

NORDTEST NDT-PROGRAM

**Delprojekt 3: Bestämning av
defektstorlek med ultraljud**

Tommy Zetterwall

SA/FoU - RAPPORT 89/08



AB STATENS ANLÄGGNINGSPROVNING

The Swedish Plant Inspectorate
Box 49306 · S-100 28 Stockholm · Sweden
Tel. Nat. 08-54 10 20
Int. +46 8 54 10 20

NORDTEST NDT-PROGRAM

Delprojekt 3: Bestämning av
defektstorlek med ultraljud

Tommy Zetterwall

SA/FoU - RAPPORT 89/08

NIKI PROJEKT B39/84
NI PROJEKT NI-P540

SAMMANFATTNING

Statens Anläggningsprovning har på uppdrag av Statens Kärnkraftinspektion, SKI, och Nordisk Industrifond, NI, deltagit i ett samnordiskt projekt benämnt NORDTEST NDT-program.

Målsättningen med projektet är att utarbeta underlag som möjliggör så effektiv ofp-kontroll som möjligt till rimliga kostnader, och ger myndigheter bättre förutsättningar att ställa relevanta krav på OFP-verksamheten.

Projektet har varit uppdelat i fyra delprojekt, varav SAs del har bestått i studier av bestämning av defektstorlek med ultraljud, delprojekt 3.

Det är metoder för längd- respektive höjdbestämning av defekter som studerats, med de vanligast förekommande ultraljudsökartyperna.

Metoderna har för längdbestämning varit 6 dB-drop från maxpunkt, 6 dB-drop från defektens ändpunkter, 50% DAC, samt successiv amplitudhalvering.

För höjdbestämning undersöktes 6 dB-drop, 50% DAC, eko-dynamisk metod, samt diffraktionsteknik.

Undersökningen har delats upp i provning från närliggande respektive motstående sida. Det visar sig ha stor betydelse för resultatet.

Längdbestämning från motstående sida visar att samtliga undersökta metoder fungerar tillfredställande eller mycket bra. Det är tekniken med successiv amplitudhalvering och fokuserade sökare som visar sig ge det bästa resultatet.

Vid **längdbestämning från närliggande sida** ger ingen av de undersökta metoderna ett tillfredställande resultat. Det beror på att defekterna består av ytgående utmattningssprickor. Ljudet har ingen möjlighet att träffa sprickans yttre hörn vid provning från spricksida, vilket får till följd att defekterna underskattas eller inte registreras alls. Problem uppstår också då provningen med dessa korta ljudvägar hamnar i sökarens närzon.

Försök gjordes att från denna yta studsa ljudet, vilket gav ett klart bättre resultat, som är fullt jämförbart med provning från motstående sida.

Vid **höjdbestämning från motstående sida** visar metoderna 6 dB-drop samt 50% DAC en alldeles för stor spridning av resultaten, för att dessa skall kunna användas.

Den ekodynamiska metoden är en teknik som fungerar bra i speciella fall. Den fungerar bra då 45°-brytningsvinkel används i kombination med lämplig frekvens, beroende på om materialet är kolstål eller rostfritt.

Diffractionstekniken är den teknik som överlag ger det bästa resultatet. Någon jämförelse med SuperSAFT har inte gjorts, utan denna teknik beskrivs separat.

Då **höjdbestämmning** utförs **från närliggande sida** visar 6 dB-drop samma tendens som från motstående sida. 50% DAC ger däremot inte ett tillräckligt starkt signal-svar för att nå upp till referensnivån. Det är diffractionstekniken som även här är den teknik som ger det bästa resultatet.

För att öka sannolikheten för en korrekt bedömning bör flera mätningar med olika vinklar och frekvenser utföras på en spricka.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning
2. Projektbeskrivning-delprojekt 3
3. Längdbestämmning
 - 3.1 6 dB-drop från maxamplitud
 - 3.2 6 dB-drop från defektens ändpunkter
 - 3.3 50 % DAC
 - 3.4 Successiv amplitudhalvering
4. Höjdbestämmning
 - 4.1 6 dB-drop
 - 4.2 50 % DAC
 - 4.3 Ekodynamisk metod
 - 4.4 Diffraktionsteknik
5. Slutsats
6. Referenser
 - Bilaga 1: Ritning på testplåtar.
 - Bilaga 2: Exempel på ljudfältsuppmätning.
 - Bilaga 3: Kalibreringsblock för ekodynamisk metod.
 - Bilaga 4: SuperSAFT med P-scan.

INLEDNING

Med anslag från Statens Kärnkraftinspektion, SKI och Nordisk Industrifond, NI samt AB Statens Anläggningsprovning, SA, har SA deltagit i ett samnordiskt forskningsprojekt benämmt "Utveckling och optimering av ofp för praktiskt bruk ", förkortat Nordtest NDT-program.

Projektet har varit uppdelat i fyra delprojekt, vilka är definierade enligt följande:

- Delprojekt 1: Optimal insats av NDT och bruk av NDT-resultat.
- Delprojekt 2: Detekteringssannolikhet av defekter vid provning med NDT-metoder.
- Delprojekt 3: Bestämning av defektstorlek med ultraljud.
- Delprojekt 4: Behandling och dokumentation av provningsdata vid NDT-undersökningar.

Deltagande institutioner har varit för:

- Delprojekt 1: Det Norske Veritas, DnV.
- Delprojekt 2: Statens Tekniska Forskningscentral, VTT.
- Delprojekt 3: AB Statens Anläggningsprovning, SA.
- Delprojekt 4: Svejsecentralen, SVC.

Felkällorna vid storleksbestämning av defekter är i de flesta fall stora vilket har påvisats i många internationella projekt. De lärdomar man där har dragit har inte alltid omsatts i praktiken och de nya OFP-metoder som nu är möjliga har inte tagits i bruk i någon större omfattning, med vissa undantag t.ex. inom kärnkraftindustrin.

OFP-tekniken befinner sig inte i ett statistiskt tillstånd, då sofistikerade utrustningar, förbättrade procedurer samt nya innovationer gör att denna förbättras kontinuerligt.

Storleksbestämning med ultraljudteknik utförs vanligen med metoder där signalens amplitud har ett avgörande inflytande. Exempel på sådana metoder är 6 dB-drop, 50 % DAC samt successiv amplitudhalvering. Den gemensamma nämnaren är att vid förflyttning av ultraljudsökaren uttolka information om defektens utbredning från amplitudförändringar. Så länge det aktuella ekot finns kvar på bildskärmen befinner sig defekten inom sökarens ljudfält.

Metoderna fungerar dock inte alltid och man måste då använda sig av en teknik som är oberoende av ekoamplituden. Ekodynamisk metod är ett sätt att försöka bestämma hur mycket "felfritt" material som finns och på så sätt kunna uppskatta defektstorleken. Det är en metod för höjduppskattning av defekter. Men även denna metod har sina begränsningar.

Allmänt kan sägas att höjdbestämmning av ytgående sprickor i ett objekt är behäftat med stor osäkerhet då konventionella metoder används.

För några år sedan började en ny princip att tillämpas vid höjdbestämmning av sprickor. Man studerade den signal som diffrakteras från sprickans spets. Utifrån detta har olika former av diffraktionsteknik utvecklats.

Samtliga ovan uppräknade metoder kommer var för sig att beskrivas i separata kapitel.

Målsättningen med projektet är att resultaten skall kunna användas av myndigheter för att ställa krav på OFP-verksamheten och förändra en föråldrad praxis, samt av industri och kontrollföretag för att utföra OFP-kontrollen så effektivt som möjligt.

Samtliga industrigrenar, inom vilka oförstörande provning är föreskriven, torde kunna dra nytta av resultaten.

Projektet har omfattat en tidsperiod på ca 4,5 år.

2. PROJEKT BESKRIVNING - DELPROJEKT 3

Delprojekt 3 var ursprungligen avsett att omfatta både bestämning av defektstorlek och defekttyp, men har av resursskäl begränsats till enbart bestämning av defektstorlek.

Samtliga undersökningar har utförts på de av SKI framtagna testplåtarna med mekaniska utmattningssprickor, dvs, se bilaga 1. 16 stycken testplåtar har utnyttjats, 8 i kolstål och 8 i rostfritt austenitiskt stål, i godstjocklekarna, 10 mm, 20 mm och 36 mm.

Sprickorna är halvelliptiska till formen med ett sprickdjup 10%, 20% och 50% av godstjockleken. Noggrannheten i sprickdjupet bedöms vara bättre än ± 0.5 mm.

För undersökningarna har ett femtontal av de vanligast förekommande ultraljudsökarna använts, med brytningsvinklarna 45° - 70° och frekvenserna 2-10 MHz. Undersökningen har även innehållit fyra stycken linsfokuserade sökare, se tabell 1.

De metoder som utvärderats för längdbestämning är följande:

- 6 dB-drop från maxamplitud
- 6 dB-drop från defektens ändpunkter
- 50 % DAC
- successiv amplitudhalvering

För höjdbestämning har följande metoder undersökts:

- 6 dB-drop
- 50 % DAC
- ekodynamisk metod
- diffraktionsteknik

Diffraktionstekniken har studerats i samarbete med det av SKI finansierade projektet " Felstorleksbestämning med ultraljud-diffraktionsteknik " (SKI 13.2-9686:86043).

SuperSAFT utförd med P-scan är en databaserad utvärderingsteknik vid storleksbestämning av defekter. Arbetet med denna teknik ingår som en del i Nordtest NDT-program, och har utförts av Svejsecentralen i Danmark.

Verifiering av tekniken har utförts på ovan nämnda SKI-plåtar, från motstående spricksida, och resultaten redovisas i bilaga 4.

Tabell 1

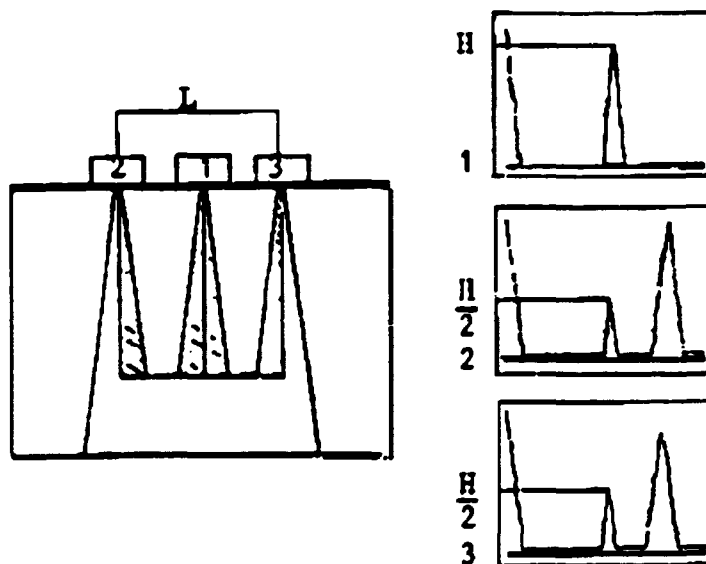
Följande sökare har använts:

Fabrikat och typ	Nominell brytnings- vinkel	Kristall storlek	Nominell frekvens	Vågtyp
Krautkrämer-MWB45N2	45	8x9	2,0	trans
" MWB60N2	60	"	"	"
" MWB70N2	70	"	"	"
" MWB45N4	45	"	4,0	"
" MWB60N4	60	"	"	"
" MWE70N4	70	"	"	"
" KBA45-2,25	45	Ø6	2,25	"
" KBA60-2,25	60	"	"	"
" KBA70-2,25	70	"	"	"
" KBA45-5,0	45	"	5,0	"
" KBA60-5,0	60	"	"	"
" KBA70-5,0	70	"	"	"
" KBA45-10,0	45	"	10,0	"
" KBA60-10,0	60	"	"	"
" KBA70-10,0	70	"	"	"
RTD 45°T4-st f~35	45	12 x 14	4	"
" 60°T6-st f~8	60	6 x 7.5	6	"
" 60°T4-st f~12	60	8.5 x 11	4	"
" 60°T4-st f~30	60	12.5 x 19	4	"

3. LÄNGDBESTÄMNIG

3.1 6 dB-drop från maxamplitud

Tekniken innebär att sökaren förflyttas från den punkt där maximal signalamplitud erhållits tills amplituden sjunkit med 6 dB. Defektens längd blir då avståndet mellan de två sökarpositioner där amplituden sjunkit till halva maxvärdet, se figur 1.



Figur 1. Principen för längdbestämnig.

Defektens form kan medföra att ljudinfallsvinkeln lokalt kan vara ogynnsam för reflektion, vilket kan få till följd att ekot tillfälligt sjunker under amplitudgränsen och kan ge ett missvisande resultat.

Amplituden påverkas även av flera andra faktorer än storleken hos defekten. När ljudstrålen träffar en defekt uppstår fenomen såsom reflektion beroende på defektens orientering, diffraktion från sprickspetsar, transmission genom täta sprickor samt spridning p g a defektens ytojämnhet.

Ingen metod ger säkrare bestämnig av en defekt än vad upplösningsförmågan medger. Den yttersta gränsen för denna är våglängdens storlek. Det innebär t ex att hög svängningsfrekvens (= liten våglängd) ger bättre möjligheter till god upplösning.

Eftersom ljudfältets diameter ökar med avståndet till sökaren (gäller för ofokuserade sökare) försämras upplösningen vid mätning på långa ljudvägar. Det är därför viktigt att man skaffar sig kontroll över ljudfältets utseende genom uppmätning. Detta har vid dessa undersökningar gått till så

att ljudfälten har mätts upp i x- och y-led mot CBH Ø 2.0 mm, se exempel i bilaga 2.

Det kan också vara värdefullt att känna till att ljudfältet kan ändra riktning och karaktär inne i materialet på grund av förändringar i materialstruktur eller på grund av interferens från andra defekter än den som skall bestämmas. Grovkornig struktur yttrar sig genom att störningsnivån (= brus) ökar. Signal/brus nivåer understigande 3/1 kan medföra utvärderingsproblem. Detta kan avhjälpas genom val av andra sökartyper med andra frekvenser och brytningsvinklar. Information om material, geometri och svetsförfarande skall inhämtas innan provningen påbörjas.

Resultaten från undersökningarna med 6 dB-drop från defektens maxamplitud och från motstående sida, visar att längdbestämmningen överrensstämmer bra med verkligheten. Vid större godstjocklekar, i det här fallet 36 mm, visar dock 70°-avsökningen en tendens till underskattning av fellängden, se diagram 1-3.

Vid provning från spricksidan, dvs närliggande sida, underskattas längderna oavsett vilken sökartyg som används. 70°-avsökningen ger ett något bättre resultat, se diagram 4-6. Orsaken till denna underskattning beror på att ljudfältet inte träffar sprickans yttre hörn, då sprickan har en halv-elliptisk form, samt att avsökningen vid dessa korta ljudvägar utförs i sökarens närzon.

