

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för geoteknik

SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA
RAPPORTER NR 9

DIGITALISERING AV STÖTVÅGS-
MÄTNINGAR

Delrapport I

Av Lennart Vilander^x
20.3.68



INGENIÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
PÅLKOMMISSIONEN

SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA
RAPPORTER NR 9

DIGITALISERING AV STÖTVÅGS-
MÄTNINGAR

Delrapport I

Av Lennart Vilander^x
20.3.68

^xFysiska Institutionen, Uppsala

De i rapporten framförda åsikterna är författarens
och behöver icke vara pålkommissionens ståndpunkt.

Pris 5:- kr.

SAMMANFATTNING

Utvärdering av stötvågsmätningar kan i arbetsinsats bli av den omfattningen att man önskar använda datamaskin som hjälpmedel. Mätvärdena måste då föreligga i digital form. Den s.k. Datagruppen inom IVA:s pålkommission undersöker möjligheten att digitalisera de elektriska pulser man erhåller vid stötvågsmätningar. Här läggs fram ett förslag till lösning av problemet. I ett antal figurer har exempel på digitaliserade stötvågor uppritats för jämförelse med original som har fotograferats från oscilloskopskärm. I en bilaga görs ett försök till uppskattning av kostnaderna för metodiken.

Uppsala 20.3.68

Lennart Vilander
Lennart Vilander

BAKGRUND

Vid studium av mekaniska stötvågor vid t.ex. påslagning eller bergbörning vill man forma om de mekaniska expansions- eller kompressionsvågorna till en form som är lättare att handskas med. Man använder sig då av s.k. trådtöjningsgivare som man limmar fast på ytan av föremålet för studierna. Töjningen i pålen, när stötvågen passerar, ger upphov till en resistansändring hos givaren och om den genomflytes av en ström uppstår över givaren en spänningsändring som till utseende återger förhållandena i pålen (olika tecken på spänningsändringen för kompressions- och expansionsvågor). Denna spänningsändring förstärks och studeras sedan på oscilloskopskärm. Parallellt spelas de förstärkta spänningsvärdena in på mätbandspelare för senare bearbetning. Man kan sedan i lugn och ro spela upp slagningsförloppet flera gånger och ta fotografier av de stötvågor som verkar intressanta. Om man enbart är intresserad av t.ex. toppvärden är detta en fullt tillfredsställande metod, som inte är alltför tidskrävande och dessutom ställer sig relativt billig.

Ofta är man emellertid intresserad av att göra beräkningar som är mera tids- och arbetskrävande. Man är kanske intresserad av energiinnehållet i stötvågorna och vill t.ex. jämföra energin i initialvågen med energin i reflexerna och på så sätt beräkna energitransmissionen till marken, och man kan även tänkas vilja studera kraft-rörelse-hastighetsförlopp vid pålspetsen. Vid sådana beräkningar söker man tidsintegralen över kurvorna och eftersom man inte känner den exakta matematiska formeln för vågorna måste man ha tillgång till numeriska värden på spänningen längs tidsaxeln för att med hjälp av dessa utföra diverse numeriska integrationer. Man avläser då spänningsvärdena på fotografiet i lämpliga intervall längs tidsaxeln, för in dessa värden i tabeller och utför subtraktioner, summationer, kvadreringar m.m. enl. kända formler. Detta går ju bra om det är fråga om några enstaka beräkningar, men ju flera fall man behandlar desto starkare känns önskemålet om en beräkningsautomatik. Datamaskiner tillämpas ju på de flesta andra områden. Kan man inte tänka sig att anlita datamaskin även vid dessa beräkningar? Problemet är den form som våra data föreligger i. Kunde man inte tänka sig att smidigt omforma sina mätdata på en form som passar en datamaskin?

MÅLSÄTTNING

För att besvara denna fråga pågår i den s.k. Datagruppen inom IVA:s pålkommision ett utredningsarbete om möjligheten att digitalisera mätningar från pålningsförsök. Undertecknad fungerar som utredningsman i denna grupp under ledning av Laborator H.C.Fischer.

FÖRUTSÄTTNINGAR

Genom att spela in mätvärdena på band hade man från början gett en förutsättning för lösning av uppgiften. Bandspelare ger ju möjlighet till nedväxling av bandhastigheten vilket är detsamma som en förlängning av tidsskalan hos mätvärdena. Digitalvoltmetrar i 10.000-kronorsklassen kan ge c:a 10 värden per sekund. Stötvågorna har en varaktighet av storleksordningen 1 millisekund vid slagning med tryckluftshammare, ned till en tiopotens kortare vid laboratorieförsök med kortare hammare. Vid slagning på betongpålar med fallhejare blir stötvågorna längre men i samtliga fall krävs en avsevärd nedväxling av bandhastigheten. Försök har gjorts med denna metodik på mätningar från tryckluftshammarsförsök. Det tillgick så att värden spelades över från en bandspelare till en annan, varvid en lägre hastighet tillämpades på den första och en högre på den andra. Med detta förfarande nedväxlades förloppet 1000x och omvandlades i digital form med en digitalvoltmeter kopplad till en magnetbandsskrivare på Wallenberglaboratoriet i Uppsala. Erfarenheterna av denna verksamhet blev dock att en sådan metodik har många allvarliga nackdelar. Den kraftiga nedväxlingen kräver stora mängder band och är dessutom oerhört tidskrävande. Tio minuters mätningar skulle ta c:a 20 arbetsdagar att spela upp efter 1000x nedväxling och kräva drygt 5 km band vilket innebär c:a 10 bandrullar. Dessutom är det svårt att hålla reda på identifieringen av de olika slagen vid övergång från en bandspelare till en annan och vidare blir det problem med kalibreringen.

