierat från 0,4 m till 0,6 m.

Pålens huvud var försedd med en dyna som styr i en gejder. Under den övre kragen har ett fäste för tidgivaren monterats. Givaren sitter inspänd på fästet med fjädrande gummimellanlägg för att i någon mån dämpa vibrationerna. Se fig 5b. Trots detta har givare och signalkabelanslutning utsatts för stora påfrestningar. Svårigheter har t ex uppstått att få inlödningarna av signaltrådarna i kontakten att hålla. Efter ett antal försök övervanns dock dessa svårigheter när vid ett tillfälle själva givarhuset bröts sönder. Detta medförde att en omkonstruktion av givarhuset utfördes, se fig 6. Skillnaden mot den första versionen är att elektroniken nu inryms i ett huvud, som i stort sett har samma diameter som givaren i övrigt, och att hållaren för kontakten spänns fast mot fästet för givarhuset och tillsammans med detta. Den modifierade givaren har utsatts för ett antal slagserier på tillsammans flera tusen slag utan att

några problem erhållits. Resultat från tre av dessa mätserier presenteras i fig 7. Slagningen har utförts i serier om 100 och 200 slag för varje ansatt fallhöjd i avsikt att testa hållbarheten hos mätsystemet och jämnheten i pålmaskinens arbetssätt. I fig 8 har ett avsnitt om 30 till 35 slag fått representera den utskrivna amplituden, som kan graderas i fallhöjd (fritt fall) eller direkt i hastighet. Vid jämförelse mellan ansatt fallhöjd och utlästa värden för fritt fall finner man att modellpålmaskinens förluster är ≤ 4 %. Modellpålmaskinens hejare kan därför anses falla i det närmaste fritt.

Fortsatta försök

Accelerometerförsöken avses närmast fortsätta i fält i full skala. Härför erfordras en accelerometer med cirka fyra gånger så stort mätområde som vid laboratorieförsöken, dvs minst 100 g. Dessutom avses på laboratorium och med Statens geotekniska instituts modellpålmaskin försök utföras med inspelning av mätningarna på band. Härvid erhålls möjlighet att i detalj studera varje enskilt slag, genom att överföra den inspelade signalen till ett minnesoscilloscope, på vilket signalen kan presenteras i olika skalor.

Tidgivaren kan anses vara tillräckligt utprovad för att studier av förhållandena i fält vid rutinemässig påslagning ska kunna påbörjas. Vid dessa försök ska bland annat undersökas variationerna i anslagshastighet vid olika ansatta fallhöjder för olika pålkranar och pållutningar.

Referenser

Sahlin S och Hellman L (1966): "Dynamisk draghållfasthet hos modellpålar av oarmerad betong. Resultat av orienterade försök." IVA:s Pålkommision, Meddelande nr 12, bilaga 1.

Hellström G (1968): "Tillåtna laster på långa stödpålar av betong i Östra Nordstaden, Göteborg. Slutrapport." IVA:s Pålkommision, Särtryck och Preliminära rapporter nr 12.