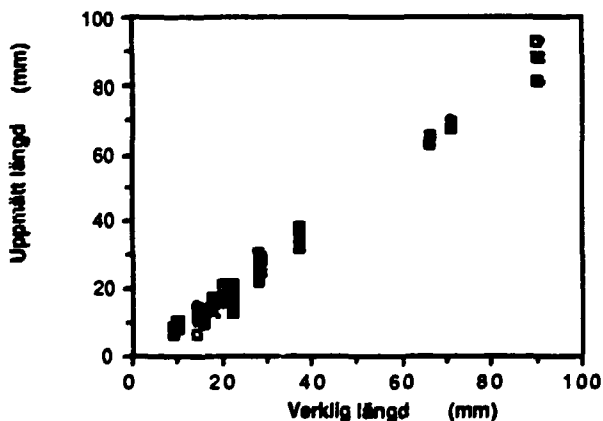


Diagram 1. Uppmätt spricklängd med 6dB-drop från maxamplitud som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 45° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

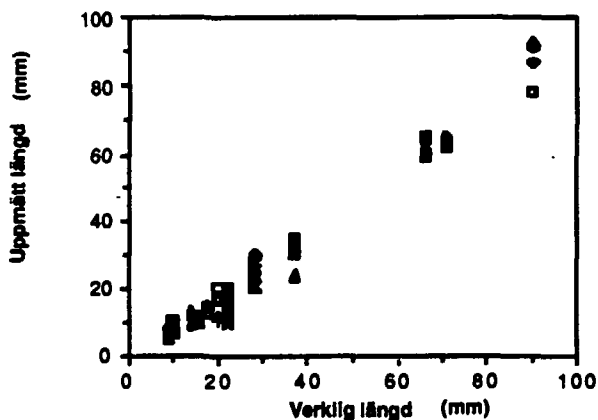


Diagram 2. Uppmätt spricklängd med 6dB-drop från maxamplitud som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 60° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

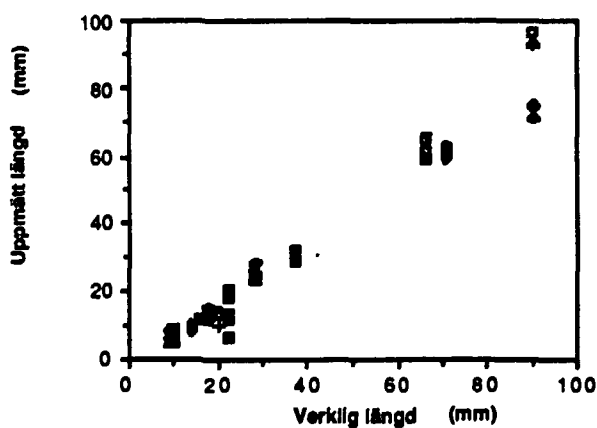


Diagram 3. Uppmätt spricklängd med 6dB-drop från maxamplitud som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 70° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

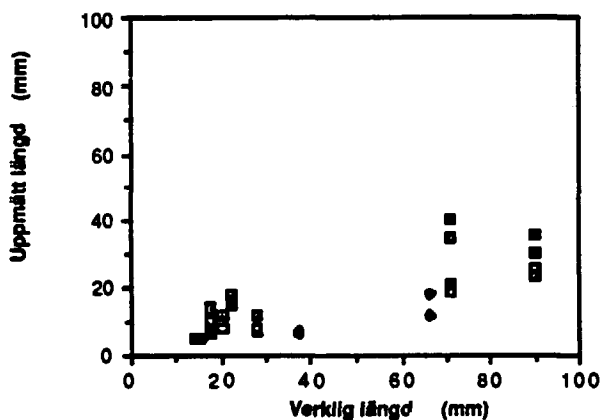


Diagram 4. Uppmätt spricklängd med 6dB-drop från maxamplitud som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **närliggande sida** med brytningsvinkel 45° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

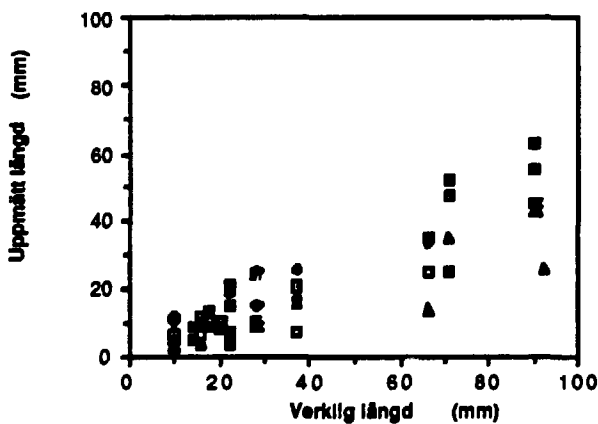


Diagram 5. Uppmätt spricklängd med 6dB-drop från maxamplitud som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **närliggande sida** med brytningsvinkel 60° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

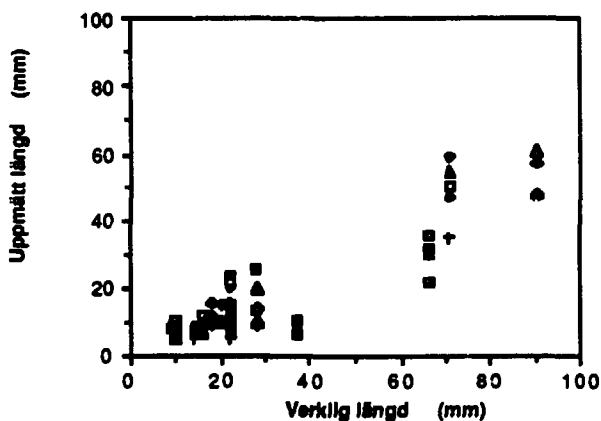


Diagram 6 Uppmätt spricklängd med 6dB-drop från maxamplitud som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **närliggande sida** med brytningsvinkel 70° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

3.2 6 dB-drop från defektens ändpunkter

Detta är en annan variant av 6 dB-drop, som utförs mot defektens ändpunkter.

Sökaren förflyttas över defekten tills ekot snabbt tenderar att försvinna. Från denna position flyttas sedan sökaren ytterligare tills amplituden minskat med 6 dB.

Med denna metod bör en sådan felkälla som defektens form kunna minimeras.

Diagram 7 visar ett exempel på att resultaten vid längdbestämmning från motstående sida överrensstämmer bra med verkligheten.

Däremot fungerar inte metoden vid provning från närliggande sida, då sprickan inte har någon naturlig ändpunkt där amplituden kan droppas med 6 dB. Sprickorna har en elliptisk form där ändpunkterna ligger vid ytan. Det innebär att vid provning från denna sida går ljudvägen mot noll och defekten hamnar i sökarens närzon.

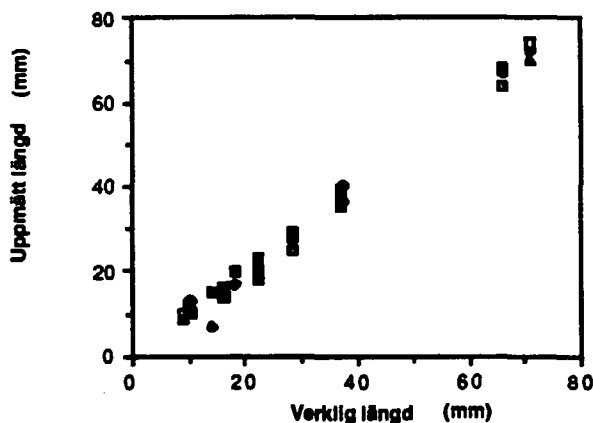


Diagram 7. Uppmätt spricklängd med 6dB-drop från defektens ändpunkter som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 45° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

3.3 50% DAC

DAC står för Distance Amplitude Correction och innebär att en kompensering för förluster orsakade av dämpning och spridning i materialet görs.

Storleksbestämning med denna metod görs på samma sätt som vid dB-drop men med den skillnaden att sökaren förflyttas till dess amplituden sjunkit till 50 % av referensnivån (= 50 % DAC).

Då denna metod används måste känslighetskalibrering utföras med största noggrannhet. Referensnivån skall ställas mot en enligt proceduren angiven reflektor och på en kalibreringskropp av likvärdigt material.

För detta projekt har känsligheten ställts mot CBH \varnothing 2.4 mm, ($t \leq 20$ mm) respektive CBH \varnothing 3.2 mm, ($t > 20$ mm) beroende på provobjektets godstjocklek. Därefter har DAC-kurvor konstruerats.

Längdbestämning med 50 % DAC från motstående sida fungerar lika bra som 6 dB-drop metoden, men med den skillnaden att defekter på större djup inte ger tillräckligt hög amplitud med 70° -avsökningen, dvs inte når upp till 50% av referensnivån, se diagram 8-10. I provobjekten finns de största spricklängderna i plåtarna med den största godstjockleken.

Metoden är inte användbar för storleksbestämning från närliggande sida, då amplituden från defekten inte når upp till 50 % av referensnivån.

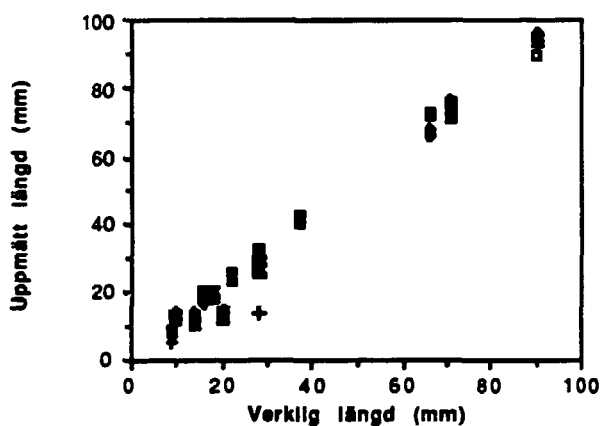


Diagram 8. Uppmätt spricklängd med 50% DAC som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 45° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

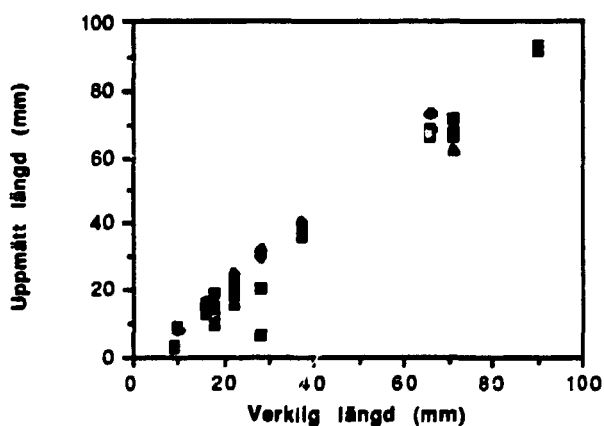


Diagram 9. Uppmätt spricklängd med 50% DAC som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 60° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

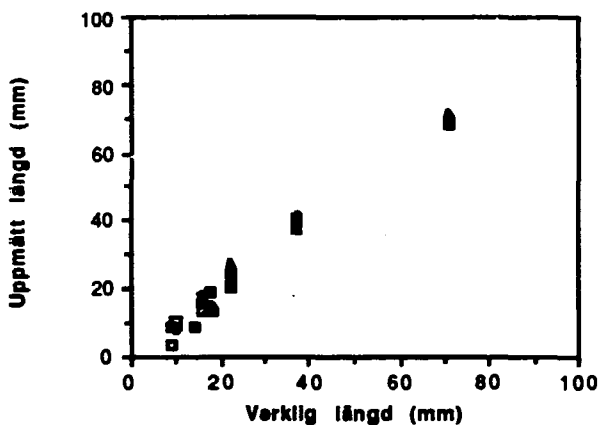


Diagram 10. Uppmätt spricklängd med 50% DAC som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provnings från **motstående sida** med brytningsvinkel 70° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

3.4 Successiv amplitudhalvering

Successiv amplitudhalvering är en annan variant av 6 dB-drop som är avsedd att användas tillsammans med fokuserade sökare.

Sökaren flyttas ut mot defektens ena ände tills amplituden minskat med 6 dB eller 50 %. Om denna förflyttning är större än ljudfältets halva fokusdiameter ökas förstärkningen med 6 dB och sökaren flyttas ytterligare tills amplituden åter sjunkit med 50 %.

Förloppet upprepas tills förflyttningen är mindre än halva fokusstorleken. Samma förlopp upprepas på defektens andra sida. Defektens längd är då avståndet mellan de två punkter där sökarförflyttningarna avslutades.

Vid användandet av denna metod är det viktigt att ljudfältets fokusdiameter är känt vid aktuell ljudväg.

Försöken att längdbestämma med successiv amplitudhalvering från motstående sida, visar att metoden är mer exakt än de tidigare beskrivna metoderna, se diagram 11.

Att däremot använda metoden från närliggande sida är mera tveksamt på grund av att defekten finns i sökarens närzon, samt av följande anledningar:

- * från sprickor med lågt signalsvar, dvs dåligt signal/brus förhållande, som t.ex för små defekter, försvinner signalen

i bruset och det går inte att följa sprickan succesivt mot sprickspets.

- * från sprickor med bra signalsvar, dvs i det här fallet djupare sprickor än 2 mm, erhålles stående ekon från sökaren som stör bilden. Signalen från sprickan kan inte följas utefter hela spricklängden, utan byggs ihop med störekona. Att i detta fall utföra en korrekt successiv amplitudhalvering är svårt.

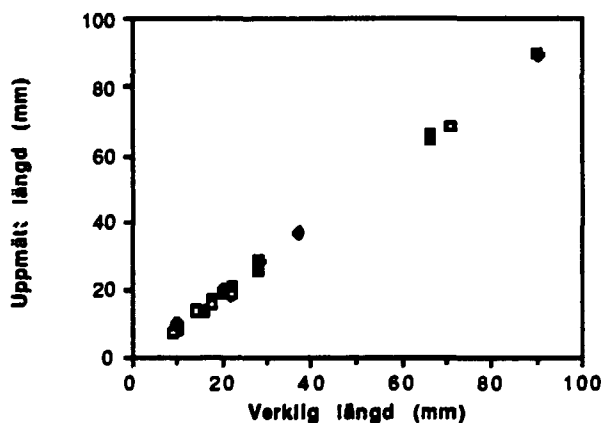


Diagram 11. Uppmätt spricklängd med succesiv amplitudhalvering som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med varierande brytningsvinklar, 45° - 60° , och frekvenser, 4-6 MHz.

Försök gjordes också, att vid provning från spricksida studsas ljudet mot motsatt sida. Dessa försök gav samma goda resultat som provning från motstående sida, se diagram 12.

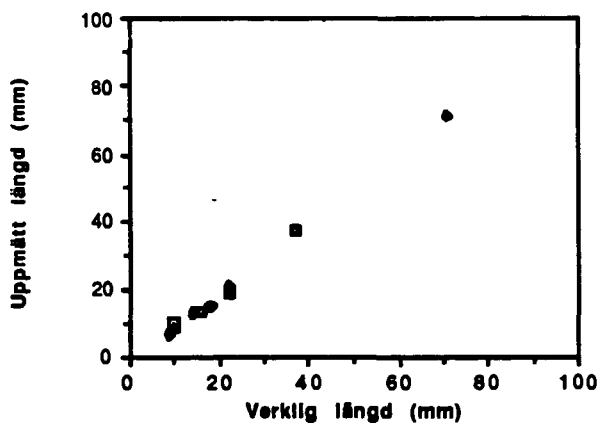


Diagram 12. Uppmätt spricklängd med succesiv amplitudhalvering som funktion av verklig på kolstål och rostfritt. Provning från **närliggande sida med studsat ljud** mot motstående sida med brytningsvinkel 45° fokuserat ljud.

4 HÖJDBESTÄMNING

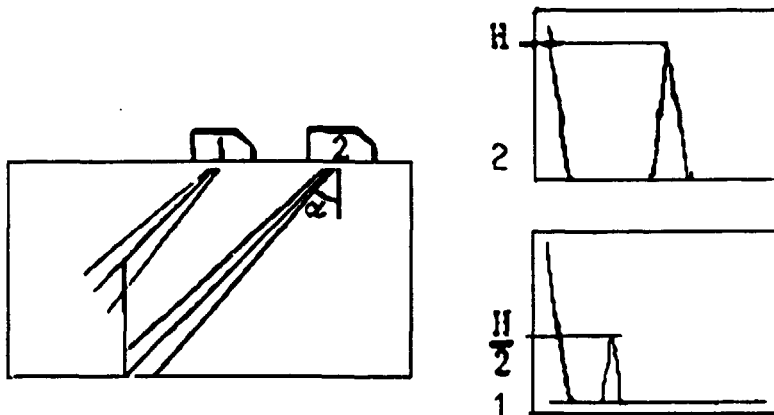
4.1 6 dB-drop

För höjdbestämmning med 6 dB-drop gäller samma princip som vid längdbestämmning, dvs att sökaren ställs i den position där max amplitud erhålls. Därefter flyttas sökaren vinkelrätt framåt över felet tills amplituden sjunkit till 50 % eller 6 dB.

Felhöjden kan sedan tas fram med hjälp av avståndet mellan de båda positioner där amplituden sjunkit till halva maxvärdet.

Höjden beräknas sedan ur sambandet:

$$h = (Lv_2 - Lv_1) \cos x, \text{ se figur 2.}$$



Figur 2. Principen för höjdbestämmning med 6 dB-drop

Ur diagrammen 13-16 kan man utläsa att detta inte är en bra metod för höjdbestämmning av defekter, vare sig vid provning från spricksida eller motstående sida. Man erhåller en stor spridning av resultaten, för alla provade frekvenser. Höjden hos de djupare sprickorna underskattas också kraftigt.