Begränsningen hos en digitalvoltmeter ligger inte i första hand i själva analog-digitalomvandlingen utan i de mekaniska delarna, utmatningsorganen. Ett naturligt önskemål blev därför att finna en apparatur med minne som kan behålla de omvandlade värdena och som sedan kan tömma ut minnesinnehållet i en långsammare takt som bestäms av utmatningsorganets prestanda. Ett studium av vad som bjuds på marknaden visade att det finns flera system som klarar uppgiften. Problemet var att finna en apparatur inom räckhåll och som inte betingade alltför höga kostnader.

Ett sådant system visade sig finnas vid Institutionen för Regleringsteknik, KTH. Systemet utnyttjas ej hundra procentigt av institutionen, varför yttre kunder har möjlighet att hyra in sig mot fastställd taxa.

METODIK VID DIGITALISERING AV STÖTVÄGSMÄTNINGAR. ETT FÖRSLAG.

Den s.k. simulatoranläggningen vid ovannämnda institution är en s.k. hybridsimulator där en analogmaskin och en digitalmaskin kopplats samman. För vårt behov används endast den med A/D-omvandlare (analog-digital-omvandlare) försedda digitaldelen som är av typ PDP-7 från Digital Equipment Corporation. Den är programstyrd och programmet för pålkommissionens räkning har skrivits av Civ.ing. Ove Gradin. Som tillämpning har valts mätningar vid slagning med trycklufthammare på stålpålar vid Tegelbacken, Stockholm sept.-67, utförda av Civ.ing. G. Fjellkner och Ing. K.Allard, SGI. Vid dessa mätningar användes två mätpunkter och dessa har båda utnyttjats vid A/D-omvandlingen. Omvandlingen har gjorts på värdena från den nedre mätpunkten medan pulserna från den övre mätpunkten har använts som "trigger". A/D-omvandlaren känner av den kanal där dessa pulser är lagrade och väntar tills en viss, på förhand bestämd, spänningsnivå uppnås, varvid den skiftar till kanalen med mätvärdena och läser in ett antal värden som tillsammans täcker initialpuls och två reflexer. Punkterna har därvid valts tätare över de intressanta partierna (pulserna) och glesare däremellan. Ett värde på noll-nivån läses även in från ett ställe där reflexerna har klingat ut. Därefter inväntas nästa puls och ovanstående förfarande upprepas. Vid tillämpningarna har tio konsekutiva slag lagrats samtidigt i maskinens kärnminne. Antalet slag som man vill läsa in går att modifiera.

Så snart den sista pulsen har lästs in börjar maskinen tömma ut sitt innehåll på hållremsa i den ordning data lästs in. Under tiden detta

Anm. 1. Här bör nämnas att liknande försök har gjorts vid SAAB, Linköping, med lyckat resultat.

Anm. 2. Under tiden som arbetet pågått har en liknande anläggning, av märket EAI 8945, installerats på FOA. Den har vissa fördelar framför PDP-7, bl.a. snabbare A/D-omvandling och större minnesutrymme.

sker, letar man lämpligen fram nästa område på mätbandsspelaren som man är intresserad av. När stansningen är avslutad, är maskinen beredd att läsa in nästa serie. Samtidigt som värdena stansas på hållremsa åskådliggörs de på en oscilloskopskärm med efterlysning så att man får en uppfattning om att värdena är riktiga. Om man inte känner igen kurvformen har man ju möjlighet att upptäcka eventuella felkällor i tid och rätta till dessa.

Det enda medium för utmatning, användbart för senare inmatning i annat datasystem, som anläggningen har är hållremsa. Hållremsan har både för- och nackdelar. En nackdel är den låga skrivtätheten jämfört med den man får vid skrivning på magnetisk tape. Bland fördelarna kan dock nämnas att om en A/D-omvandling skulle misslyckas kan man klippa av den del av remsan som har felaktiga värden och skarva ihop resten. På magnettape har man inte den möjligheten eftersom man inte kan läsa den visuellt.

Skrivningen på hållremsa sker binärt. Maskinens ordlängd är 18 binära positioner, av vilka de 12 första används av A/D-omvandlaren (de sex sista består av nollor). Dessa 18 positioner upptar tillsammans tre rader på hållremsan. Genom att de sex sista positionerna alltid är nollor blir den tredje raden i varje värde alltid blank, varför hållremsan är relativt lättläst för den som är van att räkna i det binära talsystemet. (Ett hål i remsan betyder 1, blank betyder 0)

För olika utvärderingar av de kurvor vi nu erhållit i digital form krävs en större datamaskin och för vårt ändamål har vi valt att tills vidare arbeta med Uppsala Datacentrals maskin av märket Control Data 3600. Denna maskin har ej tillgång till direkt inmatning av hållremsa utan värdena på denna måste först föras över till magnetisk tape på satelliten CD 8090. Med hjälp av ett specialprogram (PTTOMT07) läggs remsans innehåll på magnettapen i record om 250 st. 3600-ord. Denna magnetiska tape kan sedan användas som inmatningsmedium vid körning på CD 3600.

