

3d Surface Scanning

-En laserbaserad mätteknik för mätning av yttextur

3d Surface Scanning

-A laser based technique for measuring surface texture

JOHN-EMILÈ CHOUKAIR
MATS HAGNERT

Vatten Miljö Transport
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2002



FÖRORD

Detta projekt är ett examensarbete vid Chalmers, finansierad av SBUF och Skanska Sverige AB, utfört vid Skanska - Vägtekniskt Centrum Väst, VTC-väst. Projektet initierades av tekn. lic. Anders Berg och prof. Bo Ronge, som även fungerat som biträdande handledare. Gunnar Lannér, på institutionen för Vatten Miljö Transport, har varit vår handledare och examinator.

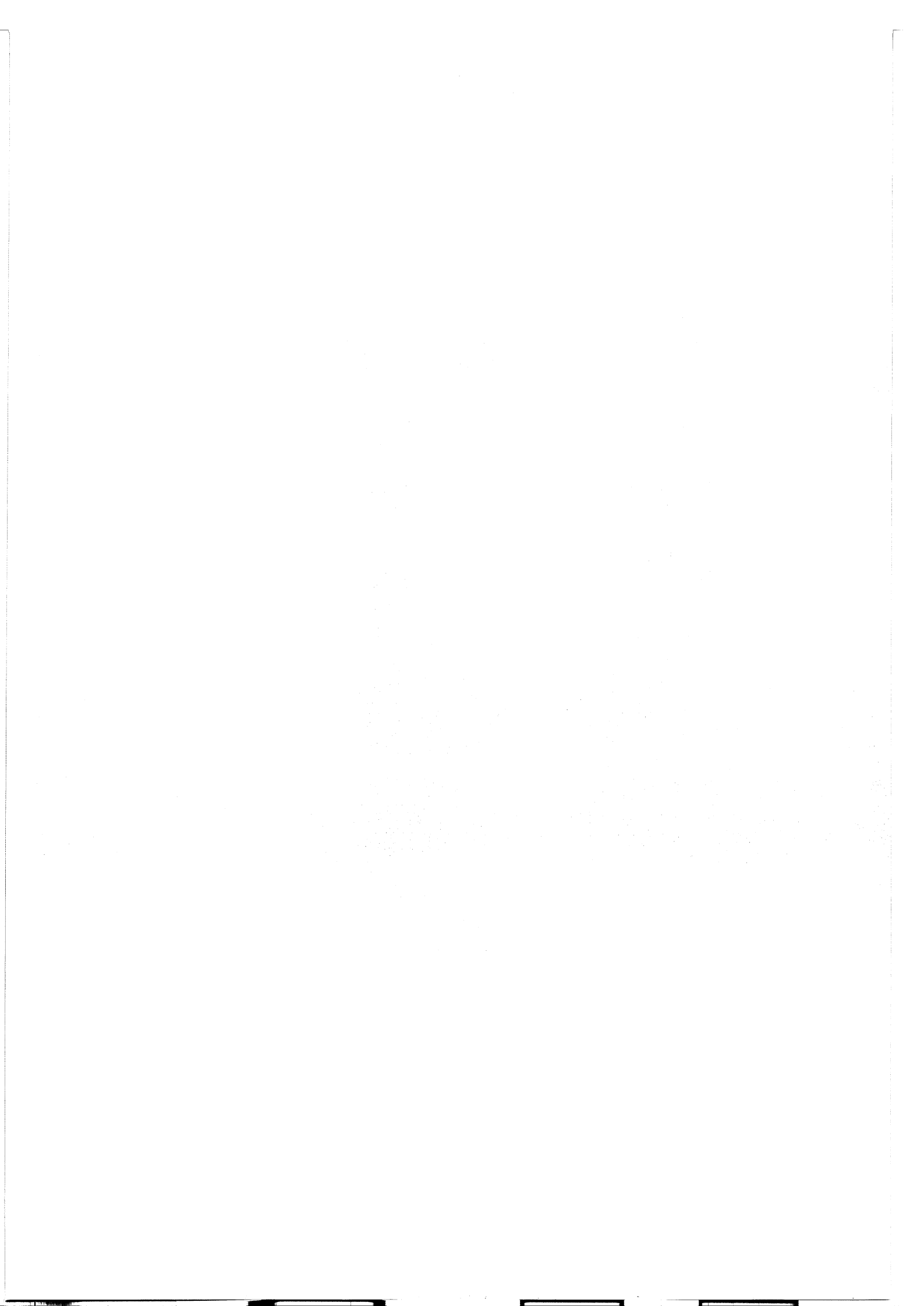
Efter att nått uppsatta mål, under en mycket lärorik och oviss resa, har arbetet resulterat i denna rapport. En erfarenhet som varit mycket stimulerande och utmanande, då uppgivenhet övergått i tillfredsställelse, då tillsynes hopplösa problem lösts. Tillgång till manualer har varit minst sagt bristfällig eftersom det är fråga om en prototyp och detta har försvårat uppgiften avsevärt. Ingenjörsmässiga bedömningar tillsammans med "trial and error" har gjort att problemen lösts.

Vi vill tacka alla som varit involverade i projektet, på VTC och Chalmers. Framförallt vill vi tacka Anders Berg och Bo Ronge med vilka vi har haft ett mycket bra samarbete. De har med sin kunskap och sina resurser gjort det möjligt för oss att själva forma genomförandet av projektet.

Göteborg 020131

John-Emilè Choukair

Mats Hagnert



SAMMANFATTNING

Detta projekt initierades av Skanska Sverige AB och SBUF för att finna en mer tillförlitlig mätmetod för att karakterisera yttextur hos asfaltsytor i fält. Vår uppgift var att försöka utveckla en ny laserbaserad metod som skulle ersätta konventionell teknik, i detta fall Sand Patch.

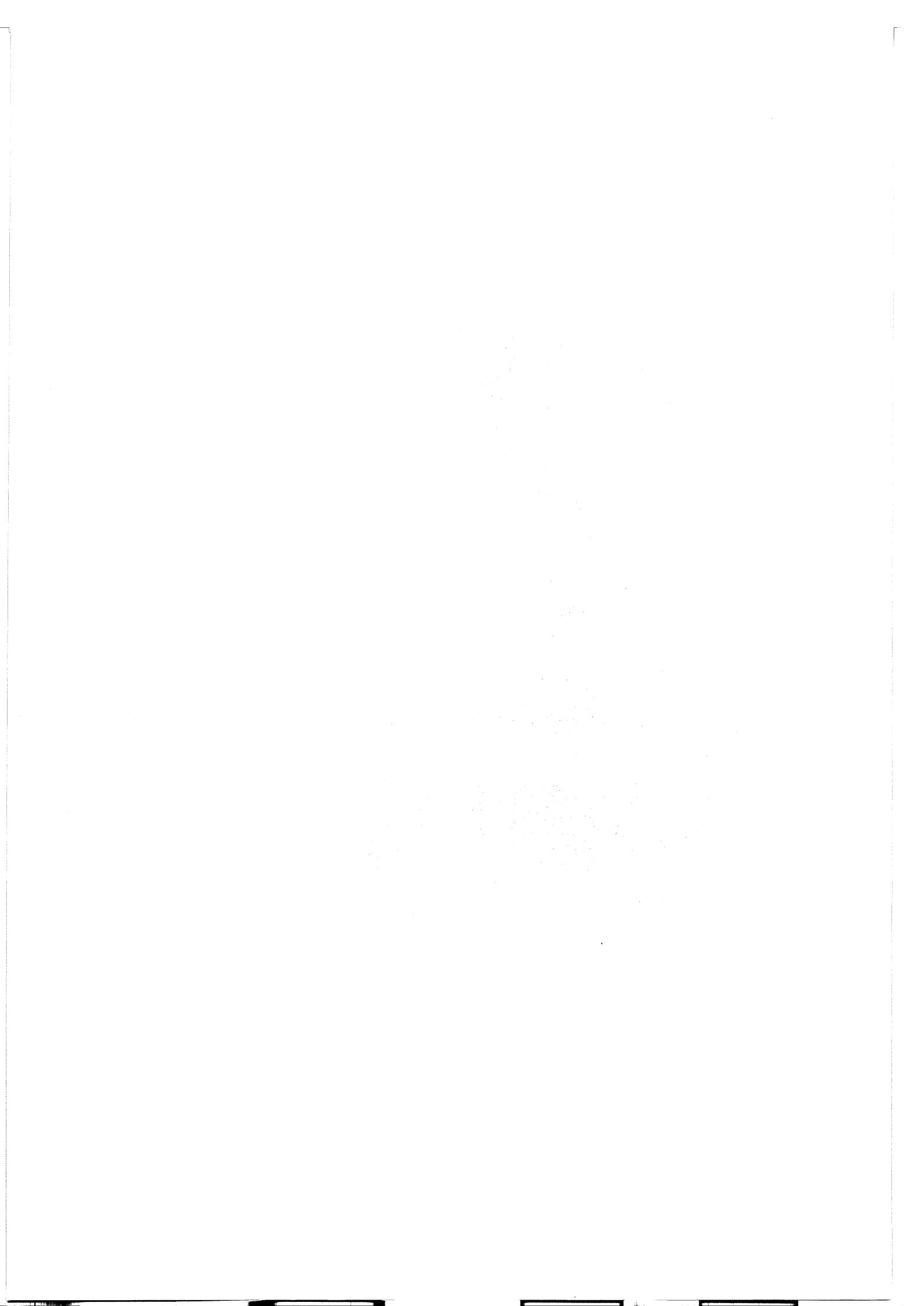
För att utreda om denna metod kunde användas jämförde vi den med Sand Patch. För att beräkna medeltexturdjupet med vår metod använde vi oss av samma lösningsalgoritm som Sand Patch, att medeltexturdjupet är kvoten av volym och area. Därför behövde vi bestämma den öppna porvolym som fanns över en bestämd area. Med hjälp av laserutrustningen skapade vi en numerisk modell av asfaltsytan. Med modellen som grund genererade vi sedan en överyta som tangerar topparna av asfaltsytan. Den volym som bildas mellan ytorna dividerades med den plana arean och ett medeltexturdjup erhöles.

För att skapa denna överyta, utan att äventyra noggrannheten genom mänsklig påverkan, gjorde vi ett program som automatiskt sorterar ut de högsta punkterna över asfaltsytan. Då hade vi kommit ifrån det största dilemmaet med Sand Patch, operatörsberoendet.

Vi insåg emellertid i ett tidigt stadium att utrustningen inte lämpade sig för fältmätningar. För att verifiera vår metod gjordes testkörningar i labb. Här använde vi oss av provkroppar med olika texturer för att se en korrelation med Sand Patch. Analysen visade på mycket god överensstämmelse mellan metoderna.

Vi gjorde även försök för att undersöka hur god repeterbarheten var. Detta gjordes genom upprepade körningar över ett antal provkropp. Metoden uppvisade även i detta avseende mycket gott resultat.

De slutsatser vi kan dra av detta projekt är att modern teknik i allmänhet, och vår metod i synnerhet, genererar resultat med mycket hög precision samt hög bearbetningsgrad. Vi kan dock konstatera att utrustningen är för långsam och känslig för att användas i fält, till skillnad från den snabbare men divergerande Sand Patch.



ABSTRACT

This project, initiated by Skanska Sverige AB and SBUF, deals with the lack of reliable methods of measuring surface texture. Our purpose was to develop a new laser based scanner method to replace conventional technique, in this case Sand Patch.

To establish if this method was applicable, we compared it to Sand Patch. To calculate the mean texture depth with our method, we used the same algorithm as Sand Patch, that is volume divided by area. To determine the open pore volume within a defined area we created a numerical model of the road surface with our laser scanner. Based on the model, we generated a new surface touching the peaks of the original surface. By doing so we could estimate the volume between the two surfaces. The volume divided by the planar area equals the mean texture depth.

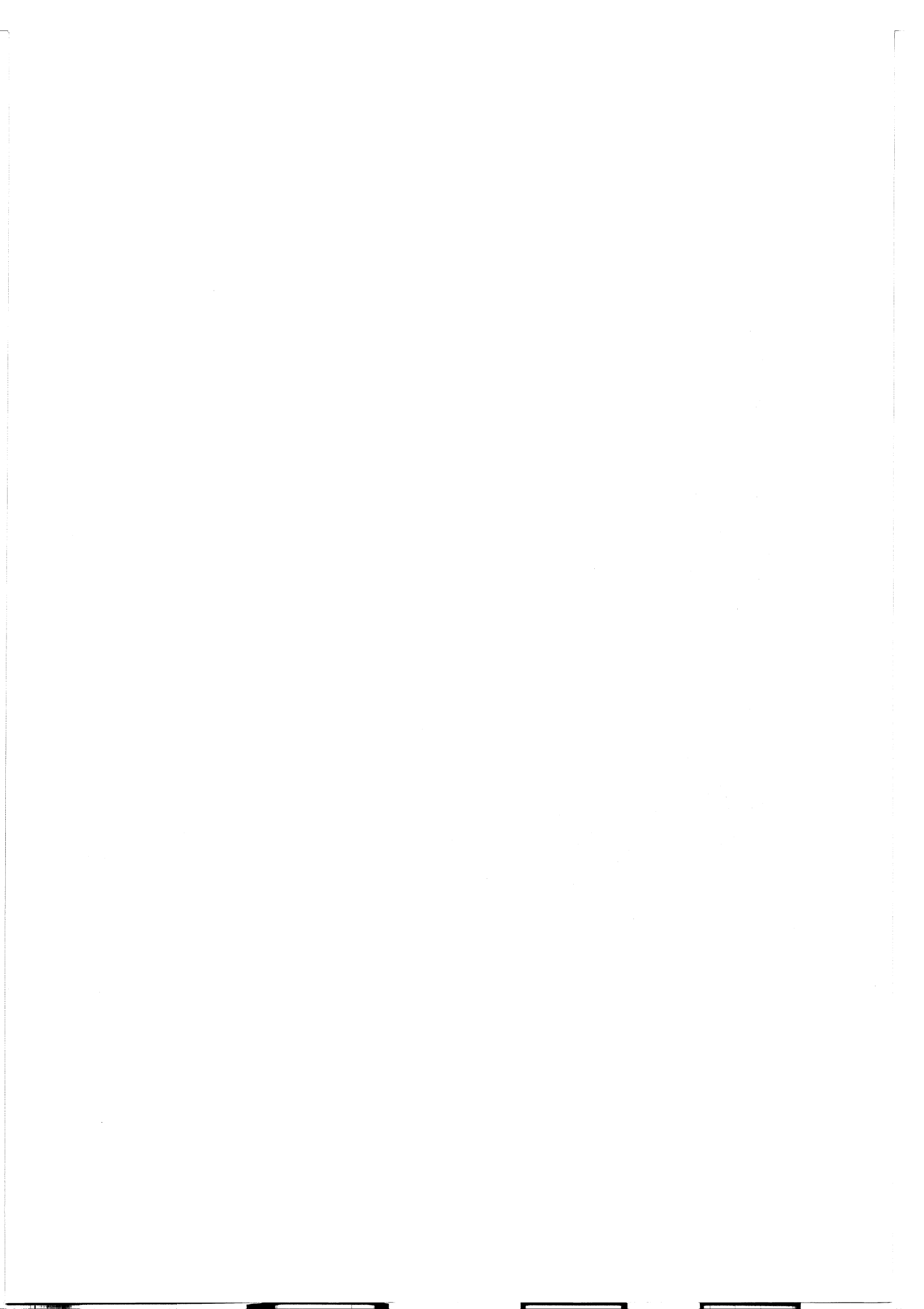
To create the upper surface without jeopardize the accuracy, by human interference, we invented a program with the only purpose to gather the highest points of the road surface. By doing so, we eliminated the single largest quandary with Sand Patch; its dependency on operators.

However, we realized early that the equipment was not suited for field studies. To verify our method we conducted tests in the laboratory. We used samples with different textures to see a correlation with Sand Patch. The analysis displayed a very good conformity with Sand Patch.

We also conducted tests to establish the repeatability of our method. We did this by scanning the same surface several times. Once again our method proved its accuracy.

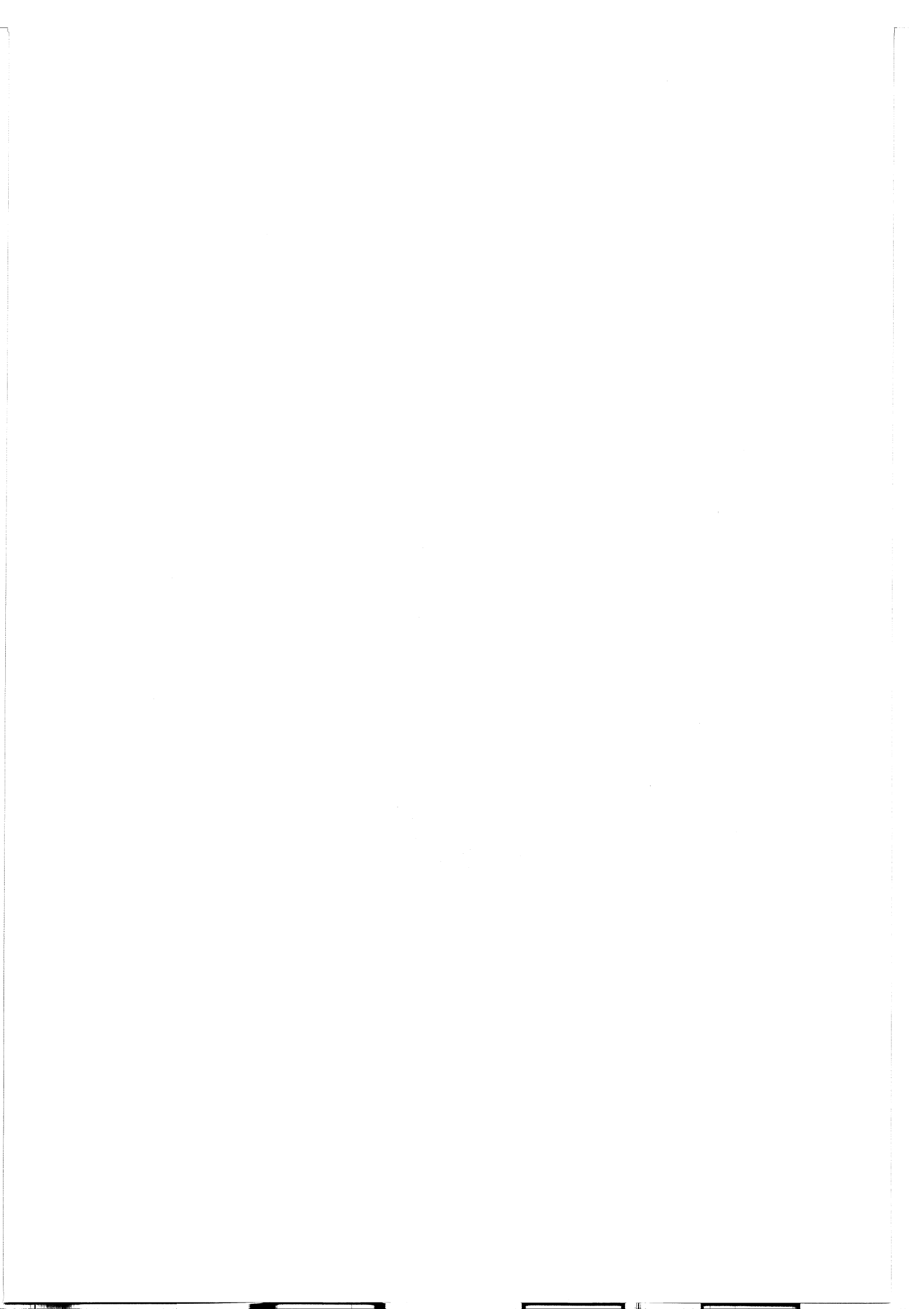
Our conclusion is that modern technology in general, and our method in particular, generates high precision results with a high level of applicability.

Nevertheless, the equipment has shown to be too slow and sensitive which does not make it suitable for field studies.



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	
Abstract	
Sammanfattning	
Innehållsförteckning	
1. Bakgrund	6
1.1 Vägytans inverkan på trafikanter och samhälle	7
1.2 Teknik för att mäta makrotextur	9
1.2.1 Sand Patch	10
1.2.2 Laserpunkt	11
1.2.3 3dSS	12
2. Syfte	13
3. Maskinvara	14
3.1 Systemlåda	15
3.2 Ram och släde	16
3.3 Linjaler	17
3.4 Motorstyrning, Motorer och Omkodare	17
3.5 Kontrollenhet för laser, och laserhuvud	19
3.6 Pulsräknare	23
3.7 Överföring – PCMCIA kort	24
4. Programvara	25
4.1 Scanning	25
4.2 Surfer	28
4.3 Zmax	29
5. Samverkan mellan maskinvara och programvara	35
6. Anpassning för planerad tillämpning	36
7. Metodbeskrivning vid mätning	39
8. Försöksserier	43
8.1 Precisionsanalys	44
8.1.1 Felkällor	46
8.2 ABT 11 – Resultat	48
8.2.1 Analys av resultat	49
8.3 ABS 11 – Resultat	52
8.3.1 Analys av resultat	53
8.4 ABS 16 – Resultat	56
8.4.1 Analys av resultat	57
9. Slutsats	60
10. Förslag till fortsatta studier	61
11. Källförteckning	63
12. Bilagor	



1. BAKGRUND

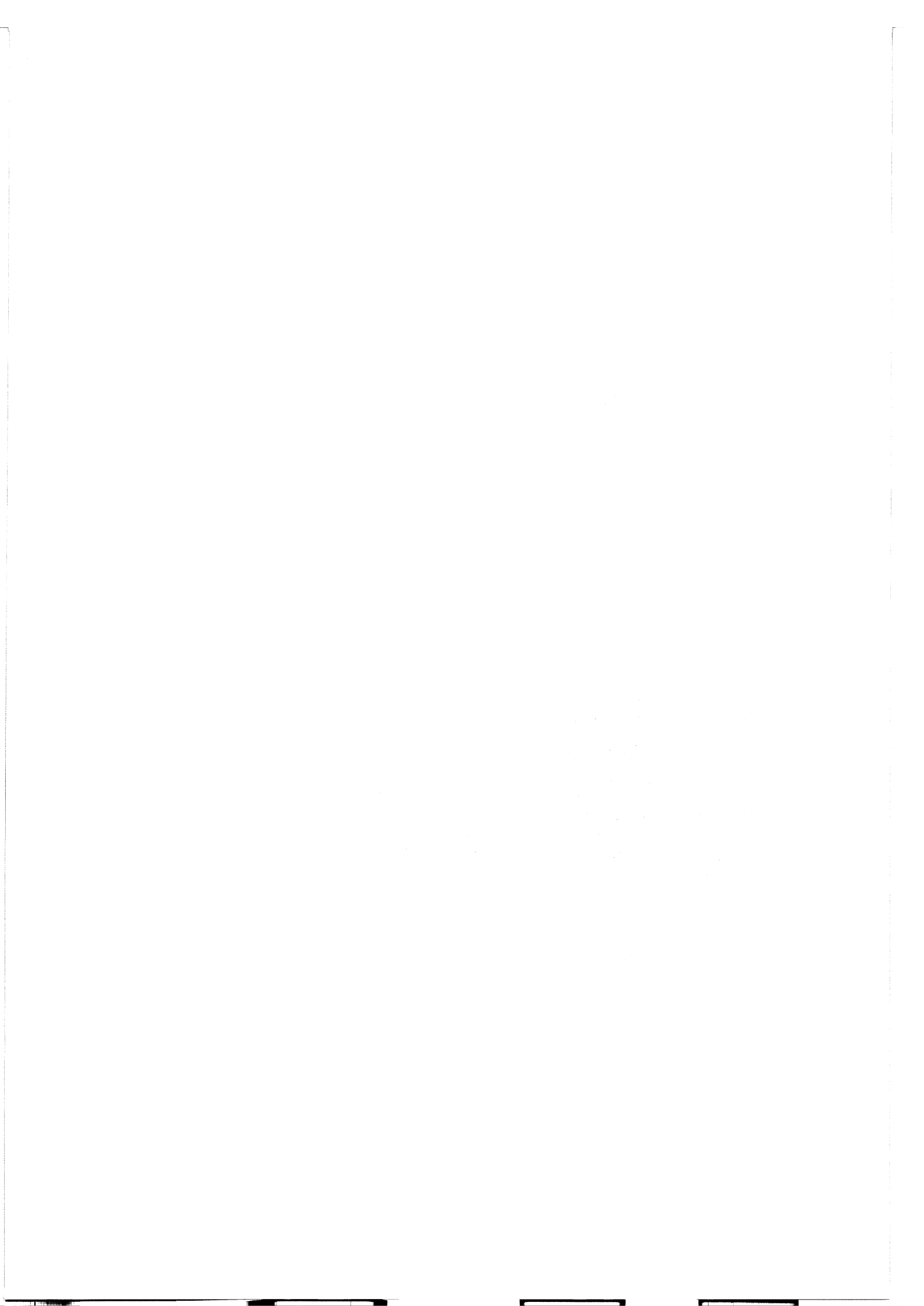
”I begynnelsen, eller strax efter, var kostigen. De första vägarna byggdes inte, de uppkom där djur fann behov av att vid upprepade tillfällen vandra mellan två av någon anledning intressanta platser, t ex. vandring mellan olika betesområden. Människan torde sedermera ha funnit det praktiskt att i förekommande fall utnyttja dessa av djur banade vägar för sina egna förflyttningar och transporter, först till fots och sedermera med hjälp av olika rid- och lastdjur.”

Georg Magnusson, Från tumstock till laser, särtryck ur Vägingenjören Nr 1/98, sid 19-20, 22.

Asfaltbeläggnings yttextur bestäms normalt genom utnyttjande av den metod som benämns Sand Patch. Sand Patch-analysen utförs i fält och ger mycket begränsad information om ytans beskaffenhet. I princip bestäms i asfaltytan förekommande öppen porvolym, inom en mycket liten area. Erhållen information är otillräcklig för att på ett tillfredsställande sätt karakterisera beläggnings överyta.

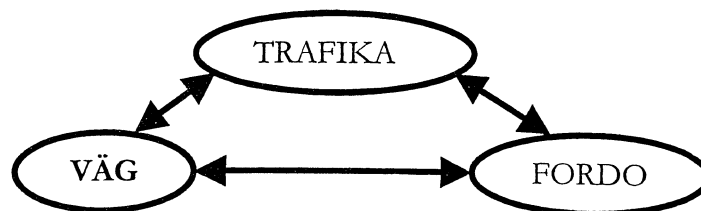
Idag, vid bedömning av yttexturens tillstånd, sker detta av en besiktningsman via en okulärbesiktning som i värsta fall kan leda till subjektiva bedömningar. Något man helst vill slippa vid utrönandet av yttexturer.

Goda möjligheter föreligger att med hjälp av modern teknik i detalj, objektivt bestämma en ytas textur. Baserat på insamlad information kan därefter index för ytans råhet bestämmas. Vidare finns möjlighet att genom återkommande uppföljning studera ytans förändring till följd av slitage. Det aktuella projektet kommer att genomföras med utnyttjande av tillgänglig teknisk utrustning, utvecklad av Geotekniska Institutionen på Chalmers 1997, för studier av råhet hos bergytor. Viss anpassning av utrustning krävs för tillämpning avseende här beskrivet ändamål.



1.1 Vägytans inverkan hos trafikanter och samhälle

Vi skall här beskriva samband mellan beläggnings funktionella egenskaper och konsekvenser för trafikanter och omgivning. De ingående komponenterna väg, trafikant och fordon utgör tillsammans det så kallade vägtrafiksystemet. I detta system beror vägens prestanda på interaktionen mellan de olika komponenternas egenskaper och verkningssätt. [1]



Figur 1.1 Schematiskt interaktion hos vägtrafiksystemets olika komponenter

De egenskaper hos vägen som påverkar system ovan mest är vägkroppens yta, slitlagret. Faktorer så som typen av slitlager och tillståndet hos vägen påverkar i stor utsträckning trafikens uppförande och beteende, vilket medför ökade omgivningseffekter. Genom att se på vägtrafiksystemets pilriktningar inser man att det omvända således gäller.

Fysiska egenskaper

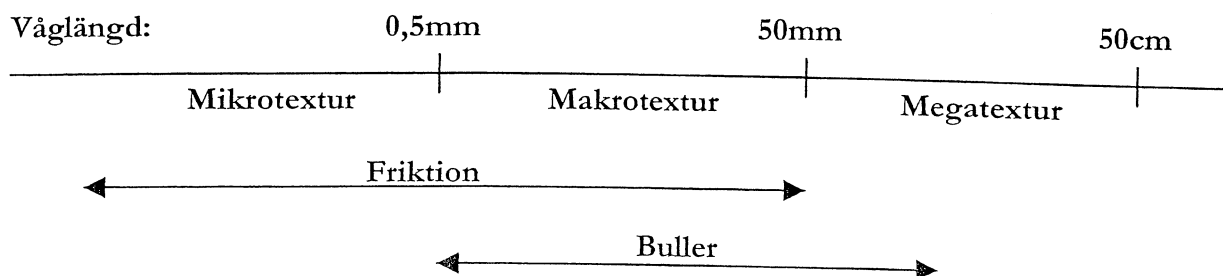
Beläggningar kan karakteriseras genom rent fysikaliska egenskaper avseende stenmaterial, halt och typ av bindemedel osv. Vid upphandling av nyproduktion och underhåll brukar man emellertid specificera beläggningar utifrån *funktionella egenskaper*.