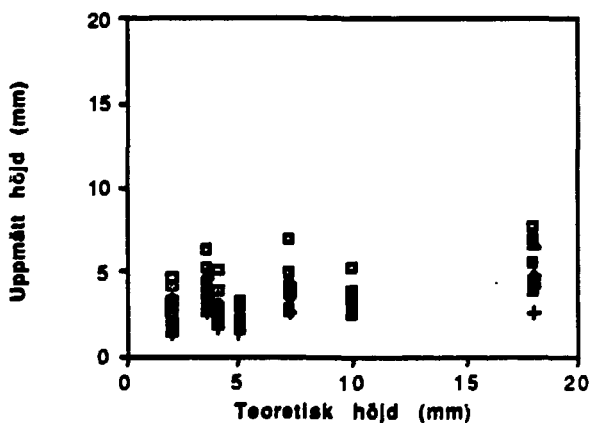


Diagram 13. Uppmätt sprickhöjd med 6dB-drop som funktion av teoretisk på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 45° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

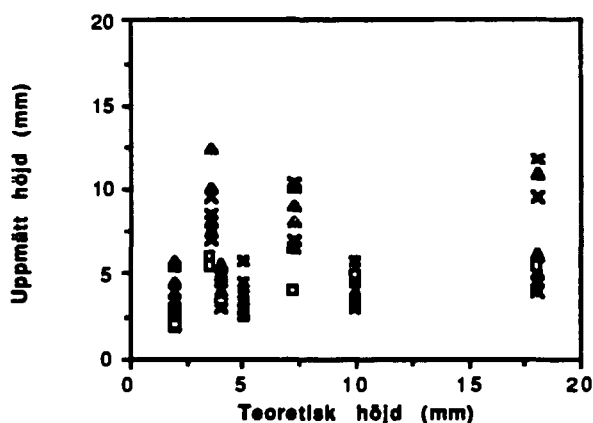


Diagram 14. Uppmätt sprickhöjd med 6dB-drop som funktion av teoretisk på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 60° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

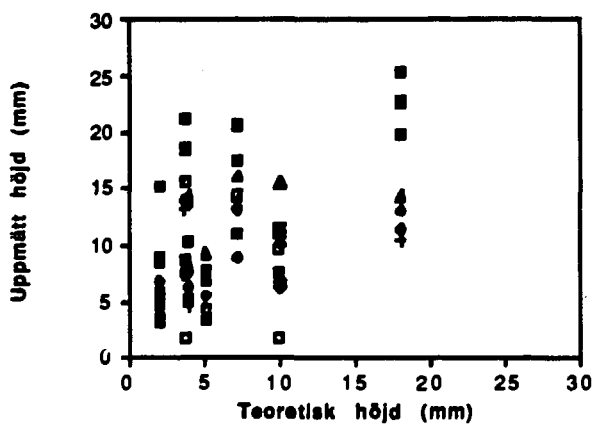


Diagram 15. Uppmätt sprickhöjd med 6dB-drop som funktion av teoretisk på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 70° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

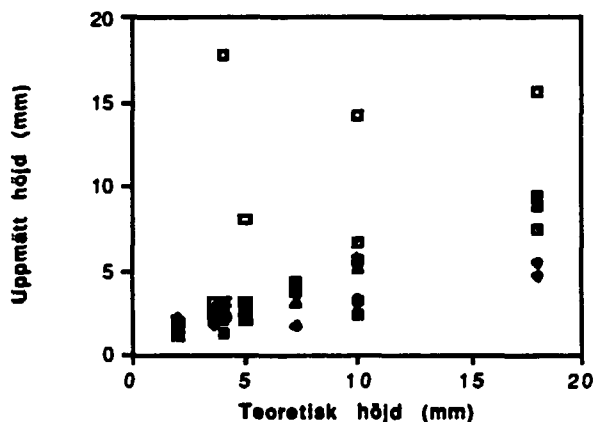


Diagram 16. Uppmätt sprickhöjd med 6dB-drop som funktion av teoretisk på kolstål och rostfritt. Provnings från **närliggande sida** med brytningsvinkel 70° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

4.2 50 % DAC

Tillvägagångssättet med denna metod är densamma som vid höjdbestämmning med 6 dB-drop.

Skillnaden ligger i att här jämförs ekoamplituden mot en referensnivå, dvs sökaren flyttas framåt över felet tills amplituden sjunkit till 50 % av referensnivån. Ljudvägarna avläses och höjden beräknas sedan ur samma samband som visas i 4.1.

Vid höjdbestämmning med denna metod från motstående sida erhöles signaler större än referensnivå med 45° - och 60° -brytningsvinkel, medan 70° -avsökningen däremot gav för små amplituder och inte utvärderingsbara. Resultaten från 45° - och 60° -avsökningarna visar dock stor spridning av mätdata varför noggrannheten hos denna metod är dålig, se diagram 17-18.

Vid höjdbestämmning från närliggande sida erhöles inga signaler större än referensnivå, oavsett sökarvinkel, vilket medför att tekniken inte är utvärderingsbar.

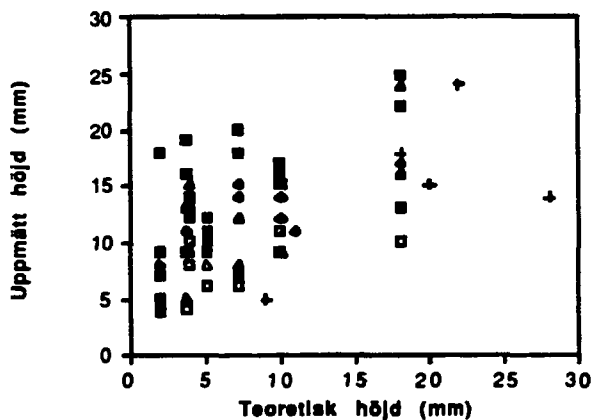


Diagram 17. Uppmätt sprickhöjd med 50% DAC som funktion av teoretisk på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 45° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

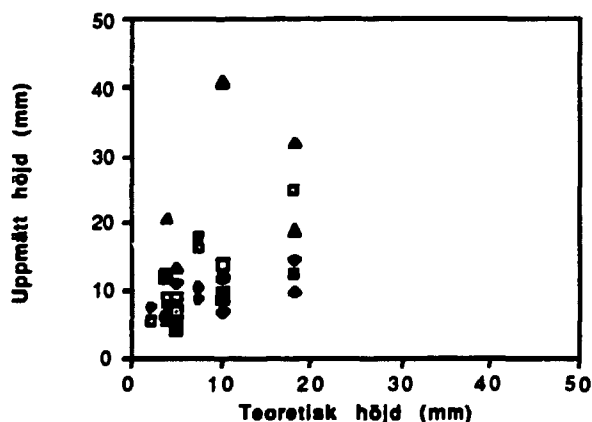
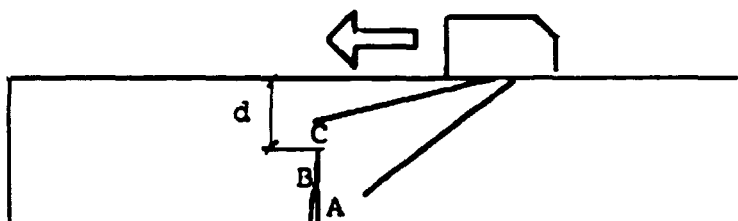


Diagram 18. Uppmätt sprickhöjd med 50% DAC som funktion av teoretisk på kolstål och rostfritt. Provning från **motstående sida** med brytningsvinkel 60° och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

4.3 Ekodynamisk metod

Den ekodynamiska metoden använder sig av den ekoenvelop som byggs upp när ljudfältet förs fram över felet, se figur 3. Metoden bygger på jämförelse med ekodynamiska kurvor upptagna mot konstgjorda defekter av känt djup.



Figur 3. Principen för höjdbestämning med ekodynamisk metod

Kurvan har ett specifikt läge och utseende för varje kombination av sökare och avstånd "d" i figur 3 ovan och sätts samman av ljud som reflekteras från hörnet A, sprickytan B och sprickspetsen C, allteftersom sökaren förflyttas över sprickan.

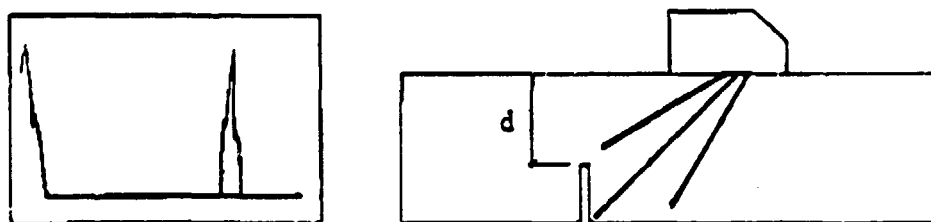
4.3.1 Kalibrering

Kalibrering utförs på frästa eller gnistade spår i ett referensblock med geometri och material likvärdigt med objektet som skall undersökas, se bilaga 3.

Antalet spår och deras djup får avgöras från fall till fall, men ett intervall i spårdjup på ca 2 mm kan vara lämpligt.

Kalibreringen utförs enligt följande:

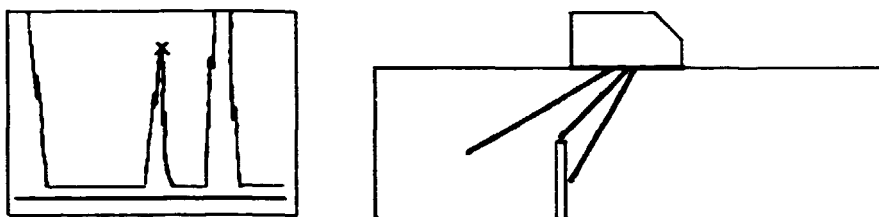
- * Ultraljudapparatens längdskala kalibreras i ljudväg eller djup.
- * Med hjälp av referensblocket med spår på olika djup upprättas ekodynamiska kurvor som ritas in på ultraljudapparatens bildskärm, enligt punkt 1-4.



Figur 4. Inkörning mot hörnekot

1. Ekot från spårets hörn med bottenytan uppsökes (figur 4) och från detta läge förs sökaren framåt

tills man erhållit maxeko från spårets spets (figur 5). Detta läge markeras på bildskärmen.



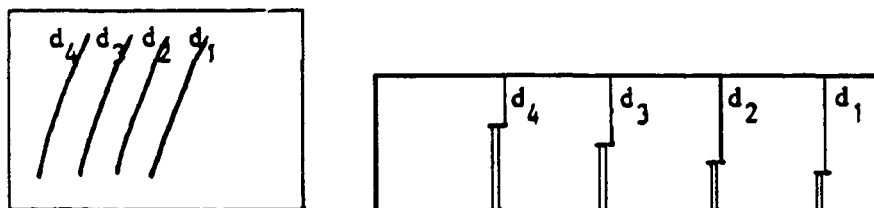
Figur 5. Diffraktionsekot från spårets spets

2. Från detta läge förs sökaren ytterligare framåt och man observerar hur ekospetsen på skärmen sjunker samtidigt som de förflyttas åt vänster. Under denna rörelse markeras ytterligare punkter för ekospetsen på skärmen.
3. Utgående från de punkter som markerats på skärmen kan en ekodynamiska kurva konstrueras som är typisk för ett visst avstånd från avsökningsytan och ner till spårets spets.

Kurvan är även bunden till en viss sökare eftersom ljudfältets karaktäristik har ett avgörande inflytande på kurvans utseende.

4. Punkt 2 och 3 ovan upprepas för andra spår med varierande djup.

När kalibreringen är färdig har man erhållit kurvor liknande figur 6 som representerar den mottagna signalen uppförande när sökaren förs fram över och förbi ett sprucket område. Den kurva som ligger längst till vänster representerar det djupaste spåret.



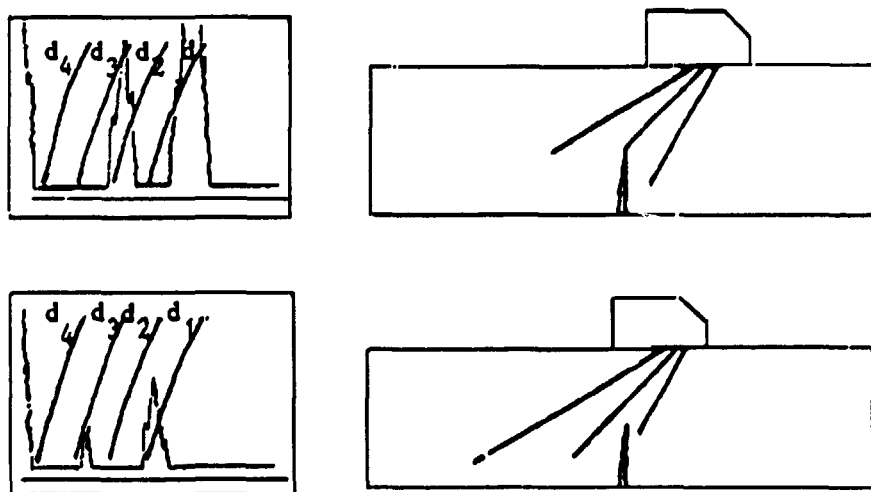
Figur 6. Exempel på ekodynamiska kurvor

Till skillnad från andra ultraljudmetoder är här inte ekots amplitud av intresse och man är heller inte beroende av ekot

från sprickans hörn mot baksidan, annat än för orienteringens skull.

4.3.2 Höjdklassificering

Vid uppmätning av felhöjd hos ett verkligt fel används den framtagna kurvskaran på så sätt att man jämför ekosignalens uppförande med de på skärmen inritade kurvorna. Om ett klart eko kan erhållas som följer någon av kurvorna betyder detta att djupet ner till sprickspetsen överensstämmer med det djup som gäller för just den kurvan. Vid mätning förs sökaren fram över felet på samma sätt som när kurvorna togs fram, se figur 7. Metoden bör appliceras från sprickans båda sidor. Man bör observera att metoden inte skall användas för samtidig avsökning av ett område. Det förutsätts att de intressanta felen redan har detekterats och lokaliserats med hjälp av andra metoder.



Figur 7. Användning av ekodynamisk metod.

Provningarna visar att för kolstål är 45°-brytningsvinkel i frekvensområdet 4-10 MHz mest optimal. Flackare vinkel, såsom 60-70°, samt lägre frekvens ger sämre upplösning, framförallt för grunda sprickor, se diagram 19.

För rostfritt material gäller samma iakttagelser som för kolstål vad avser brytningsvinkel, medan däremot frekvensen måste ligga inom intervallet 2-4 MHz. Högre frekvenser ger för dåligt signal/brusförhållande.

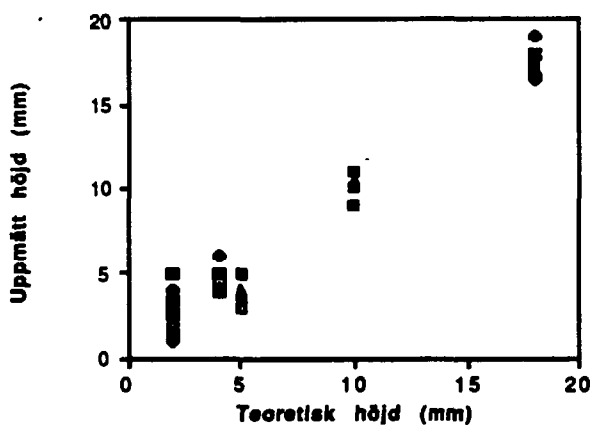


Diagram 19. Uppmätt sprickhöjd med ekodynamisk metod som funktion av teoretisk på kolstål och rostfritt med 45°-brytningsvinkel och med varierande frekvenser, 2-10 MHz.

4.4 DIFFRAKTIONSTEKNIK

4.4.1 Diffraction

Avvikelse från rätlinjig utbredning kallas diffraction eller böjning. Sådana avvikelser uppkommer då en våg passerar en öppning, en kant av ett utbrett hinder eller båda sidorna av ett litet hinder, figur 8. Diffraction är ett typiskt vågrörelsefenomen som uppträder när ett strålknippe laterala utbredning begränsas.



Figur 8. Böjning av våg i stor och liten öppning.

4.4.2 Huygens princip .

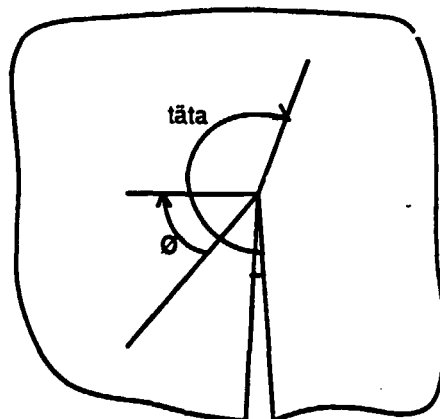
Huygens förklarade på 1600-talet böjningsfenomenet genom att anta att varje punkt som träffas av en våg fungerar som en störningskälla som sänder ut vågor i alla riktningar. Dessa vågor kallas sekundära, eftersom de inte orsakar vågrörelsen. Huygens grundade sina resonemang på enkla experiment med vattenvågor. Dessa experiment visade att en öppning som är mycket mindre än våglängden fungerar som en sändare för cirkulära vågor, och att flera sådana cirkulära vågor i samverkan kan alstra en linjär vågfront.

"Varje punkt som träffas av en vågfront blir centrum för en sekundär störningsvåg. Tangentytan till dessa störningsvågor bildar vågfronten vid en senare tidpunkt. Varje störningsvåg för sig har en obetydlig styrka. Det är bara i tangentytan, där de samverkar, som effekten blir märkbar."

4.4.3 Växelverkan mellan sprickspets och ultraljud

Växelverkan mellan en sprickspets och ultraljud kan innefatta välkända processer såsom reflektion, brytning, spridning, diffraktion och fasomvandling. Att kvantitativt ange de enskilda processernas bidrag till amplituden är svårt. Amplituden hos den mottagna signalen påverkas dock främst av tre processer: diffraktion, spridning, och brytning.

- Diffraktion av ljudfältet är en komplicerad process. Kvalitativt kan man säga att diffraktionen uppstår när storleken på radien i sprickspetsen är mindre än eller lika stor som våglängden. Bidraget från diffraktionen är stort för små λ men avtar snabbt när λ ökar, se figur 9.
- Mikrosprickor kan uppkomma runt sprickspetsen på grund av spänningskoncentrationen. Dessa mikrosprickor sprider ljudet i alla riktningar men den exakta vinkelfördelningen är beroende av vilken typ av defekt man har och av förhållandet mellan våglängden och mikrosprickans storlek. Det relativa bidraget från spridningen till den totala amplituden ökar när λ ökar.
- Spänningskoncentrationen runt sprickspetsen påverkar materialegenskaperna, bl a ljudhastigheten. Detta leder med stor sannolikhet till en brytningseffekt som dock är liten. Amplituden påverkas bara för ytterst små λ .