Ordlängden i CD 3600 är 48 binära positioner och som tidigare nämnts är den 18 positioner i PDP-7. Alltså går det inte att använda maskininnehållet som det ser ut efter inmatning av den ovan nämnda magnettapen. Först måste värdena avkodas och anpassas till 3600-ord och för detta ändamål har undertecknad gjort ett program som använder sig av avkodningsrutiner som finns inbyggda i systemet.

I detta läge föreligger värdena i sin slutgiltiga form och kan användas i tillämpningsprogram. För att kunna använda värdena flera

gångar har man i huvudsak två tillvägagångssätt, att låta maskinen stansa ut värdena på hålkort eller skriva dem på magnetband. Hålkort har den fördelen att man bekvämt kan plocka bort de datafall man inte är intresserad av. Å andra sidan kan hålkortspackarna bli tunga att handskas med vid stora datamängder. Magnetisk tape är lätt och smidig. Stora datamängder ryms på korta bandstumpar. Å andra sidan måste man, samtidigt som man skriver på tape, skriva samma sak på radskrivare för att få kontroll över vad som står på tapen. Tills vidare arbetar vi med hålkort.

KURVRITNING

För studium av kurvformerna kan man använda sig av en kurvskrivare som är kopplad till CD 8090. Detta gör man lämpligen direkt efter avkodningen så att man i de uppritade kurvorna kan spåra eventuella felaktigheter hos de värden man lagt ut på hålkort.

I Fig. 1. visas ett exempel på stötvågsformen vid de ovannämnda mätningarna på Tegelbacken. Tio konsekutiva slag har lagts på varandra i samma koordinatsystem och av figuren framgår att de överensstämmer väl till form och belopp. Medelvärdena i varje mätpunkt har beräknats i datamaskinen och uppritats i Fig. 2. varvid varje värde har markerats med ett kryss. Observera de olika punkttätheterna. I Fig. 3. visas samma kurvor uppritade med en annan plotrutin som är snabbare och alltså mera ekonomisk. Ett studium av dessa kurvor ger en möjlighet att avgöra om man vill basera sina beräkningar på medelvärdet av flera slag eller på ett enda slag. Om en kurva avviker mycket från de övriga, och alltså inte är representativ för tidpunkten då mätningarna gjordes, har man möjlighet att plocka bort motsvarande värden bland hålkorten och göra sina beräkningar på medelvärdet av de återstående kurvorna. Med en sådan metodik kan man hoppas att ev. statistiskt fördelat bakgrundsbrus elimineras. Å andra sidan har man här fått fram en kurva på konstgjord väg vilket väl också kan diskuteras. Fig. 4. är ett tredje, ännu billigare, alternativ där koordinataxlarna utelämnats. Man får då förutsätta en standard för storheterna längs axlarna. Denna möjlighet bör beaktas, ty en stor del av kurvritningstiden går åt för uppritande av själva axlarna. Se bilaga 2. I Fig. 5. visas resultatet av en tillämpning av konverteringsprogrammet på en sinusvåg av känd frekvens. Härur har omvandlingstiderna kunnat bestämmas med god noggrannhet. Fig. 6. visar ett par exempel på utseendet av en stötvåg i en betongpåle vid

slagning med fallhejare (Fittja-67). Fig. 7. visar bilder, tagna med oscilloskopkamera, som visar pulsernas form på mätbandspelaren. Fig. 7a. motsvarar pulserna i Fig. 1 - 3 . Fig. 7b. motsvarar Fig. 6a.

TILLÄMPNINGAR

De på ovan beskrivna sätt digitaliserade stötvågorna har på försök använts som ingångsdata i ett tillämpningsprogram skrivet av A.Kvickers. Den intresserade hänvisas till A.Kvickers examensarbete: Program för stötvågsutvärdering. Nackdelen med de ovan nämnda mätvärdena är att reflexerna från pålspetsen överlagras med reflexer från överändan av pålen. Ett önskemål på kommande mätningar är därför att givarna placeras så långt ner att reflexerna blir "rena", d.v.s. att de hinner avklinga innan nästa reflex når mätpunkten.