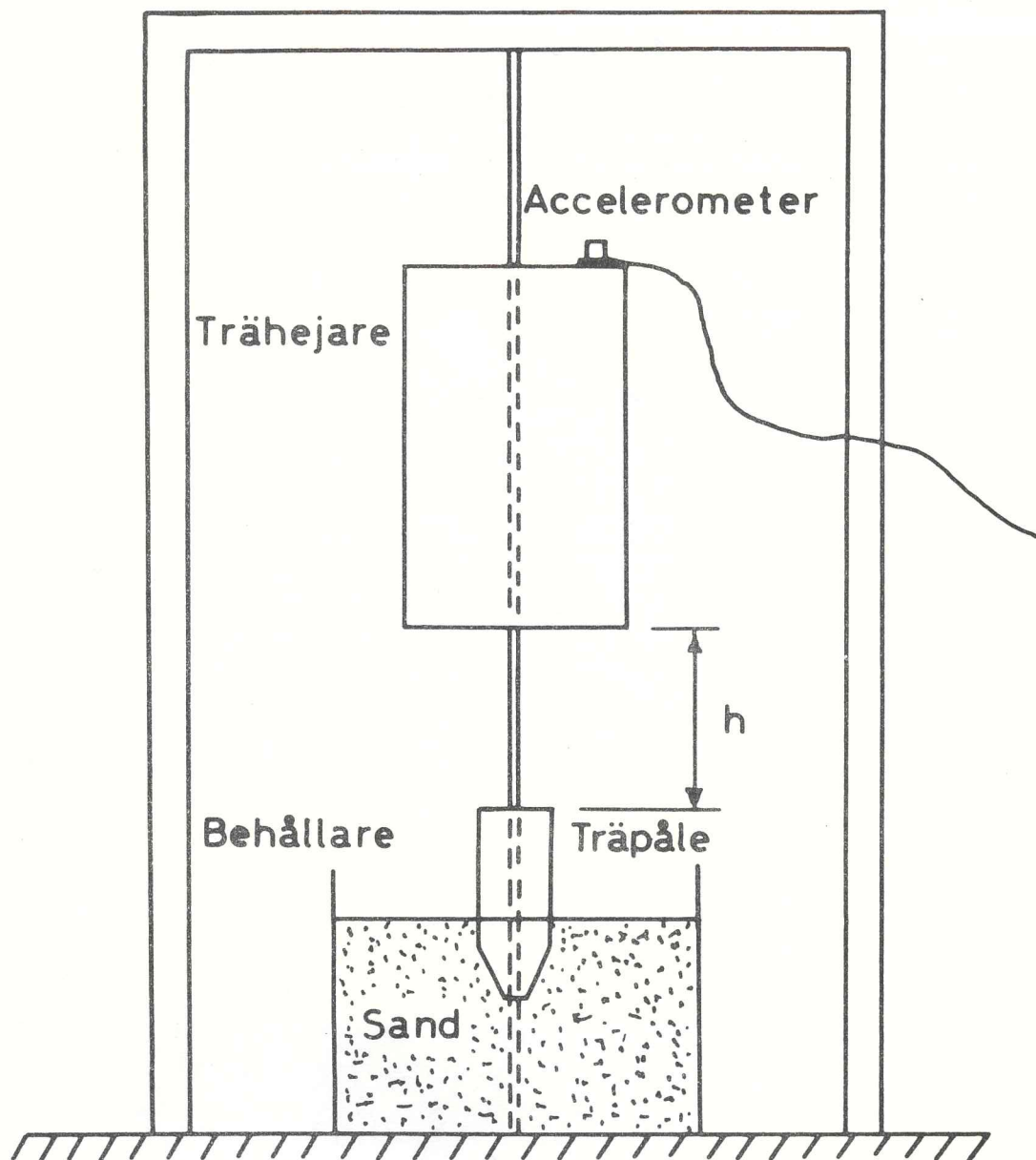


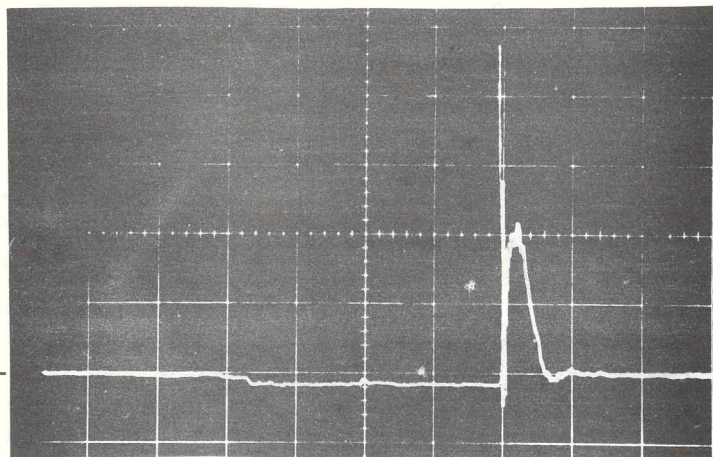
Fig 1. Arrangemang vid förberedande accelerometerförsök. Accelerometern är monterad på en hejare som faller mot en kort träpåle, vilken är neddriven i en behållare med sand. (Principskiss).