Funktionella egenskaper

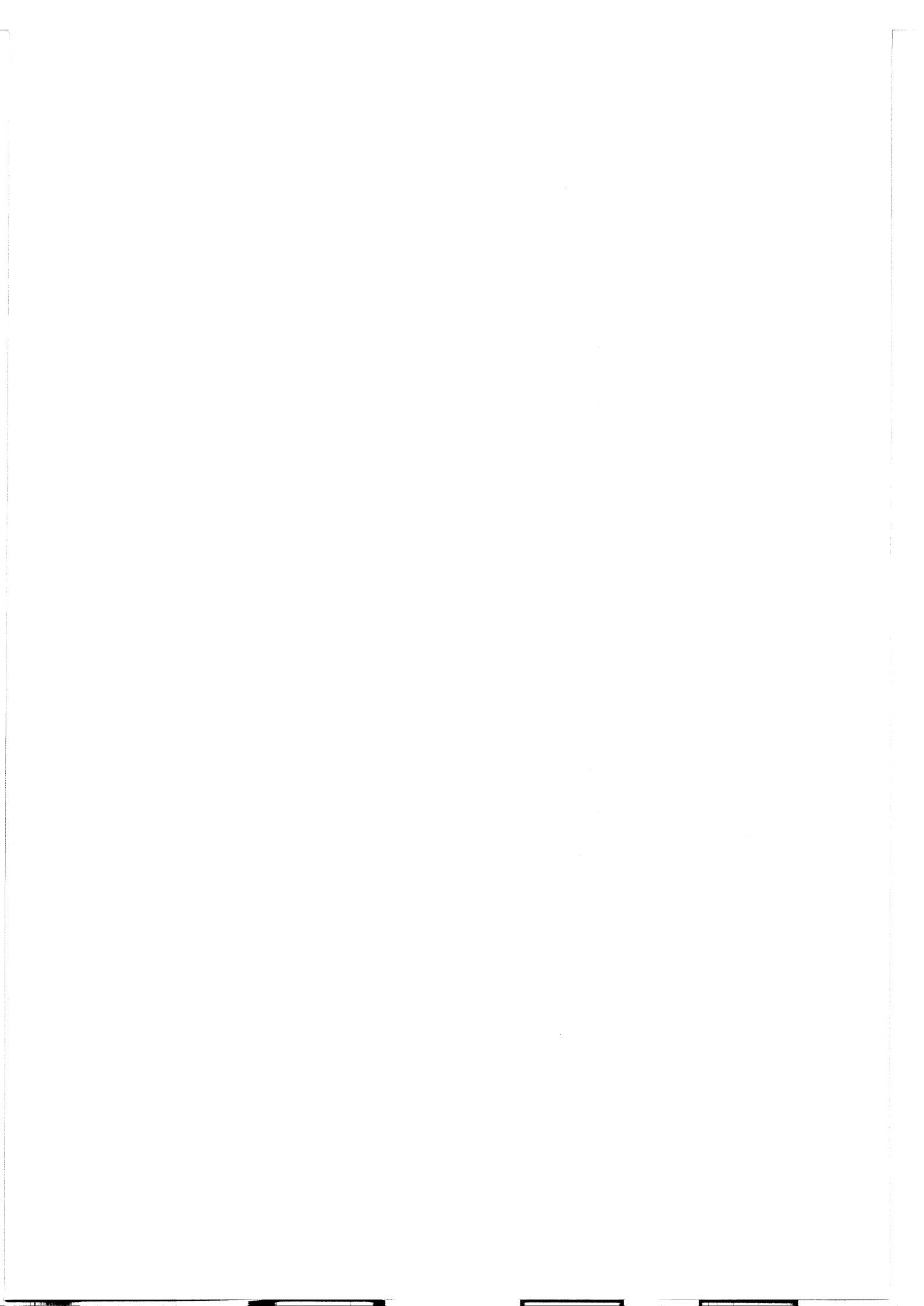
Med funktionella egenskaper menar man sådana som avgör hur bra det går att köra på vägbanan. De funktionella egenskaperna är inte oföränderliga utan ändras i takt med beläggningsslitaget, på grund av trafik och klimat. Därmed förändras också konsekvenserna för trafik och omgivning i takt med att beläggningen slits.

För att avgöra vägytans standard och om underhållsinsatser är aktuella är det viktigt att kunna karaktärisera en vägyta och dess tillstånd i dagsläget. Detta görs genom maskinella vägmätningar eller manuella vägnätsinventeringar. Mätning av vägytans textur ger information om bl.a. friktion och vägbanebuller.

En vägytas textur kan delas upp i princip tre klasser: mikro- makro- och megatextur. Vi kommer att ta upp mikro- och makrotexturen inverkan på vägens tillstånd.



Figur 1.2 Förhållande mellan textur och vägytans egenskaper.



Makrotextur

Makrotextur, vilket beskriver vägytan i området 50 – 0.5 mm. Mätning av makrotextur i spåren är bland annat intressant som indikator på risken för vattenplaning. Man kan även upptäcka stensläpp genom mätning av medeltexturdjup.

Makrotexturen påverkar:

- Buller
- Våtfriktionen, i gränsskikt däck-vägyta
- Friktion vid höga hastigheter

Buller

De ljudemissioner som beror på makrotexturen uppstår genom så kallad luftresonans, på grund av däckens "pumpning" av inneslutna luftfickor. Yttextur och därmed ljudemissioner påverkas av underhåll och nedslitage. Öppen textur visar generellt störst potential för reduktion av ljudemissioner eftersom texturen reducerar luftinneslutningen och därmed ljudet. Reduktionen verkar avta med ytbeläggnings ålder, mellan 5-7 år har det mesta av reduktionen försvunnit. Slätare ytor genererar mer ljud, därför att luft lättare stängs in. [2]

Våtfriktionen, i gränsskikt däck-vägyta

Makrotexturen inverkar starkt på våtfriktionen. Våtfriktionen innebär kontaktytan under våta förhållanden mellan däck och vägyta i höga hastigheter. Med större textur fås bättre dräneringskapacitet i gränsskiktet och därmed större kontaktyta mellan däck och väg. Dålig dräneringskapacitet i kontaktytan kan leda till vattenplaning även vid små vattendjup. [3]

Friktionen

Makrotexturen har en viss inverkan på den torra friktionen, men då framförallt vid höga hastigheter.

För grov textur ger ökat däckslitage och risk för stensläpp.

Mikrotextur

Mikrotextur, är klassen för det minsta ojämnheterna. Här platsar sådant som skrovligheten hos stenmaterialet. Mätintervallet är 0.5 mm och under. Mikrotextur kan i dagsläget enbart mätas med stationära mycket långsamma metoder.

Mikrotexturen påverkar:

- Friktionen

Friktionen

Mikrotexturen är avgörande för grundfriktionsvärdet vid låga hastigheter och torrt väglag, på grund av texturens råa yta. I takt med teknikens utveckling kommer man att kunna mäta mikrotextur kontinuerligt i normal trafikhastighet. Tillsammans med data om makrotexturen skall man då kunna härleda friktionen. [20]

Behovet av att mäta och karaktärisera en ytas textur på ett objektiva sätt är därmed uppenbart. Vad vi inriktar oss på i detta projekt är att utveckla en modell för att karaktärisera yttextur på ett mycket noggrant och operatörsberoende sätt.



1.2 Teknik för att mäta makrotextur

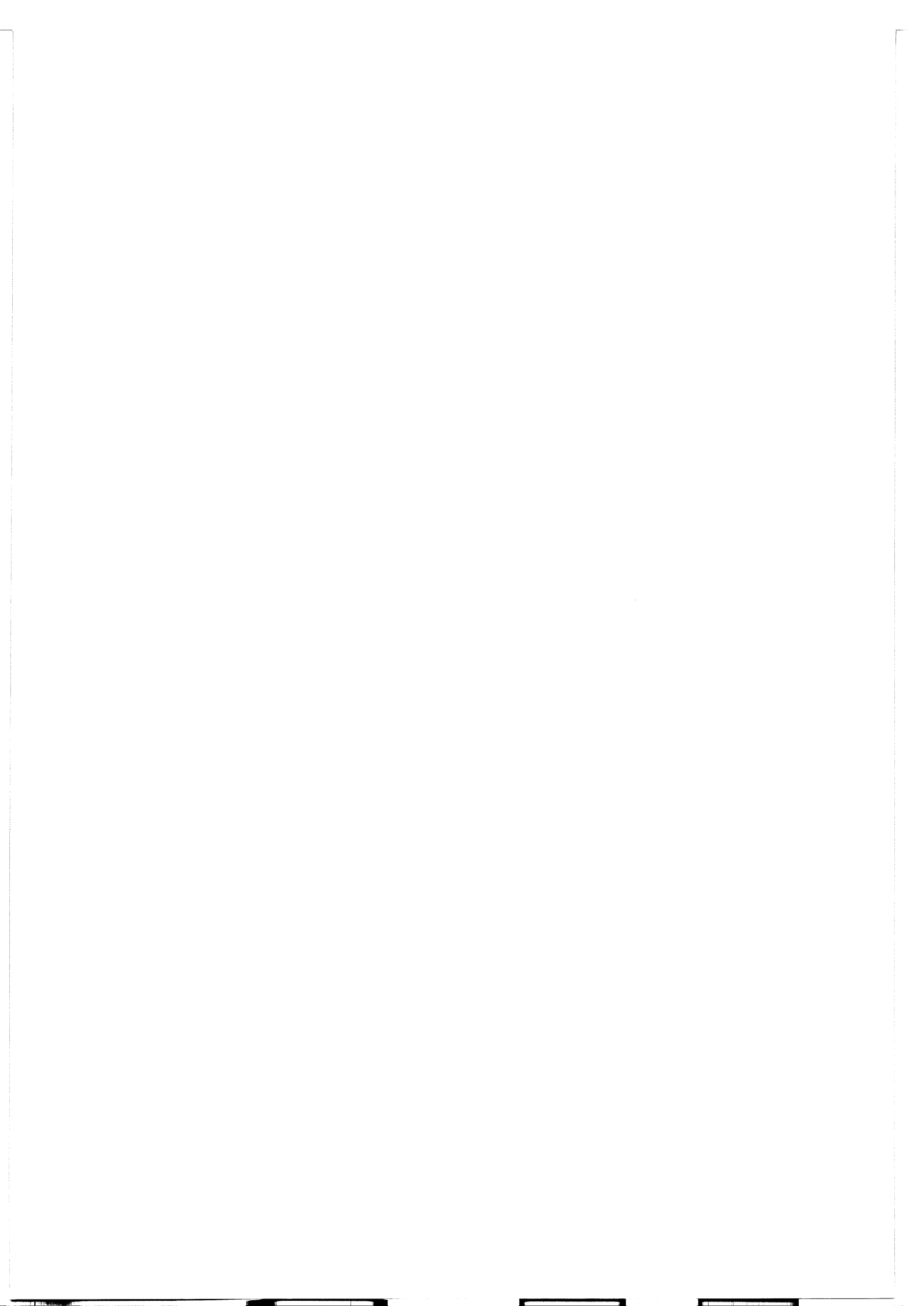
Eftersom de flesta skadebesiktning innebär en subjektiv, visuell tolkning av ytans karaktär innebär detta ofta att en meningsskiljaktighet uppstår mellan parterna. Dessa skulle kunna lösas med hjälp av objektiva standardiserade metoder för att identifiera och mäta skadan. [4]

När vi har gått igenom litteratur på området har vi funnit att det idag finns två förhärskande metoder för att mäta medeltexturdjup.

1. Sand Patch
2. Laserpunkt

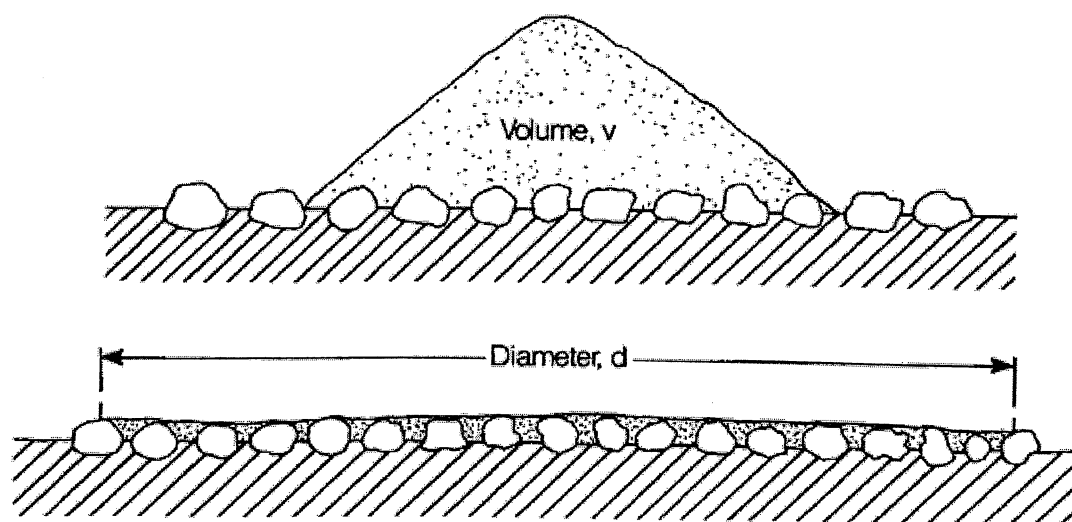
Dessutom finns nu tillgång till den metod vi kallar

3. 3d Surface Scanning - **3dSS**

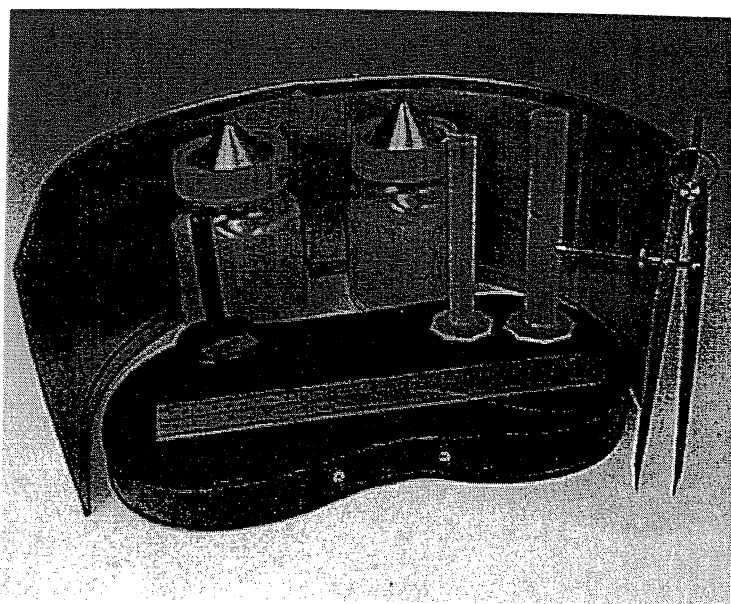


1.2.1 Sand Patch

Detta är metoden som har varit förhärskande i tre årtionden och som fortfarande är dominerande vad beträffar karakterisering av yttextur. Sand Patch är ett relativt snabbt och enkelt test som ger en fingervisning om vägytans status med avseende på friktion och stensläpp. Testet utförs på ett torrt underlag genom att tömma ut en bestämd mängd sand i en hög. Denna sand nedarbetas sedan i beläggningen med en gummiskiva så att den bildar en sandcirkel i nivå med topparna i beläggningen. När sanden inte går att sprida ut mer så är alla tomrum fyllda. En linjal används sedan för att bestämma arean av cirkeln. Nu fås medeltexturdjupet som volymen dividerad med arean. [5] [6]



Figur 1.3 Sanden nedarbetas i asfalten. Medeltexturdjup = Volymen/Diametern

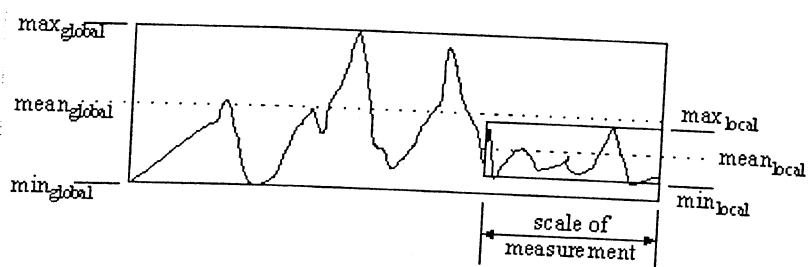


Figur 1.4 Utrustning för att bedriva Sand Patch-mätningar.



1.2.2 Laserpunkt

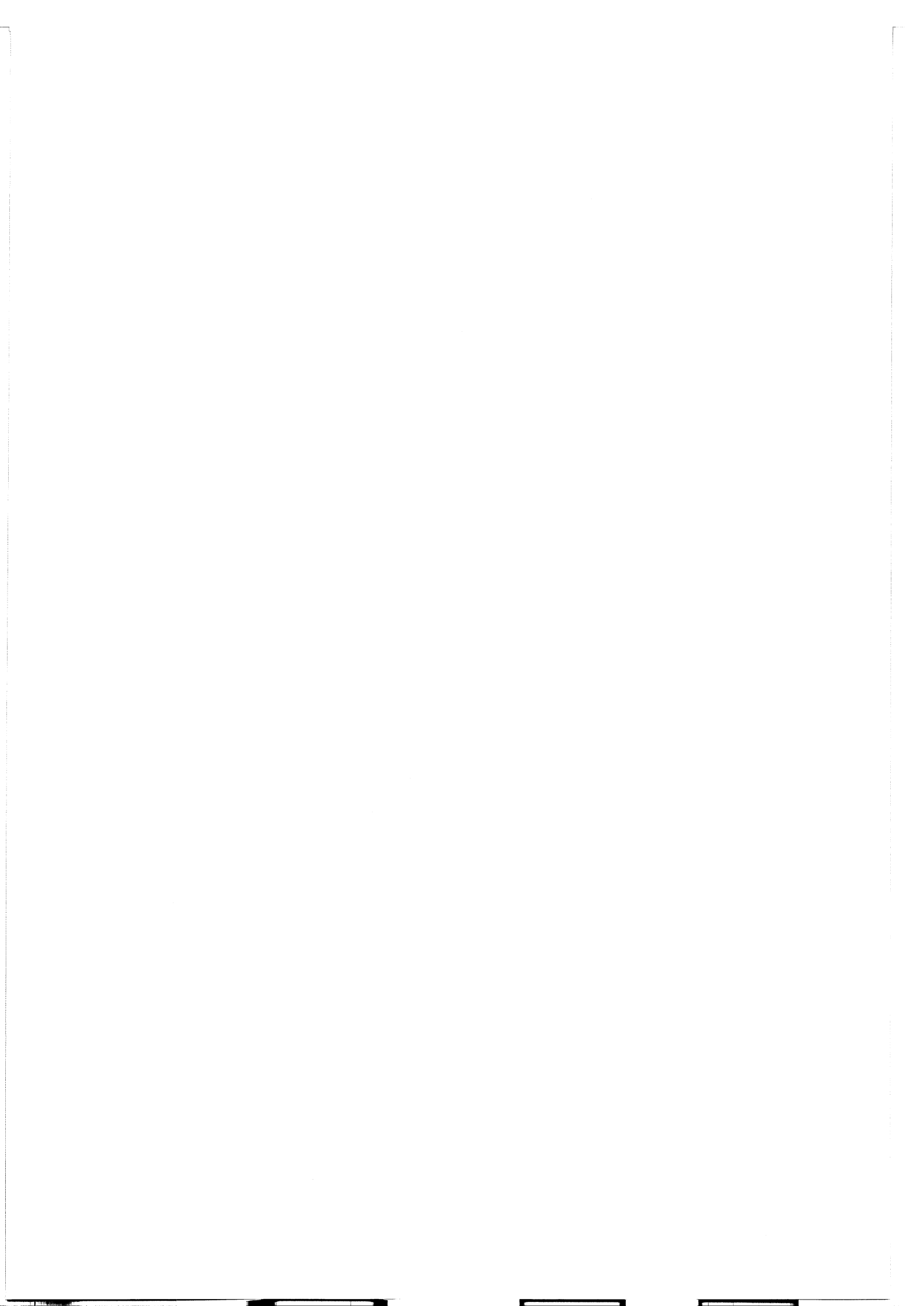
Detta är en metod som idag används för att på ett snabbt sätt bestämma medeltexturdjup-MTD. Vanligaste utförandet är en mätutrustning monterad på ett fordon. Det kan handla om en eller flera lasermätare monterade på en linje vinkelrätt mot färdriktningen. Med denna metod kan mätningar göras direkt på körbanan i normal landsvägshastighet. Medeltexturdjupet bestäms genom att den longitudinella profilen läses av över en viss längd. Ur dessa mätvärden bestäms sedan det lokala max- och minvärdet. Med hjälp av en beräkningsalgoritm erhålls således ett lokalt medeltexturdjup.



Figur 1.5 Samband mellan lokalt min-, max- och medelvärde.

Vanligtvis bestäms MTD:t över en sträcka på minst 10 meter för att ge ett representativt värde. Avståndet mellan mätpunkterna varierar men ligger normalt mellan 0.5 – 1 mm beroende på fordonets hastighet. Denna metod anses kunna efterlikna Sand Patch. Emellertid är det så att laserpunktmetoden inte är helt kompatibel med Sand Patch eftersom den förra bygger på en 2-dimensionell profil medan den senare är 3-dimensionell.

En jämförelse med Sand Patch visar på stora skillnader. Nackdelen med Sand Patch är att den ger ett relativt lokalt värde. Detta innebär att mätningen blir subjektiv eftersom mätoperatören måste bestämma vilken bit av körbanan som skall analyseras. Dessutom är Sand Patch långsam, tämligen divergerande vid upprepning, men framför allt kan den vara farlig för operatören. När mätningar med Sand Patch skall utföras måste vägsträckan stängas av för trafik vilket är både dyrt och obehagligt för bilisterna. Fördelen med Sand Patch är att den är billig att utföra. Dessutom kan det vara önskvärt att mäta MTD i en lokal skadezon, vilket är svårt med laserpunktmetoden eftersom medeltexturdjupet bestäms över en längre sträcka. [7][8][9]

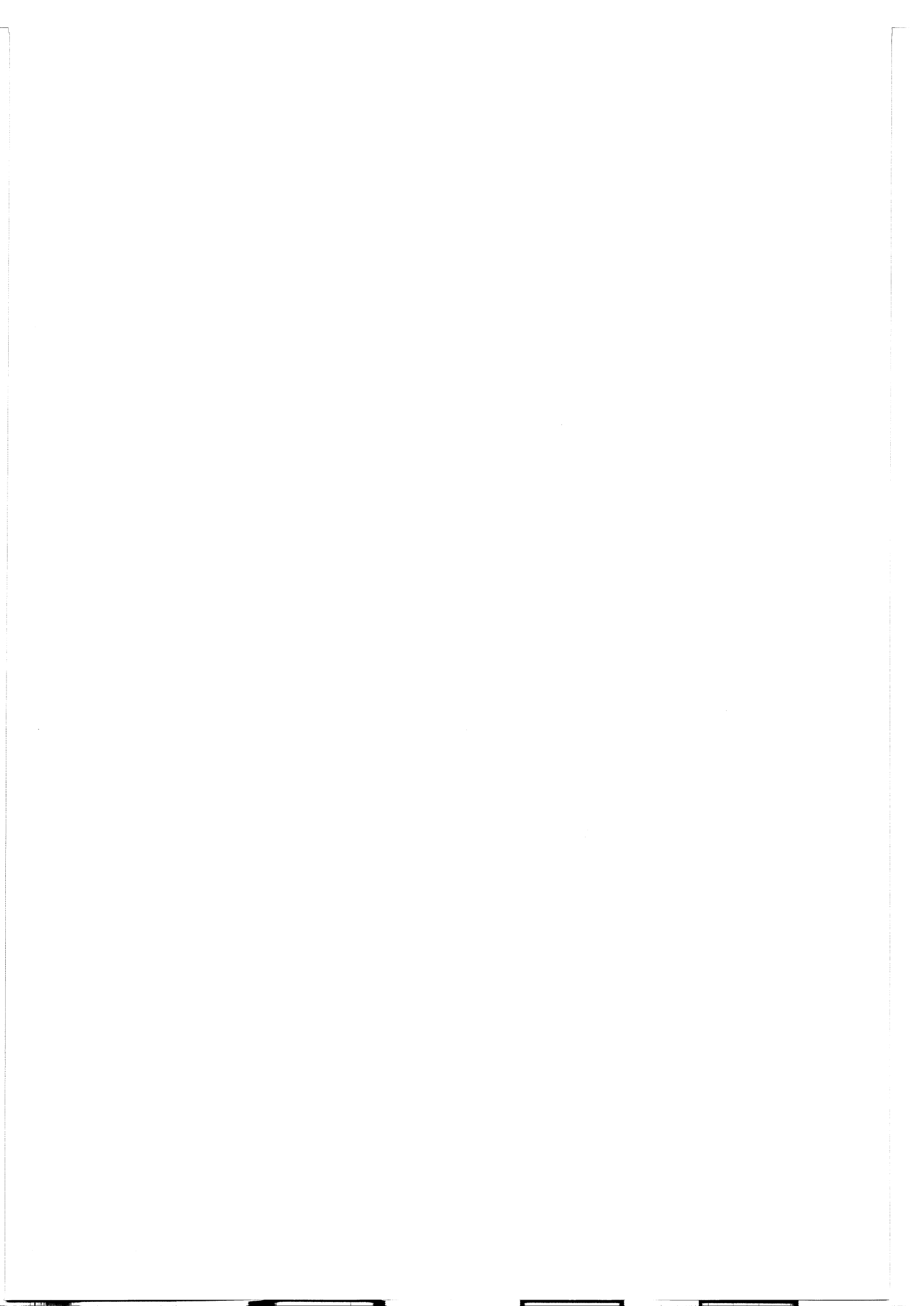


1.2.3 3d Surface Scanning - 3dSS

Den utrustning som vi har till vårt förfogande kombinerar delar av båda ovanstående metoder. Utrustningen byggdes ursprungligen av geotekniska institutionen på Chalmers för att mäta specifik yta på berg efter sprängning. Målet med den undersökningen var att optimera laddningen efter bergtyp för att minimera söndertrasningen av berget. Nu använder vi istället utrustningen för att bestämma MTD för asfaltsbeläggningar. När vi säger att utrustningen kombinerar lite av båda tidigare modeller så innebär det att vi använder oss av lasermätning, vilket ger mycket exakta mätvärden, och volymberäkningen som Sand Patch bygger på. Detta betyder att vi beräknar medeltexturdjupet på samma sätt som Sand Patch men vi samlar in mätdata med en laserutrustning som vida överträffar mätnoggrannheten hos Sand Patch.

Till skillnad från laserpunktmetoden, som bara läser av en linje längs med vägbanan, läser vi av en yta med vår utrustning. Laserinstrumentet läser av höjderna över ytan och placerar dem i ett koordinatsystem. Vad vi får efter avläsning är en numerisk modell som kan användas för omfattande analyser med olika utgångspunkter och mål.

För att kunna förklara hur vi beräknar medeltexturdjupet skall vi först beskriva hårdvaran och mjukvaran i kapitlen 3 och 4.



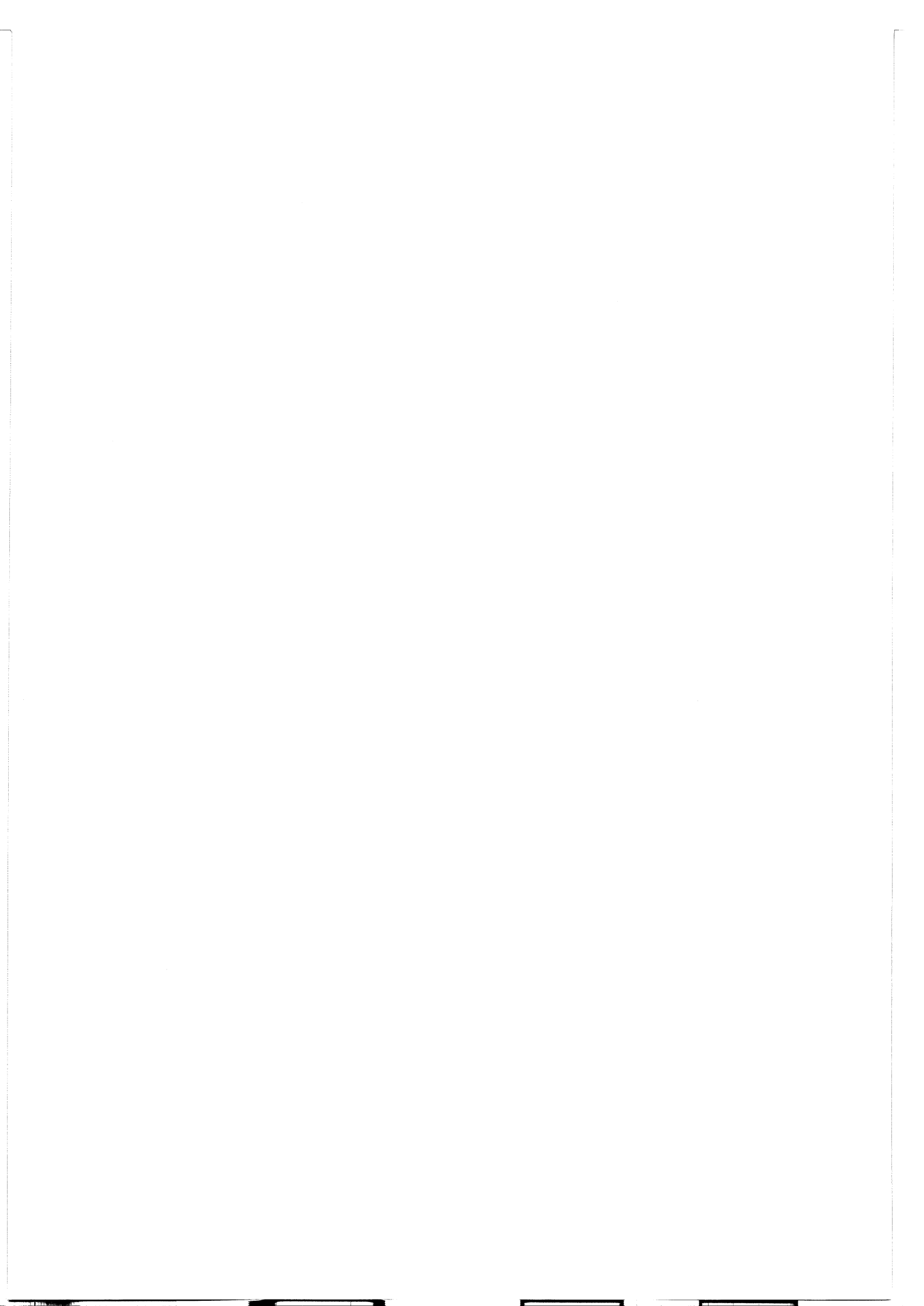
2. SYFTE

Syftet med projektet är att utreda möjligheterna till detaljerade studier av beläggnings yttextur med hjälp av moderna tekniska hjälpmedel. Datainsamlingen kommer att utföras med hjälp av portabel laserbaserad scannerutrustning.