KL 10.11.45 NR 1,2,3,4,5,6,7,8,9 OCH 10

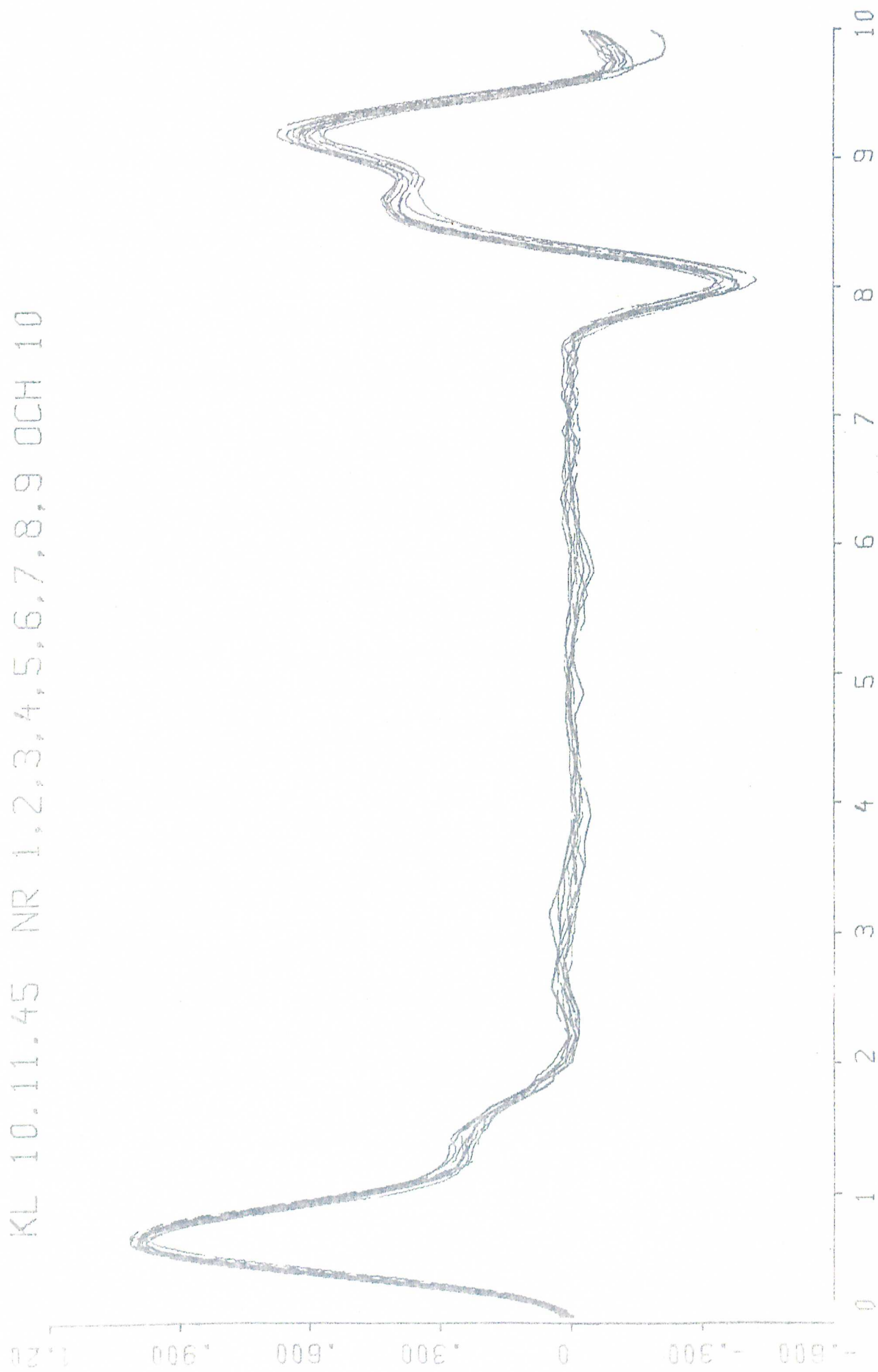


Fig. 1. Stötvågor vid 10 konsekutiva slag (tryckluft)

Enheter: abscissan: millisekunder
ordinatan: volt (på mätbandspelaren)

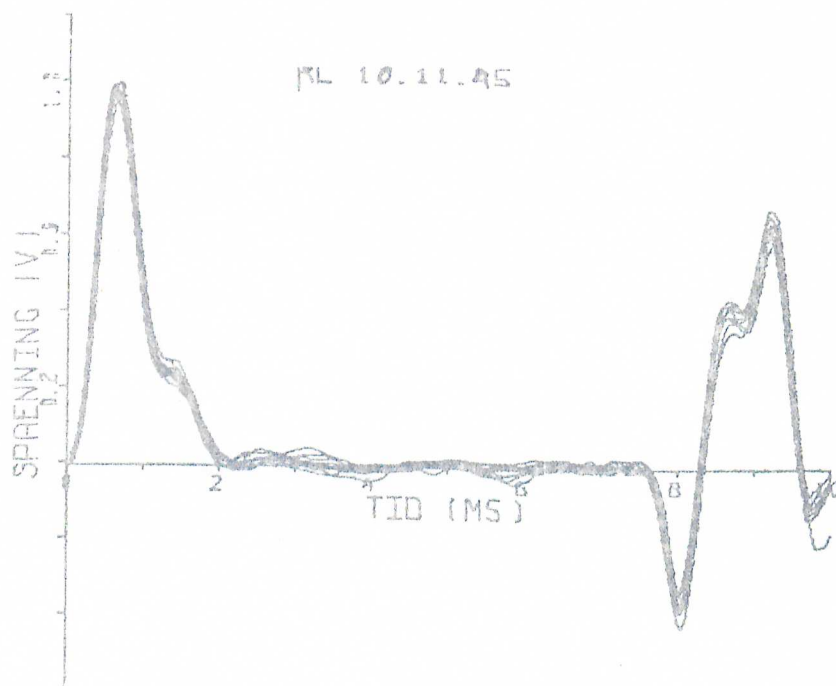


Fig. 3a. Samma kurvor som i fig. 1, uppritade med en snabbare plotrutin.