5 g/ruta

8

RETARDATION

ACC



Tid

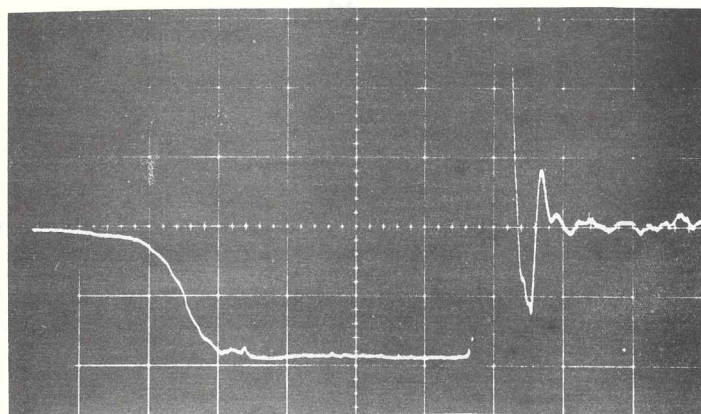
50 ms/ruta

Fig 2 a

0.5 g/ruta

RETARDATION

ACCELERATION



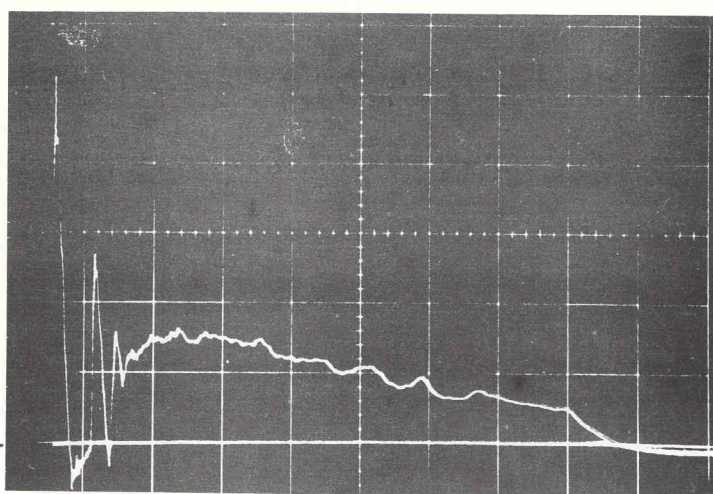
50 ms/ruta

Fig 2 b

5 g/ruta

RETARDATION

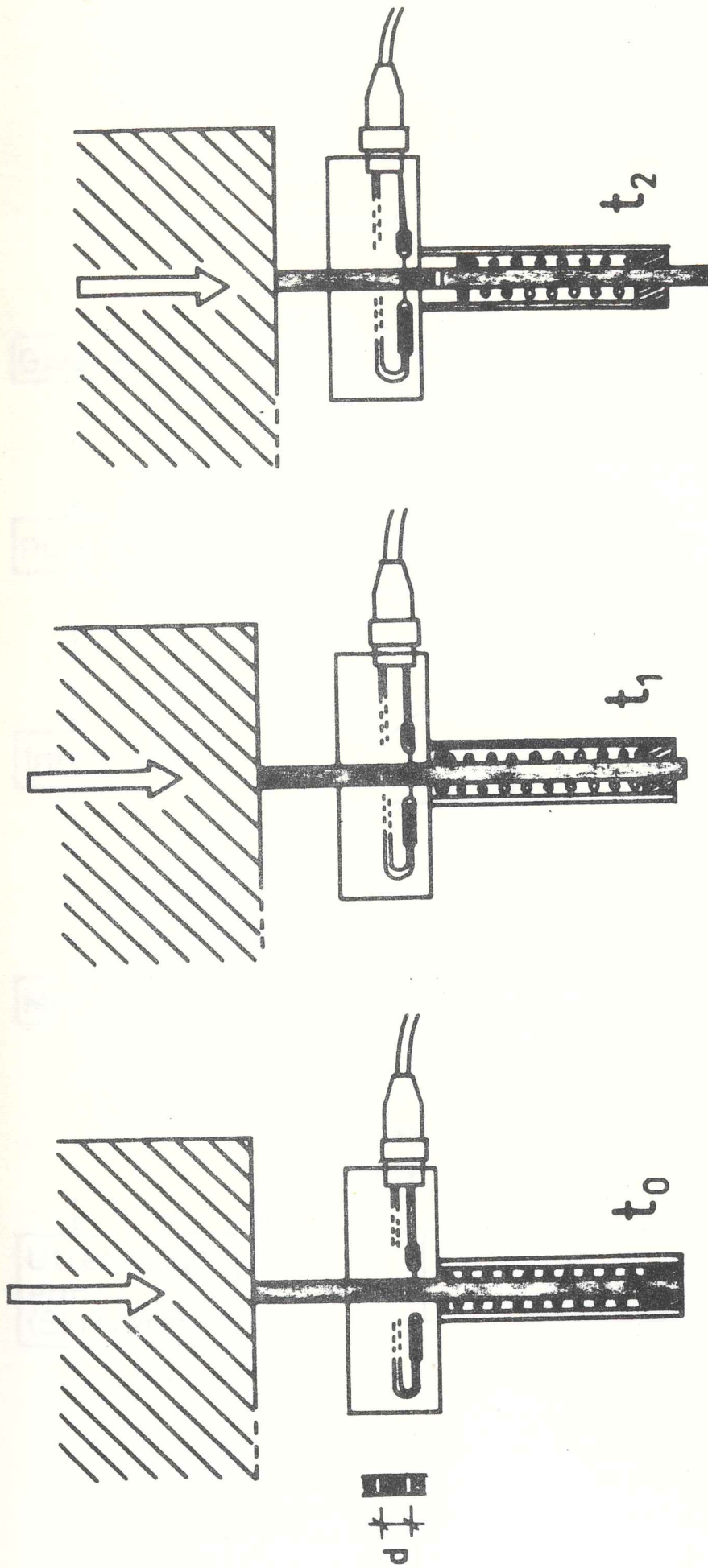
ACC



5 ms/ruta

Fig 2 c

Fig 2. Foton av oscilloscopicbild visande accelerationsförloppen då hejaren faller 20 cm mot modellträpålen, när pålspetsen är löst neddriven i sand (Jfr fig 1).



$$v = \frac{d}{t_2 - t_1} \text{ m/s}$$

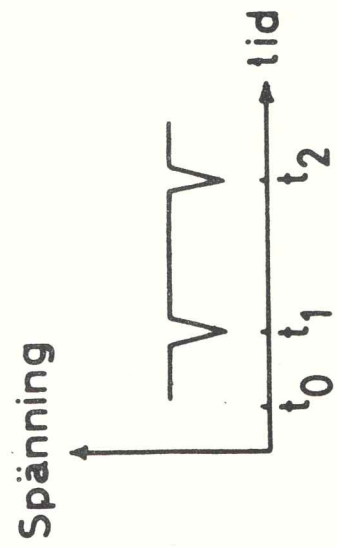


Fig 3. Givaren vid olika tidsmoment (principskiss)