Resultaten kommer att utnyttjas för:

- karakterisering av asfaltbeläggnings yttextur
- bestämning av råhetsindex baserat på insamlad information
- jämförelser med resultat erhållna från etablerad analysmetod, så kallad Sand Patch

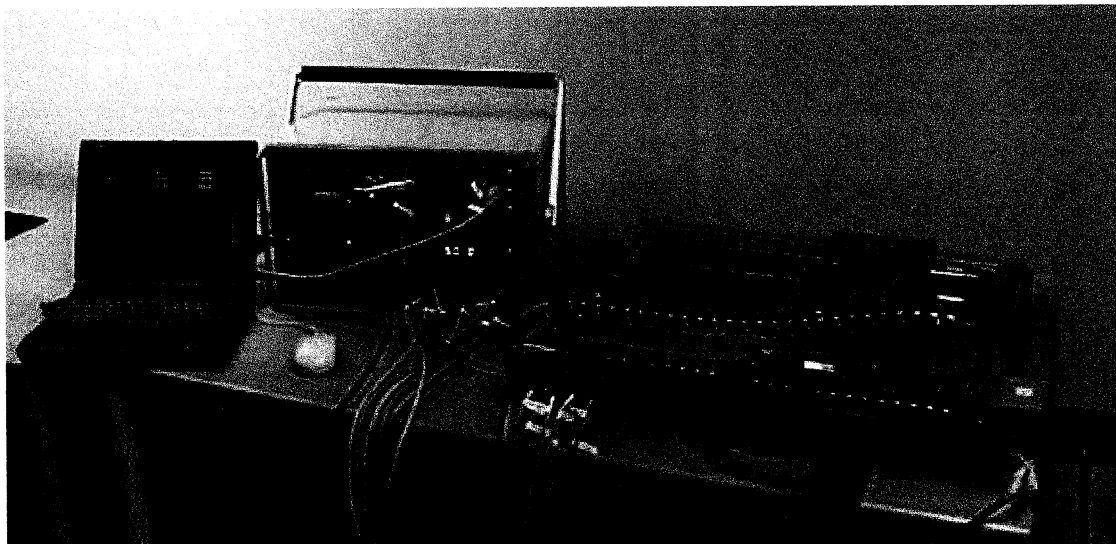
Målsättningen är att utveckla en teknik för karaktäriserande av trafikerade asfaltskiktets överyta, med avseende på yttextur.



3. MASKINVARA

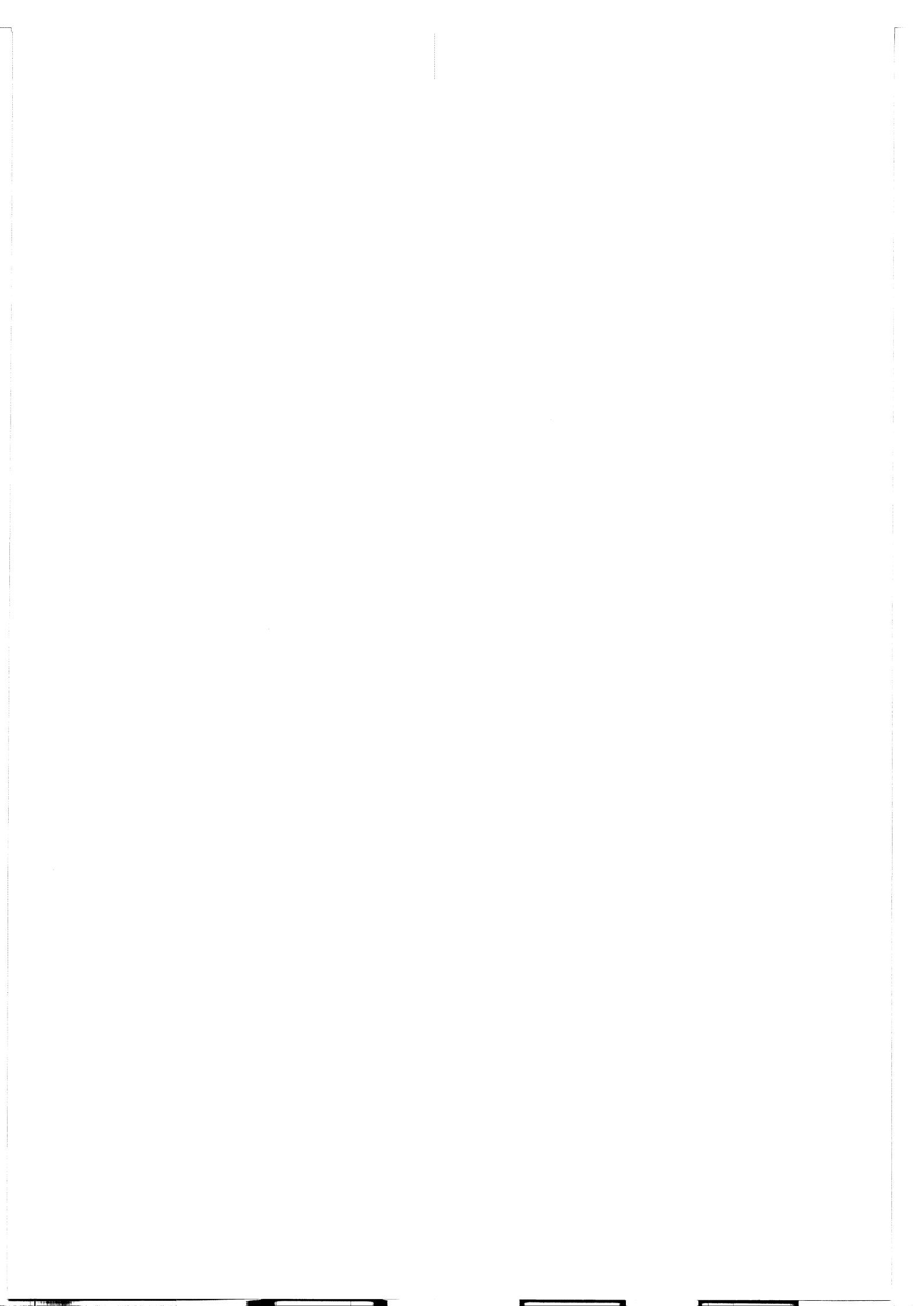
Mätutrustningen kan grovt indelas i tre enheter, nämligen:

1. Systemlåda
2. Ram
3. Dator



Figur 3.1 Den mätutrustning som har använts under projektet.

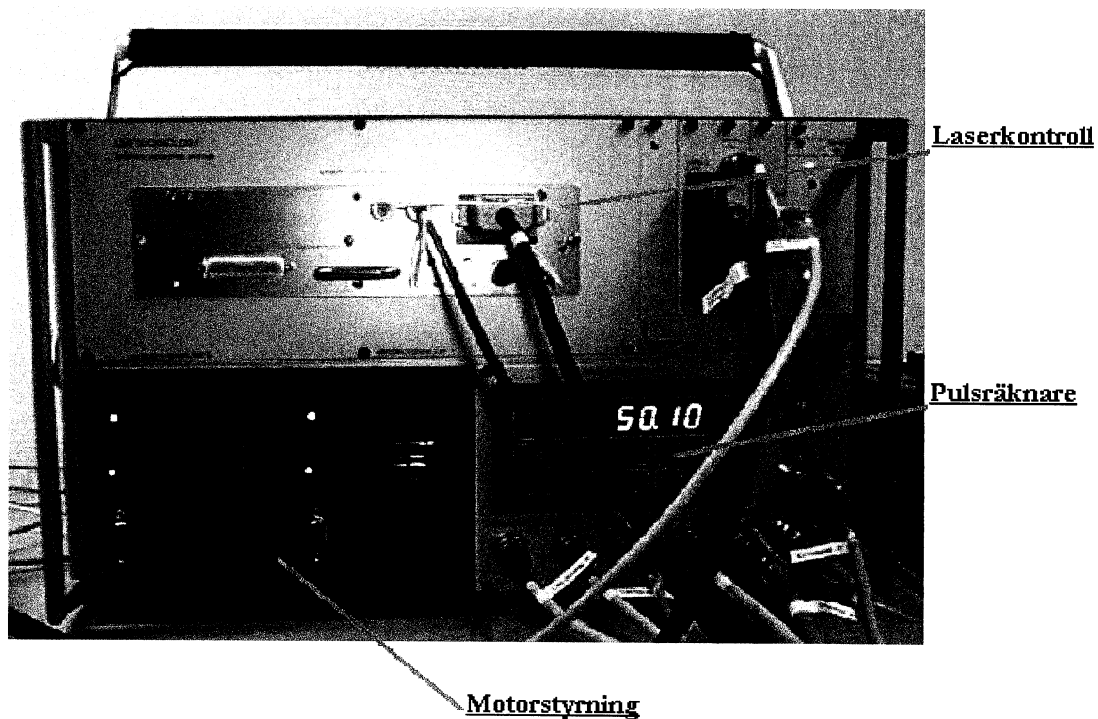
Vi skall i detta kapitel gå igenom dessa delar för att ge en förståelse för hur mätningarna utförs.



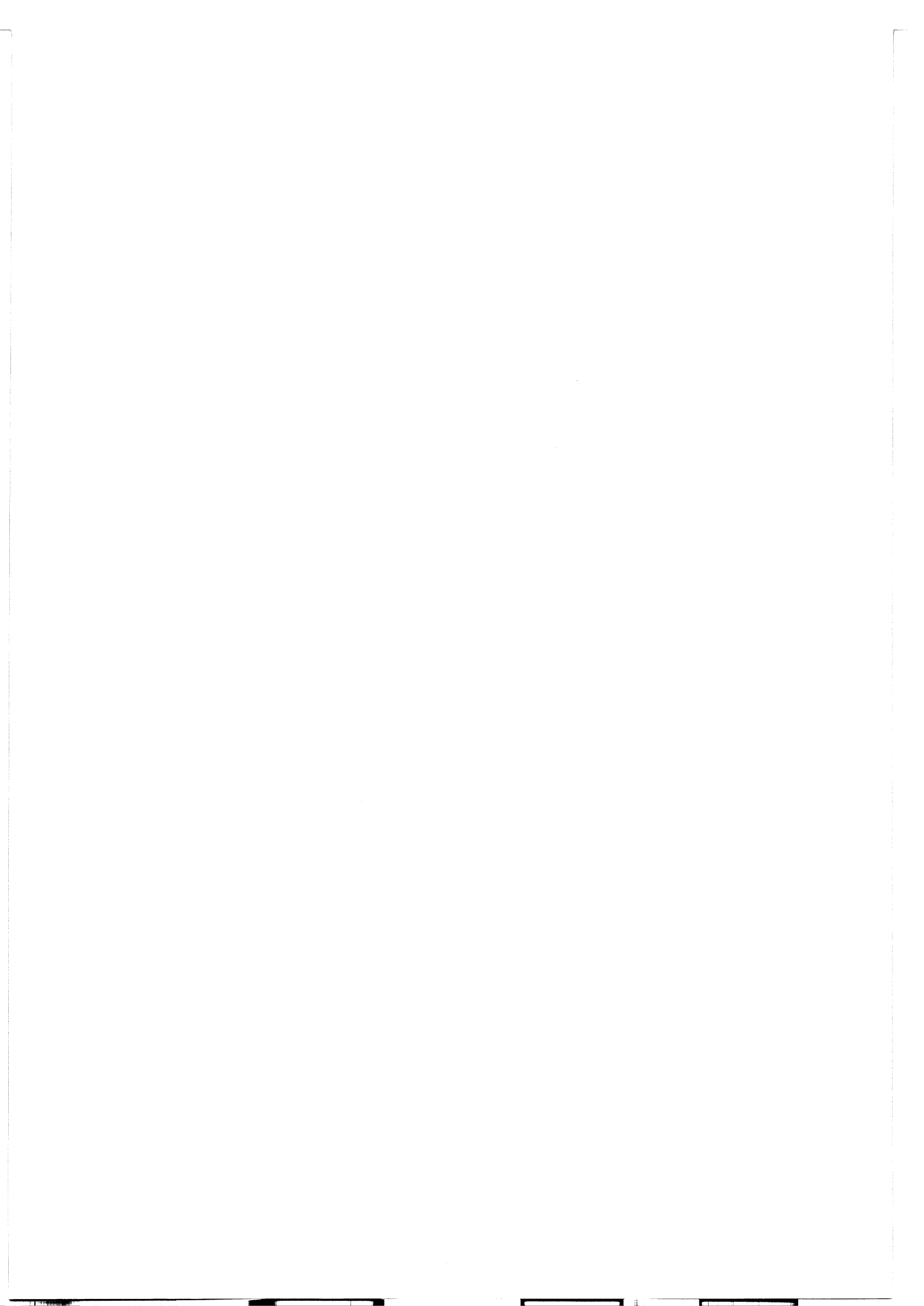
3.1 Systemlåda

Här skall vi beskriva systemlådans innehåll och funktion.

Systemlådan drivs med 240VAC vilken sedan omformas och fördelas till utrustningens olika delar. Det viktigaste i systemlådan är pulsräknaren. Det är en programmerbar kontroll, vars uppgift är att koordinera förflyttningen av släden efter de direktiv vi ger genom Scanning (se Programvara). Pulsräknaren arbetar tillsammans med styrenheterna för motorerna, och linjalerna. Under pulsräknaren sitter kontakter för ström och styrsignaler till ramen. Till vänster om räknaren sitter styrenheterna för motorerna. Dessa är två till antalet, en för X- och en för Y-riktningen. Över dessa styrenheter sitter kontrollenheten för laserhuvudet. Till höger om kontrollenheten finns kontakter för att ta emot mätvärden från laserhuvudet och sända dessa mätvärden vidare till datorn.

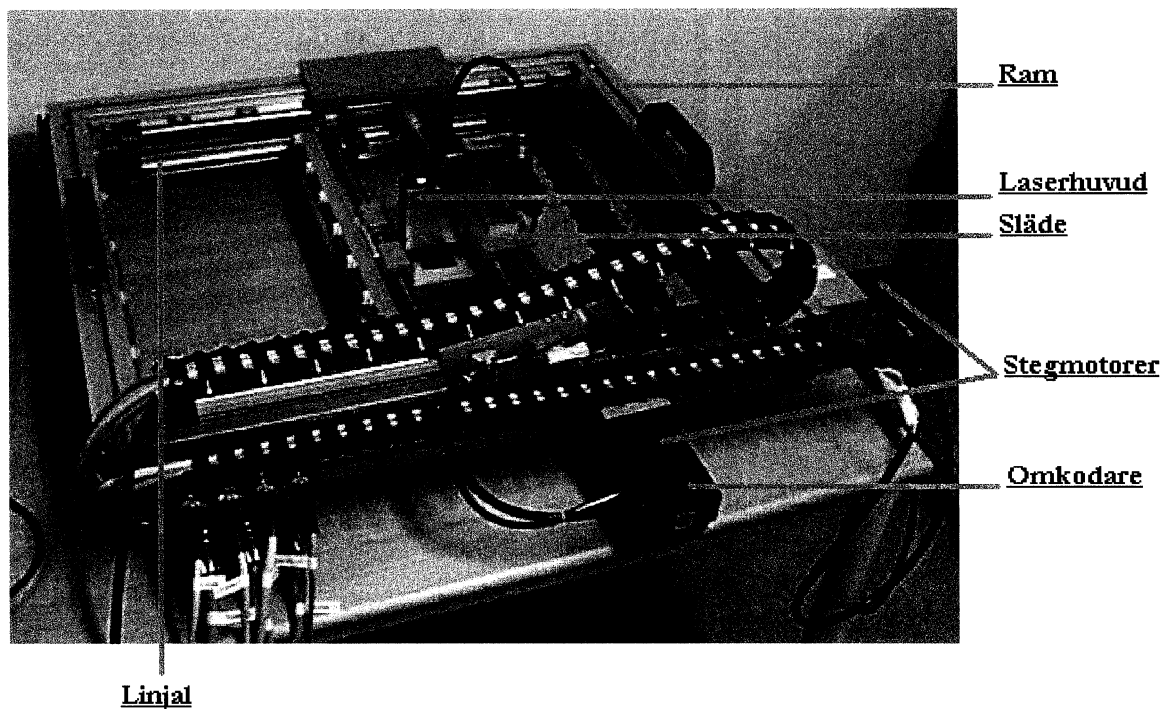


Figur 3.2 Systemlåda med ingående delar.



3.2 Ram och släde

Ramen och släden är en prototyp byggd av EIE Maskin AB i Göteborg. Ramen består till största del av formpressad aluminium och har yttermåttarna ca 600x600 mm. Slädens primära uppgift är att förflytta laserhuvudet över en yta för att erhålla ett rutnät med mätvärden. Släden glider över två stångar i X- resp. Y-led. Dessa stänger är i sin tur monterade i ramen. På släden är laserhuvudet monterat på en vertikal axel för att kunna förflyttas manuellt i höjdlid beroende på avståndet mellan laserhuvudet och mätobjektet.



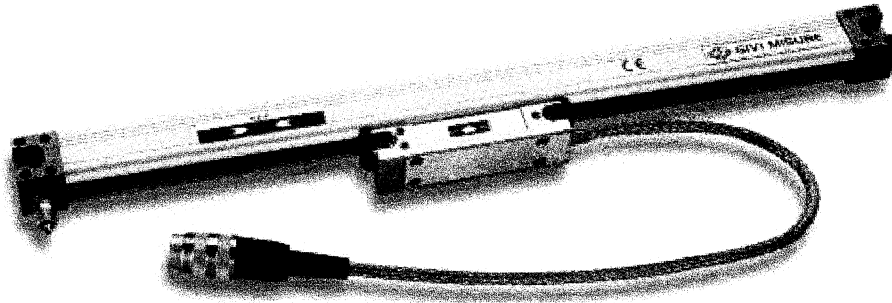
Figur 3.3 Ramen och dess ingående delar.

Förflyttningen av släden ombesörjs av två mycket noggranna stegmotorer som driver var sin kulstång. Parallellt med stängerna sitter två linjaler som registrerar var släden befinner sig i mätområdet. Vid varje hörn finns induktionsbrytare för att hindra släden om ett för stort mätområde angetts. I Scanning finns en funktion som gör att släden förflyttas till sin absoluta nollpunkt innan varje körning. Denna nollpunkt består av två gränslägesbrytare, som tillsammans med pulsräknaren och motorstyrningen gör att släden alltid nollställs på exakt samma ställe. Anledningen till detta är att flera körningar skall kunna utföras över exakt samma yta utan en manuell placering av släden i samma startpunkt.



3.3 Linjaler

Linjalernas funktion är att exakt redovisa var släden befinner sig i sitt mätområde. Detta görs genom att linjalerna lämnar en fyrkantpuls med en förutbestämd steglängd, som motsvara en viss längd, till pulsräknaren.



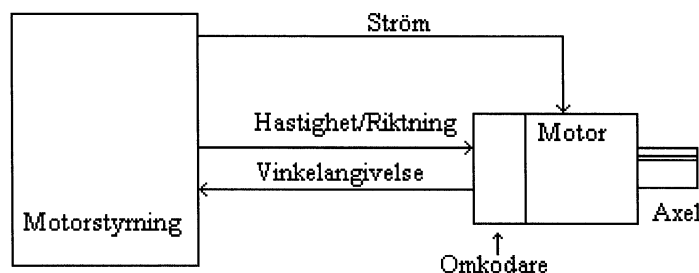
Figur 3.4. En linjal. I ramen sitter två stycken.

Detta pulståg räknas om till X och Y-värden i millimeter, som sedan skickas till motorstyrningen och datorn. Linjalerna är av märket Givi Misure och har en upplösning på 0.005 mm. [10]

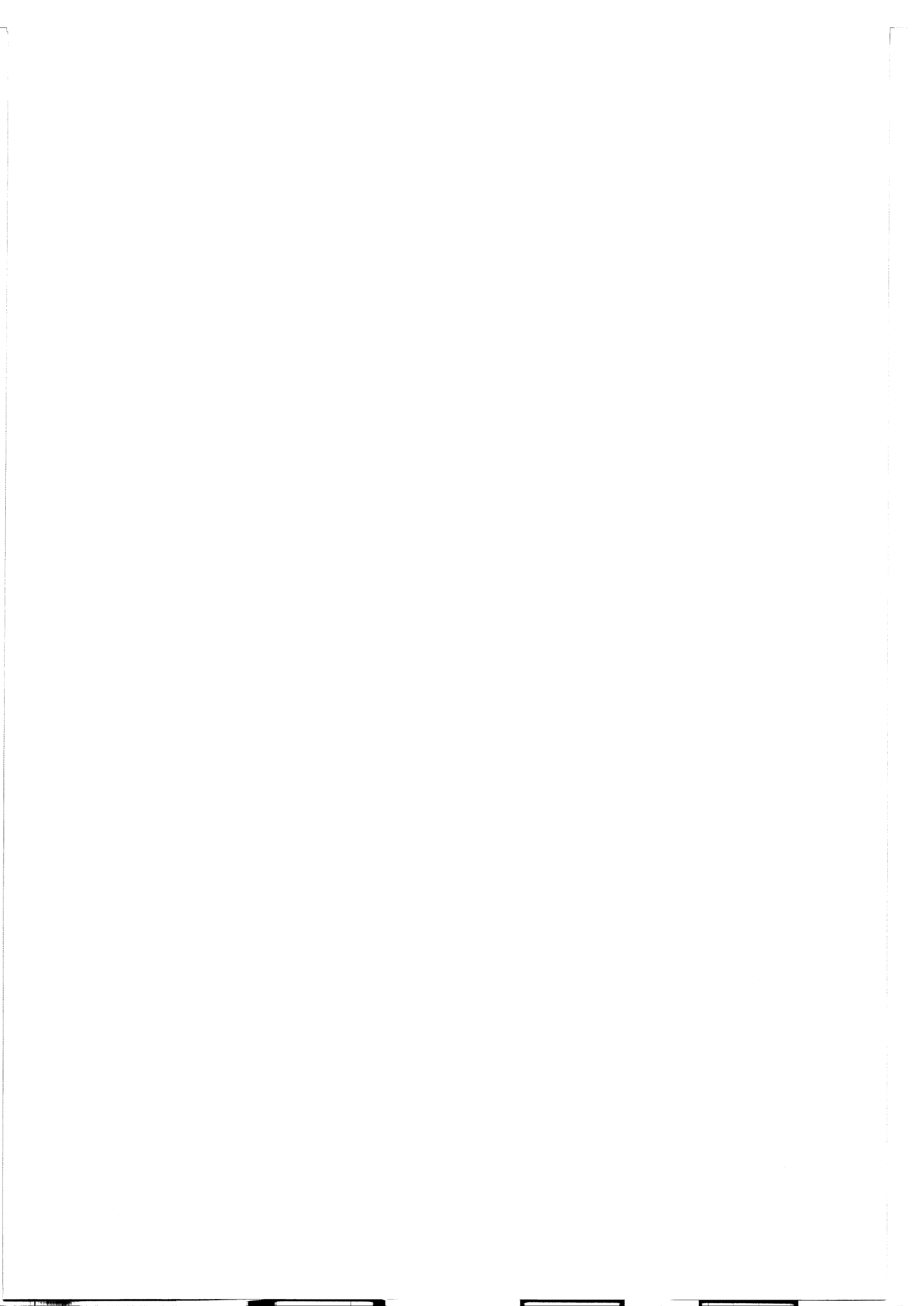
3.4 Motorstyrning, Stegmotorer och Omkodare

Stegmotorer har blivit väldigt populära eftersom de kan kontrolleras av datorer, mikroprocessorer och programmerbara kontroller (pulsräknare). Det som är unikt med stegmotorer är att axeln roterar i en serie av små vinkelintervall, eller steg, där varje steg tas när ett kommando ges. När ett visst antal steg har tagits har axeln rört sig en viss vinkel vilket gör den idealisk för applikationer där en mängd rotationer måste kontrolleras. Varje steg utförs mycket snabbt, vanligtvis inom några millisekunder. När en rörelse på flera varv erfordras ges flera tusen kommandon på en mycket kort tid vilket gör att rörelsen blir jämn. [11]

För att ombesörja förflyttningen av laserhuvudet finns två system av motorer och olika styrningar, en i X- och en i Y-led. Motorstyrningen sitter i systemlådan och ger ström till stegmotorn och direktiv till omkodaren. Omkodaren får information om hastighet och riktning och lämnar vinkelangivelse för axeln.

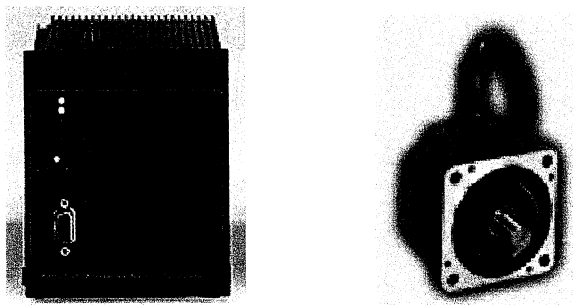


Figur 3.5. Schematisk bild över motor och omkodare.

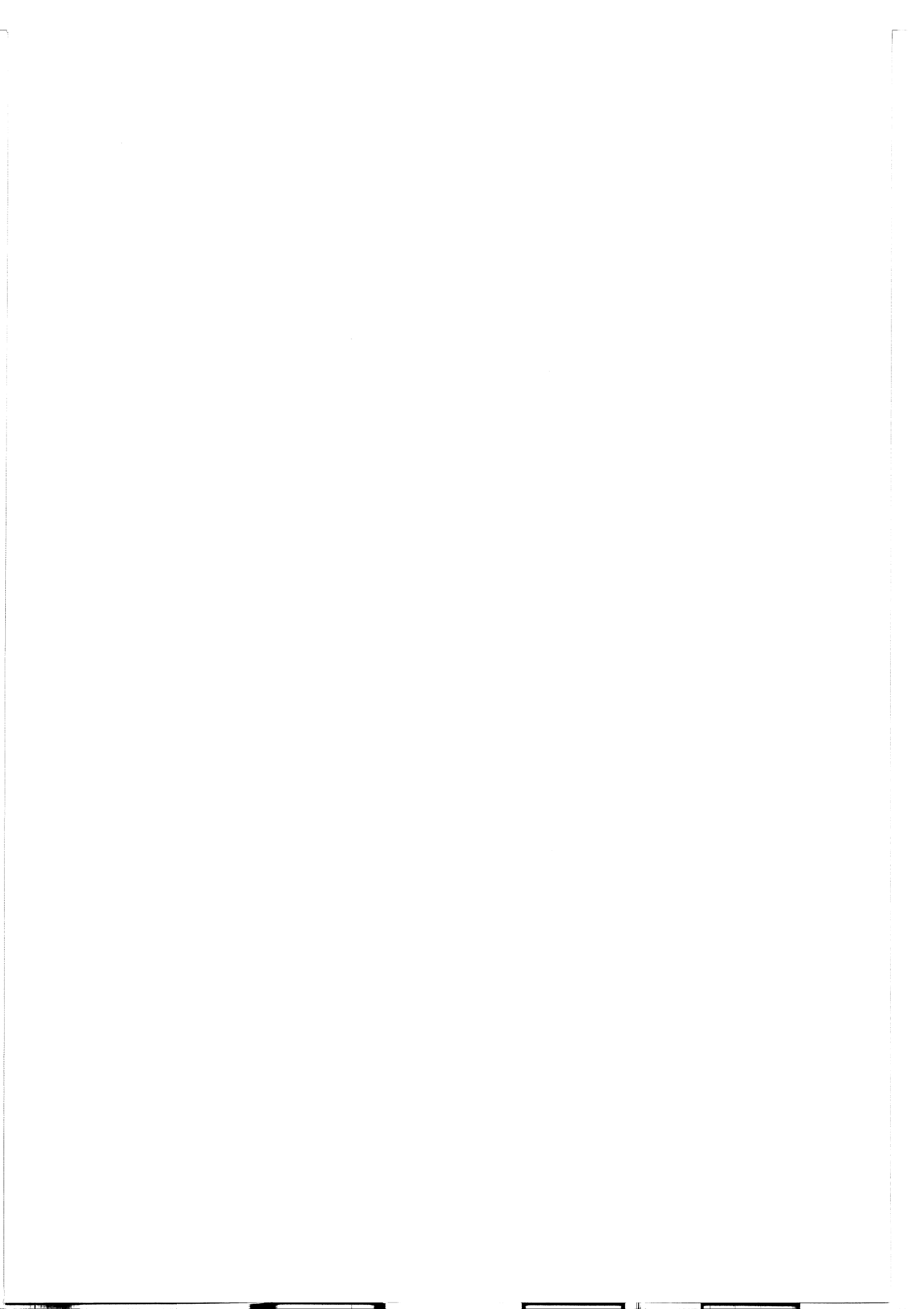


För att kunna säkerställa den exakta positionen hos släden (X- och Y-koordinater) finns här två skilda mätsystem. Det första är omkodarna. De kan ange slädens position eftersom de räknar antalet rotationer hos stegmotorn. Tillsammans med kulstängernas stigning fås då en förflyttning.

Denna metod ansågs dock inte vara tillräckligt tillförlitlig vid noggranna mätningar utan den kompletterades med linjalerna. När omkodarna anser att släden har nått den slutpunkt som har angetts tar linjalerna över för att injustera släden så att den stannar exakt på den angivna koordinaten. [17]



Figur 3.6. Motorstyrningen, stegmotorerna och omkodarna levererades av JVL Elektronik A/S i Danmark

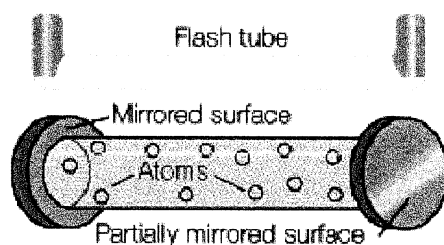
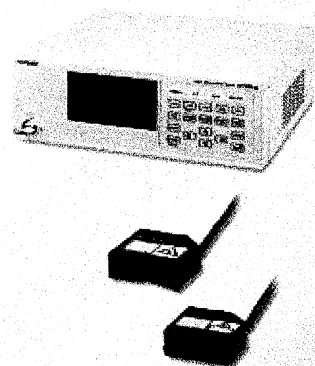


3.5 Laserhuvud och kontrollenhet

Laserutrustningen kommer från KEYENCE Corporation och köptes 1997. Det är en avståndslaser som mycket exakt kan mäta höjdskillnader.