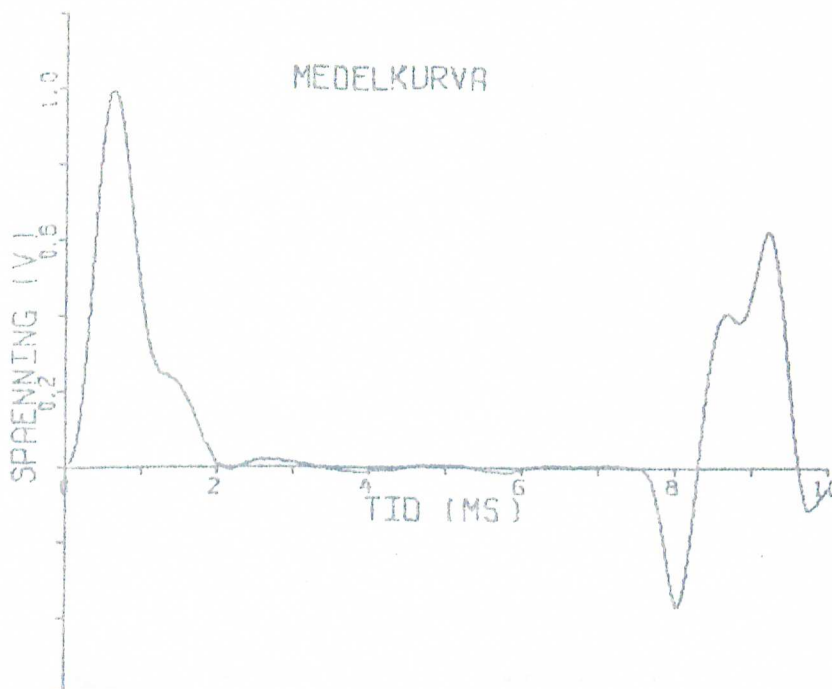


Fig. 3b. Medelkurvan av kurvorna i fig 3a.

KL 10.35.45

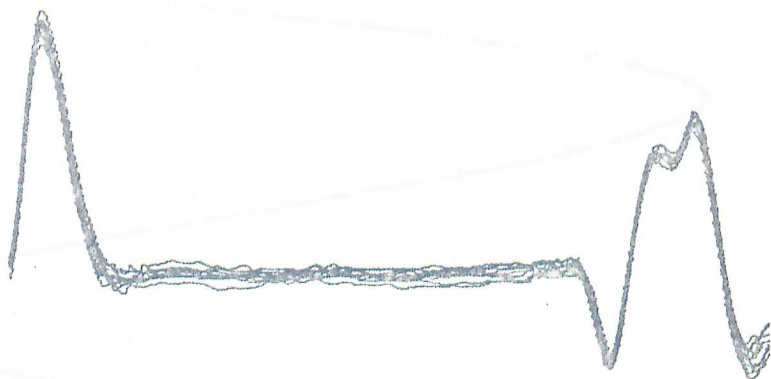


Fig. 4a. Motsv. fig 3a. men vid annan tidpunkt
Koordinataxlarna utelämnade

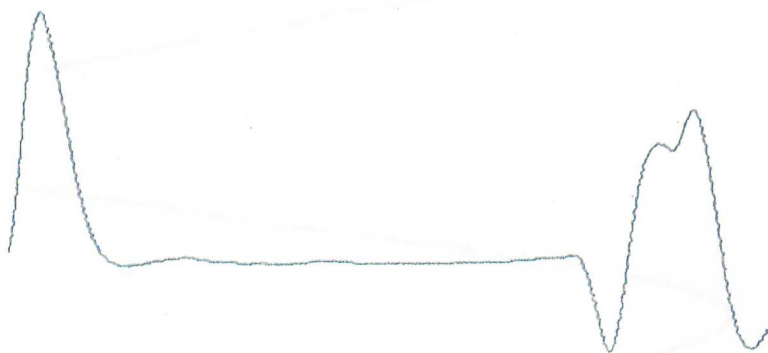


Fig. 4b. Medelvärdet av kurvorna i fig. 4a.