Figur 9. Vinkeln θ definieras negativ när sökarna är placerade på samma sida som spricköppningen och positiv då sökarna placeras på motsatta sidan om spricköppningen. θ (täta) definieras som den reflekterade signalens vinkel mot sprickspetsen dvs diffraktionsvinkeln.

Med hänvisning till figur 9 kan tre vinkelintervall av praktiskt intresse särskiljas med avseende på provning. I de exempel som beskrivs är sprickan orienterad vinkelrät mot infallsytan, och $\theta=0$

θ : -45° till -10°

I detta område kommer alla tre processerna att bidra till amplituden hos den mottagna signalen. Bidraget från brytningsprocessen blir mycket litet. Signalsvaret i detta vinkelområde blir ganska stabilt och det är osannolikt att signalen "uteblir".

θ : 10° till 45°

I detta intervall förekommer inget bidrag från brytning, utan bidraget från diffraktion och spridning är dominerande.

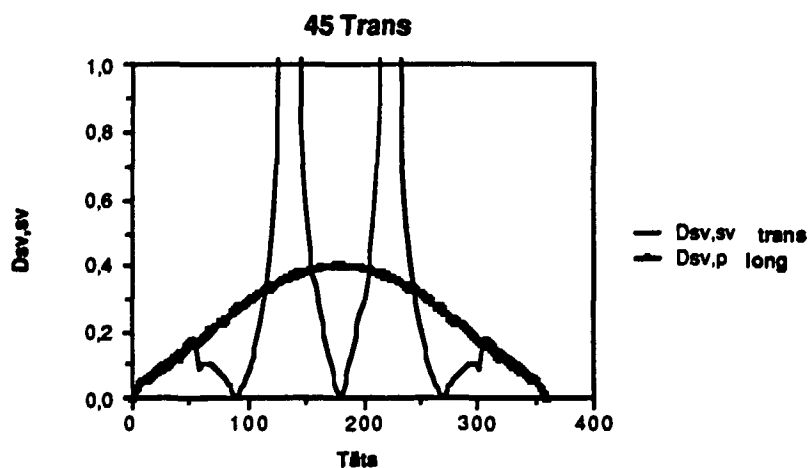
θ : 90°

Sökaren är placerad mitt emot sprickspetsen jfr "end-on"metoden. I detta fall dominerar spridningsprocessen från mikrosprickor runt sprickspetsen. Signalen kan vara instabil längs sprickan p g a variationer i mikrosprickornas antal och utseende.

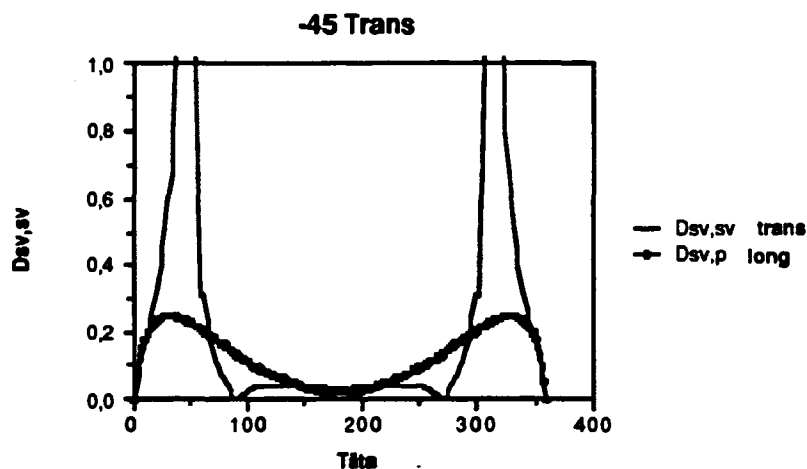
Vanligtvis kallas summan av signalerna från de tre processer som beskrivits ovan för diffraktion, även om den rena diffraktionssignalen inte alltid är dominerande.

Storleken på bidraget från ren diffraktion kan bestämmas teoretiskt med hjälp av diffraktionskoefficienten. Denna kan åskådliggöras i diagramform. Genom att jämföra diffraktionskoefficienterna för olika provningssituationer får man en uppfattning om skillnaderna i diffraktionssignal. Med kännedom om diffraktionskoefficientens storlek och aktuellt ljudfält i en given provningssituation kan diffraktionssignalens amplitud bestämmas.

Figurerna 10-11 visar exempel på diffraktionskoefficienten för vinkelintervallet 0° - 360° vid ljudinfall 45° (motstående) trans/long och -45° (närliggande) trans/long. För definition av vinklar se figur 9.



Figur 10 45° infallande transversellt ljud - diffraktionskoefficienterna för utgående transversellt och longitudinellt ljud.



Figur 11 -45° infallande transversellt ljud - diffraktionskoefficienterna för utgående transversellt och longitudinellt ljud.

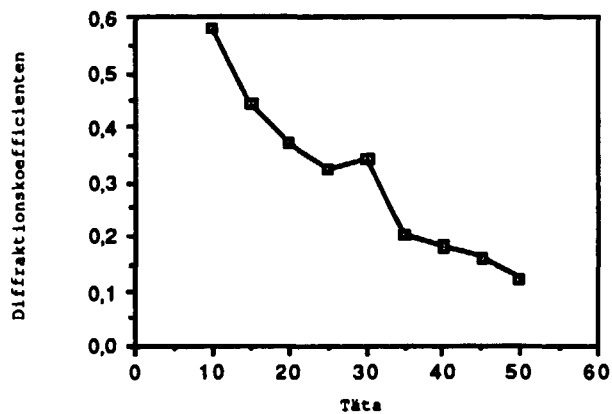
I figurerna 12 och 13 redovisas diffraktionskoefficienten som funktion av vinkeln θ mot en spricka som är orienterad vinkelrät mot infallsytan och där $\theta=0$. Det betyder att vid provning från närliggande sida motsvarar en vinkel θ på 20° en brytningsvinkel på 70°. Motsvarigheten för provning från motstående sida ger att en vinkel θ på 110° motsvarar en brytningsvinkel på 70°.

En ökning av vinkeln θ från 20° till 45° medför att diffraktionskoefficienten halveras om provning från närliggande sida betraktas.

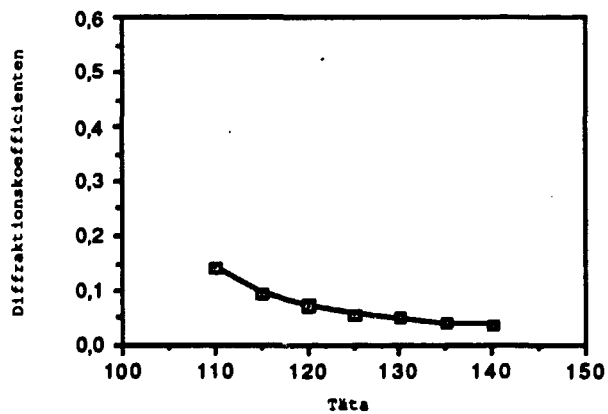
För provning från motstående sida är förhållandet sådant att vid ökande θ från 110° till 140° avtar diffraktionskoefficienten med ungefär en faktor fyra.

Ett ljudinfall från spricksidan med bestämd vinkel ger alltid starkare signal än motsvarande ljudinfall från motstående sida. Sambandet mellan amplitud, infallsvinkel och diffraktionskoefficient är komplicerat och figurerna här får mera visa trenden utan att gör anspråk på någon kvantitativ uppskattning.

Diffraktionskoefficienten är ej frekvensberoende. Däremot påverkas amplituden av bl a våglängd, ljudväg och krökningsradien på sprickspetsen.



Figur 12 Diffraktionskoefficienten som funktion av θ .
Provning från **närliggande sida**.



Figur 13 Diffraktionskoefficienten som funktion av θ .
Provning från **motstående sida**.

4.4.4 Signalstyrka

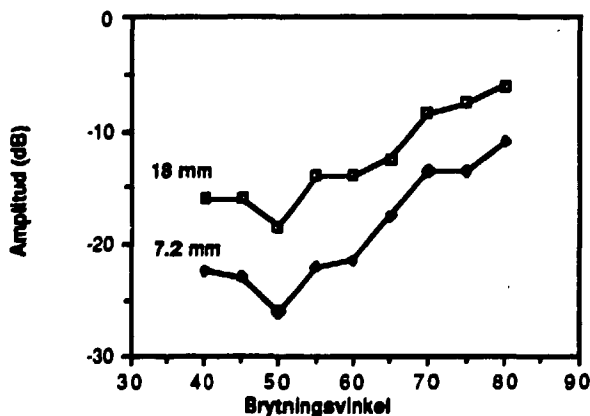
De resultat som redovisas under stycke 4.4.4-18 behandlar enbart mätningar utförda med enkristallsökare, transversellt ljud, och pulsekoteknik. Generellt kan sägas att användning av longitudinellt ljud försvårar mätningarna eftersom även transversellt ljud genereras samtidigt. Att avgöra om signalen erhålls från den transversella, longitudinella eller en kombination av båda vågtyperna är ofta svårt.

4.4.5 Signalstyrka som funktion av brytningsvinkeln

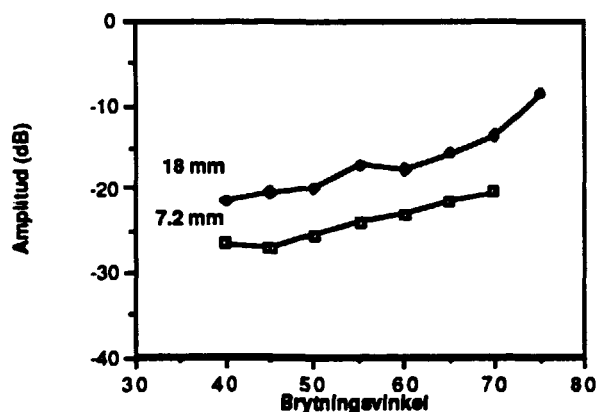
En flackare brytningsvinkel medför en starkare signal från sprickspetsen. Det förklaras av att andelen totalreflekterat och diffrakterat ljud ökar.

I figur 14, provning från närliggande sida och figur 15 provning från motstående sida finns amplituden som funktion av brytningsvinkeln, i 5° steg, redovisad för 5MHz sökare med lösa sökarkilar. Två olika sprickdjup redovisas 7.2 mm och 18 mm. Samma kristall har använts för samtliga mätningar. Tendensen är tydlig i samtliga fall. En ökning av brytningsvinkeln från ~45° till ~70° medför en ökning av signalsvaret på upp till 10 dB.

Svängningarna i figur 14 och 15 vid 50°-60° har ingen direkt förklaring. Provning med högre frekvens ger erfarenhetsmässigt större spridning i mätvärden eftersom riktningsberoendet mellan ljudstråle och spricka är större än för motsvarande sökare med lägre frekvens.



Figur 14 Amplituden som funktion av brytningsvinkeln, 5MHz och provning från **närliggande sida**. T=36mm med sprickdjupen 7.2 och 18 mm.



Figur 15 Amplituden som funktion av brytningsvinkeln, 2MHz och provning från **motstående sida**. T=36mm med sprickdjupen 7.2 och 18 mm.

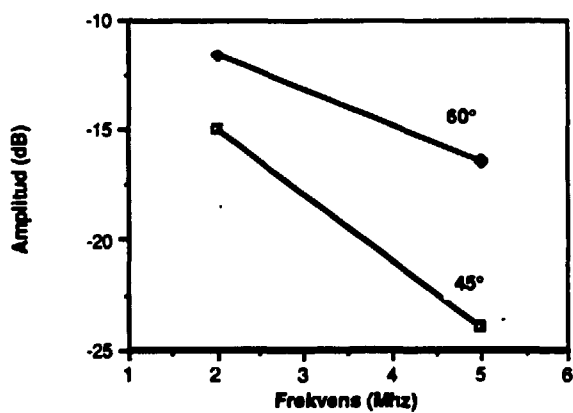
4.4.6 Signalstyrkan som funktion av frekvensen

Lägre frekvens ger genomgående högre signalsvar. För branta vinklar kan skillnaden mellan 2 och 4MHz vara 10 dB. Frekvensen påverkar signalstyrkan olika för olika brytningsvinklar. Skillnaden i signalsvar är mindre mellan olika brytningsvinklar om frekvensen är låg (~2MHz).

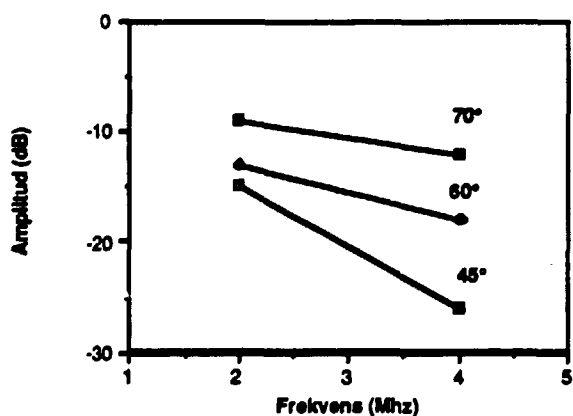
I figur 16 visas ett exempel vid provning från närliggande sida. Vid låga frekvenser (~2MHz) är skillnaden mellan 45° och 60° liten, 70° redovisas ej pga att kombinationen 70°, låg frekvens och grunda fel ger oklara signaler i form av ytvågor etc. För högre frekvenser (~5MHz) är skillnader på 10dB ej ovanliga mellan olika brytningsvinklar.

Vid avsökning från motstående sida finns samma tendenser som vid avsökning av närliggande sida, se figurer 17 och 18. Amplitudberoendet förefaller ej vara lika starkt knutet till frekvensen i intervallet 5-10MHz som vid lägre frekvens. I samtliga fall oavsett om provning sker från när- eller motstående sida är skillnaden i signalsvar större om brytningsvinkeln är mindre. Studera t ex figur 17, brytningsvinkel 45° och 70°.

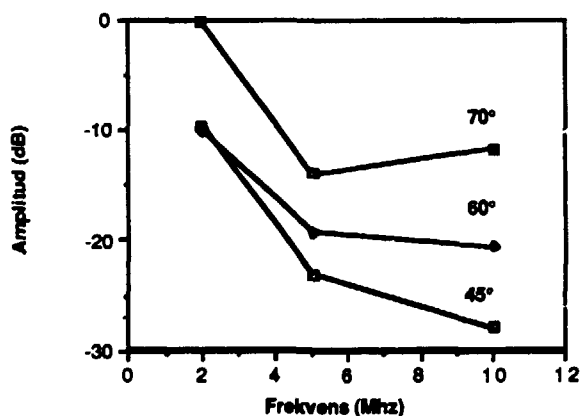
Gjorda iakttagelser överensstämmer med det teoretiska sambandet mellan diffraktionskoefficient, våglängd, ljudväg, sprickspetsens krökningsradie mm.



Figur 16 Amplituden som funktion av frekvensen, provning från **närliggande sida**. Brytningsvinkel 45° och 60°, T=36mm och sprickdjup 3.6mm.



Figur 17 Amplituden som funktion av frekvensen, provning från **motstående sida**. Brytningsvinkel 45°, 60° och 70°, T=20mm och sprickdjup 10mm.



Figur 18 Amplituden som funktion av frekvensen, provning från **motstående sida**. Brytningsvinkel 45°, 60° och 70°, $T=20\text{mm}$ och sprickdjup 10mm.

4.4.7 Signalstyrkan för linsfokuserade sökare

En standardsökare alstrar ett ljudfält med en divergerande utbredning. En linsfokuserad sökare däremot alstrar ett ljudfält med liten utbredning i ett väl definierat område. Det lilla tvärsnittet hos ljudfältet på ett givet avstånd ökar energimängden och förbättrar möjligheterna för noggranna mätningar i det området. Arbetsområdet för en fokuserad sökare kan ofta göras ganska stort om provningen ej avser avsökning från närliggande sida av grunda sprickor.

En jämförelse av mätvärden från fokuserade sökare med standardsökare visar fokuserade sökare en ökning av signalstyrkan på ca 5-10dB, diagram 20.

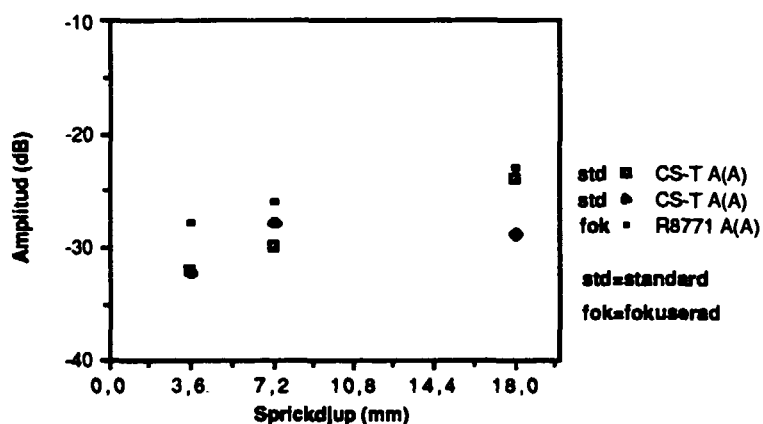


Diagram 20. Amplituden som funktion av tre olika sprickdjup 3,6, 7,2 och 18mm med standardsökare 4-5MHz 60° och fokuserad sökare 4MHz 60°. Provning från **motstående sida**.