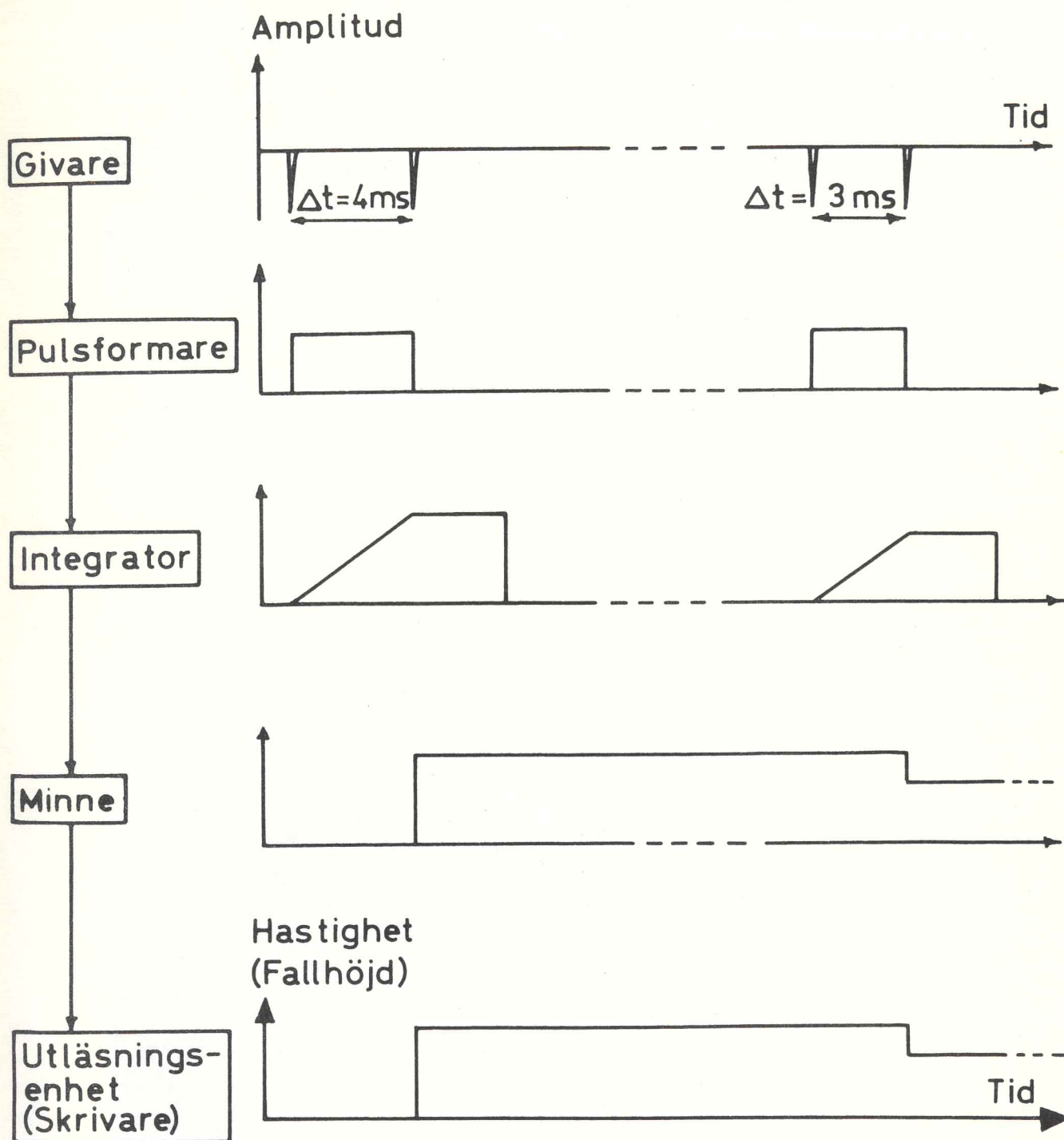
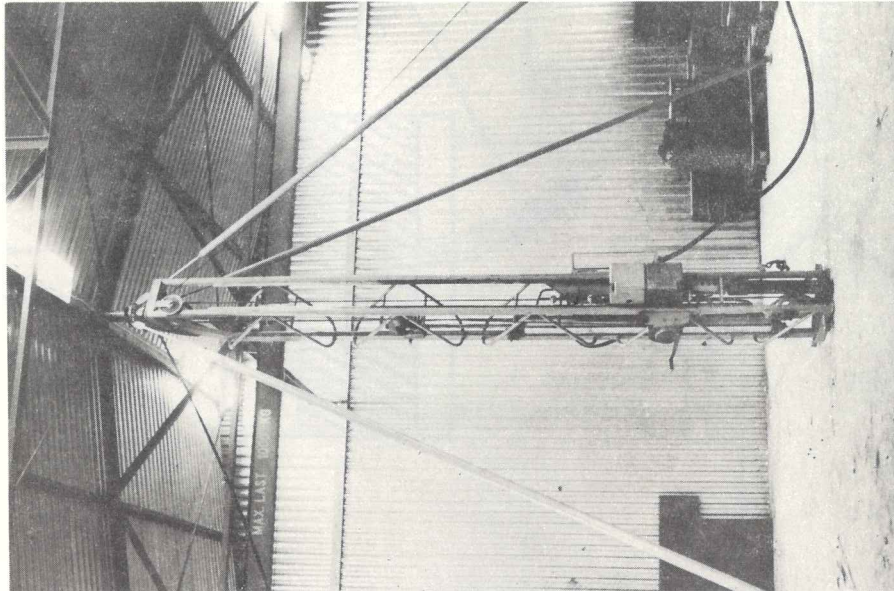