SINUS 500 P/S CALIBRATION SIGNAL

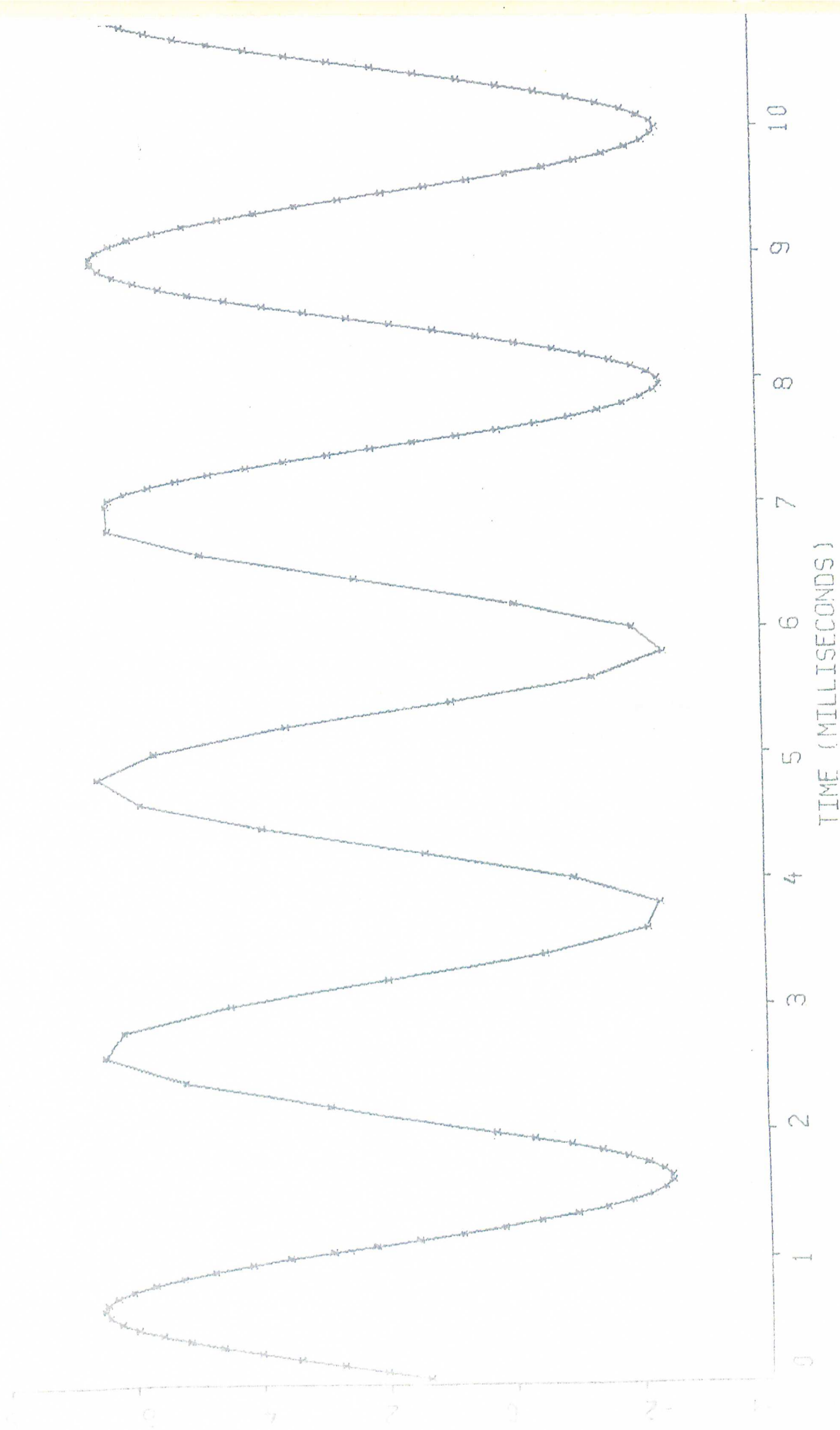


Fig. 5. Sinusvåg, på vilken A/D-omvandlingsprogrammet har tillämpats.
Partier med större punkttäthet motsvarar själva pulserna,
medan den mindre punkttätheten tillämpas mellan pulserna.

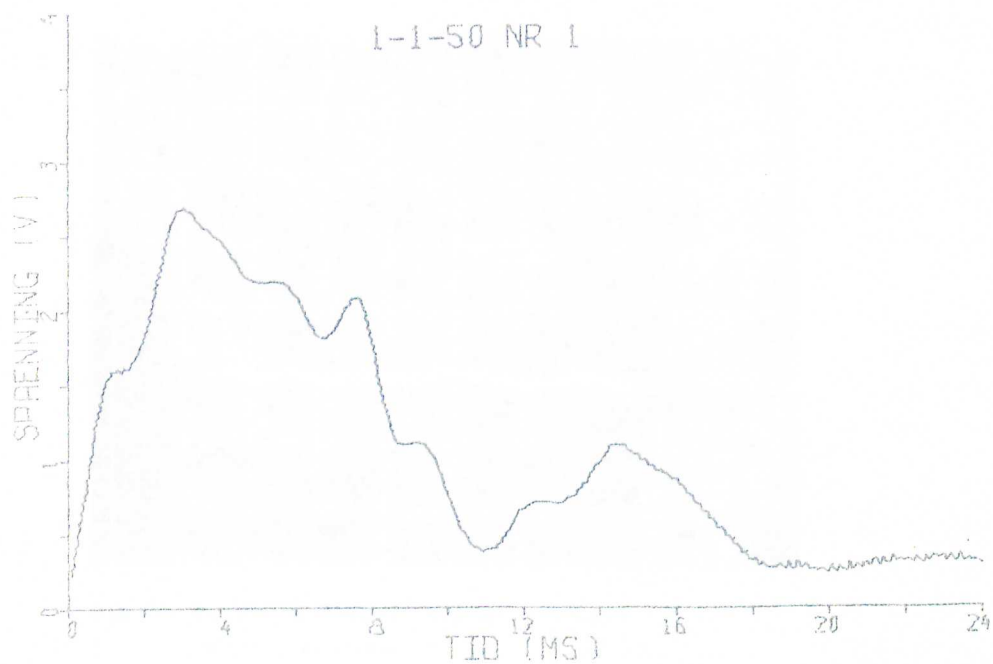


Fig. 6a. Stötvåg i betongpåle vid slagning med fallhejare
Avstånd mellan mätpunkterna: 90 mikrosekunder