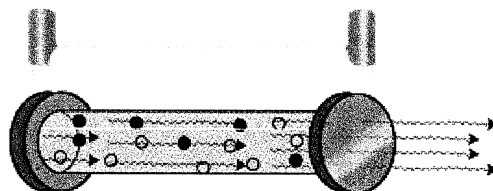
Laser är en förkortning av Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. I en laser "pumpas" lasermediumet för att höja energitillståndet hos atomerna. Lasermediumet kan vara en gas, en komplex organisk blandning eller ett material i fast form. De första lasrarna kallades "Ruby Lasers" eftersom lasermediumet var rubin.

Att energitillståndet hos atomen ökar innebär att en elektron hos atomen förflyttas ett eller flera steg längre från atomkärnan. Men detta är inte elektronens jämviktsläge utan den strävar efter att återta sin forna position. När elektronen gör detta släpper den ifrån sig energi i form av en foton, en ljuspartikel. Den foton som släpps har en mycket exakt våglängd som beror av den energi atomen hade när den släppte fotonen. Det innebär att två identiska atomer med elektroner i samma stadium kommer att lämna ifrån sig fotoner samtidigt med exakt samma våglängd. I varje ände av lasermediumet finns en spegel. Fotoner, med en specifik våglängd och fas, kommer då att reflekteras fram och tillbaka genom mediumet. När de gör det kommer de att påverka andra elektroner att hoppa tillbaka till sitt ursprungsläge och då avge strålning med samma våglängd och fas som de ursprungliga fotonerna. Detta leder till en kedjereaktion och snart har en mycket stor mängd fotoner bildats. En av speglarna är "halvgenomskinlig", vilket innebär att den släpper igenom några fotoner och reflekterar tillbaka resten. De fotoner som släpps igenom bildar laserstrålen. Tillhör våglängden hos fotonerna det synliga spektrat uppfattar vi det som ljus.

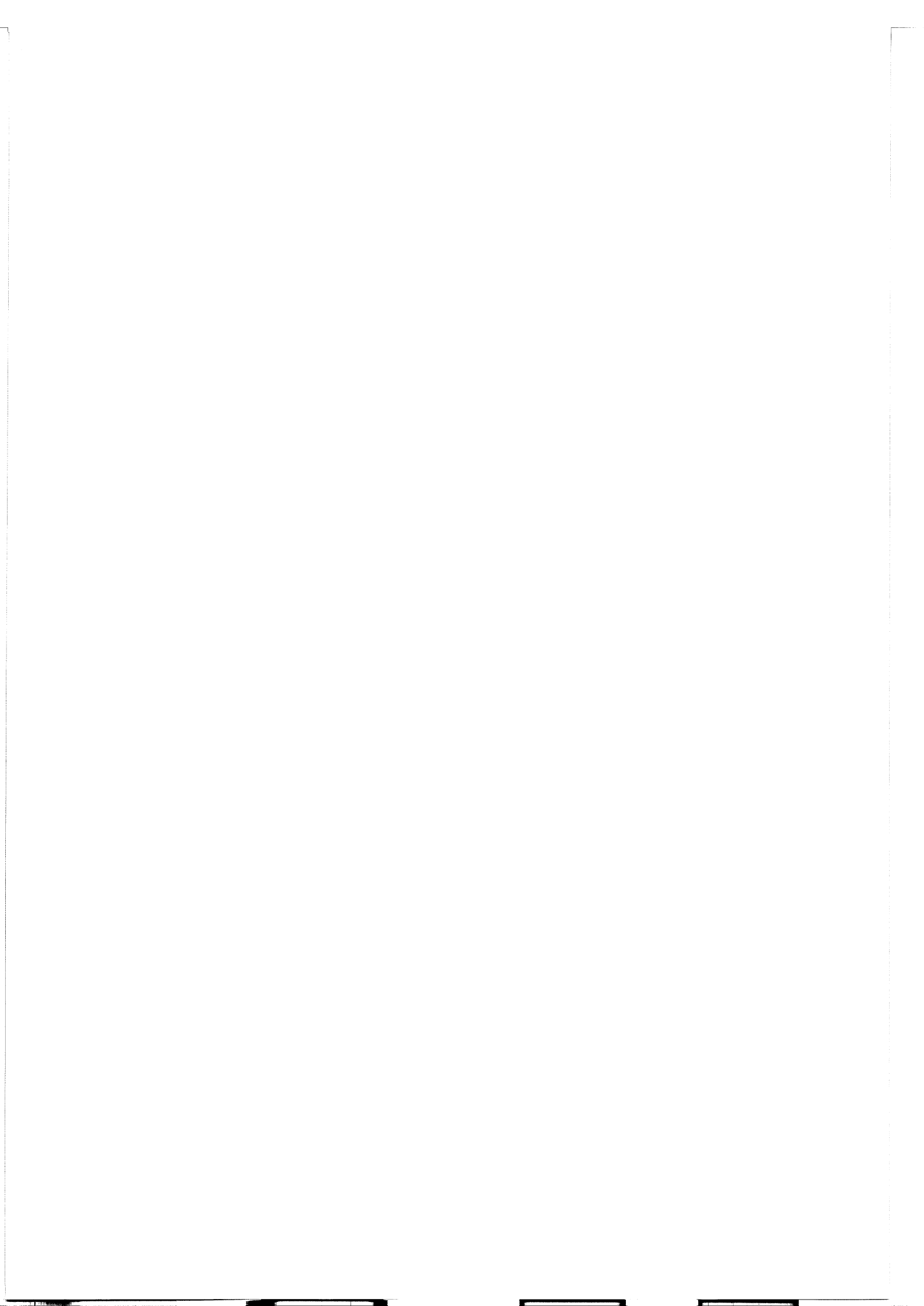


Figur 3.7. Lasermediumet i ursprungligt tillstånd.

"Flash tube" är den anordning som höjer energitillståndet hos atomerna. I vår utrustning bygger denna på halvledarteknik vilket gör att lasern kan vara så liten som 1 mm lång. Lasermediumet är den rosa staven mellan speglarna. [12]



Figur 3.8. Här avges fotoner ur den halvreflekterande spegeln.



Egenskaper

Den fördel lasern har mot vanligt ljus och vilken vi utnyttjar i denna utrustning är att ljuskvasten är väldigt tät och stark. En ficklampa strålar i alla riktningar och ljuset är svagt och diffust. Laserstrålen i vår utrustning har en diameter som vid optimala förhållanden är 12 mikrometer.

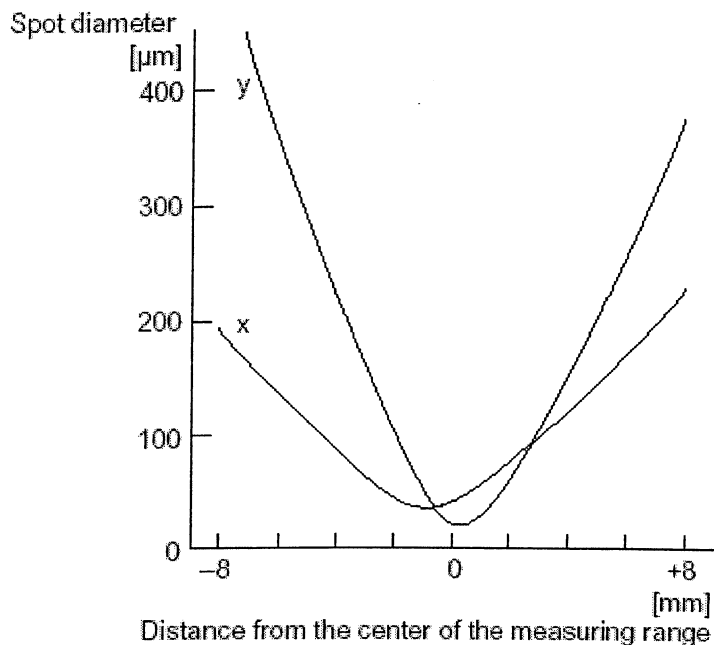


Diagram 3.1. Mätpunktens diameter med avseende på mätavstånd.

Mätpunktens diameter beror av avståndet från referenshöjden. När diametern ökar så ökar också mätfelet även om det är ett marginellt mätfel i sammanhanget.

Då laserhuvudet mäter över en punkt som lutar kan mätfel uppstå. Anledningen till mätfelet är att laserstrålens utseende i mätpunkten, blir elipsformad och därmed reflekterar tillbaka olika höjdvärden från samma punkt. Dock är felet mycket litet i relation till de mätningar vi utför. Nedan ges förklarande bild och diagram på lutningens samt diameters inverkan på mätvärdet.

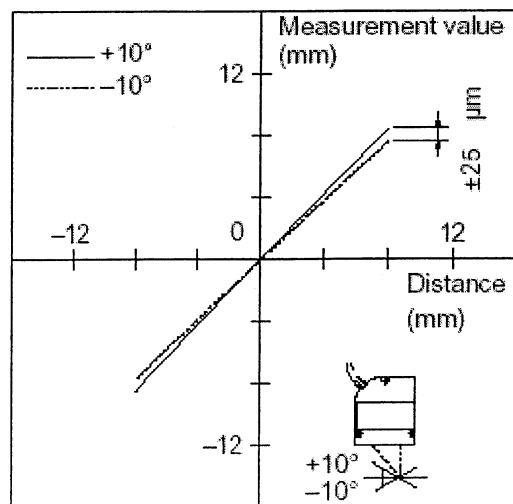


Diagram 3.2. Mätfel vid lutning longitudinellt.

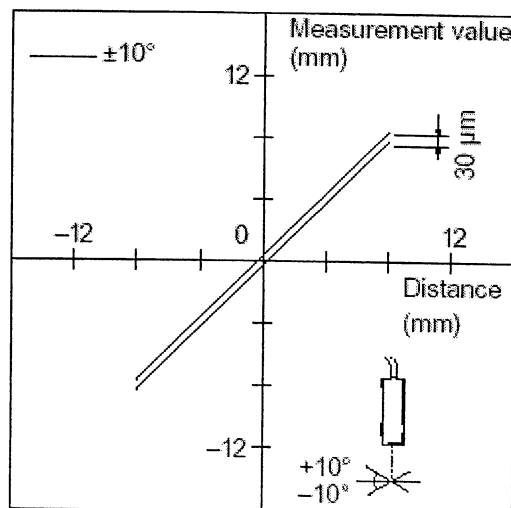
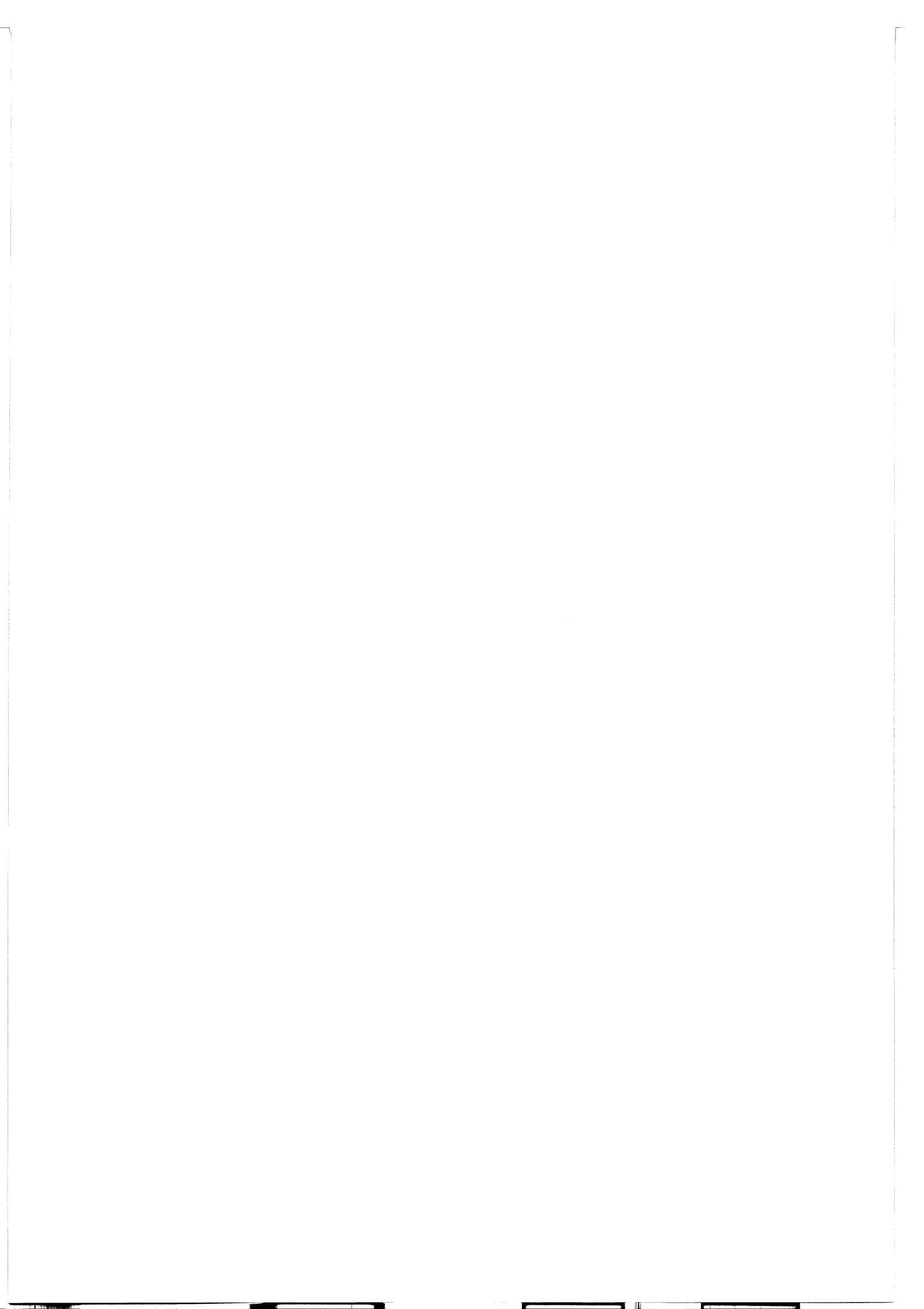
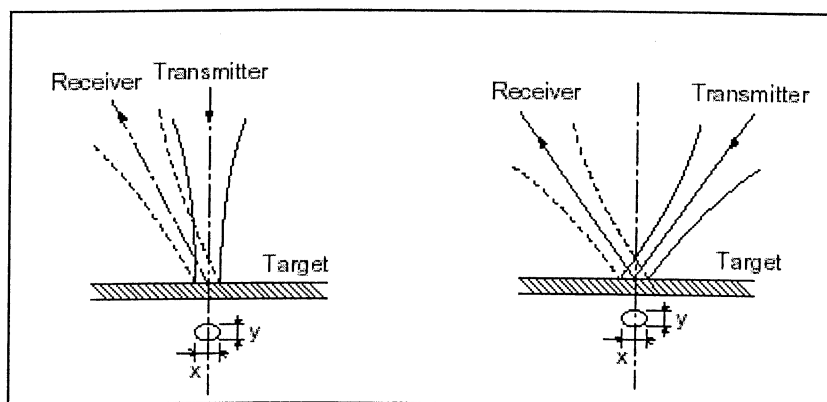


Diagram 3.3. Mätfel vid lutning transversellt.



Den typ av laserhuvud som vi disponerar, används för mätning av ytor som är lågreflekterande eller ogenomskinliga.

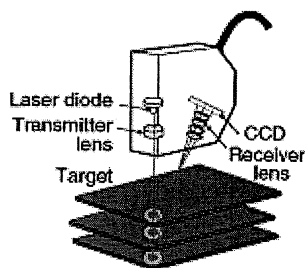


Figur 3.9. Skillnad mellan mätning av låg och högreflekterande ytor.

Principen vid mätning av lågreflektiva ytor är att laserstrålen riktas lodrät mot mätytan och en del av de strålar som reflekteras tas emot och ger en höjdangivelse. Vid en högreflekterande yta fungerar inte detta eftersom allt för mycket ljus reflekteras tillbaka rakt upp eller åt ett godtyckligt håll.

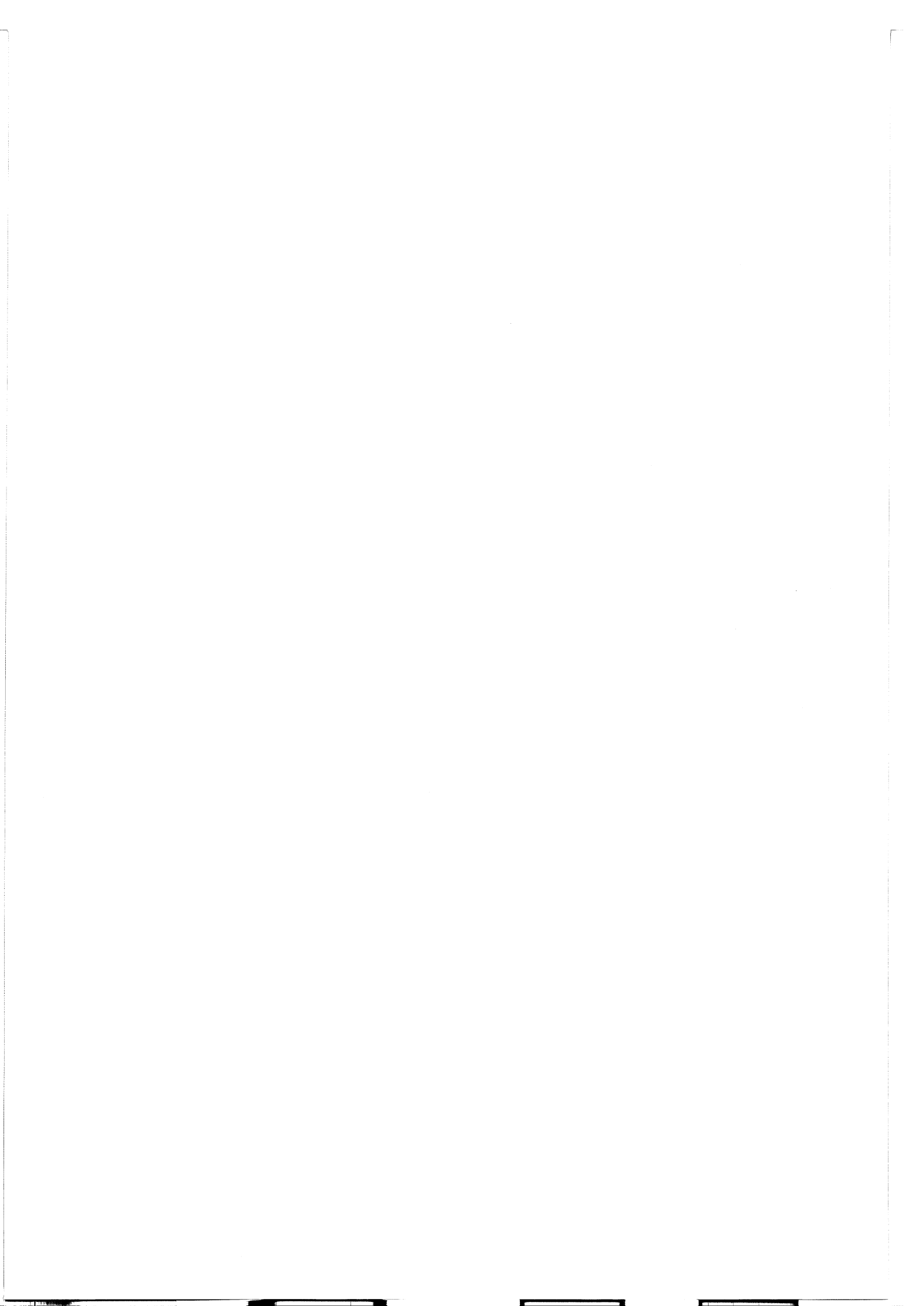
Laserutrustningens kapacitet är 50 kHz, vilket innebär att den tar 50 000 mätvärden per sekunden. Värden som registreras av laserhuvudet återges i form av höjder i ett (X,Y,Z)-koordinatsystem.

Den här tekniken har använts i olika form under flera år för att mäta makrotextur. Metoden bygger på en mycket snabbpulserande halvledarlaser som projekterar en laserstråle mot asfaltsytan. Ljuset reflekteras från ytan och en lens tar emot och fokuserar ljuset mot en rad fotodioder. Varje diod motsvarar ett visst avstånd till ytan och på så sätt fås en höjdangivelse. [13]



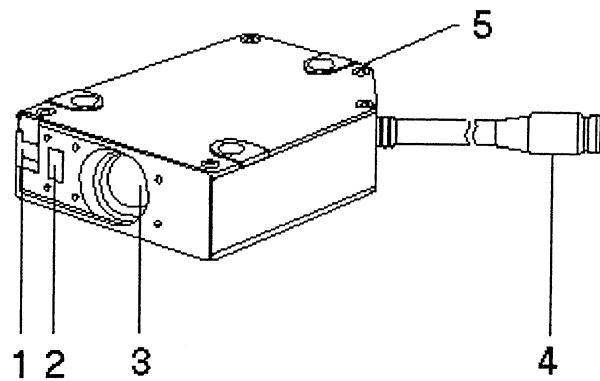
Figur 3.10. Princip för höjdmätning.

Laserhuvudets maximala övre och undre mätområde ligger inom ± 8.0000 mm i höjded, dessa begränsningar gör att laserhuvudet kan läsa inom ett intervall på 16.0000 mm. Lasern lämnar en spänning till kontrollenheten, där en volt motsvarar en millimeter. Denna spänning förmedlas till Scanning via ett PCMCIA-kort vilket räknar om spänningen till en digital signal som kan tolkas av Scanning.



Nedan beskrivs laserhuvudet med ingående komponenter.

LC-2440/2450 (Diffuse-reflective)

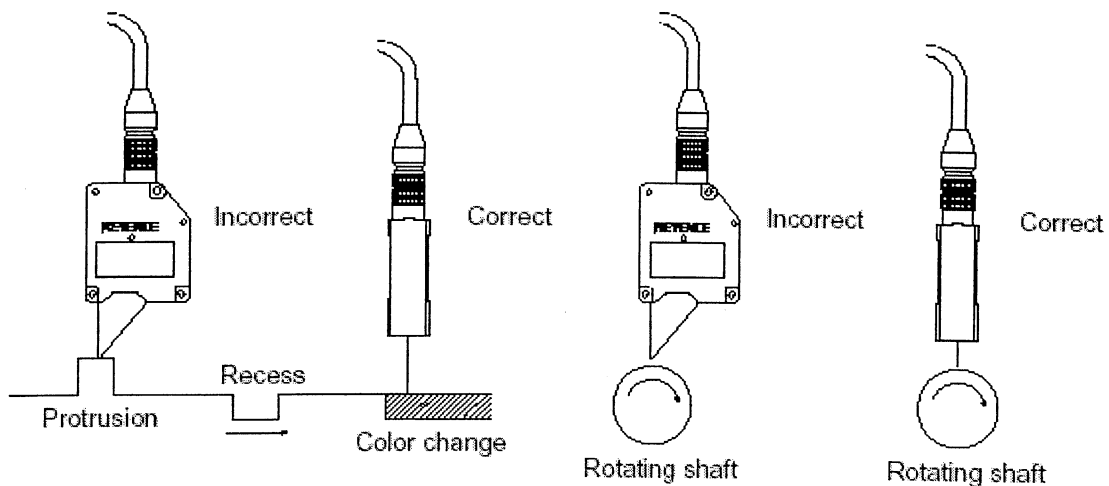


Figur 3.11. Laserhuvud LC-2450

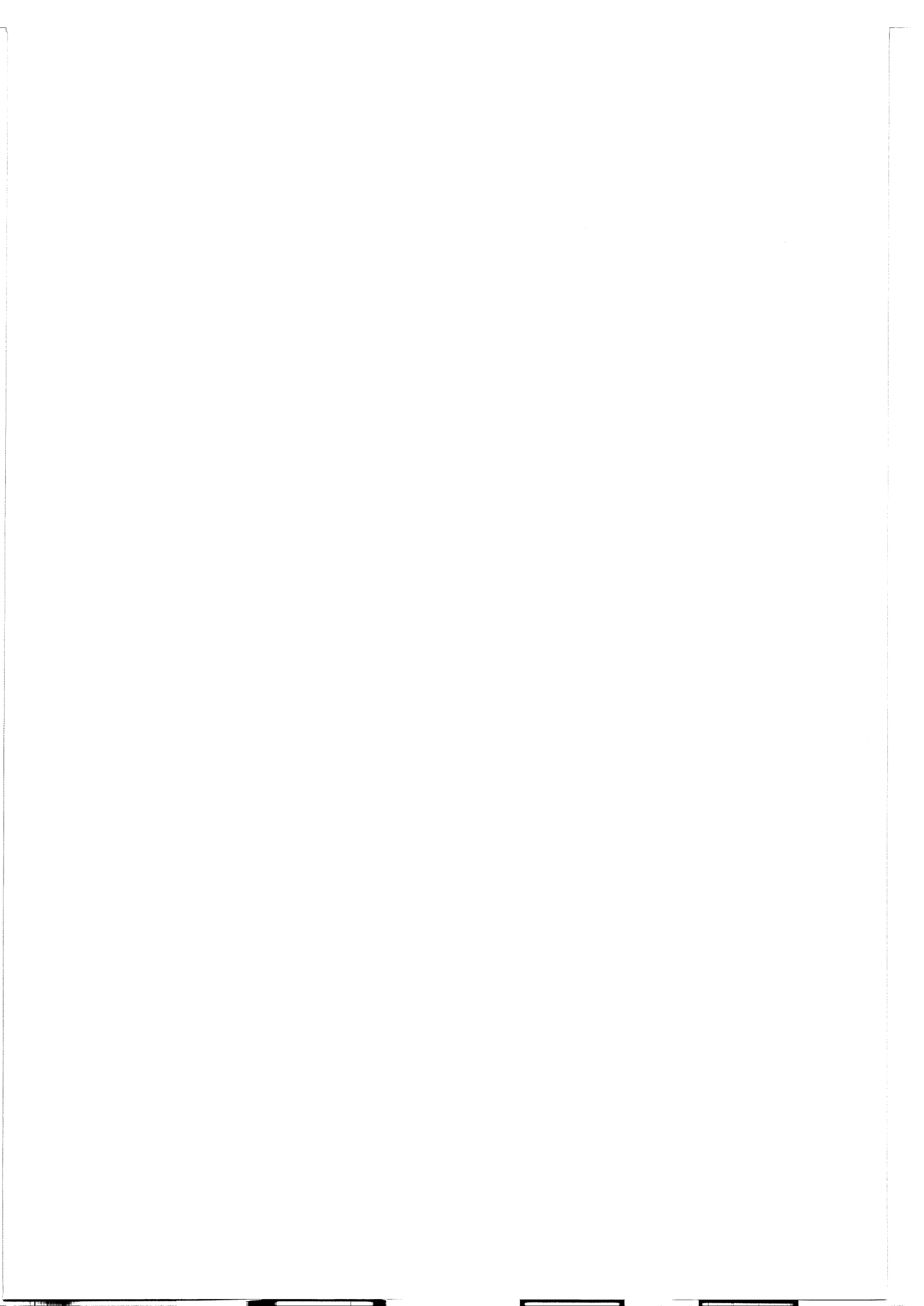
1. Lasersköld, används för att skydda lasersändaren mot partiklar vid förflyttning.
2. Sändare, skickar laserstråle.
3. Mottagare, lins som tar emot reflekterande laserstråle.
4. Kabelkontakt, kopplar laserhuvud till kontrollenheten.
5. Lampa, lyser när laserstråle är redo att sändas samt under körning.

Laserhuvudets orientering

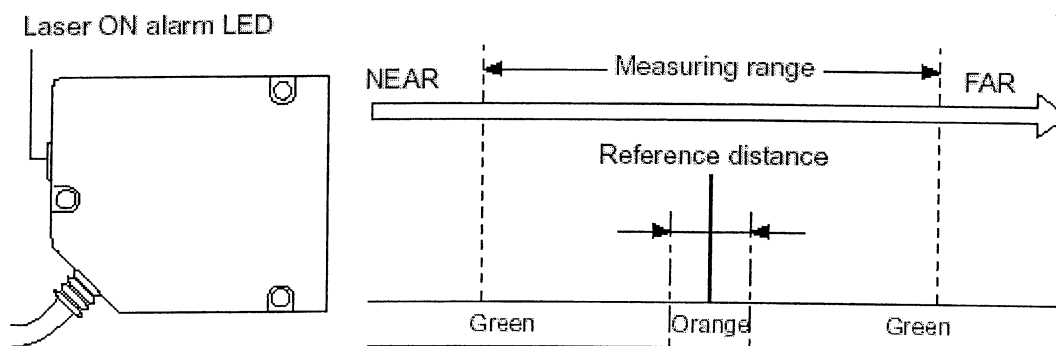
När det är en signifikant ändring i ytans färg, material eller höjd kan mätfel uppstå, som ett resultat av laserhuvudets orientering. Rätt orientering ses nedan.



Figur 3.12. Korrekt orientering av mät huvud.



Innan varje körning görs en grovkalibrering av laserhuvudets höjd över mätobjektet för att hela mätintervallet skall kunna utnyttjas. Vid kalibrering av laserhuvud i höjdlid, justeras den manuellt tills kontrollampen lyser orange. Vid orange är laserhuvudet inom sitt referensområde för mätning, där Z-värdet ~ 0 .

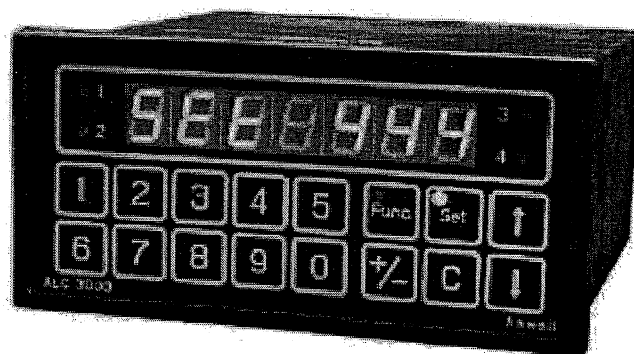


Figur 3.13. Grundinställning innan mätserien körs.