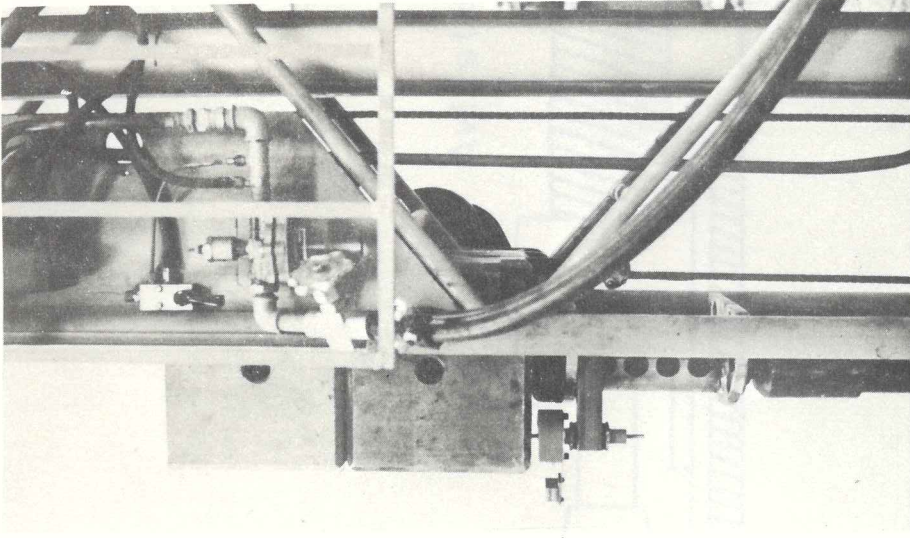