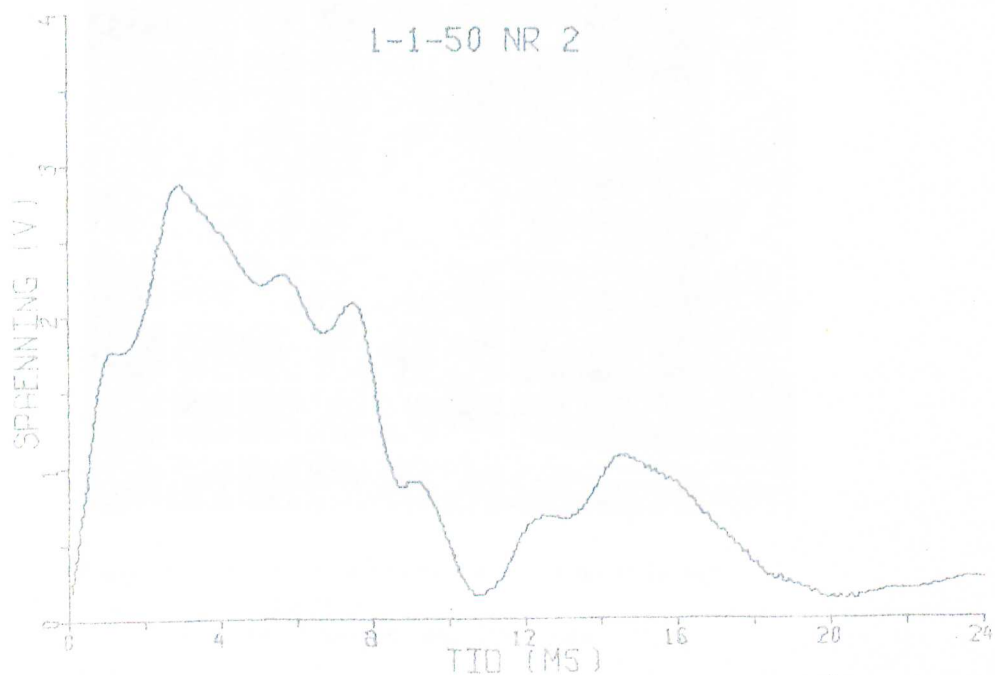


Fig. 6b. Samma typ som i fig. 6a. Ett annat slag i samma försöksserie

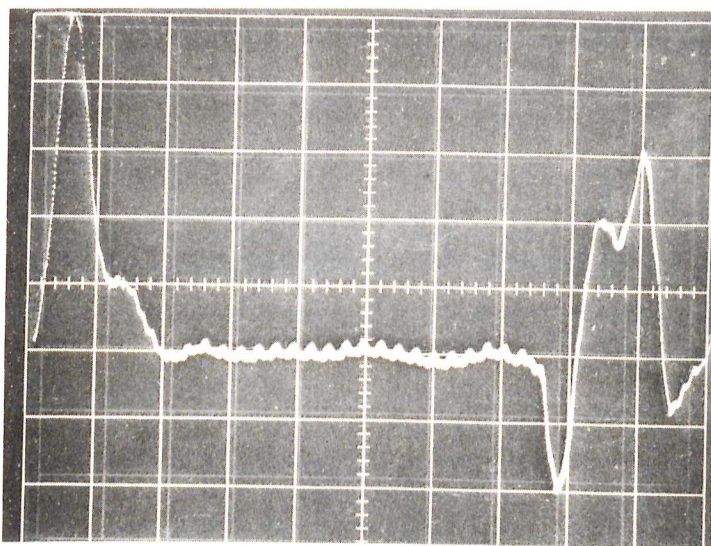


Fig 7a. Polaroidbild av en stötvåg vid slagning på stålpåle
med trycklufthammare
Enheter: 1 ms/ruta resp 0.2 V/ruta