Inställning av variation hos mätvärden

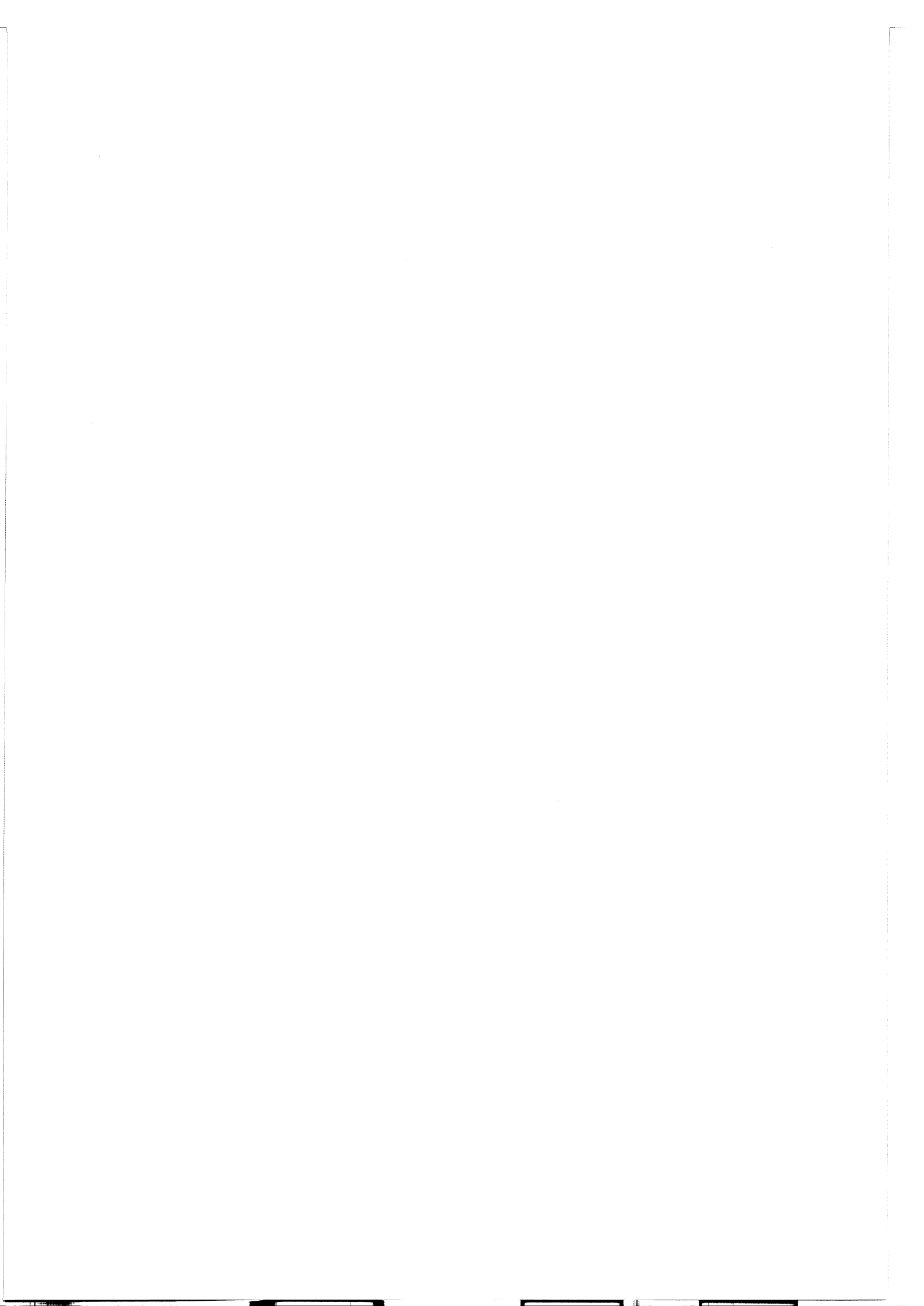
Kontrollenheten för lasern har en mängd funktioner och inställningar för laserhuvudet. En av dem som är aktuell är medelvärdesberäkning av de höjdmätningar som görs. Antalet mätvärden som skall generera ett medelvärde bestäms inom ett intervall av 1-131072 stycken, med steglängd 1,2,4,8,16.....131072. Fabriksinställningen är inställd på 2048, vilket innebär att av 2048 värden fås ett medelvärde. Funktionen används för att jämna ut differenser hos ytan. [15]

3.6 Pulsräknare



Figur 3.14. Pulsräknare ALC3000.

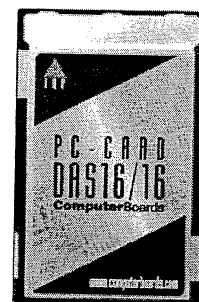
Pulsräknaren är hjärnan i systemlådan. Den tar emot de kommandon vi lämnar och ger sedan motorerna direktiv tillsammans med information från linjalerna. Dessutom omvandlar den informationen från linjalerna till koordinater som sedan skickas till datorn. Pulsräknaren är av märket Aswell och har programmerats för att styra denna mätutrustning.



3.7 Överföring – PCMCIA kort

Vi har ett PCMCIA kort av modell PCM-5516-*16 för installation hos IBM-kompatibla datorer, och är ett kontrollkort som tar emot data.

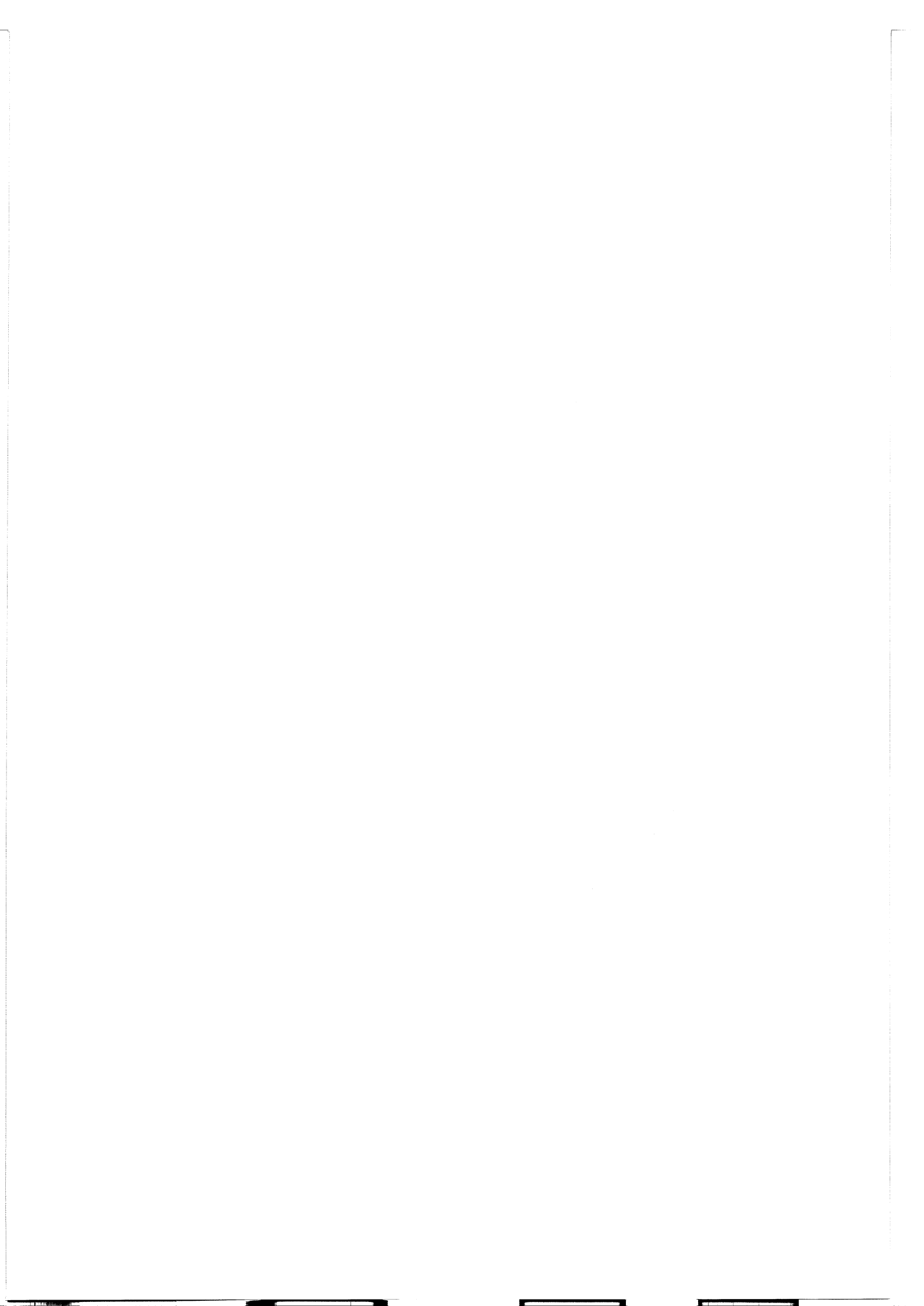
Kortet tar emot en analog signal från laserhuvudet i form av en spänning och gör om den till en digital signal för att Scanning skall kunna läsa in de Z-värden som registreras. PCM-5516-*16-kortet, skiljer sig från vanliga A/D-kort på grund av en inbyggd räknare som gör den Analoga/Digitala beräkningsprocessen snabb och enkel. Det innebär att externa kontakter eller precisionsvoltmätare inte behövs i utrustningen. PCM-5516*16 har en konverteringshastighet, från analogt till digitalt, på 100 kHz. Det innebär att kortet kan läsa in och översätta dubbelt så fort som laserhuvudet registrerar.



För att kontrollkortet skall fungera krävs mjukvaran och kalibreringsverktyget *InstaCal*. *InstaCal* är ett DOS program och används för olika tester av kontrollkortet samt skapar en konfigureringsfil, som används av *UniversalLibrary*.

UniversalLibrary innehåller ett antal språkbibliotek och exempelprogram för de flesta DOS och Windows språk. Biblioteket erbjuder fullskaliga rutiner för kontroll och förvärv av data med val av hur data sedan skall skickas mellan kort och program. Dessa rutiner används av Scanning för att ta emot värden från laserinstrumentet.

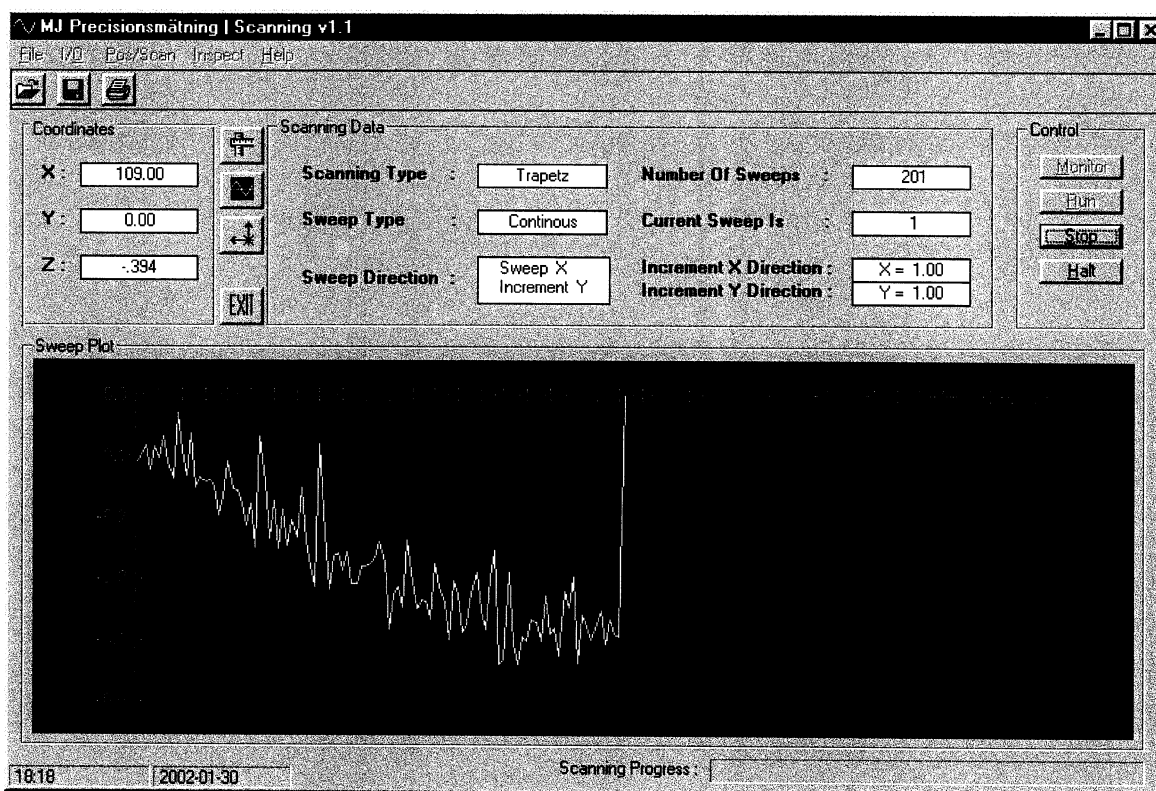
Tillverkare av PCMCIA kortet är *Computerboards Inc.* och *American Data Acquisition Corporation (ADAC)* har programmerat kortet för denna tillämpning. [16]



4. PROGRAMVARA

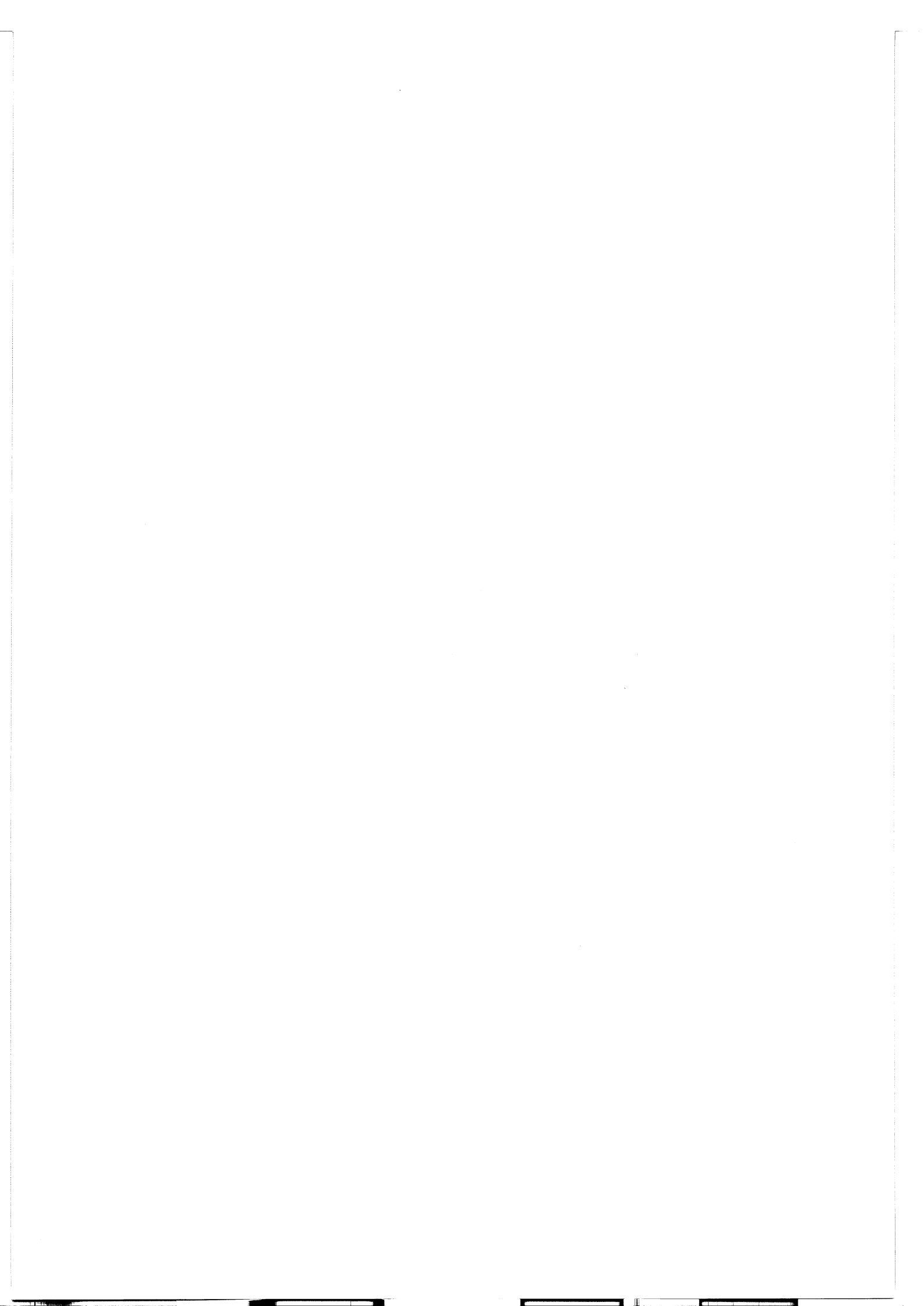
4.1 Scanning

Programmet vi använder för att styra utrustningen och åskådliggöra resultatet heter Scanning och är ett program som skapades samtidigt som resten av utrustningen kom till i slutet på 90-talet. Skaparen av programmet heter Jimmy Björck som vid den tiden jobbade på Chalmers. Programmet är skrivet för att samverka med pulsräknaren och PCMCIA-kortet. Detta innebär att programmet skrevs i nära samarbete med programmeraren av pulsräknaren, Kell Görgensen på Aswell AS i Danmark. Alla direktiv för körningarna ges till pulsräknaren. Information om X- och Y-koordinater returneras samma väg medan Z-koordinaterna kommer direkt från laserkontrollen via PCMCIA-kortet. Resultatet av detta åskådliggörs grafiskt i huvudfönstret som visas nedan.



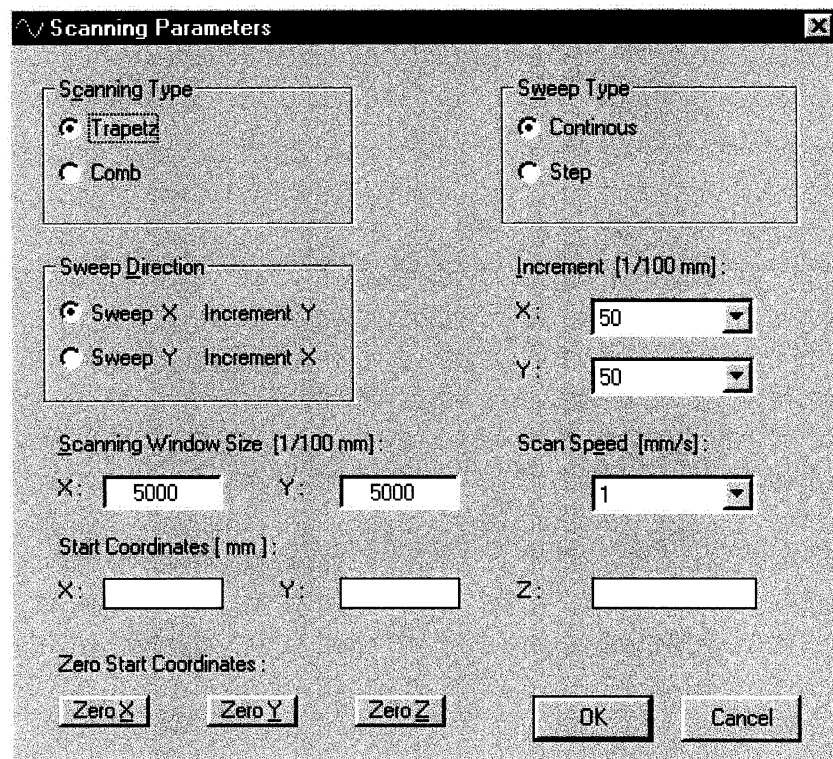
Figur 4.1. Scannings användargränssnitt under körning.

I den övre halvan visas de aktuella koordinaterna tillsammans med de parametrar som är inställda innan varje körning. Under körningens gång ser man även vilket svep som håller på att läsas in. Längst till höger finns kontrollknappar för att bl.a. göra ett uppehåll i körningen. I den undre halvan ses plotfönstret där den aktuella svepkurvan återges i realtid. Axlarna ändras automatiskt beroende på de värden som läses in.



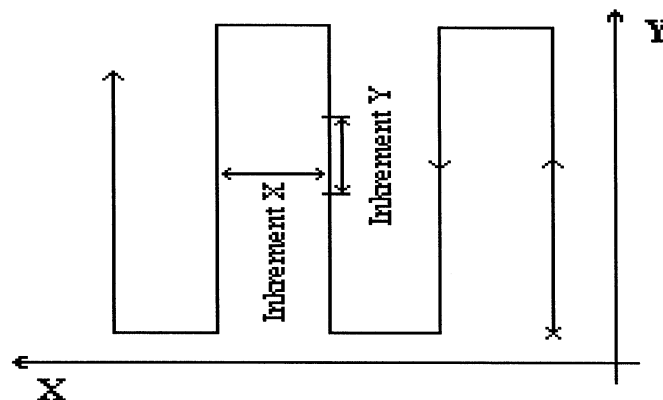
Scanning Parameters

Eftersom omständigheterna kan skilja sig stort mellan olika körningar, både med avseende på vad som skall läsas in och vad som efterfrågas med körningen, finns ett flertal parametrar att justera. Vi kan t.ex. ändra hur stort mätområde vi vill läsa av och med vilken noggrannhet detta skall göras.

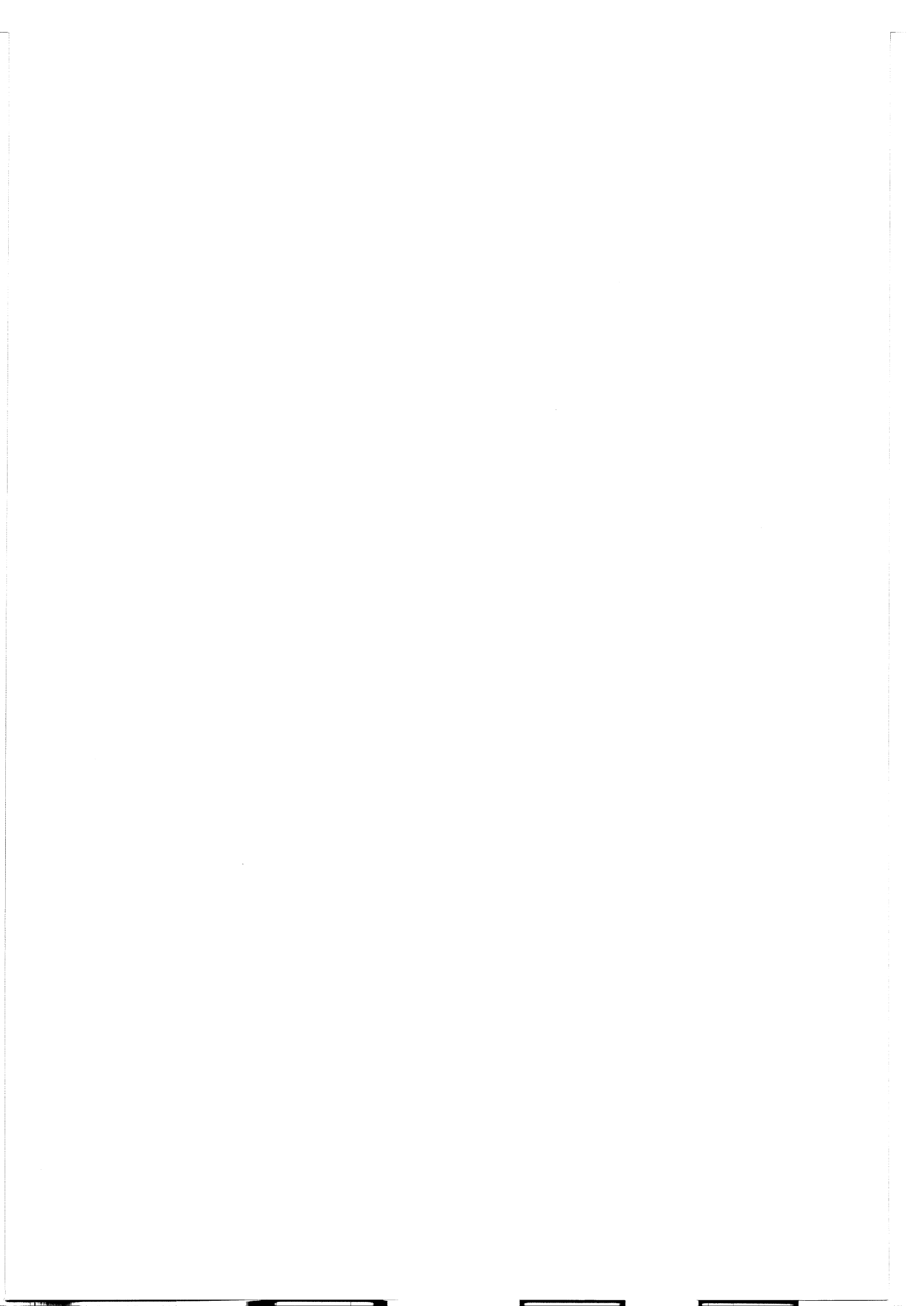


Figur 4.2. Inställningar inför körning

Ett svep innebär att laserhuvudet rör sig linjärt mellan start och slutpunkt. Dessa punkter definieras genom att mätområdet anges (Scanning Windows Size). Vi kan välja att svepa i X eller Y-riktning, och vi kan ange hur mönstret för svepen skall se ut. Här finns två typer, ”Trapetz” eller ”Comb”. Vi har använt oss av trapets vid våra körningar. Noggrannheten definieras av avståndet mellan varje mätpunkt. Vi kan ställa in noggrannheten dels som avståndet mellan varje mätpunkt i ett svep och dels som avståndet mellan varje svep.



Figur 4.3. Exempel på en körning typ trapets. Noggrannheten anges genom att ställa in inkrementet i X- och Y-riktningen.



Positioning

Vanligtvis utgår alltid en körning från den absoluta nollpunkten, origo, vilket utgörs av hörnet där två gränslägesbrytare alltid ser till att släden stannar i exakt rätt punkt. Det kan emellertid vara av intresse att starta en körning från en annan startposition över mätobjektet. För detta syfte finns en funktion i Scanning för att manuellt förflytta släden till önskad position.

Om mätobjektet har en okänd geometri kan denna funktion även användas för att exakt lokalisera maxpunkterna för mätområdet vilka sedan används som indata till "Scanning Parameters"

The screenshot shows a 'Positioning' dialog box with the following sections and controls:

- Motion Control:** Speed [mm/s] (10), Acc. [mm/s²] (12).
- Coordinates:** Current Absolute Coordinates [mm] (X, Y), Scanned Value [mm] (Z).
- Start Coordinates:** Sample Fix Points [mm] (X[0], Y[0], X[1], Y[1]), Scanning Start [mm] (X, Y). Checkboxes for 'Save X[0], Y[0]', 'Save X[1], Y[1]', and 'Save Scanning Start'.
- Move To Position:** Radio buttons for 'Move To Absolute Position', 'Move Relative Latest Position', and 'Move Relative Using Keyboard Arrow'. Steplength [1/100 mm] and X/Y coordinate fields for the first two options.
- To Home Position:** 'HOME' button and text '[Absolute X=0 ; Y=0]'.
- Buttons:** 'GO', 'STOP', 'OK', 'CANCEL'.

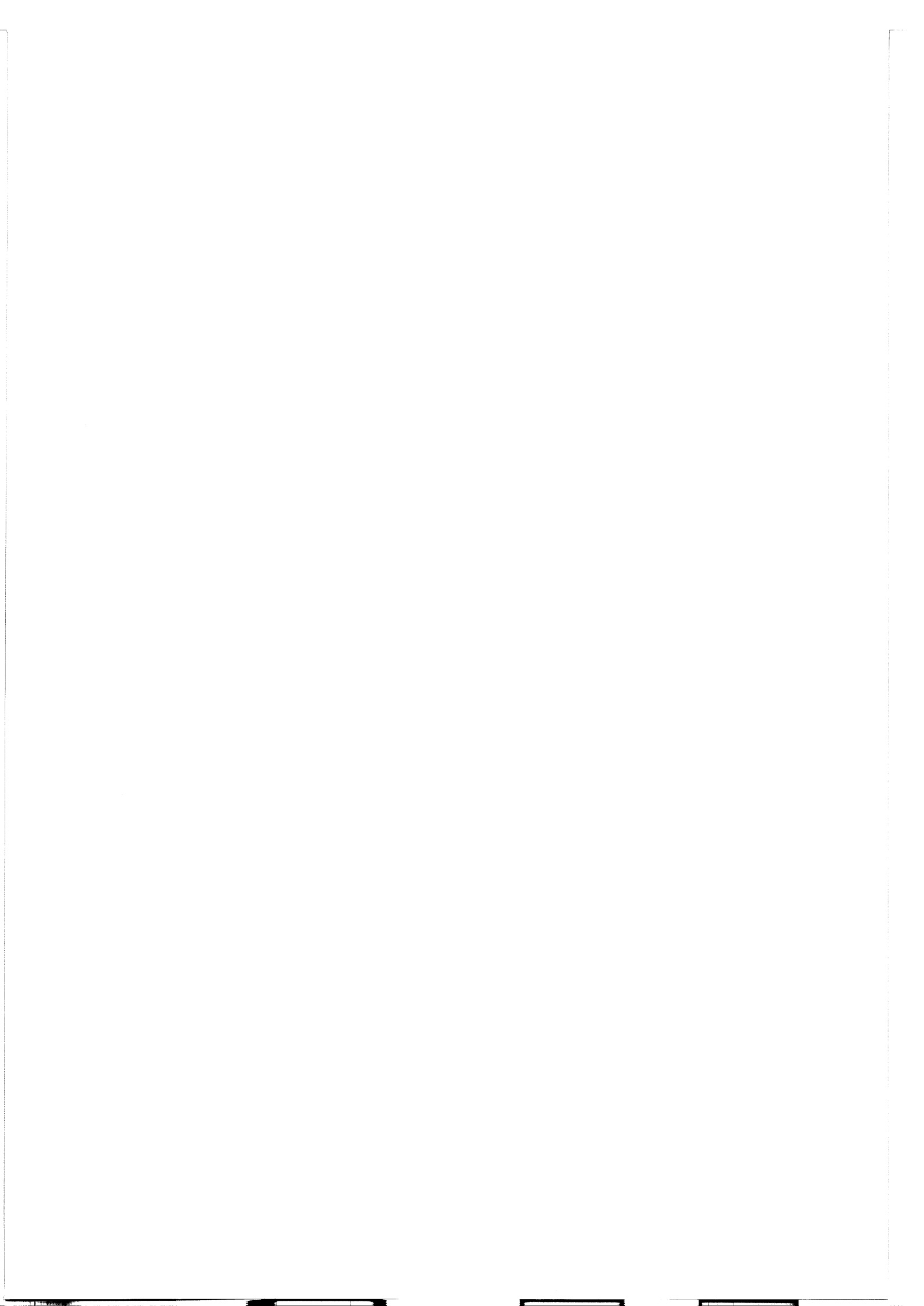
Figur 4.4. Positioneringsinställningar

Förflyttning av släden kan göras på tre sätt.