4.4.8 Mätnoggrannhet

Mätnoggrannheten definieras som skillnaden mellan uppmätt sprickdjup och teoretiskt sprickdjup.

Generellt kan sägas att när sprickspetsen väl har identifierats är mätnoggrannheten hög, i de flesta fall ± 2 mm detta oberoende av frekvens, brytningsvinkel och dämpning.

4.4.9 Mätnoggrannhet som funktion av brytningsvinkel

Brytningsvinkeln har ringa betydelse för mätnoggrannheten. Har sprickspetsen väl indikerats är valet av brytningsvinkel av underordnad betydelse.

De fall där vinkeln har betydelse är för grunda fel (~2-4mm) vid provning från motsatt sida. En brantare vinkel är då nödvändig för att kunna detektera sprickspetsen på ett tillförlitligt sätt. Flackare brytningsvinkel möjliggör ej att sprickspetsen kan separeras från hörnekot. Exempel på brytningsvinkelns betydelse för mätnoggrannheten visas i diagram 21 och 22.

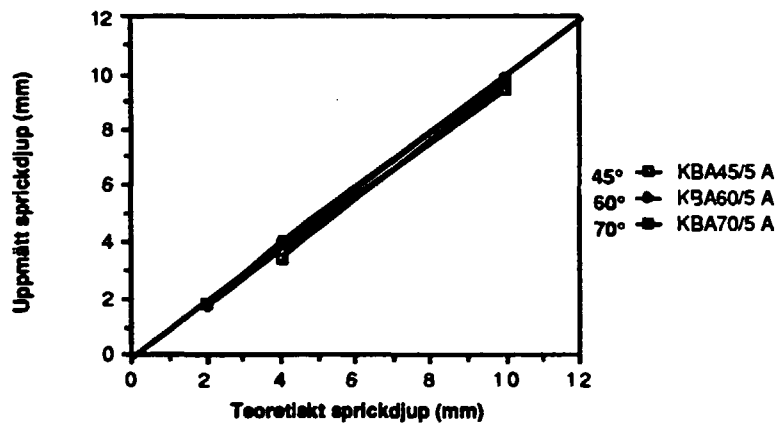


Diagram 21. Uppmätt sprickdjup som funktion av teoretiskt. $T=20\text{mm}$, provning från **motstående sida** med brytningsvinklarna 45° , 60° och 70° , 5MHz. Nominellt sprickdjup 2, 4 och 10mm.

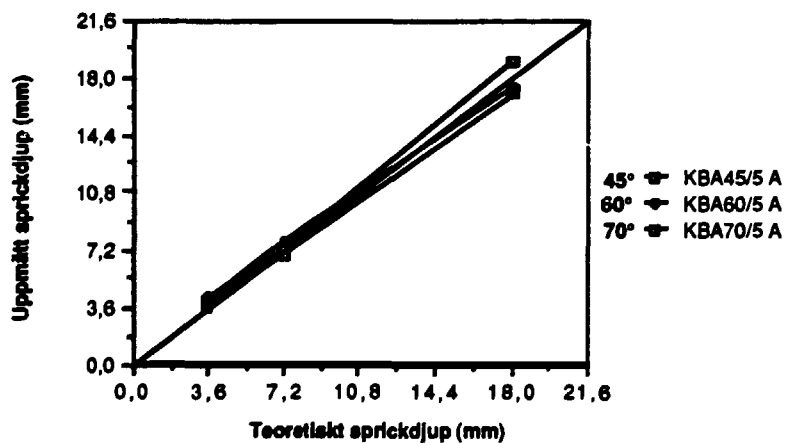


Diagram 22. Uppmätt sprickdjup som funktion av teoretiskt $T=36\text{mm}$, provning från **närliggande sida** med brytningsvinklarna 45° , 60° och 70° , 5MHz. Nominellt sprickdjup 3.6, 7.2 och 18mm.

4.4.10 Mät noggrannhet som funktion av frekvens

Lägre frekvens ger oftast bättre mät noggrannhet oberoende av om provning sker från motstående sida eller närliggande. Diagram 23-24 visar exempel vid provning från motstående sida. Även om skillnaderna är små måste ett plus tillskrivas den lägre frekvensen för större sprickdjup (>4mm). Detta är något motstridigt mot vad som är allmänt vedertaget. Högre frekvens innebär kortare våglängd vilket förbättrar upplösningen och därmed borde bidra till bättre mät noggrannheten.

En förklaring till det funna förhållandet kan vara att ekot från sprickspetsen lättare kan maximeras när frekvensen är lägre. Om kristallstorleken är densamma är ljudfältet större vid lägre frekvens än vid högre frekvens. Det innebär att riktningsberoendet mellan sprickspets och sökare ej är lika känsligt.

Under avsnitt 4.4.6 konstaterades även att lägre frekvens i de flesta fall gav högre signalsvar från sprickspetsen. Även detta påverkar mät noggrannheten i positiv riktning.

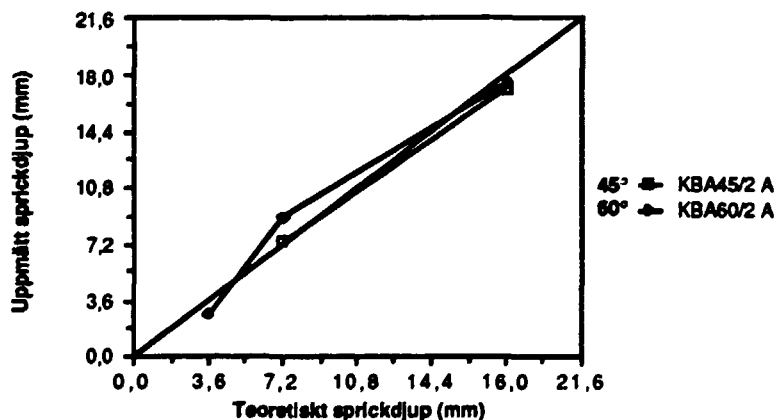


Diagram 23. Uppmätt sprickdjup som funktion av teoretiskt. $T=36\text{mm}$, provning från **motstående sida** med brytningsvinklarna 45° och 60° , 2MHz.

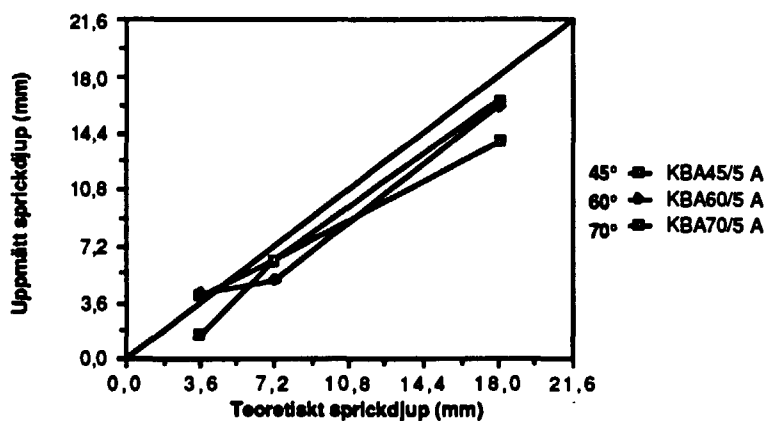


Diagram 24. Uppmätt sprickdjup som funktion av teoretiskt. $T=36\text{mm}$, provning från **motstående sida** med brytningsvinklarna 45° , 60° och 70° , 5MHz.

4.4.11 Mätnoggrannhet som funktion av dämpningen

Antalet sökare med olika dämpningsgrad har varit begränsat. Flertalet sökare som har använts har varit av typen låg eller medeldämpade. I de fall hårddämpade sökare har använts har mätnoggrannheten försämrats. Låg eller medeldämpade sökare ger likvärdiga resultat.

4.4.12 Mätnoggrannhet för linsfokuserade sökare

Linsfokuserade sökare ökar ej direkt mätnoggrannheten jämfört med standardsökare, diagram 25. Det finns dock andra motiv för att välja en fokuserad sökare. Med ett fokuserat strålknippe är det t ex lättare att storleksbestämma grunda sprickor. Signal/brusförhållandet är oftast också större för en fokuserad sökare.

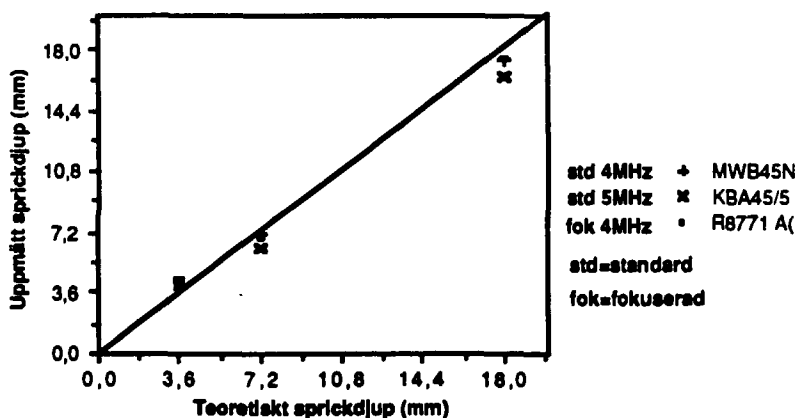


Diagram 25. Uppmätt sprickdjup som funktion av teoretiskt. Linsfokuserad sökare 45°, 4MHz jämförd med standardsökare 45°, 4-5MHz.

4.4.13 Skönjbarhet

När en signals kvalitet skall bedömas finns det ett antal subjektiva bedömningar förutom de som fysiskt kan avläsas i form av ett mm-värde, en amplitudnivå etc. Skönjbarheten är ett mått på sökarens förmåga att indikera ett litet fel på stort djup. En teknik där signalen är lätt identifierbar har stora fördelar när avancerad storleksbestämningsteknik skall användas under fältmässiga förhållanden.

En gradering av begreppet skönjbarhet ansågs därför angeläget. Ett skönjbarhetsindex definierades från 1-5, där 5 är bästa möjliga värde. Faktorer som i första hand påverkar skönjbarhetsindex är:

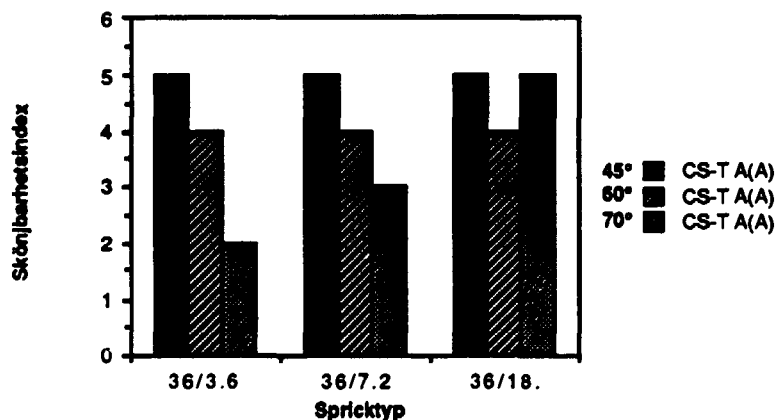
- möjligheten att identifiera signalen som en signal från sprickspetsen
- signal/brusförhållandet
- avstånd mellan spets- och hörneko
- ekots utseende på skärmen vid sökarflyttning

Skönjbarhetsindex är inte knutet till signalens amplitud relativt referensförstärkningen. Det betyder att en svag signal mycket väl kan ha ett högt index.

4.4.14 Skönjbarheten som funktion av brytningsvinkeln

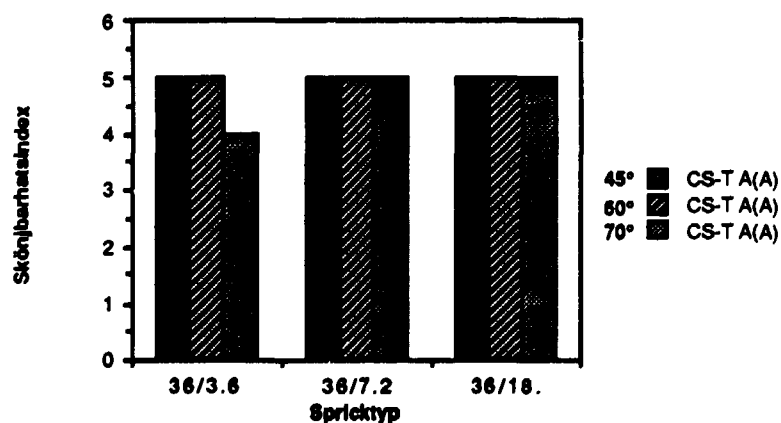
Vid provning från motstående sida erhålls bäst skönjbarhet för 45° och 60° brytningsvinkel. 70° brytningsvinkel är endast bra för djupare sprickor.

Skillnaden mellan olika vinklar är mindre för djupare sprickor. Figur 19 visar skönjbarhetsindex för testplåt T=36mm.



Figur 19. Skönjbarheten som funktion av sprickdjup och brytningsvinkel (5MHz). T=36mm provning från **motstående sida**.

Vid provning från närliggande sida ger samtliga brytningsvinklar bra resultat, dvs skönjbarhetsindex 4-5. För g...nda sprickor kan i vissa situationer 45° brytningsvinkel ge något sämre resultat. Figur 20 visar som exempel skönjbarheten för testplåt T=36mm.



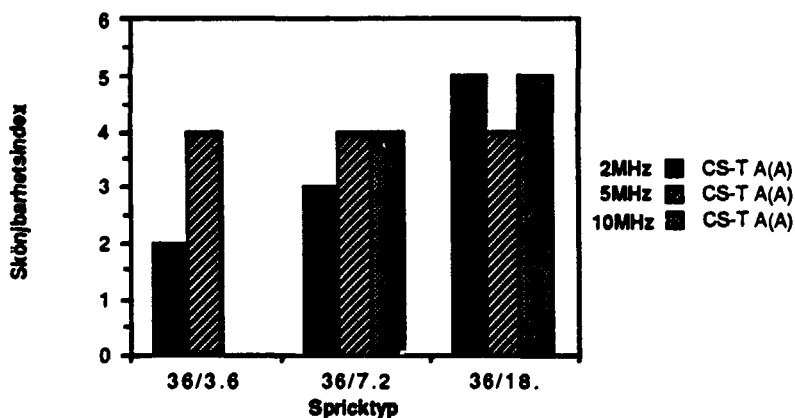
Figur 20. Skönjbarheten som funktion av sprickdjup och brytningsvinkel (5MHz). T=36mm provning från **närliggande sida**.

4.4.15 Skönjbarheten som funktion av frekvensen

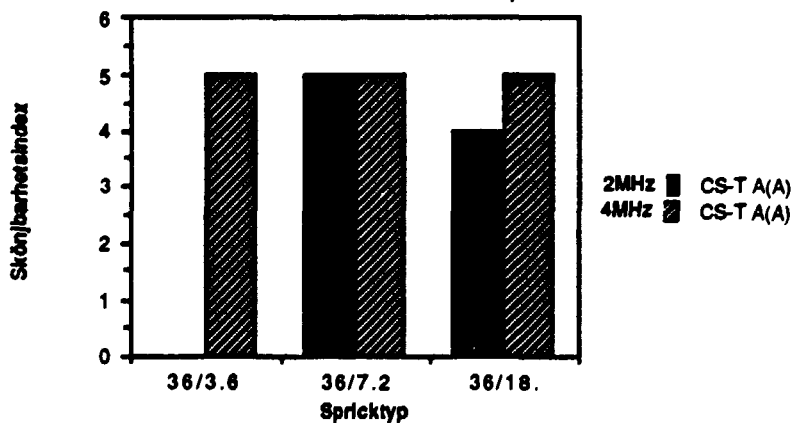
Högre frekvenser medför bättre upplösningsförmåga men behöver inte nödvändigtvis innebära att skönjbarheten blir bättre på stora djup.

Alla material verkar dämpande på ljudvågor. De dämpande egenskaperna uppdelas normalt efter deras natur i spridning och absorption och är frekvensberoende.

Figurerna 21 och 22 visar två exempel på skönjbarheten i en 36 mm tjock plåt med varierande sprickdjup.



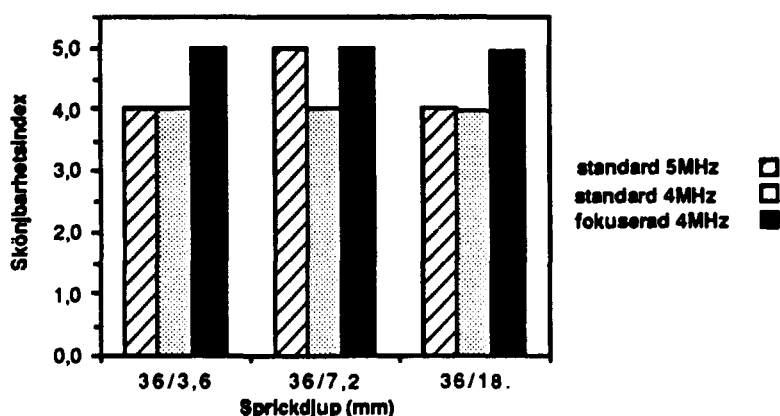
Figur 21. Skönjbarheten som funktion av sprickdjup och frekvens. $T=36\text{mm}$ och brytningsvinkel 60° . Provning från **motstående sida**.