Fig 4. Schema över mätinstrumentets arbetssätt.



5a Modellpålmaskinen



Givaren
→

5b Givarens fastsättning på dynan

Fig 5. SGI:s modellpålmaskin och placering av anslagshastighetsmätarens givare (version 1)

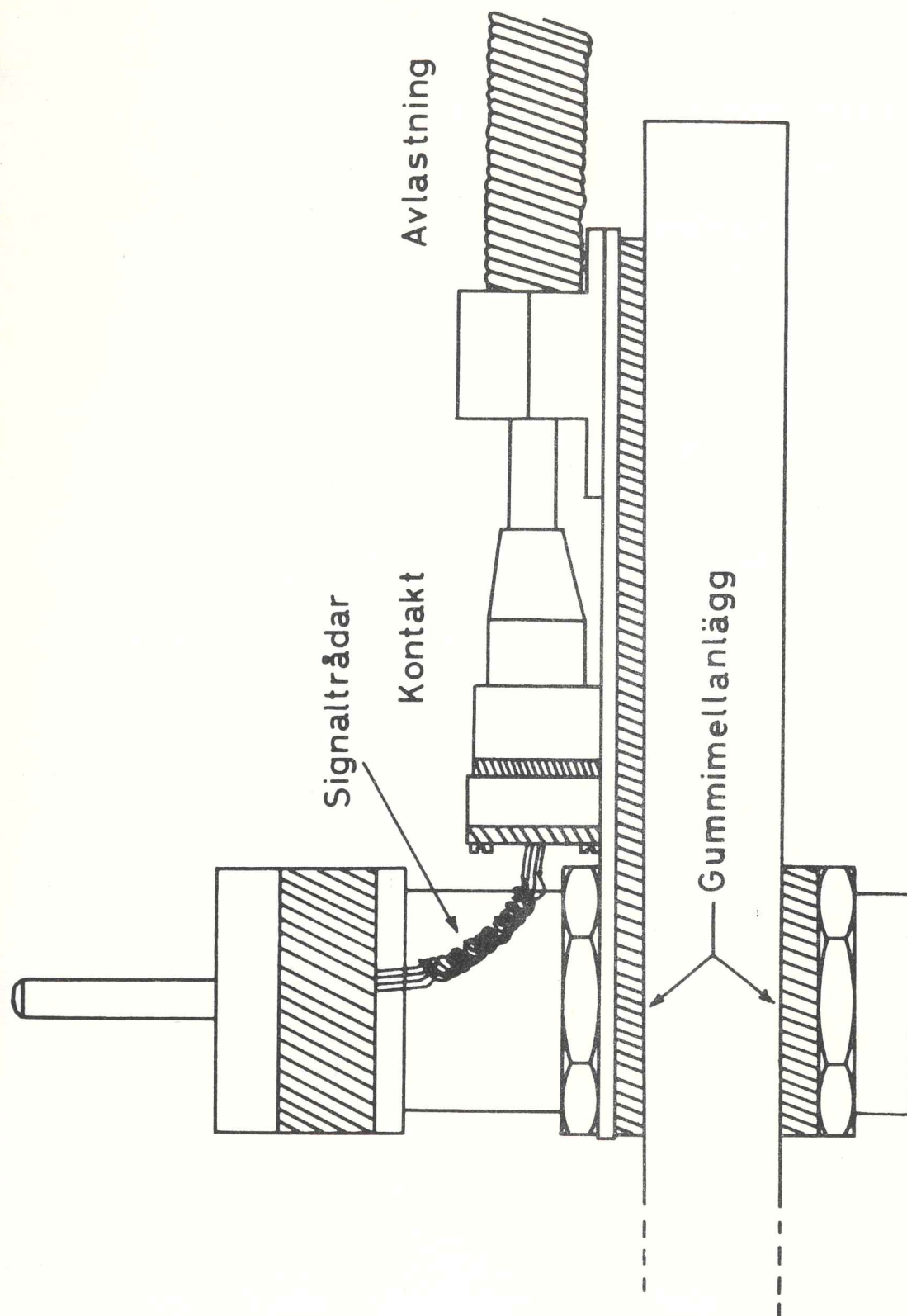


Fig 6. Givaren, version 2. Principskiss ungefärligen i naturlig skala.