1. Förflyttning genom att ange absoluta koordinater.
2. Förflyttning relativt aktuell position med koordinater.
3. Förflyttning relativt aktuell position med piltangenterna.

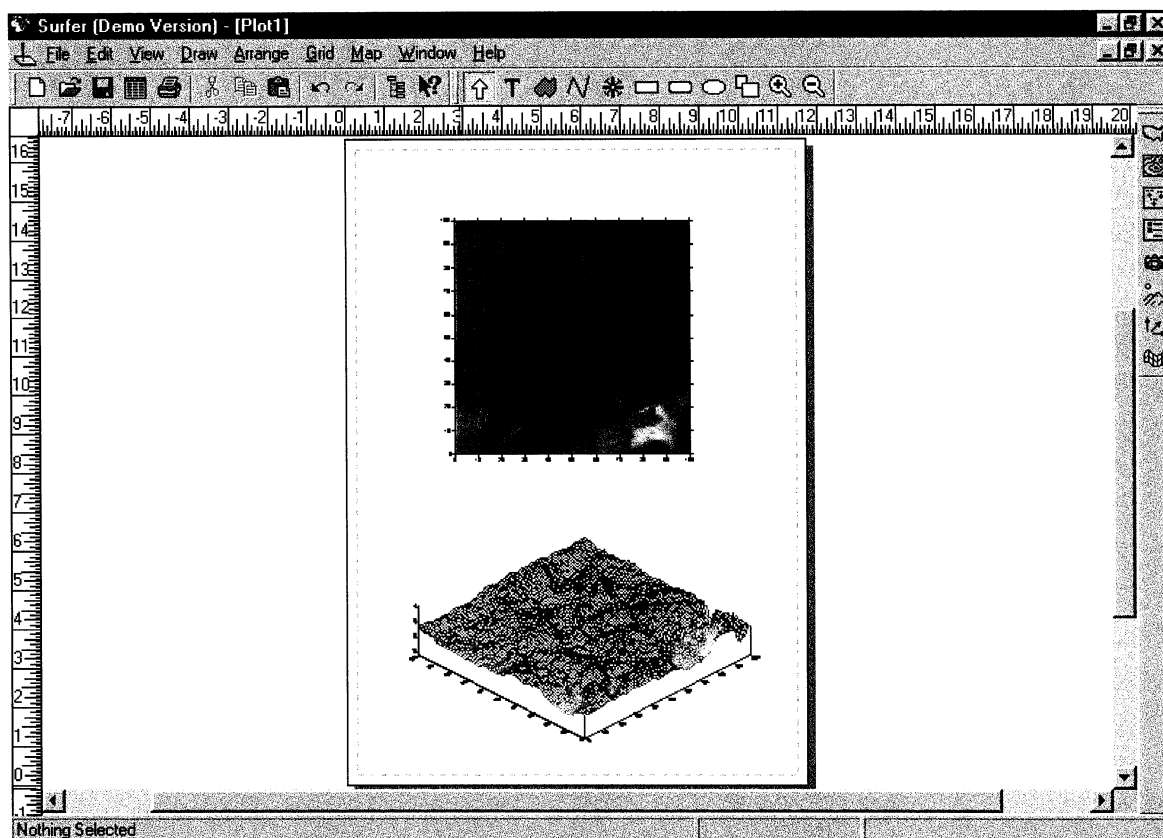
Alla förflyttningar görs med 1/100 mm noggrannhet. Här kan man också förflytta släden till dess absoluta nollpunkt genom funktionen "Home".

När alla inställningar är gjorda anger vi vart mätdatan i form av (X,Y,Z)-koordinater skall sparas. Det görs i en fil som har en viss uppbyggnad som vi sedan kan använda för att åskådliggöra ytan och för fortsatta beräkningar.



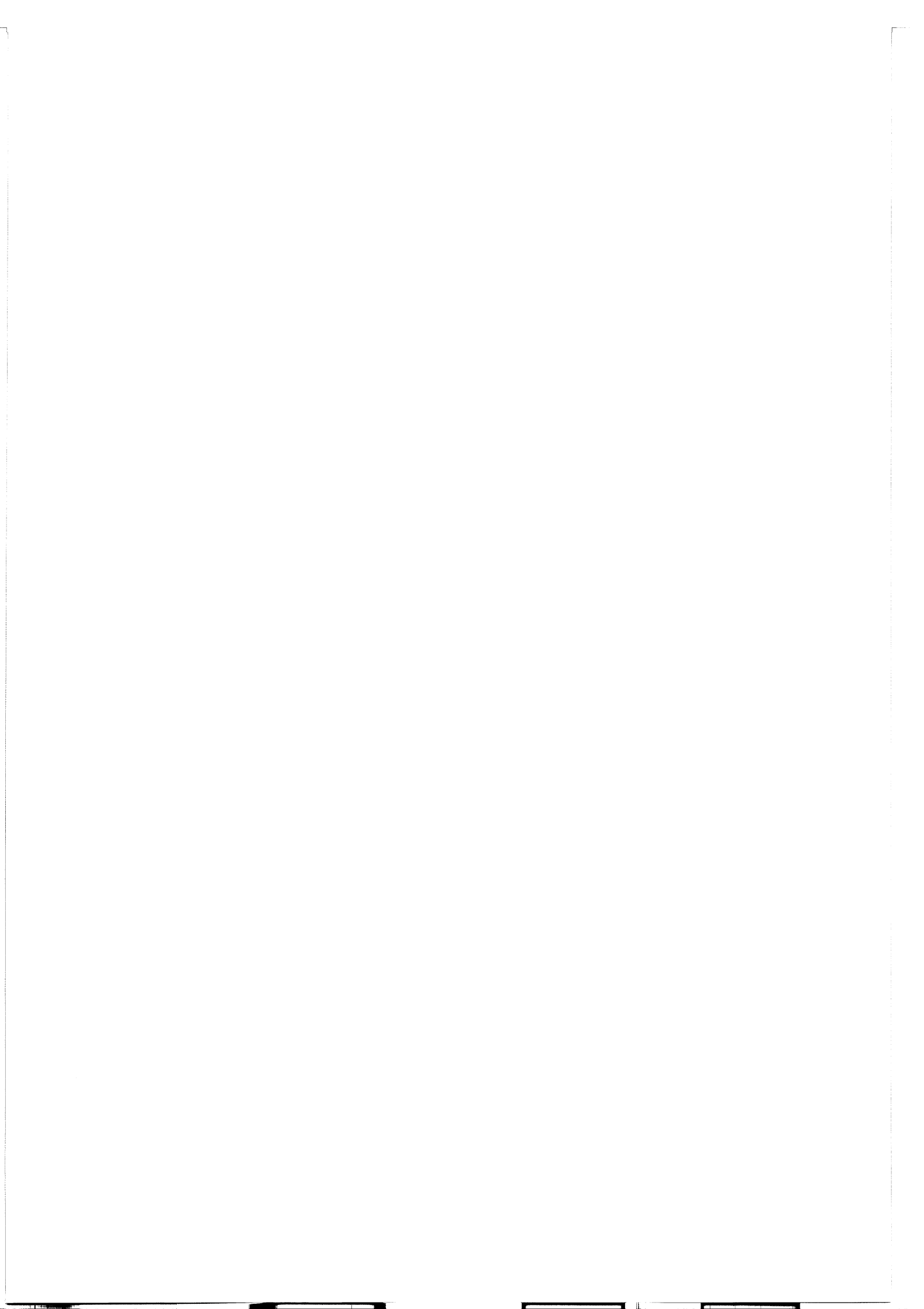
4.2 Surfer

Alla mätresultat sparas av Scanning i (X,Y,Z)-format för att sedan kunna analyseras i t.ex. Excel. För vår del behöver vi ett kraftfullare redskap för att kunna analysera de mätvärden vi erhåller. För detta har vi använt oss av ett kommersiellt program från Golden Software som heter Surfer ver 7.04. Detta är ett program som enbart är till för att åskådliggöra och behandla stora mängder mätdata i ett 3-dimensionellt system.



Figur 4.5. Åskådliggörandet av erhållna mätdata sker i Surfer.

Det är med hjälp av detta program som vi beräknar medeltexturdjupet efter mätningarna. En utförligare genomgång av förfarandet ges i kapitlet 7 - "Metodbeskrivning vid mätning".



4.3 Zmax

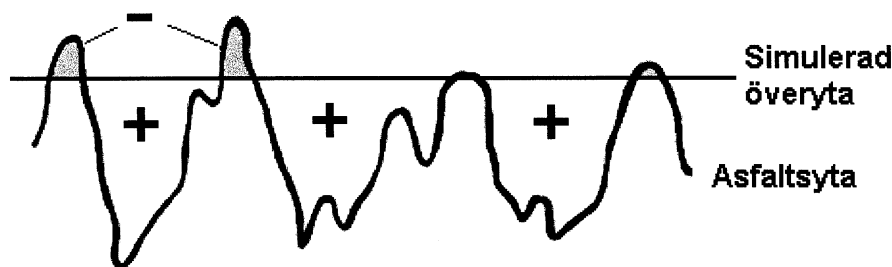
Teori

Ett stort problem med Sand Patch är att den har en dålig reproducerbarhet och repeterbarhet. Reproducerbarhet är ett mått på hur två försök på samma plats, med två olika operatörer överensstämmer.

Repeterbarhet är ett mått på hur två försök på samma plats, med samma operatörer överensstämmer.

Det finns undersökningar som visar att resultatet av två korrekt utförda Sand Patch-mätningar, på samma plats men av två olika operatörer kan skilja med över 40%. [14]

För att eliminera dessa felkällor har vi försökt att minimera den mänskliga påverkan på mätresultatet. Med hjälp av Scanning och Surfer kan vi läsa in en yta och åskådliggöra den på ett flertal sätt utan störningar. Däremot hade vi till en början problem med att simulera sanden utan att själva påverka processen. Problemet var att det inte fanns någon funktion i Surfer som automatiskt plockade ut det högsta punkterna över en yta för att med hjälp av dem simulera en ny yta. Vi gjorde då så att vi manuellt plockade högsta punkter över ytan för att bilda överytan. Problemet med den metoden var i huvudsak två. Först och främst var det en relativt grov modell eftersom en differens på 2-3 mm i sidled snabbt gjorde att Z-värdet kunde skilja minst lika mycket. Vi fick stora negativa volymer, eftersom överytan på många ställen skar in under asfaltsytan.



Figur 4.6. Negativ volym är den volym som hamnar över överytan.

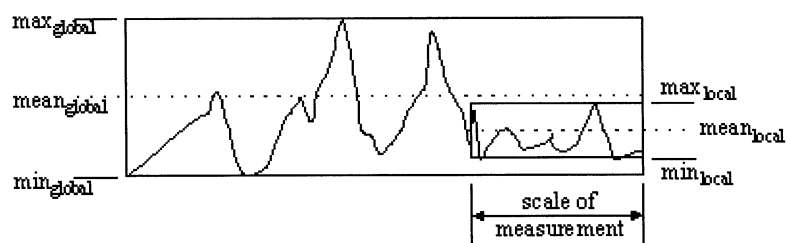
Det andra problemet var att metoden blev beroende av operatören. Det var svårt att arbeta fram en standardmetodik som skulle innebära att överytans utseende inte skulle bero på operatören. För att lösa detta problem fick vi övergå till att göra ett program som kunde skapa överytan åt oss. På så sätt skulle vi kunna ange indata som var relaterad till asfaltstyp och på så sätt eliminera den "godtyckliga" inblandningen.

Det vi är intresserade av är att erhålla den öppna porvolymen hos asfaltsytan, och på så vis bestämma medeltexturdjupet. Problemet är att asfaltsytan är av oregelbunden karaktär. Dock är texturens beskaffenhet beroende av de ingående komponenterna hos asfaltmassan, i synnerhet stenstorleken. Denna parameter har vi grundat vår teori på, därför att det är just stenstorleken som avgör hur höga och djupa våra profiltoppar samt profildalar kan bli.

Vi delar in varje svep i delintervall. Ur varje intervall plockar vi sedan ut den högsta punkten, Zmax. Omsatt i 3 dimensioner innebär detta att vi delar in asfaltsytan i rutor för vilka vi bestämmer Zmax. Resonemanget om intervall och rutor är analogt för 2 respektive 3-dimensionella rum. Det vi gör genom att välja rutstorlek är att bestämma längden på det delintervall inom vilket den högsta punkten skall ligga. Eftersom stenstorleken avgör inom vilken

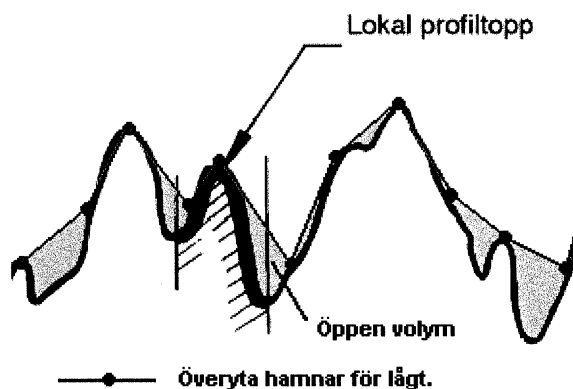


skala vi skall mäta väljs därefter en längd hos sidan på rutan (analogt: längd av intervall) till halva maximala stenstorleken. Vi får då tillräckligt med delintervall och resulterande Z-värden för att få en överyta som beror av både globala som lokala profiltoppar.



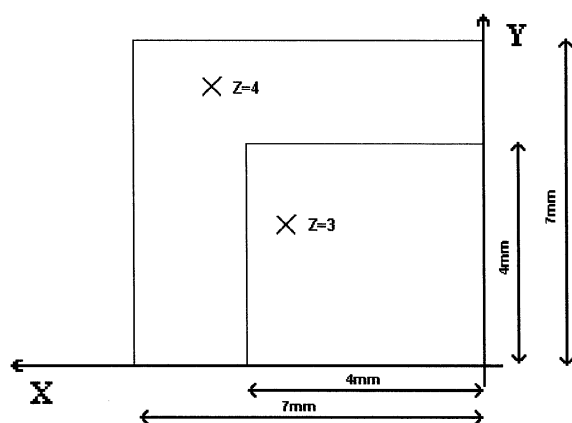
Figur 4.7. Den oregelbundna asfaltsyttans globala och lokala profiltoppar.

Eftersom det är de lokala profiltopparna vi söker, måste vi välja en rutstorlek som tar hänsyn till asfaltsyttans karaktär. Om för liten rutstorlek väljs, i förhållande till gällande stenstorlek, erhålls för små Z-värden, som ett resultat av att hela rutan hamnar i lokala dalar. Den simulerade överytan kommer att hamna för lågt och vi får då inte den öppna porvolym vi söker.

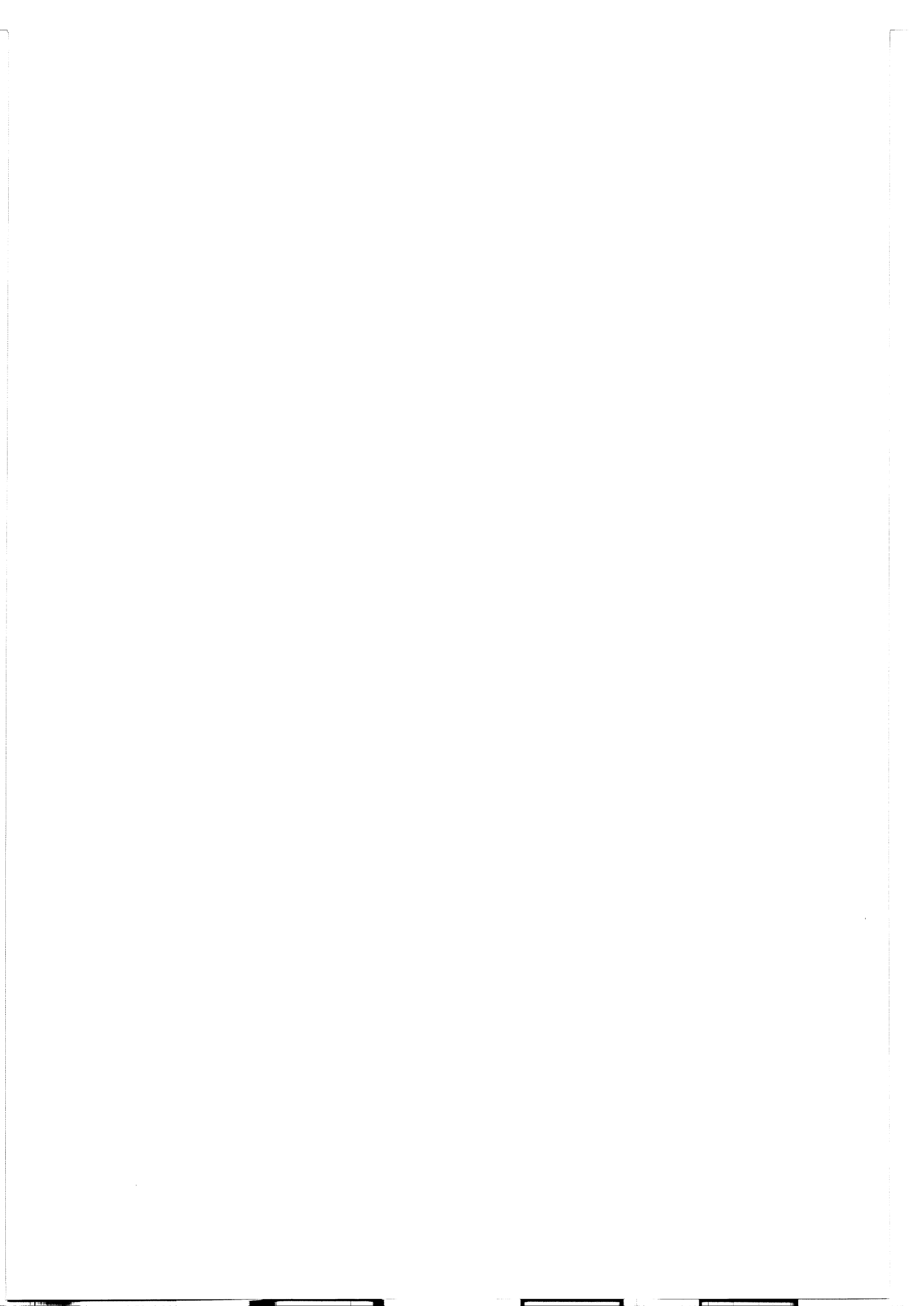


Figur 4.8. För liten rutstorlek resulterar i överytor som går ned i lokala profildalar och därmed för liten öppen volym

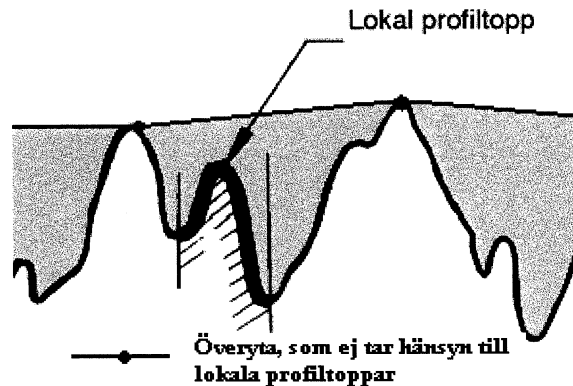
Om rutan å andra sidan blir för stor, innebär det att överytan blir för okänslig eftersom den baseras på färre punkter. En större ruta ger alltid ett minst lika stort, oftast större, värde än den mindre rutan, och detta värde kommer att användas över ett större område.



Figur 4.9. Den större rutan täcker in den mindre rutans högsta punkt och eventuellt ytterligare en, som kan vara högre. På detta sätt kommer överytan att lägga sig högre med större rutstorlek.

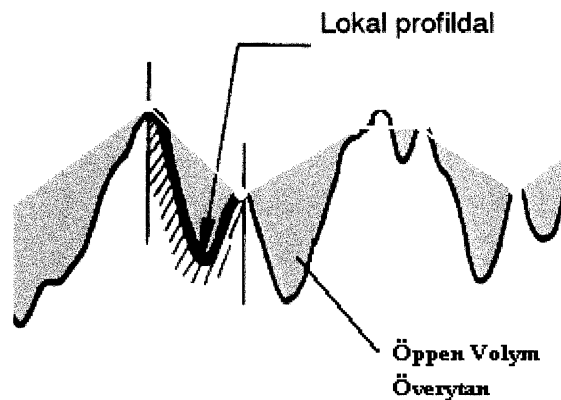


Det innebär att hela överytan kommer att ligga för högt i förhållande till asfaltsytan. Dessutom blir interpoleringen mellan punkterna för grov eftersom det nya rutnätet är för glest. Den tar då ej hänsyn till de lokala profiltopparna och resultatet blir en för stor volym.



Figur 4.10. Inkorrekt höjdläge för överytan i förhållande till de lokala profiltopparna.

Genom att välja halva maximala stenstorleken erhålls rutstorlekar som tar hänsyn till intilliggande mindre lokala toppar. Vi får då tillräckligt med mätpunkter för att interpoleringen mellan punkterna skall variera tillfredsställande och överytan blir mer exakt. Genom att välja halva stenstorleken försäkras vi oss samtidigt om att Z-värdet aldrig är lägre än halva lokala profiltoppen.

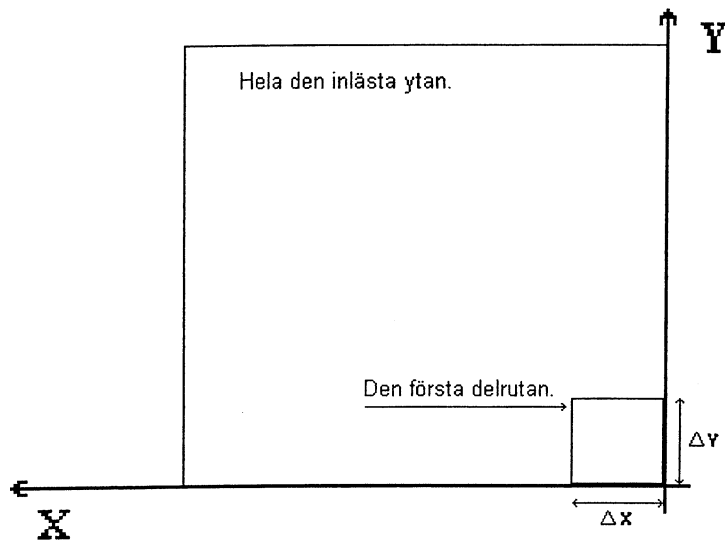


Figur 4.11 Korrekt höjdläge för överytan med rätt öppen volym som resultat.



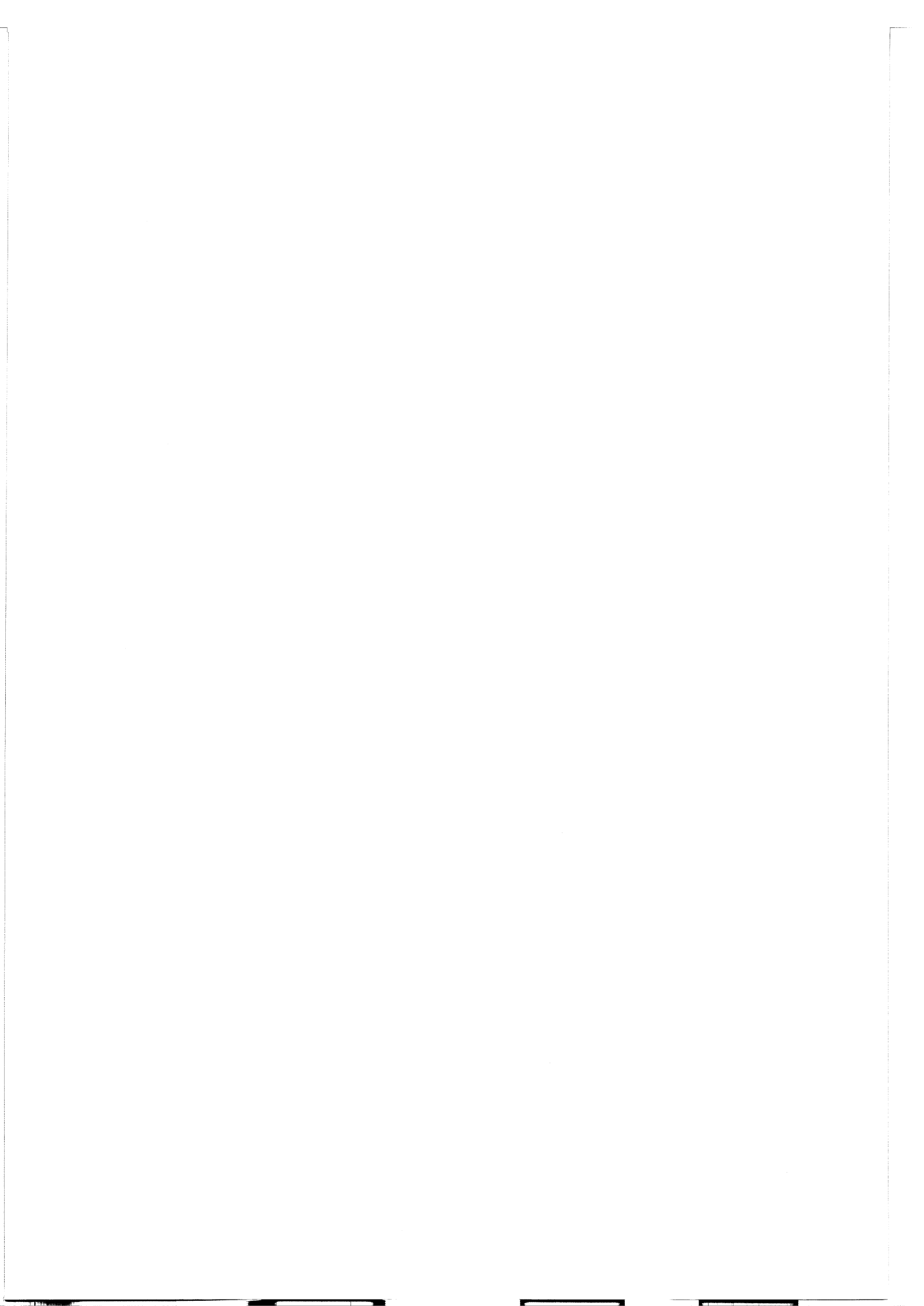
Lösning

Resultatet blev "Zmax". Ett program som bygger på uppställda randvillkor. Det hela bygger på att vi delar upp asfaltsytan i ett stort antal mindre delrutor. Från varje delruta plockar vi sedan ut det största Z-värdet för att med dessa punkter skapa överytan. Rutorna delas in med hjälp av intervall som t.ex. $0 < X < 5$ och $0 < Y < 5$, vilket skulle ge en kvadratisk delruta från origo med sidan 5.