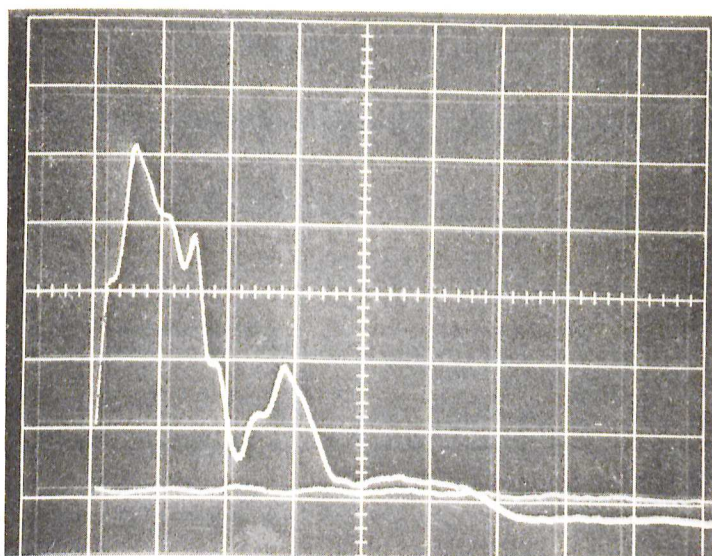
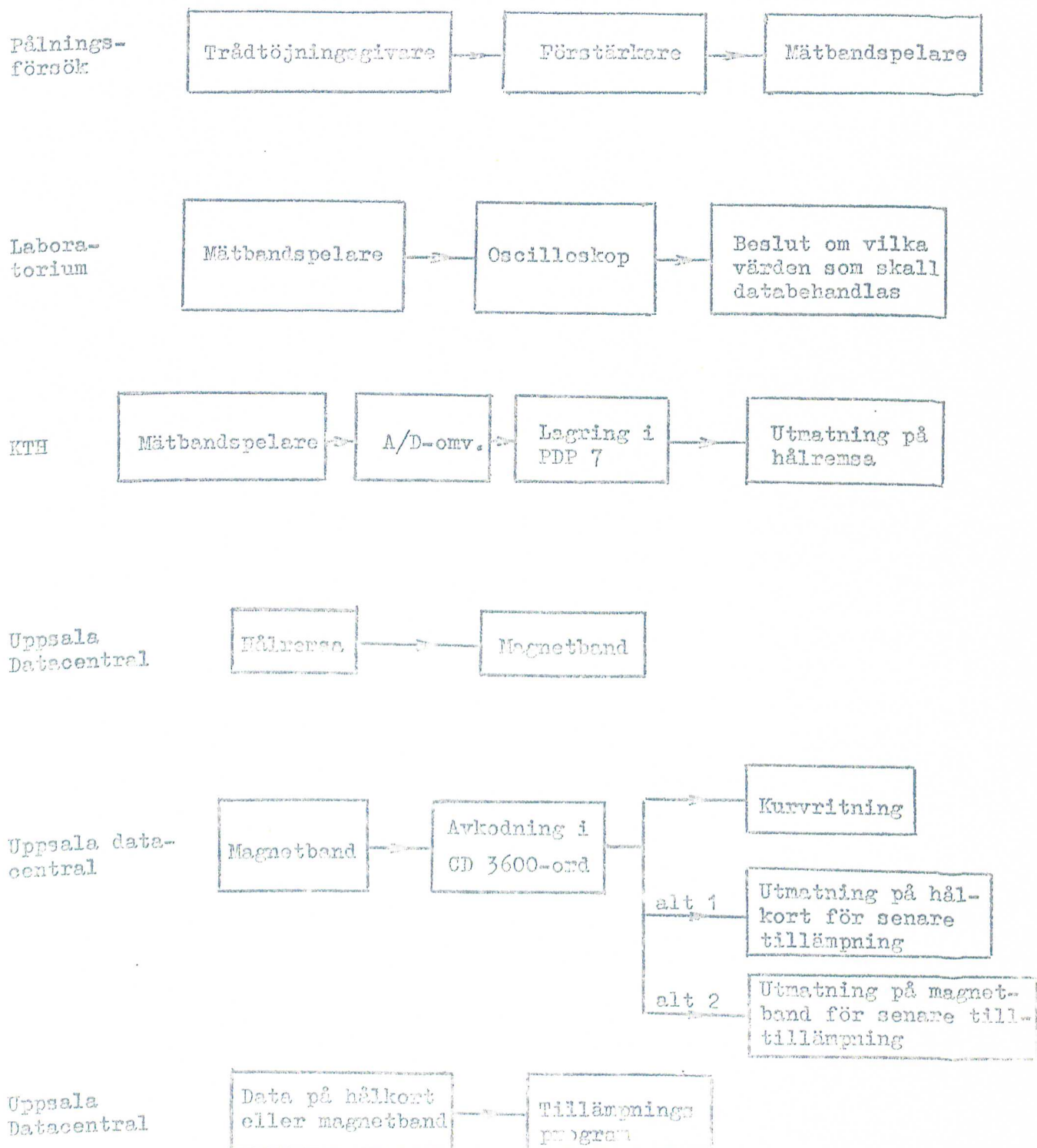


Fig 7b. Polaroidbild av en stötvåg vid slagning på betongpåle
med fallhejare
Enheter: 5 ms/ruta resp 0.5 V/ruta

BLOCKSCHEMA ÖVER DEN I RAPPORTEN FÖRESLAGNA METODIKEN



KOSTNADER

Kostnadsfrågan för en sådan här metodik är naturligtvis viktig och bör nog diskuteras innan man bestämmer sig för en viss arbetsmetodik. Kanske det dyker upp bättre alternativ under tiden. En mycket approximativ uppskattning av vad de olika momenten kostar följer nedan.

Antag att vi har valt ut 10 olika tidpunkter under slagningsförloppet som vi vill studera närmare. Låt oss säga att vi vill betrakta 10 slag vid varje tidpunkt. Kostnaderna fördelar sig då ungefär som så:

Digitalisering med utskrift på hålremsa	1 tim. PDP 7	200:-
Bandning av hålremsan på magnetisk tape	c:a 15 min CD 8090	60:-
Avkodning av tapen, stansning av hålkort och utläggning av data på plottape	c:a 3 min CD 3600	60:-
	+hålkort (5 öre/st.)	100:-
Uppritande av diagram	enl. alt. i Fig. 1 - 2	250:-
	enl. alt. i Fig. 3	80:-
	enl. alt. i Fig. 4	40:-

De uppritade diagrammen kan kopieras direkt på elektrostencil, varför datamaskinen arbetar som ett drivet, men relativt billigt ritbiträde, vilket minskar de reella kostnaderna betydligt.

Till ovannämnda utgifter kommer kostnaderna för de numeriska beräkningarna, vilka ställer sig relativt låga. Detta verkar kanske förvånande men det sammanhänger med maskinens arbetssätt. CD 3600 är en binär maskin med fast ordlängd och arbetar med parallell logik, vilket gör den lämpad för s.k. teknisk-vetenskaplig databehandling som karakteriseras av stora beräkningar på relativt små datamängder. Vid s.k. administrativ databehandling har man ofta stora datamängder, medan beräkningarna är av vanligtvis enkel natur. För sådana tillämpningar lämpar sig maskiner med variabel ordlängd och serielogik bättre. Som framgår av denna rapport har uppgiften, trots att det rör sig om en teknisk tillämpning, stora likheter med administrativa dataproblem. En diskussion om val av datamaskin är därför också på sin plats i sammanhanget.