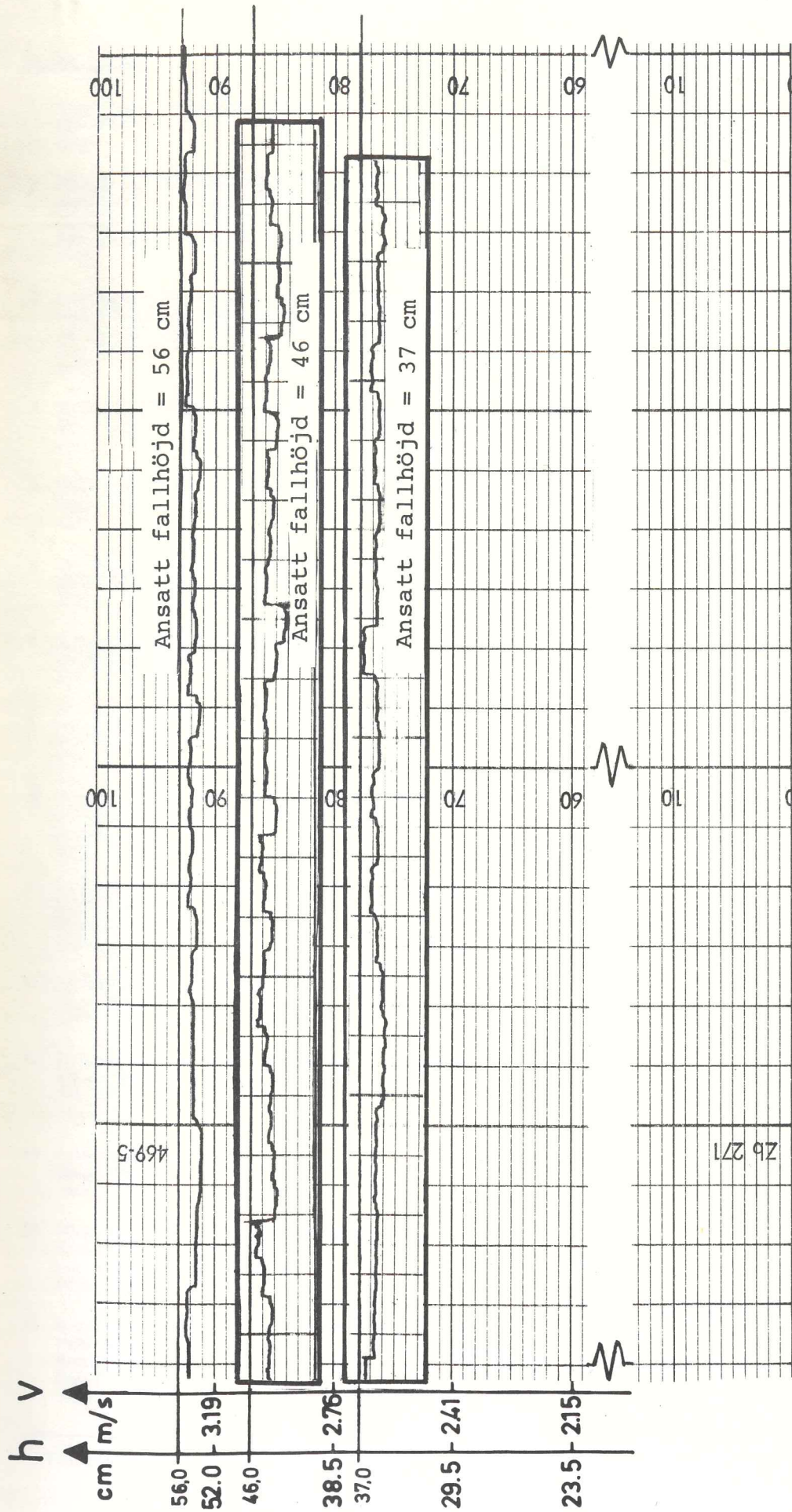


Fig 7. Figuren visar en del av en remsa från potentiometerskrivaren med resultat från registrering av anslagshastigheten för hejaren vid en ansatt fallhöjd av 56 cm. Varje nivåförändring representerar ett hejarslag. Resultatet kan även mätas i en skala som direkt ger fallhöjden vid fritt fall för den aktuella anslagshastigheten. Som jämförelse har även inlagts resultat från två mätningar där den ansatta fallhöjden varit 46 resp 37 cm.