Figur 22. Skönjbarheten som funktion av sprickdjup och frekvens. $T=36\text{mm}$ och brytningsvinkel 45° . Provning från **närliggande sida**.

4.4.16 Skönjbarheten för linsfokuserade sökare

Som redovisats i avsnitten för signalstyrka och mätnoggrannhet är skillnaden mellan fokuserade sökare och standardsökare ofta liten. Detta är även fallet när det gäller skönjbarheten. Figur 23 visar skillnaderna mellan två olika standardsökare och en fokuserad sökare. Det är främst när grunda sprickor skall storleksbestämmas eller då signal/brusförhållandet är otillfredställande som en fokuserad sökare kan förbättra resultatet.



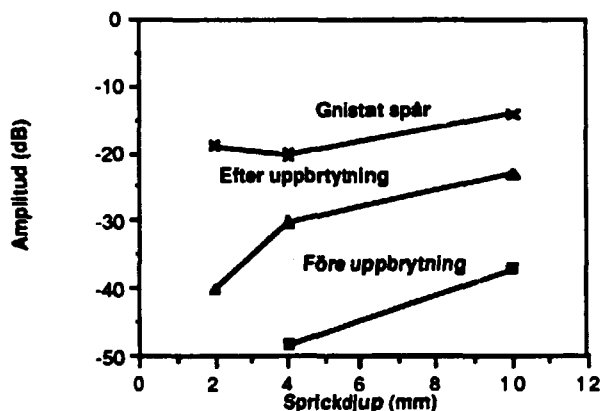
Figur 23. Skönjbarheten vid olika sprickdjup 3,6, 7.2 och 18mm. Linsfokuserad sökare 60°, 4MHz jämförd med standardsökare 60°, 4-5MHz. Provning från **motstående sida**.

4.4.17 Tryckspänningar

Från tillverkningsprocessen av utmattningssprickorna var samtliga testplåtar behäftade med tryckspänningar tvärs sprickorna av varierande storlek. De mätningar som utfördes inledningsvis i projektet visade på stora svårigheter att detektera sprickspetsarna. Av de mätningar som utfördes erhöles identifierbara signaler från endast 10% av fallen, företrädesvis när sprickdjupet var 50% av godstjockleken. Resultaten i denna rapport bygger på mätningar utförda efter det att tryckspänningarna avlägsnats. Figur 24 visar exempel på vilken skillnad i signalsvar som kan erhållas när tryckspänningar avlägsnas genom uppbrytning av sprickorna. Detta även ställt i relation till ett gnistat spår.

Ett gnistat spår är som framgår av figur 24, knappast en relevant reflektor för teknikverifiering. En allmän uppfattning är att om en teknik fungerar på ett gnistat spår kan den även användas för verkliga sprickor. Denna slutsats är ej självklar. Om en teknik baserad på diffraktion skall verifieras bör detta ske mot en sprickspetsradie som är

<0.01mm. Det finns även fall där amplituden är lägre för ett gnistat spår än för motsvarande utmattningsspricka. Så är t.ex fallet vid avsökning från närliggande sida och grunda sprickor.



Figur 24. Tryckpänningens inverkan på signalsvaret. Före uppbrytning, efter uppbrytning samt för gnistat spår. Sökare 45° och 5MHz.

5. SLUTSATSER

De praktiska försöken är genomförda under ideala förhållanden i laboriemiljö med plana plåtar. Man måste beakta att fältmässig provning sker under mindre ideala förhållanden, vilket försvårar storleksbestämningen av defekter.

Längdbestämmning

Längdbestämmning av defekter, måste delas upp i två separata delar, dels provning från motstående sida och dels provning från närliggande sida.

Undersökningarna visar inte någon större skillnad vid provning i kolstål eller rostfritt stål. Orsakerna är att detta stål, SS 2333-28, har sådan struktur att det är lättprovat, samt att det inte är svetsat.

Det är först vid högre frekvens, i det här fallet 10 MHz, som problemen uppstår.

Längdbestämmning från **motstående sida** visar att samtliga metoder fungerar tillfredställande eller mycket bra. 6 dB-drop från maxpunkt alternativt ändpunkt samt 50%-DAC ger ungefär samma noggrannhet. Däremot kan konstateras att succesiv amplitudhalvering med fokuserade sökare ger ett mer

exakt resultat, under förusättning att sökaren fokuserar på rätt djup.

Vid längdbestämmning från **närliggande sida** visar ingen metod ett tillfredställande resultat. Detta beror på att utmattningssprickorna är ytgående och har en halvelliptisk form. De korta ljudvägar som blir följden i sprickornas ändpunkter, innebär att provningen utförs i sökarens närzon. Försök gjordes även med att från spricksida studsa ljudet mot motstående sida, vilket visar sig ge ett lika bra resultat som att prova ifrån motstående sida.

Höjdbestämmning

Vid höjdbestämmning är resultaten mer varierande än vid längdbestämmning.

6 dB-drop ger en för stor spridning av resultaten, både från motstående sida och från spricksida, för att det skall vara en användbar metod.

50% DAC visar samma tendens från motstående sida som 6dB-drop, medan den inte fungerar alls från spricksida, då amplituderna inte når upp till referensnivån.

Ekodynamisk metod är en teknik som kan fungera bra i speciella fall. Det är då 45°-brytningsvinkel i frekvensområdet 4-10 MHz för kolstål samt 2-4 MHz i rostfritt stål används. I övriga fall är inte metoden tillräckligt exakt för att den skall kunna rekommenderas för höjdbestämmning av defekter. Den är dessutom endast användbar från motstående sida.

En teknik som däremot fungera tillfredställande, både från motstående sida och från närliggande, är diffraktionstekniken.

För att öka sannolikheten för en korrekt bedömning, bör flera mätningar utföras på en spricka, där vinklar och frekvenser kan varieras.

Möjligheten finns också då provning utförs från motstående sida att studsa ljudet. Det kan ge en starkare signal från sprickspetsen.

6. REFERENSER

1. Metallnormcentralen: Handbok nr 9. "Oförstörande provning"
2. Krautkrämer: "Ultrasonic testing of materials sec.edition".
3. Svejsecentralen: "Ultraljudundersökelse".
- 4: IIW: Handbook on the ultrasonic examination of welds".

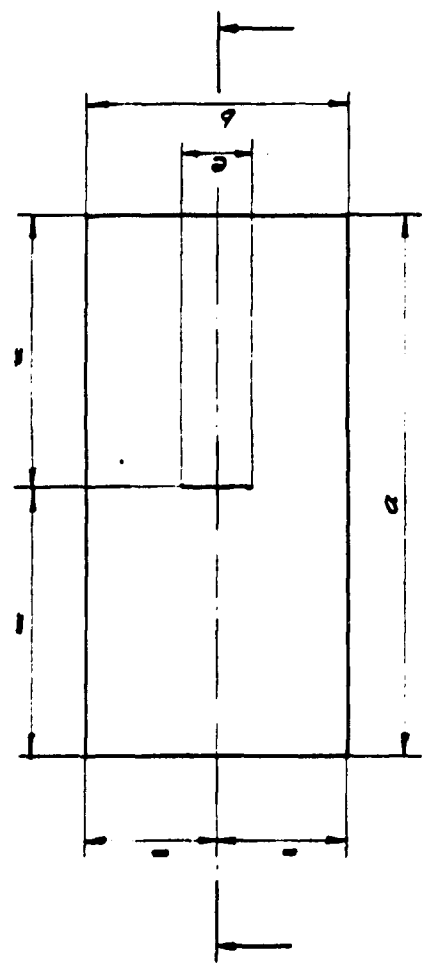
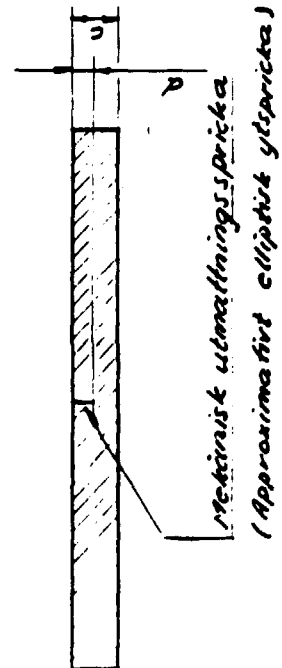
5. L.Skånberg, "Noggrannhet vid storleksbestämning av defekter - Litteraturstudie" SA 83/07
6. A Mc Nab & G. Muir, "Flaw sizing of Real defects" British journal of NDT, May 1978.
7. S.Williams & P.J.Mudge, " Proceedings of 1 Mech E Conference" London 1982.
8. B.Sandström, "Oförstörande provning - Möjligheter att fastställa karaktär och storlek hos inre diskontinuiteter i svetsar" Mekanresultat 73012, November 1973.
9. S.H.Bush, "Reliability of nondestructive examination" Battelle Memorial Institute, Pacific Northwest Laboratories.
10. Kjell Högberg, Iradj Sattari-Far, Eva-Britt Pers-Andersson, "Felstorleksbestämning med ultraljud - Diffractionsteknik" SKI-projekt: 13.2-9686:86043.

RITNING PÅ TESTPLÅTAR

Bilaga 1.

Arbets och/eller modell nr: **c-mått införd**
 Datum: **26.09.18**
 Utgåva: **1**

Dator nr	Dator nr	A187 mått		Spice mått		Mtrl.	Vikt i kg
		a	b	d	c		
C510/2	256	211	10	2,0	9	C5	4,1
C510/5	267	210	10	5,0	22	C5	4,2
S510/2	230	215	10	2,0	10	S5	3,9
S510/5	268	211	10	5,0	22	S5	4,6
C520/2	276	205	20	3,0	14	C5	9,4
C520/4	286	205	20	4,0	18	C5	9,4
C520/10	276	205	20	10,0	71	C5	9,4
S520/2	308	205	20	2,0	10	S5	9,7
S520/4	300	205	20	4,0	16	S5	9,7
S520/10	300	205	20	10,0	71	S5	9,7
C536/2	505	205	36	5,6	20	C5	29,4
C536/18	510	205	36	7,2	28	C5	29,4
S536/2	510	205	36	18,0	90	C5	29,4
S536/32	510	205	36	3,6	22	S5	29,7
S536/38	510	205	36	7,2	28	S5	29,7
S536/48	510	205	36	18,0	66	S5	29,7

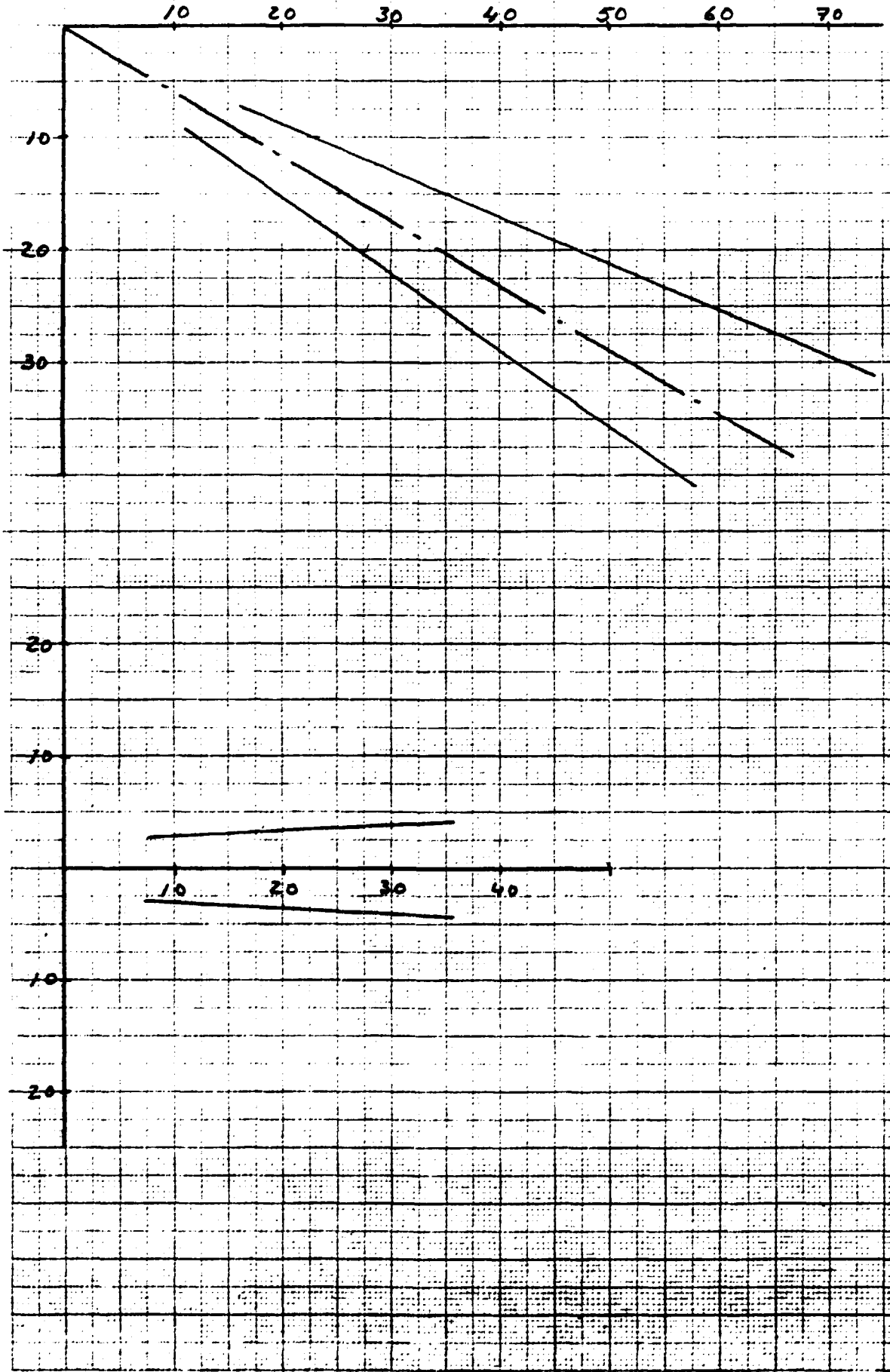


Del nr	Art.	Beskrivning	Material	Mått av Ämne Dimension	Åven
Form	Skikt	Var	Stk	Stk	Erstat nr
					Del 26.02
RS				Ertaler med tekniska utmattningsprickor.	
AS Ståms tillämpnings				Rev. nr 5730165	

EXEMPEL PÅ LJUDFÄLT SUPPMÄTNING

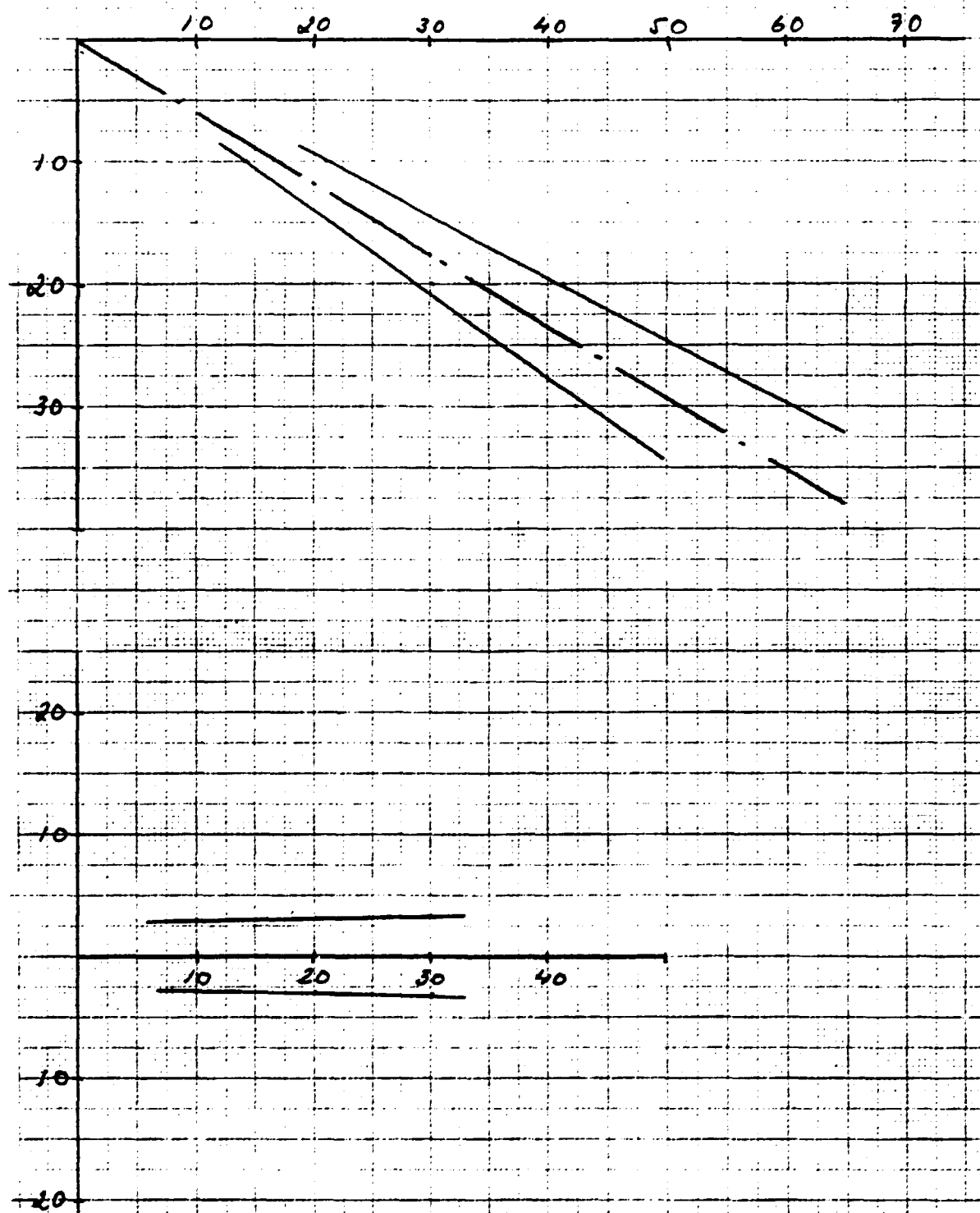
Bilaga 2.