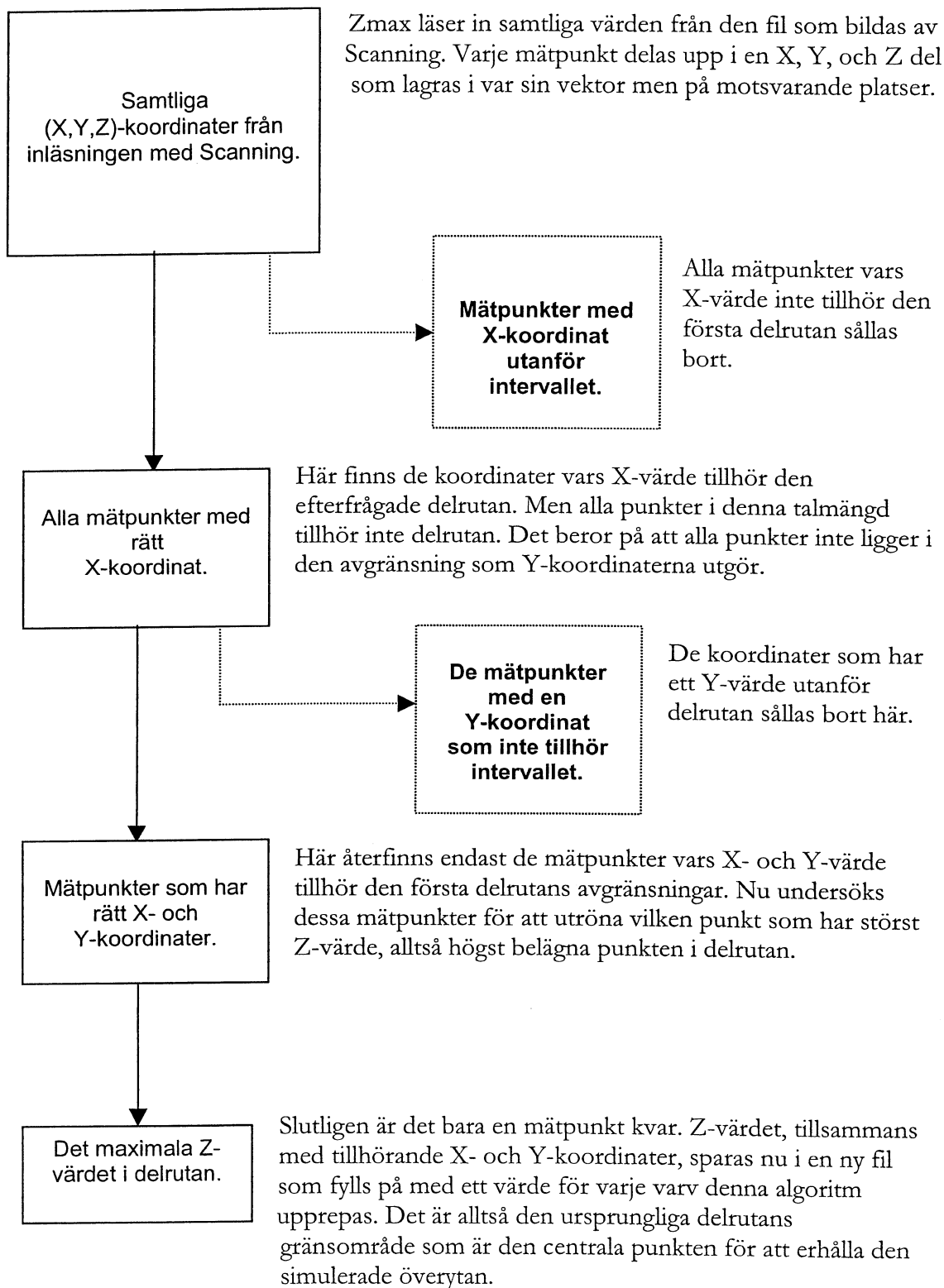


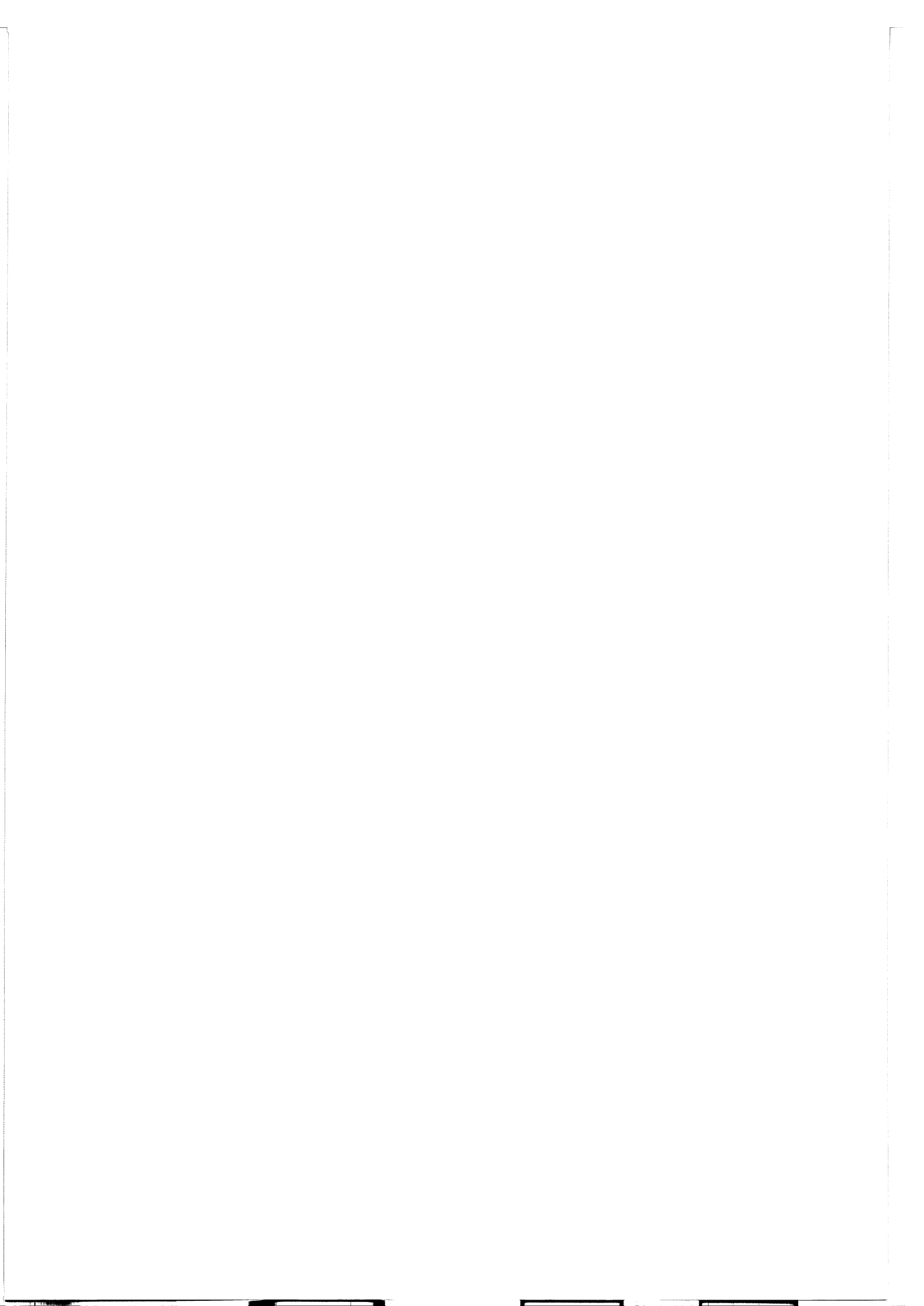
Figur 4.12. Zmax delar upp asfaltsytan i delrutor.

Det som är gemensamt för alla punkter i delrutan är att deras X- och Y-koordinater är mindre än 5. Detta samband har vi använt oss av i programmet. En av dessa punkter är högst, har störst Z-värde. Det är den punkt vi söker.

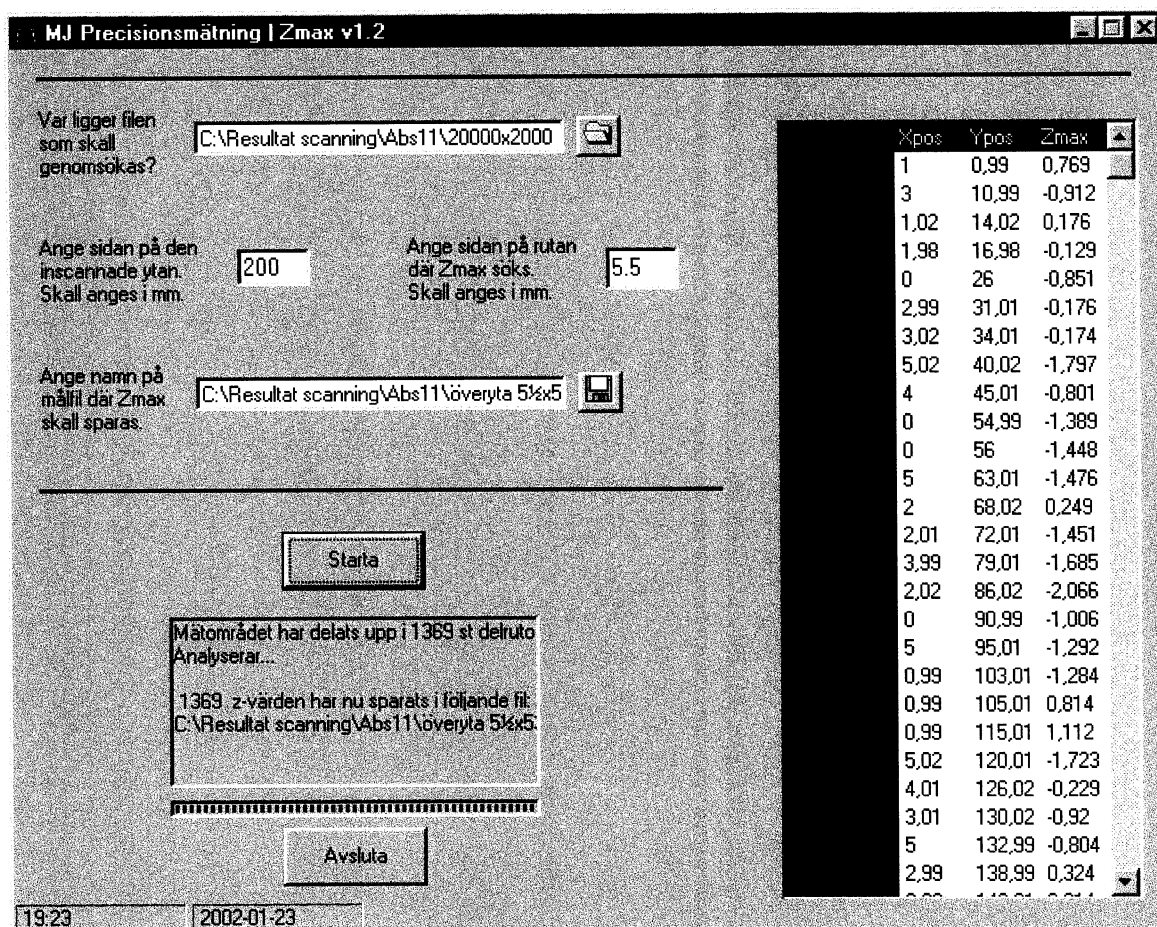


Nedan har vi med en schematisk bild visat hur programmet fungerar. Använd figuren ovan som stöd.





Vad Zmax gör är alltså att plocka fram den högsta punkten för varje delruta av den inlästa asfaltsytan.



Figur 4.13. Användargränssnitt - Zmax.

Resultatfilen av den inlästa ytan från Scanning läses här in i programmet. Vi anger hur stor mätytan är och hur stor varje delruta skall vara. Bearbetningen av resultatfilen blir, i detta fall, 1369 delytor med var sitt Z-max. Dessa 1369 koordinater sparas automatiskt i en ny fil som vi har refererat till. Till vänster kan man även se resultatet i en rullista. Av denna nya fil gör vi nu den simulerade överytan. Ytan åskådliggörs i Surfer vilken också beräknar volymen mellan den simulerade överytan och den inlästa ytan.



5. SAMVERKAN MELLAN MASKINVARA OCH PROGRAMVARA

Alla de delar vi har diskuterat i tidigare kapitel fyller var sin funktion i systemet. Men förutom att lösa sin egen uppgift skall de också samverka för att ge det eftersökta resultat. Detta ger upphov till ett relativt komplext samspel mellan hårdvara och mjukvara. För att detta skall fungera har programmeraren av Scanning jobbat i nära samarbete med programmeraren av pulsräknaren. Under en körning sker nästan all konversation mellan mjukvara och hårdvara av Scanning och pulsräknaren. Därför har ett gemensamt kommunikationsprotokoll upprättats, en syntax som gör att dator och pulsräknare kan dela information. Pulsräknaren är en programmerbar enhet som kan ge och ta direktiv och som sköter all interaktion mellan de olika hårdvarudelarna under körningarna.

Den enda information som inte går via pulsräknaren är Z-koordinaten som innehåller uppgiften om avståndet från laserhuvudet till mätobjektet. Denna information skickas direkt från laserhuvudet via kontrollenheten för lasern till ett PCMCIA-kort i datorn. Det finns två anledningar till denna lösning. Den första är att laserhuvudet lämnar avståndsvärdet i form av en analog spänning mellan -10 till $+10$ volt. Denna spänning måste omvandlas till en digital signal som Scanning kan ta emot. Den andra anledningen är att det är en stor mängd information som kommer från laserhuvudet. Därför behövs en överföring som kan hantera detta.

Följande sker innan, under och efter en körning genomförs

Det första som sker är att alla parametrar bestäms i Scanning. När alla inställningar är gjorda skickas dessa direktiv till pulsräknaren. Överföringen från Scanning till pulsräknaren görs via en kommunikationsport. När pulsräknaren tar emot dessa direktiv kodas vissa delar om för att sedan skickas vidare till motorstyrningen. De instruktioner som går till motorstyrningen är hastighet samt start- och slutpunkt för varje svep. Motorstyrningen ser nu till att släden förflyttar sig mellan punkterna med hjälp av omkodare som kontrollerar slädens position för motorstyrningens räkning. När motorstyrningen tillsammans med omkodaren bedömer att slutpunkten är nådd får pulsräknaren en indikation om detta. Då kontrollerar pulsräknaren om detta stämmer med de koordinater som linjalerna anger. Detta för att linjalerna ger en mer noggrann positionsangivelse. Stämmer inte dessa två uppgifter överens ger pulsräknaren nya direktiv till motorstyrningen för att kompensera skillnaden mellan omkodare och linjalens uppgifter. Därefter ger pulsräknaren nya direktiv för nästa svep.

Noggrannheten för körningen ställs in i Scanning i form av två inkrement. Dessa inkrement avser avståndet mellan mätpunkterna i ett svep, samt avståndet mellan svepen i en körning. Tillsammans ger detta ett rutnät av mätpunkter symmetriskt utplacerade över mätobjektet. Pulsräknaren får slädens positionsangivelser från linjalerna. Med de intervall som vi har gett i form av inkrementen skickar nu pulsräknaren tillbaka positionsangivelsen för släden i form av XY-koordinater till Scanning via kommunikationsporten. I Scanning finns en funktion för att känna av om någon information kommer via kommunikationsporten. När så sker tar Scanning emot den informationen, lagrar den temporärt i datorns RAM-minne, samtidigt som Scanning tar emot avståndsvärdet, Z-koordinaten, från PCMCIA-kortet. Detta värde lagras tillsammans med XY-koordinaterna i RAM-minnet samtidigt som det ritas upp i plot-fönstret i Scanning. När ett svep är färdigt flyttas XYZ-koordinaterna från det temporära RAM-minnet till en förutbestämd fil på hårddisken. Anledningen till att koordinaterna inte lagras på hårddisken direkt är att det går mycket fortare att lagra värdena i RAM-minnet. När pulsräknaren skall undersöka om släden ligger exakt rätt för att påbörja nästa svep uppkommer en tidslucka varvid mätvärdena kan förflyttas från RAM-minnet till hårddisken utan att påverka resten av körningen. Resultatfilen ökar i storlek för varje svep tills körningen är klar. Då stängs filen för att sedan kunna analyseras i andra program, i vårt fall Surfer och Zmax.



6. ANPASSNING FÖR PLANERAD TILLÄMPNING

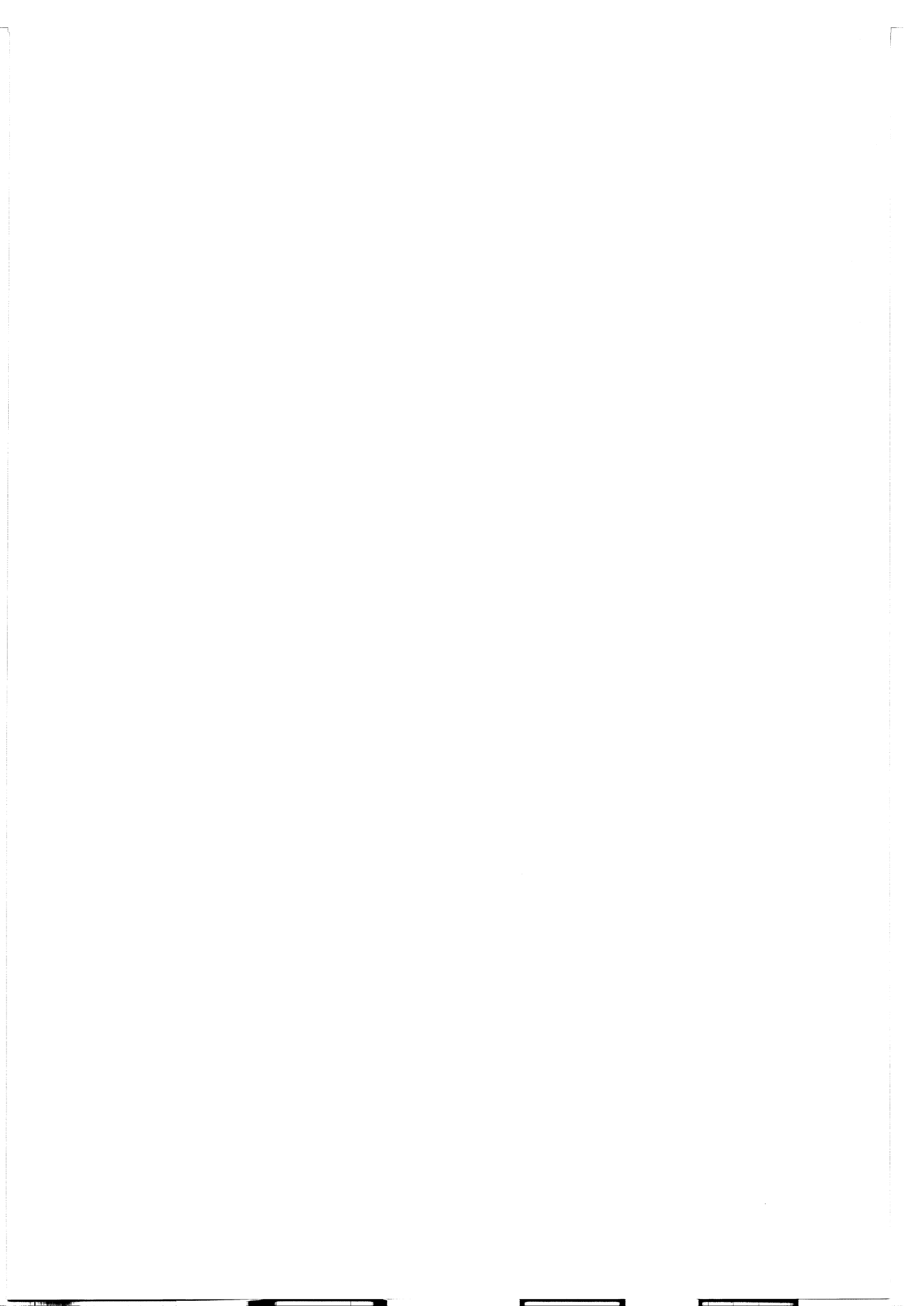
Eftersom detta är en utrustning som från början konstruerades för ett annat användningsområde än asfaltsbeläggningar har vi gjort ett antal korrigeringar i användningssätt för att apparaturen skall ge svar på de frågor vi ställer. Utrustningen har inte varit i användning de senaste åren vilket gav upphov till en hel del praktiskt förarbete.

Den dator som från början var anpassad för att styra mätutrustningen hade kraschat vilket innebar att mycket information gick förlorad och endast källkoderna till Scanning fanns sparade. Scanning programmerades för att samverka med ett flertal tilläggsfiler, eftersom Scanning gjordes 1997, gällde det att hitta rätt version av varje tilläggsfil. Detta löstes genom att vi kompilerade om Scanning från Visual Basic 5, vilket Scanning var programmerat i, till Visual Basic 6 för att kunna använda oss av de senaste tilläggsfilerna.

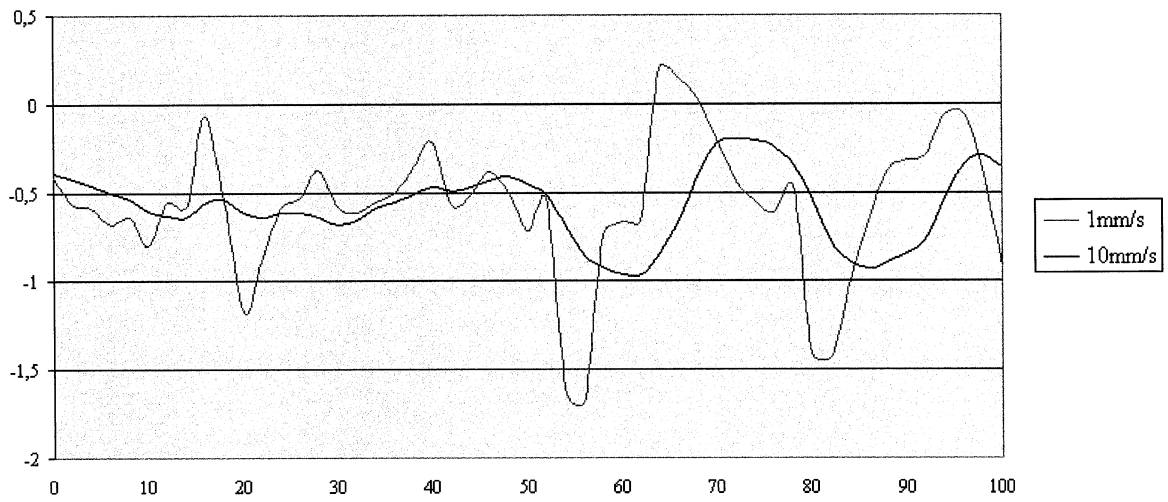
Samma sak gällde PCMCIA - kortet. Eftersom det köptes in i samma skede som resten av utrustningen. Det innebar att vi fick använda oss av ett kalibreringsprogram samtida med kortet.

När vi hade kommit lite längre i testkörningarna märkte vi att hastigheten hade inverkan på noggrannheten. När vi ökade hastigheten märkte vi att kurvorna blev flackare. Så borde inte ske om lasern tar 50 000 mätvärden per sekund. Det finns en funktion i laserkontrollenheten för att ställa in antal mätvärden som omvandlas till ett medelvärde, vilket kan vara användbart om man vill undvika att få mätvärden som avviker för mycket i en mätserie på grund av t.ex. färgskiftningar. Vi vill få en så exakt mätserie som möjligt.

Fabriksinställning visade på att 2048 mätvärden gav ett medelvärde. Det innebar för vår del att vi skulle få 25 mätpunkter per 10 mm. För att kontrollera och ändra dessa inställningar på kontrollenheten behövde vi använda oss av HyperTerminal, vilket är ett program för att kommunicera med externa enheter genom att skicka textbaserade kommandon via kommunikationsporten. Efter att vi ändrade inställningen till 1 fick vi en kurva som var helt oberoende av hastigheten hos släden.

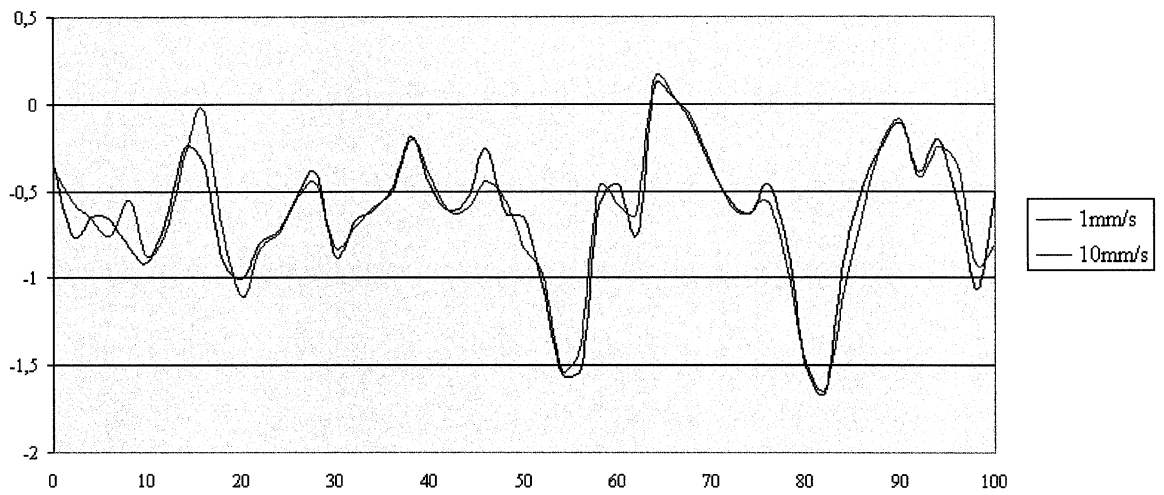


Innan inställning av "Averaging Measurements"

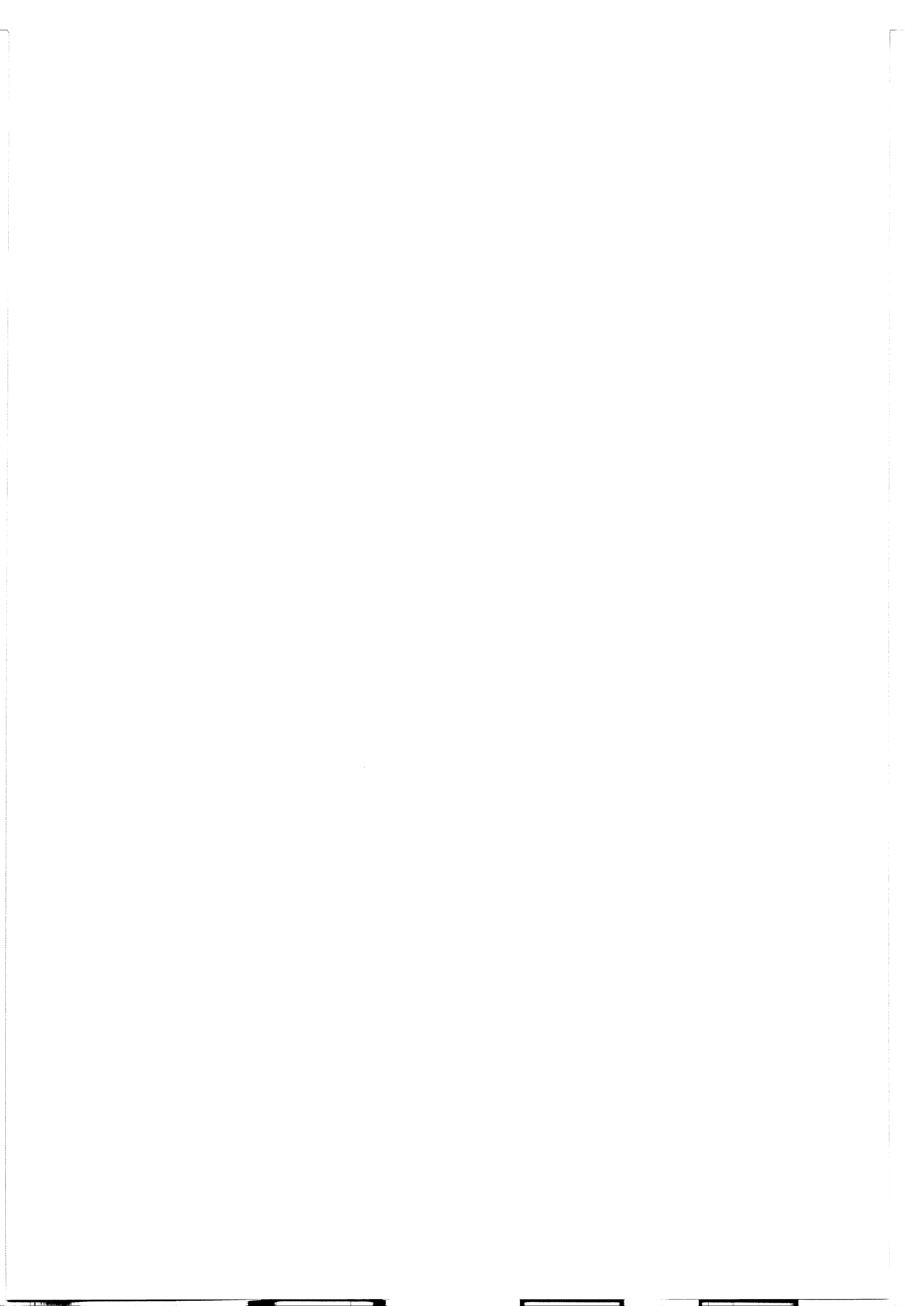


Figur 6.1. Skillnad i upplösning innan justering.