KBA 60
2.25 MHz
6dB-Isobar



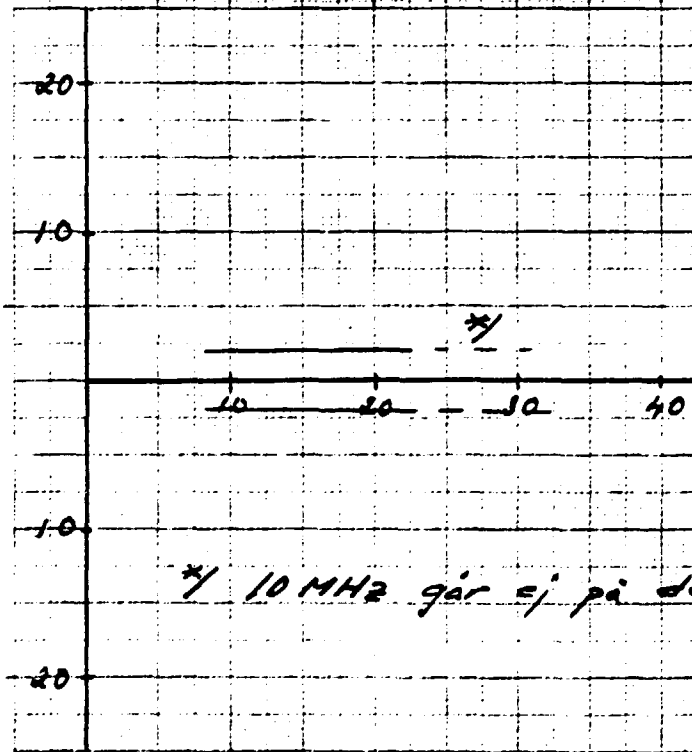
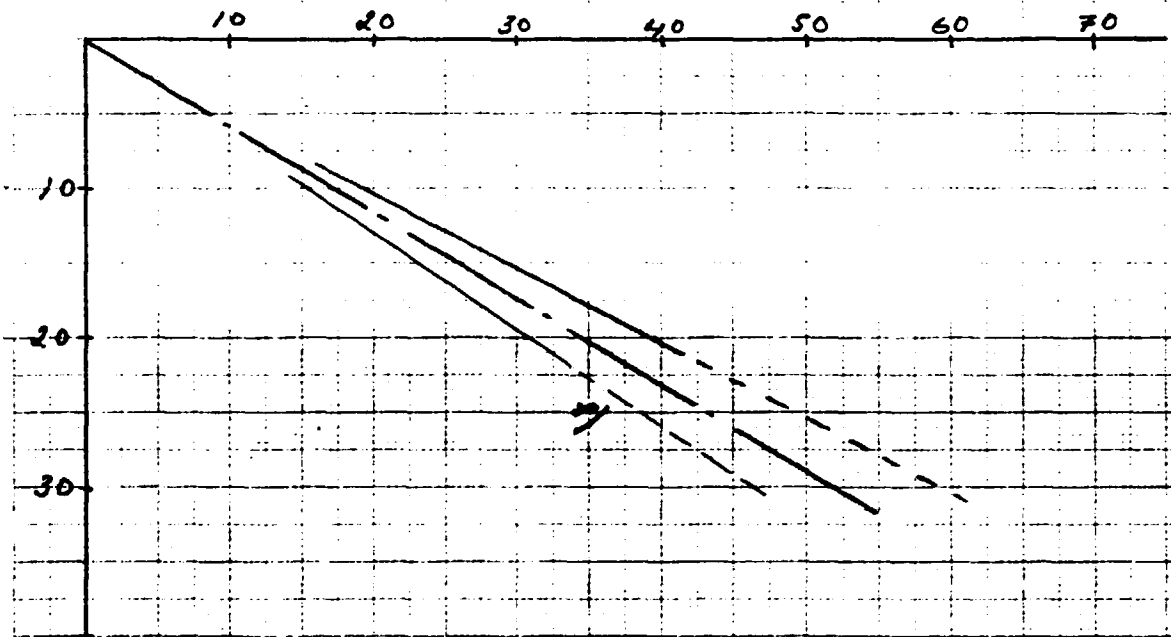


KBA 60°
5.0 MHz
6dB Isobar



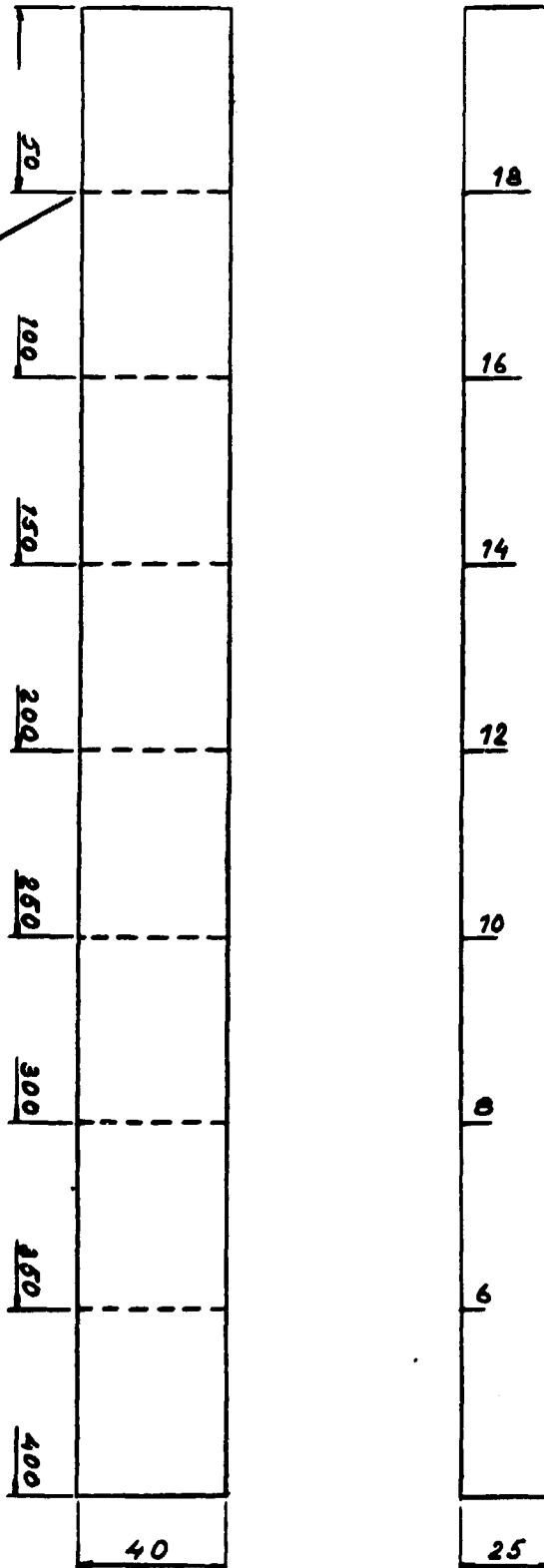



KBA 60°
10 MHz
6dB Iso bar



*/ 10 MHz går ej på dessa djup

KALIBRERINGSBLOCK FÖR EKODYNAMISK METOD Bilaga 3.



Det.-nr		Art.		Benämning			Material		Mod.-nr Ämne Dimension		Anm.		
Konstr.		Risg. 7/2e		Kap.		Kl. nr.		Stand.		Geol.		Skala 1:2	
Ersätter		Ersatt av		Det. 870515		Filen.-nr S1A4,0,1,2,8		Var. Rev.					
 AB Statens Anläggningsspröving				Kalibreringsblock för ekodynamisk metod									

SA 133 3 1 0 0 1 49 02 840 1 1 1

SuperSAFT med P-SCAN

Bilaga 4.

INTRODUCTION

The aim of this investigation has been to try to size fatigue cracks in carbon steel and stainless steel plates (fine grained austenitic) using the P-scan system and the SuperSAFT program thereby evaluating the program.

SuperSAFT

The ultrasonic Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) is a well established technique for accurate location and sizing of flaws. The SuperSAFT imaging technique is a superimposed, multiple SAFT processing which makes it possible for the operator to produce images of the positions of reflectors corresponding not only to those signals in an A-scan which are related to the directly reflected pulses, but also to signals which may occur due to indirect reflections, 'self-tandem' reflections, etc. Such signals which are normally very difficult or impossible for the operator to interpret can also be processed, and the corresponding reflector positions will be shown in the geometrically correct locations in the SuperSAFT flaw probability map.

The SuperSAFT post processing software supports ultrasonic image reconstruction based on A-scan pulse echo information collected by the P-scan field equipment.

The reconstruction scheme utilises echo amplitude and transit time information from original A-scan waveforms. For a selected section through the inspected object, a flaw probability distribution can be derived from a specified A-scan set.

The A-scan set can be selected from multiple A-scan files. The set may include equidistantly extracted A-scans, interactively selected A-scans or all A-scans of a file.

The flaw map is generated by combining contributions from individual A-scans. Partial reconstructions can be generated independently for specific probe angles, scanning directions, reflection paths etc. for subsequent superpositioning.

Each flaw map is accompanied by a map depicting the ultrasonic beam coverage of the selected reconstruction plane.

A variable display level facility is available for flaw map displays. Only that part of the distribution which exceeds the current display level is shown. The colour coding, used for discrimination of probability levels, follows the display level.

On top of the above mentioned the program contains facilities for isometric plot, zoom, point analysis, SEEMAP (Successive Extraction and Elimination of MAXimum Probability flaw positions) and automatic report generation.

DATA COLLECTION

16 plates made in Sweden were used in this investigation. The plates are referred to as the 'SKI-plates'. They consist of 8 carbon steel and 8 austenitic plates with thicknesses of 10, 20 and 36 mm and crack depths of 10, 20 and 50 % of the plate thickness (The 10 mm plates only 20 and 50 %). The A-scan collection has been made using an automatic scanner in a fixed setup. All A-scans used in this investigation have been full wave rectified.

The A-scans have been collected at the centre of the cracks. This position has primarily been determined by mechanical measurements on the crack side of the plates. In some cases the position is based on P-scan images. The centre position has been chosen on the basis of an assumption that the cracks are of elliptical shape and therefore deepest at the centre.

The plates have only been scanned from the surface opposite the cracks. Typical A-scan gates have been from 30 % to 180 % of the plate thickness and the intervals between each A-scan either 0.5 or 0.8 mm with the majority at 0.5 mm.

All cracks were scanned from both sides with all probes.

The probe types used in this investigation are as follows:

For the carbon steel plates (45 degree probes not used on 10 mm plates):

Krautkrämer MWB70-4, MWB60-4 and MWB45-4

RTD 70 degree Longitudinal, 2 MHz, twin crystal

RTD 45 degree Longitudinal, 2 MHz, twin crystal

For the austenitic plates (45 degree probes not used on 10 mm plates):

Krautkrämer MWB70-2, MWB60-2 and MWB45-2

RTD 70 degree Longitudinal, 2 MHz, twin crystal

RTD 45 degree Longitudinal, 2 MHz, twin crystal

All scannings with MWB probes have been made with 2 probes in a fixed setup (distance varied to suit Transmission Tandem scanning aimed at the crack tip), the probes rotated 180° with respect to each other.

The scannings with RTD probes have been made with only one probe that was rotated 180° between scannings.

For all scannings a thin oil has been used as couplant.

ANALYSIS

The collected data were computed using the SuperSAFT program. Two series of analysis have been carried out. One with a fixed divergence angle of 5 degrees for all probes. One (only containing the MWB probes) with divergence angles (to 20 dB border) individually calculated on the basis of available probe data. The divergence angle being the angular aperture around the theoretical centre beam of the probe used in the computations. In all computations all three available reflection types have been included. These being Direct, Reflected and Self Tandem (See fig. 1).

All computations have been made with all the collected A-scans from the area of interest. In some cases A-scans without relevant information have been excluded.

The crack sizes are based on interpretations of the 'Flaw Probability Map'.

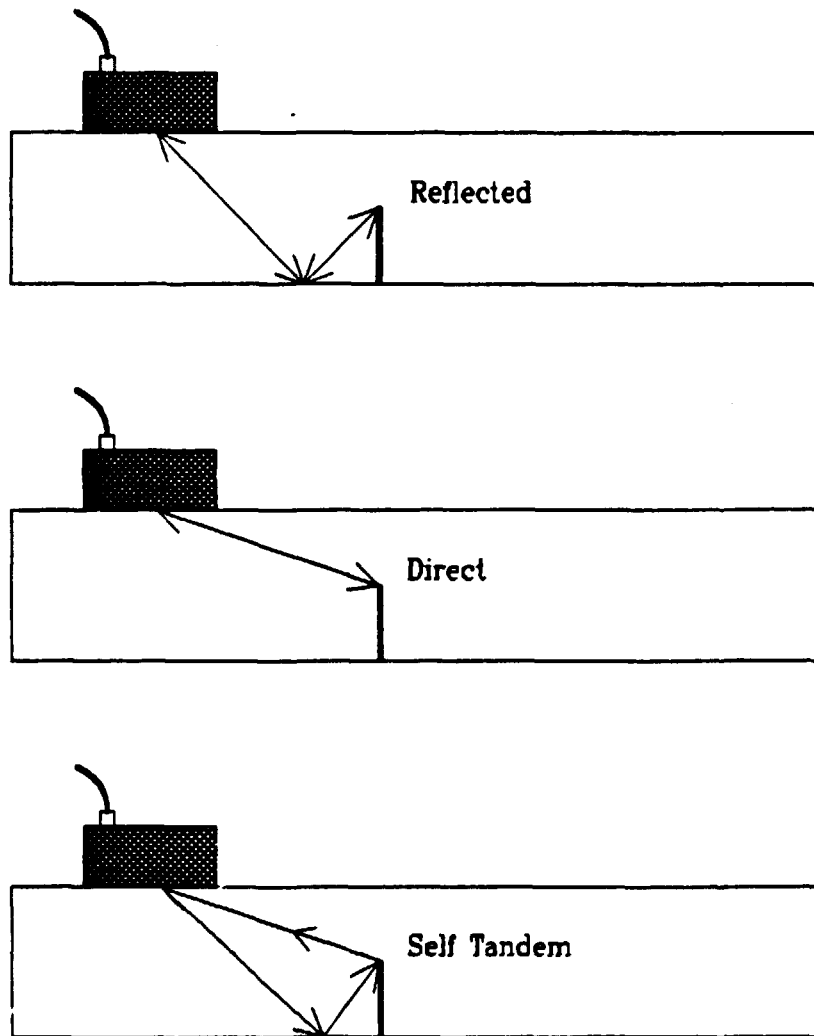


Figure 1. Computation modes in SuperSAFT.

RESULTS

The SuperSAFT analysis based on the A-scans collected during this investigation have shown that in the case of carbon steel plates with fatigue cracks 70 and 45 degree 4 MHz MWB probes give the best and most consistent results. Most of the obtained results are in reasonable agreement with the true crack size. The 2 mm crack in the 20 mm plate seems to be overestimated with the 60 and 70 degree MWB probes and the 5 mm crack in the 10 mm plate is pronouncedly underestimated with the 70 degree RTD probe.

Figure 2 - 5 shows the results obtained with the 45 and 70 degree 4 MHz MWB probes. The results are plotted as a mean value with the bars representing the standard deviation.

The 'true crack depth' values are reported to be accurate within a tolerance of ± 0.5 mm.

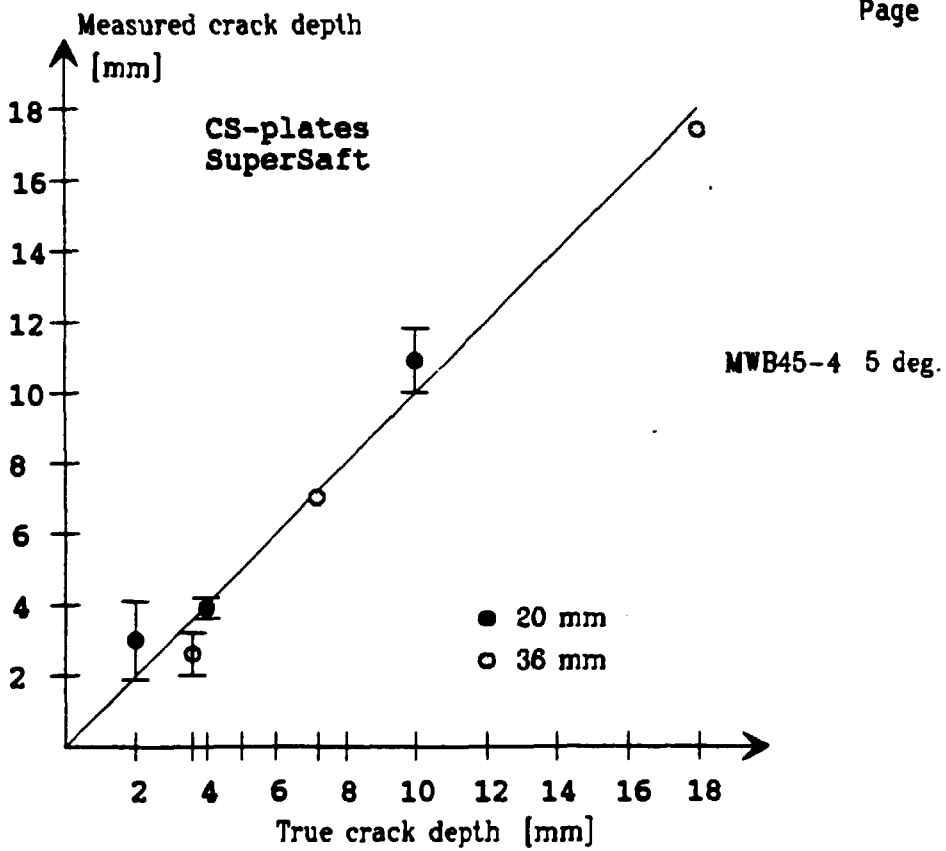


Figure 2. SuperSaft results with MWB45-4. Divergence angle 5°.

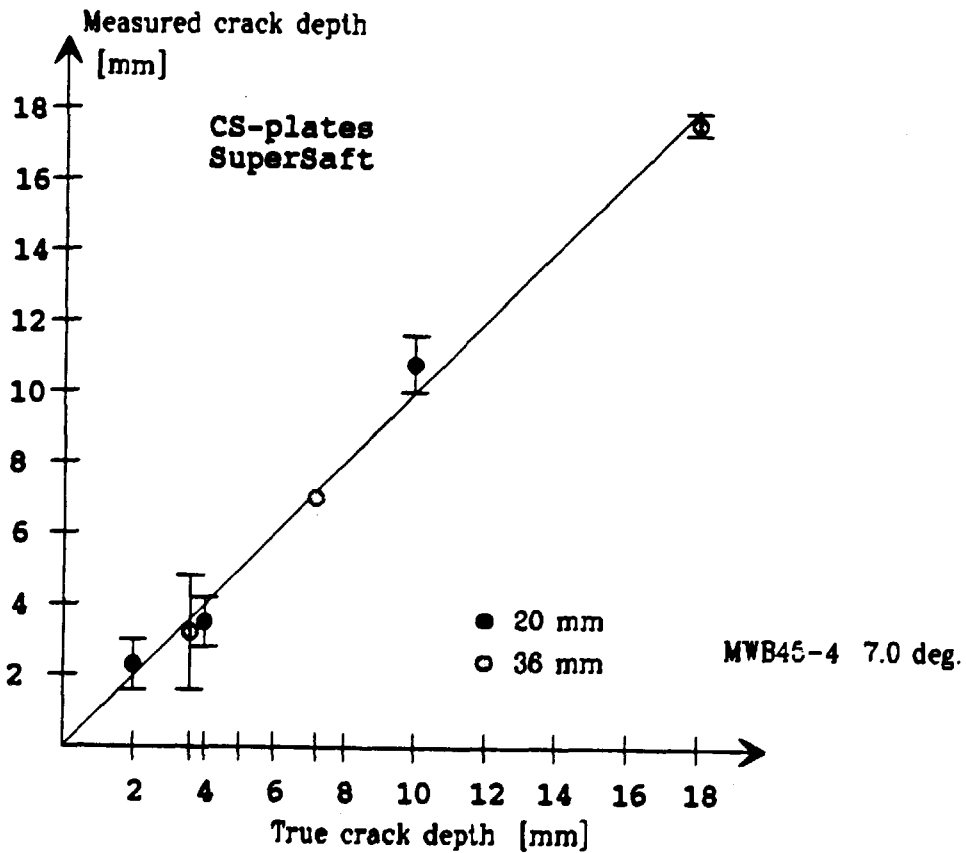


Figure 3. SuperSaft results with MWB45-4. Divergence angle 7°.

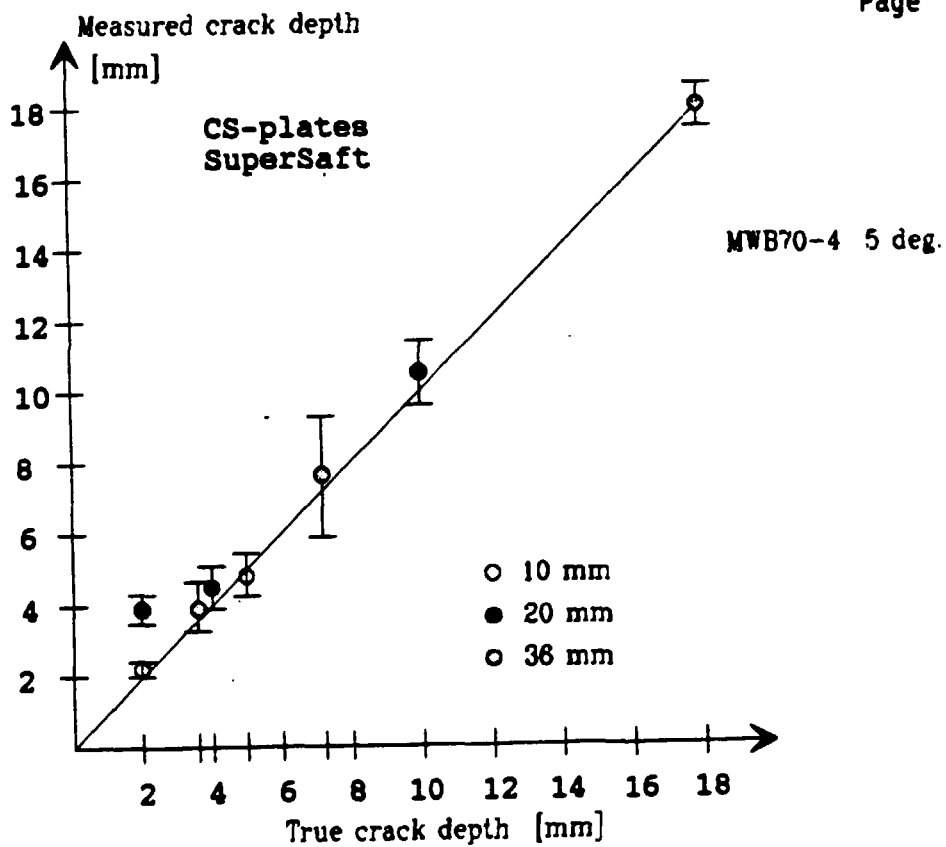


Figure 4. SuperSaft results with MWB70-4.
Divergence angle 5°.

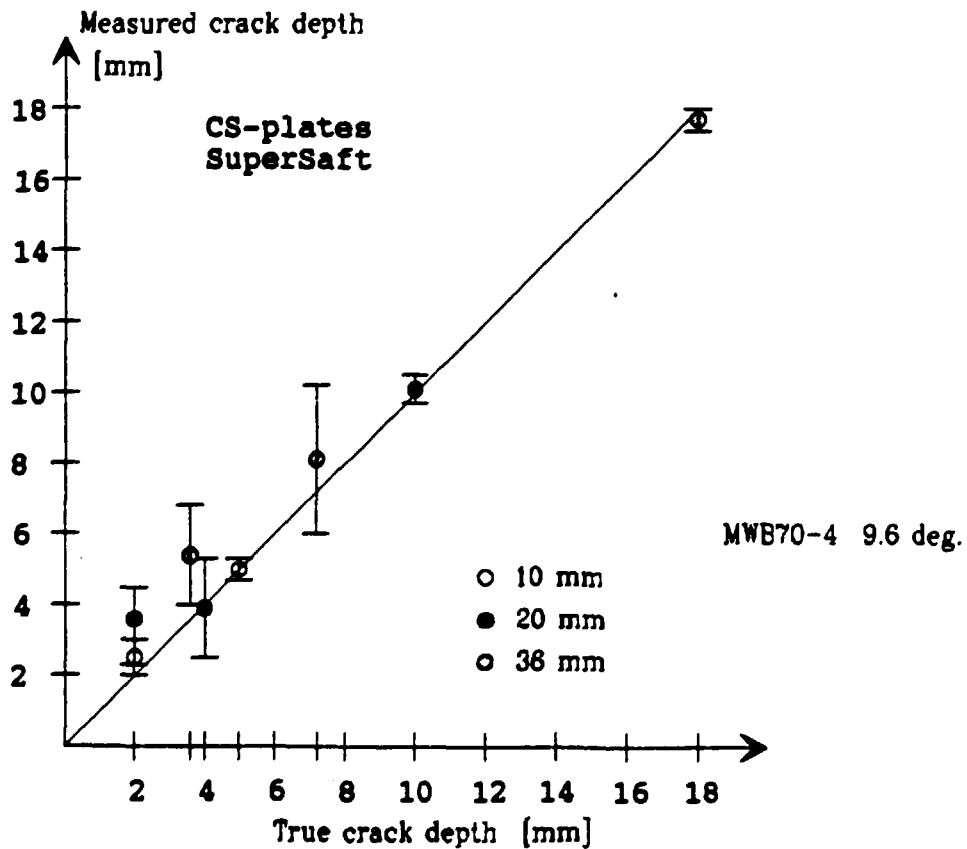


Figure 5. SuperSaft results with MWB70-4.
Divergence angle 9.6°.

On the stainless steel plates the 70 degree 2 MHz MWB probes give the best results. The available data with a 70 degree 4 MHz MWB probe on the 10 mm plate suggests that this probe might be as good or better on this particular material. The 45 degree 2 MHz MWB probes underestimate the larger cracks. The 7.2 mm crack in the 36 mm plate is pronouncedly underestimated with all but the 70 degree MWB probes.

There is nothing in the results that suggests that it could be an advantage to use longitudinal wave probes under these circumstances.

Figure 6 and 7 show the results obtained with the 70 degree 2 MHz MWB probes. The results are plotted as a mean value with the bars representing the standard deviation.

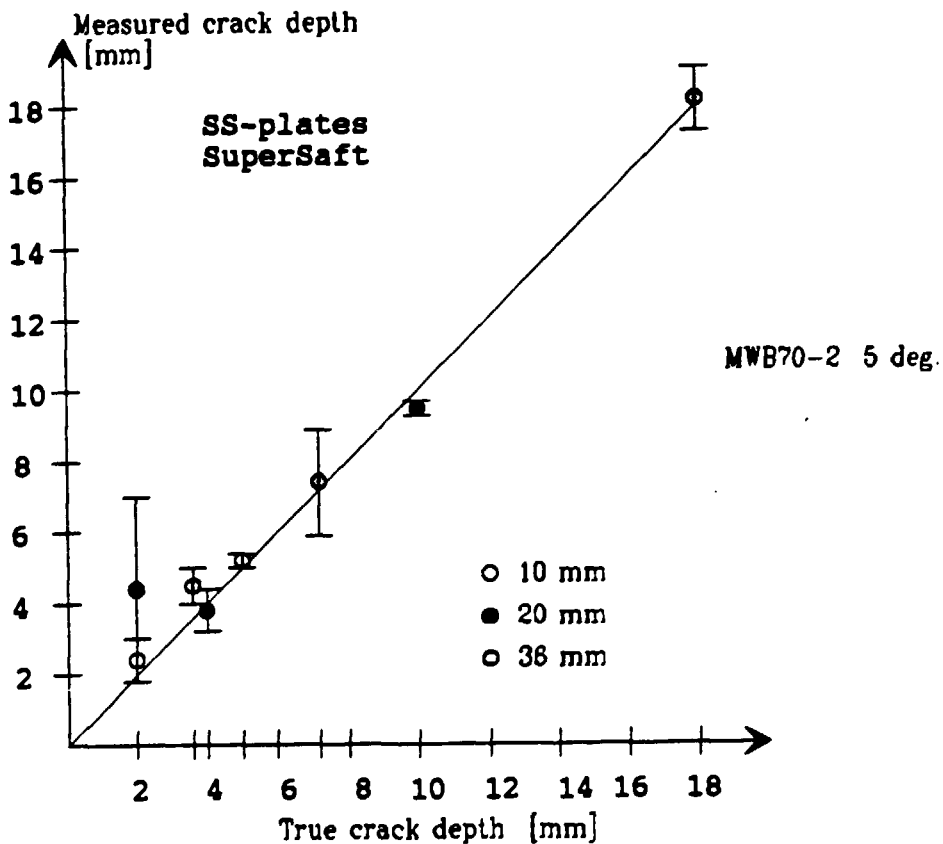


Figure 6. SuperSAFT results with MWB70-2. Divergence angle 5°.

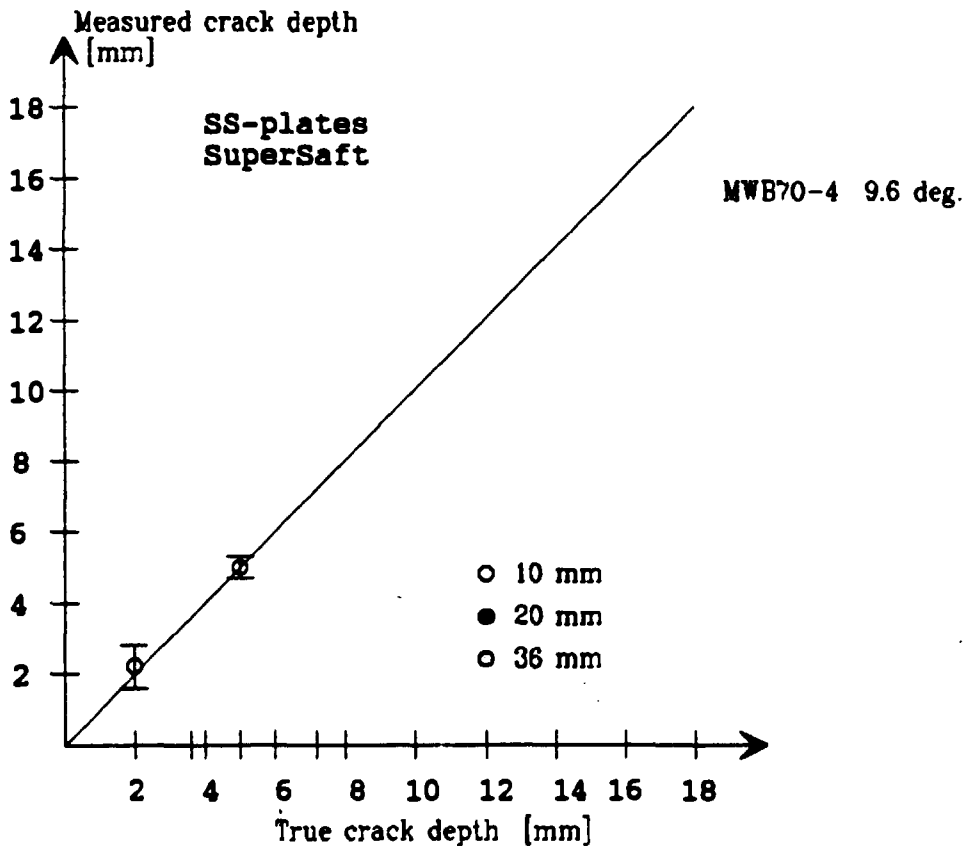


Figure 7. SuperSAFT results with MWB70-2.
Divergence angle 13.8°.

CONCLUSION

As can be seen above the divergence angle does seem to have an influence on the obtained results.

On the carbon steel plates using MWB45-4 probes a divergence angle of 7° is a little better than a divergence angle of 5°, whereas using MWB70-4 probes 5° divergence angle is better than 9.6° although only marginally.

On the stainless steel plates using MWB70-2 probes the results suggests a large divergence angle (13.8°) for the small cracks and a small divergence angle (5°) for the large cracks.

As can be seen on the figures above the standard deviation varies quite significantly. This analysis has not given any clear conclusion as to why and when, but it has been found that the positioning of the probes is very critical with respect to obtaining good results.