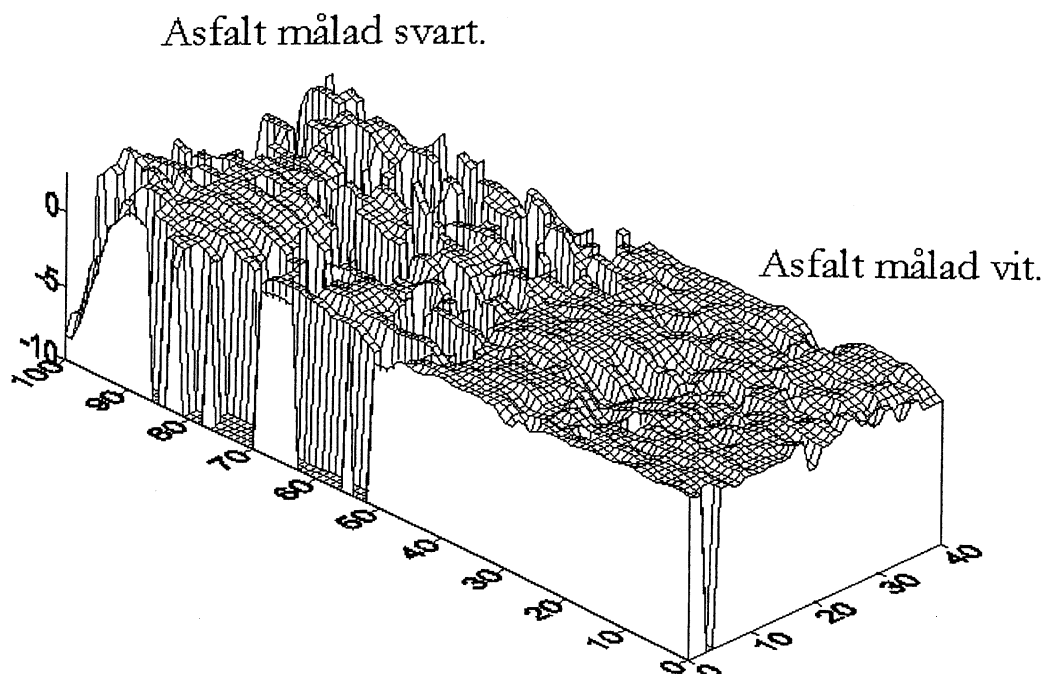
Efter inställning av "Averaging Measurements"



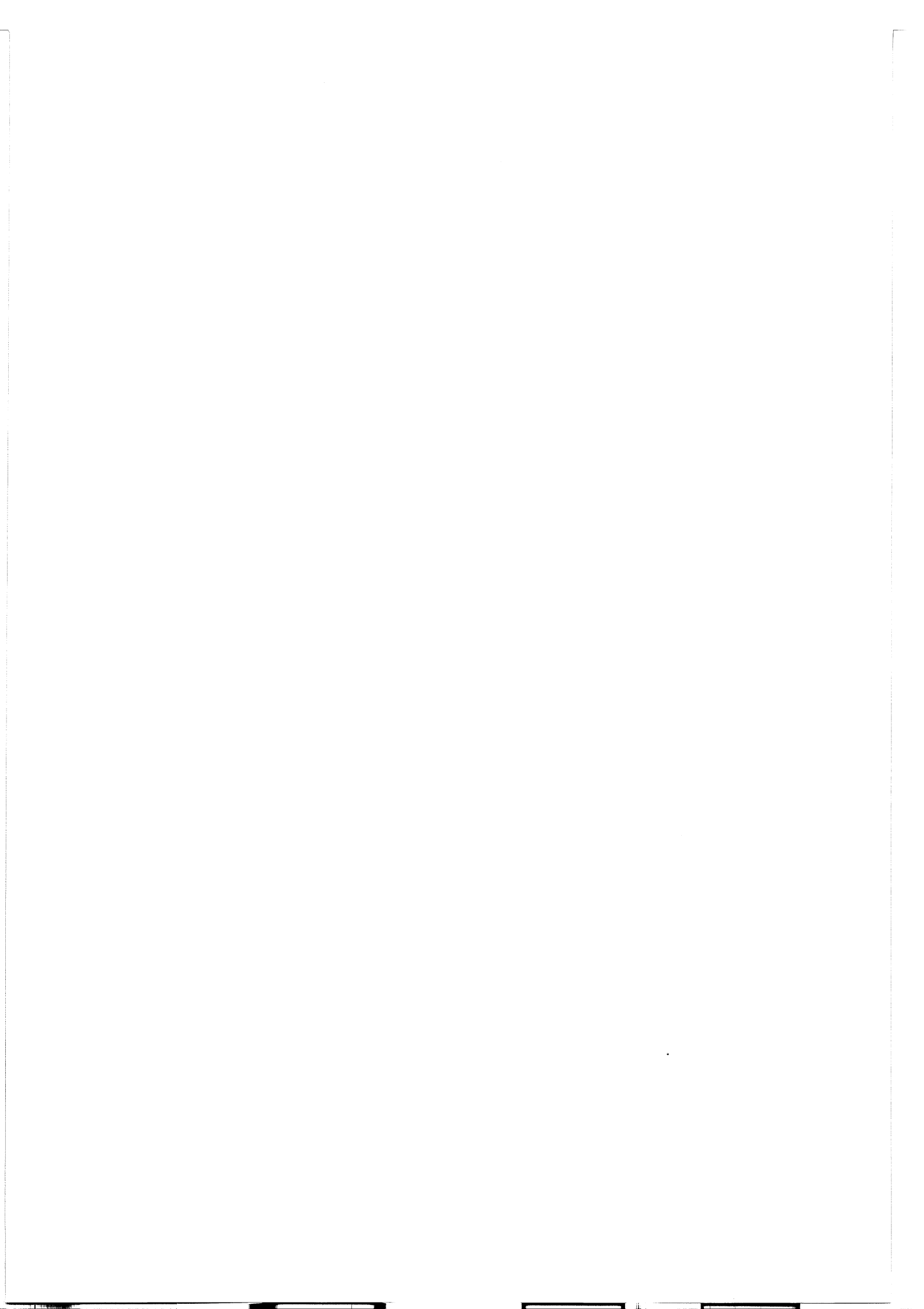
Figur 6.2. Skillnad i upplösning efter justering.



Mätutrustningen är anpassad för att användas på ytor med låg reflektion. Detta vållade problem eftersom stenmaterialet i beläggningarna oftast består av glimmerrika material. När laserstrålen rör sig över en högre-reflektiv yta kan hela strålen reflekteras åt ett håll vilket innebär att inget ljus detekteras av linsen i laserhuvudet. Resultatet blir ett maxutslag. För att gå runt detta problem provade vi att spraymåla ytan svart. Resultatet blev bättre men inte helt tillfredsställande. Vi antog att anledningen var att den svarta färgen absorberade laserljuset för bra. För att se om vår teori stämde spraymålade vi ytan vit istället. Resultatet var mycket gått. Därefter har vi målat alla provkroppar vita innan mätning.



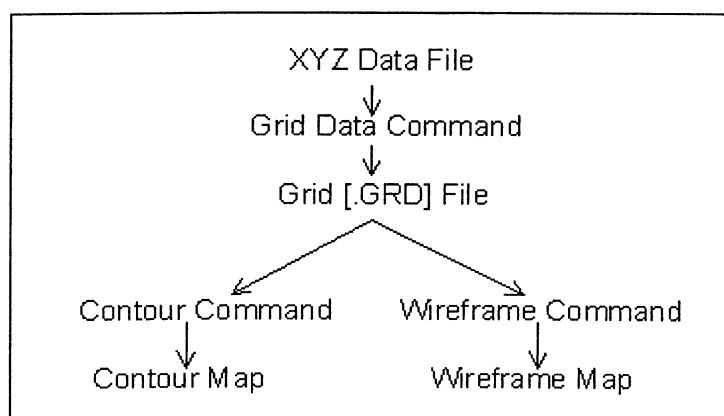
Figur 6.3 Skillnad vid inläsning av vit och svart asfaltsyta.



7. METODBESKRIVNING VID MÄTNING

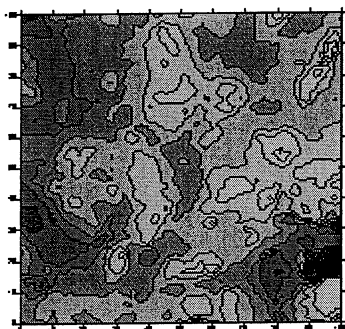
Målet med detta kapitel är att visa hur beräkningen av MTD fungerar med vår modell. Som vi har nämnt tidigare bygger denna metod på att en yta läses av med ett laserinstrument som registrerar höjder och placerar dem i ett koordinatsystem. Resultatet av denna inläsning blir en fil som innehåller en mängd (X,Y,Z)- koordinater med vilka vi framställer en 3-dimensionell yta i programmet Surfer. Med hjälp av olika tekniker kan vi sedan simulera en volym i den öppna porstrukturen som motsvarar sandvolymen i Sand Patch. Medeltexturdjupet beräknas sedan som volym/area.

Den huvudsakliga funktionen hos Scanning är att ge direktiv till utrustningen om noggrannhet och mätområde och att ta emot de inlästa värdena från laserinstrumentet. Efter det använder vi Surfer för att beräkna MTD med de data som fås från Scanning. Surfer skapar en rutnätsbaserad fil (Grid File) med hjälp av XYZ-filen, vilken ligger till grund för flera olika typer av framställningar av informationen.

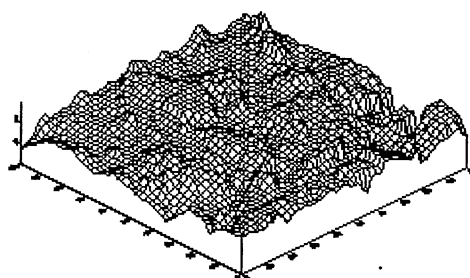


Figur 7.1 Från mätvärden till stomritning.

Konturritning (Contour) är en topografisk ritning med isobarer som sammanbinder höjderna. Stomritning (Wireframe) är en ritning som visar XYZ-värden i tre dimensioner.

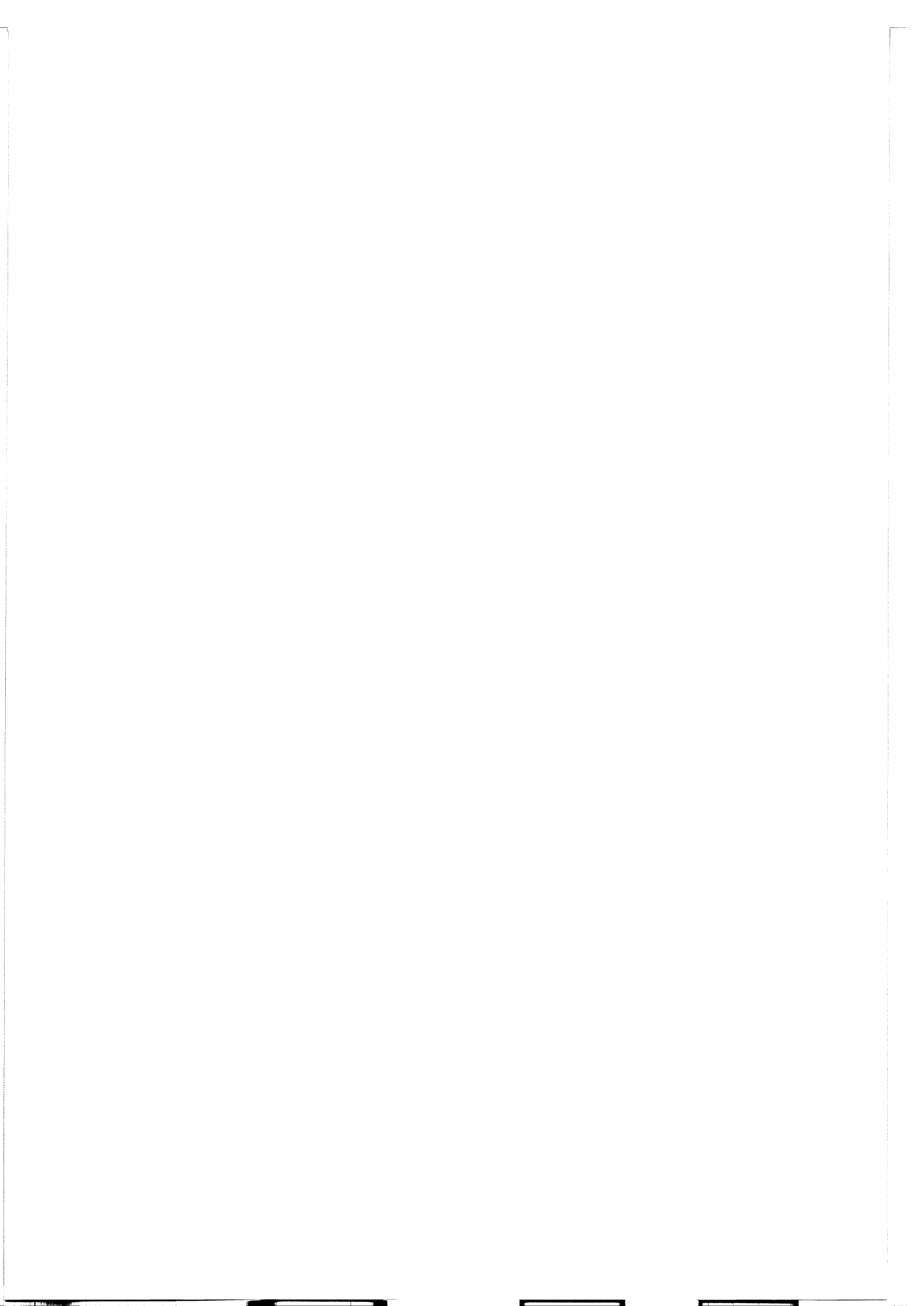


Figur 7.2 En konturritning

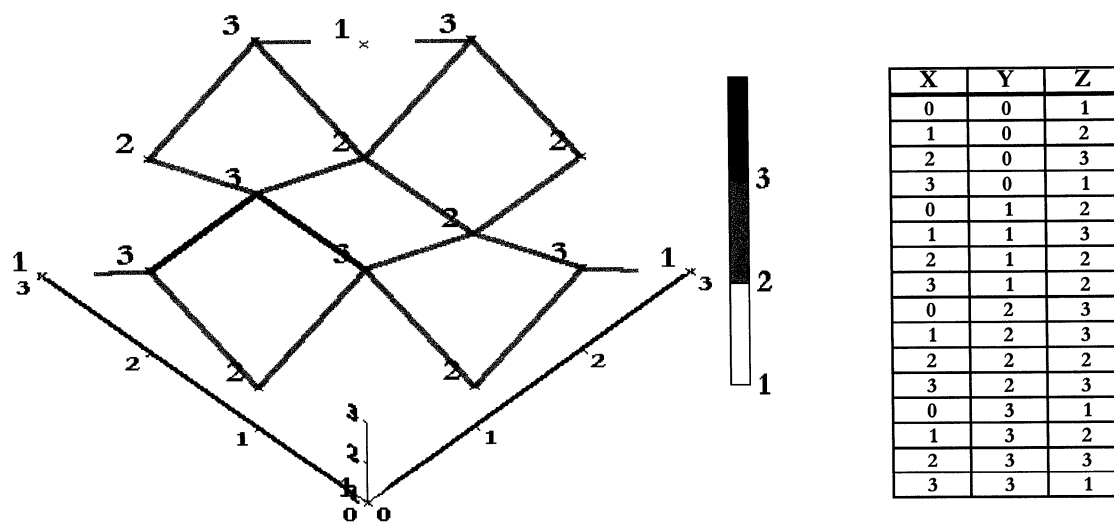


Figur 7.3 En stomritning

När Surfer genererar den ursprungliga rutnätsfilen används oftast en algoritm för att interpolera fram ett symmetriskt nät om mätdatan saknas i vissa punkter på mätytan. Det finns ett flertal olika algoritmer att välja mellan beroende på vilka indata som finns tillgängliga och vad rutnätet skall visa. I vårt fall har vi alla värden vi behöver, så någon simulering är inte aktuell. Vi använder oss därför av en metod som kallas "Nearest Neighbour" för att skapa rutnätsfilen. Denna metod tilldelar varje nodpunkt i rutnätet det värde som återfinns närmast punkten. Eftersom det går att



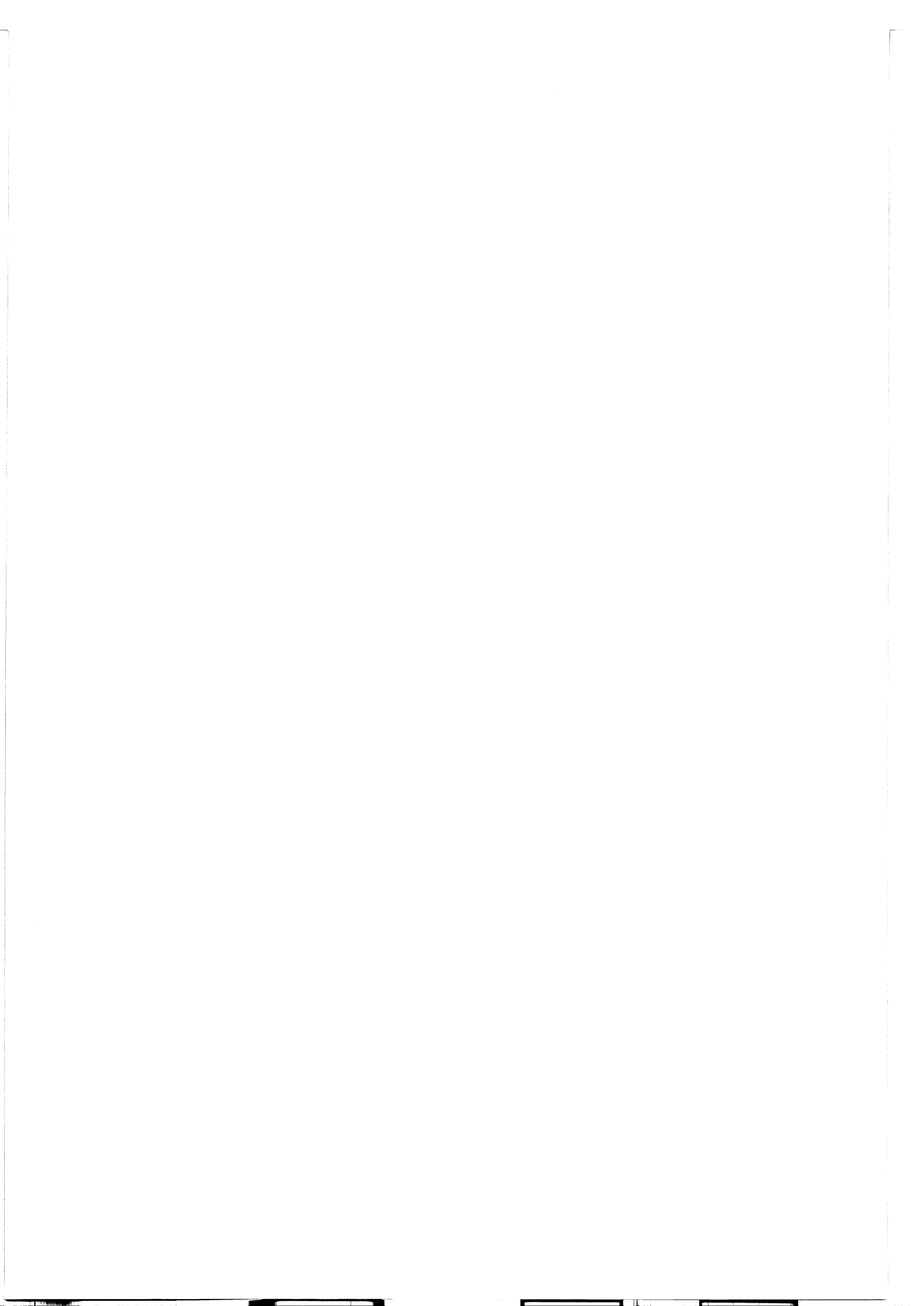
välja antal linjer i X och Y-led i bildandet av rutnätsfilen använder vi lika många linjer som vi har svep i körningen. På detta sätt kommer varje nodpunkt att tilldelas exakt det Z-värde som har uppmätts i tillhörande punkt.



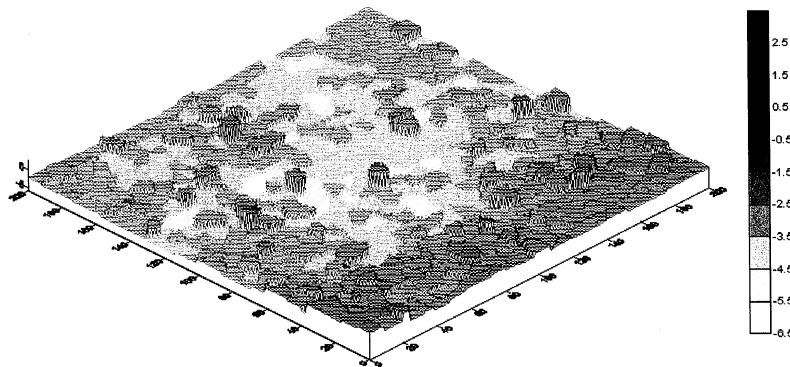
Figur 7.4 En uppförstorad del av en stomritning.

Till vänster ovan syns ett stomnät skapat med hjälp av en rutnätsfil som bygger på indatan till höger. Här har ingen interpolering av nodpunkter varit nödvändig eftersom antalet linjer i rutnätet överensstämmer med antalet svep i körningen. Detta innebär således att den uppritade ytan i alla noder exakt motsvarar den verkliga ytan.

När vi nu har omvandlat asfaltsytan från en konkret yta till en numerisk modell som kan bearbetas analytiskt är det dags att göra samma sak med överytan. I Surfer finns en funktion för att beräkna en volym mellan två ytor. I vårt fall blir den undre ytan det stomnät som avbildar asfaltsytan. Det innebär en överyta som precis stryker över de högsta punkterna av mätytan. För att skapa en sådan yta har vi gjort ett program, Zmax, som delar upp ytan i ett stort antal delytor och sedan plockar den högsta punkten från varje ruta. Dessa värden bildar sedan överytan. Antalet delytor beror av största stenstorleken i asfalten.

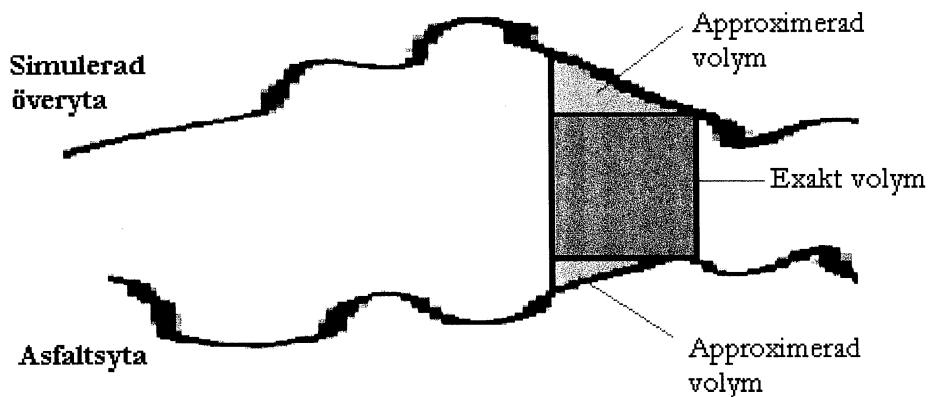


Förfarandet vid ett Sand Patch-test är att arbeta ut sanden över ytan med en gummitrissa. Med vår modell har vi eliminerat den mänskliga inverkan vilket är ett problem vid Sand Patch-mätningar.



Figur 7.5 Överytan skapad i Surfer med hjälp av informationen från Zmax. .

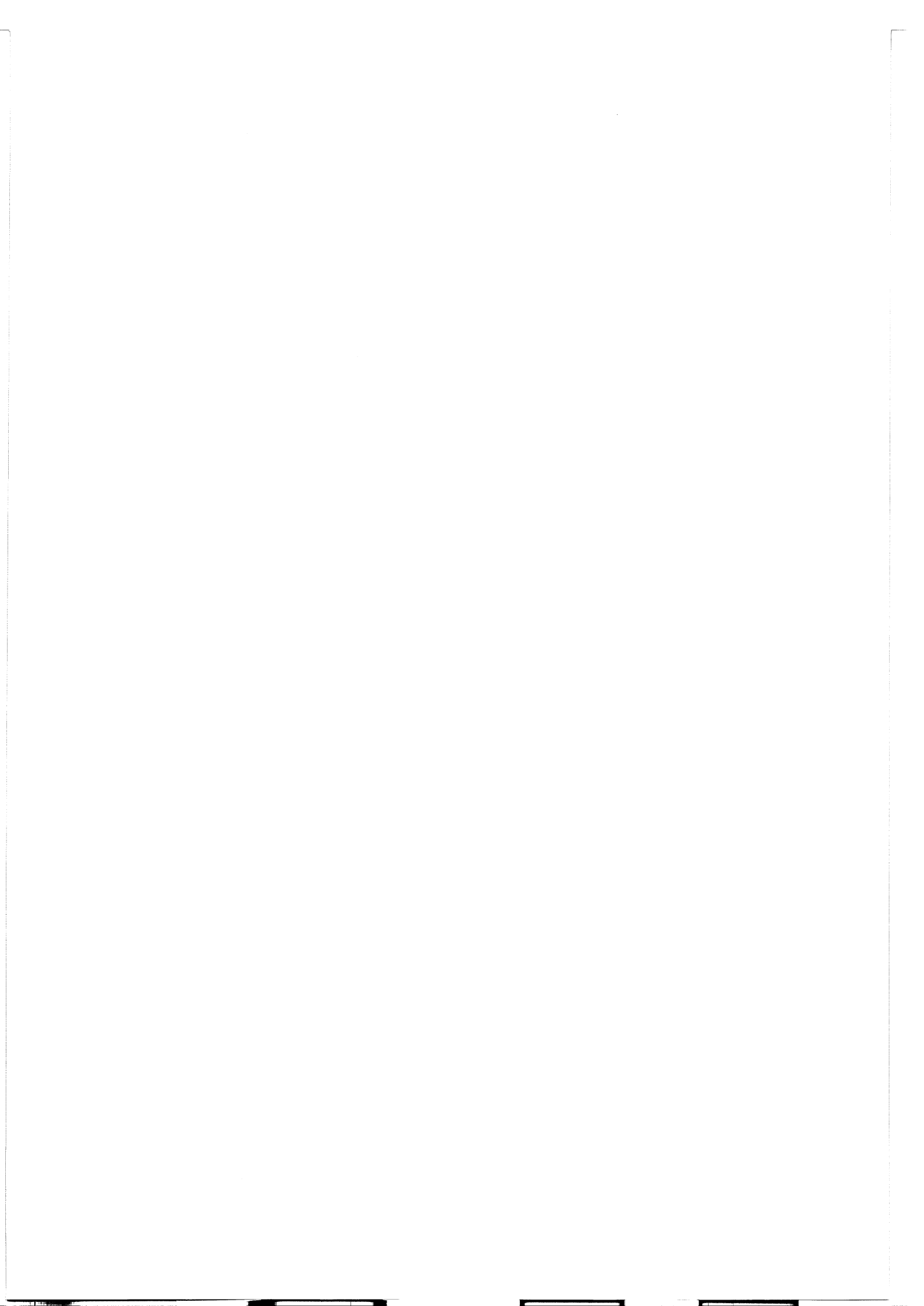
När vi har simulerat överytan kan vi bestämma volymen mellan denna och den inlästa asfaltsytan. Volymberäkningen görs på den solid som bildas mellan den övre och undre ytan. Varje ruta i stomritningen utgör en delsolid. Eftersom både över- och underytan lutar från horisontalplanet bildas prismor i båda ändrar av delsoliden. Dessa prismors volym approximeras av Surfer.



Figur 7.6 En 2-dimensionell bild av delsoliden mellan ytorna.

Matematiskt definieras volymen under en funktion $f(x,y)$ av dubbelintegralen.

$$\text{Volym} = \int_{X_{\text{MIN}}}^{X_{\text{MAX}}} \int_{Y_{\text{MIN}}}^{Y_{\text{MAX}}} f(x,y) \, dx \, dy$$



I Surfer beräknas denna genom att först integrera över X för att få arean under varje rad, och sedan integrerar över Y för att erhålla den slutgiltiga volymen. Surfer approximerar de endimensionella integralerna med hjälp av tre klassiska numeriska integrationer. Detta är en utveckling av Simpsons regel som först beräknar en delytas area och sedan volymen av det prisma som bildas under delytan.

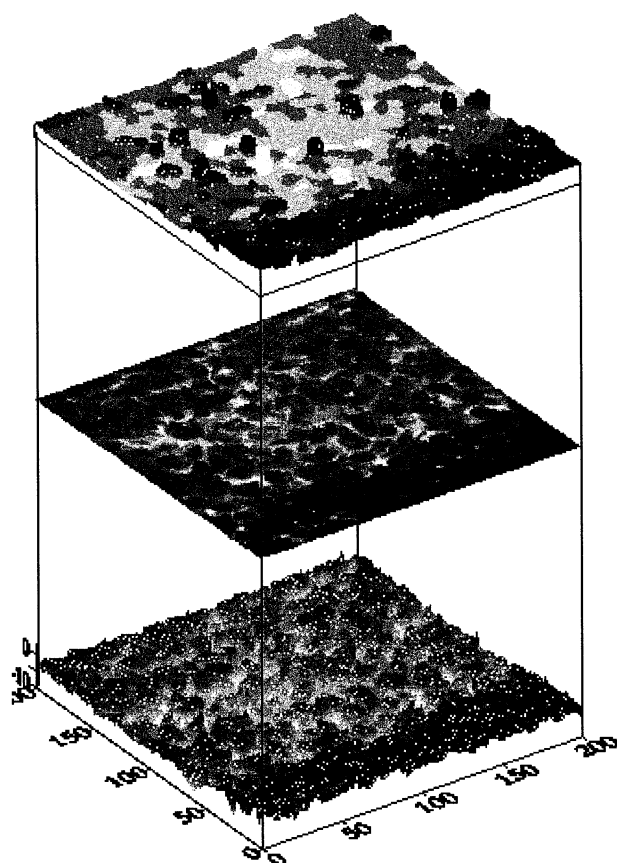
$$A_i = \frac{3\Delta x}{8} [G_{i,1} + 3G_{i,2} + 3G_{i,3} + 2G_{i,4} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}]$$

$$\text{Volume} \approx \frac{3\Delta y}{8} [A_1 + 3A_2 + 3A_3 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}]$$

Δx = avståndet mellan kolumnerna i rutnätet.

Δy = avståndet mellan raderna i rutnätet.

G_{ij} = är nodens värde i rad i och kolumn j.



Detta är överytan som har producerats med hjälp av Zmax.

2-dimensionell konturritning som visar höjdskillnaderna i form av kulörskiftningar.

3-dimensionell stomritning skapad med hjälp av de inlästa (XYZ)-koordinaterna.

Figur 7.7 ABS 16, 200x200 mm. OBS! Skalskillnad i Z-led mellan överytan och stomritningen.

Surfer framställer en rapport med all indata och resultat av volymberäkningen. Här finns all information om areor och volymer som har beräknats. Volymen bildas mellan överytan och stomritningen. Arean vi använder är den plana arean av de den inlästa ytan. Ur denna information beräknas till sist MTD.



8. FÖRSÖKSSERIER

Ursprungligen var tanken att göra mätningar i fält med vår utrustning. Emellertid märkte att det fanns flera anledningar till att göra mätningarna på laboratoriet istället. Den främsta anledningen var att utrustningen var otymplig och för känslig för fältförsök. Efter hand visade det sig också att det fanns fysiska begränsningar i utrustningen som gjorde att vi inte kunde utföra mätningarna med sådan hastighet att det var meningsfullt att göra försök i terränglådan.

Vi övergick därför till att plocka in borrhärdar till labbet för att göra mätningar. Tanken var då att uppsöka lämpliga provytor i fält och göra Sand Patch-mätningar, sedan borra upp prover på samma ställe för att göra egna mätningar på de provkropparna. På detta sätt kunde vi få ett referensvärde som kunde jämföras mot våra värden i labb.

De fyra första provkropparna erhöles genom ovan beskrivna tillvägagångssätt. Vi var då på Råda flygfält, som tillhör F7 i Såtenäs. Vädret samt det tidskrävande utförandet innebar problem, och vi beslöt oss att ändra upplägg till att istället tillverka egna provkroppar i labbet.

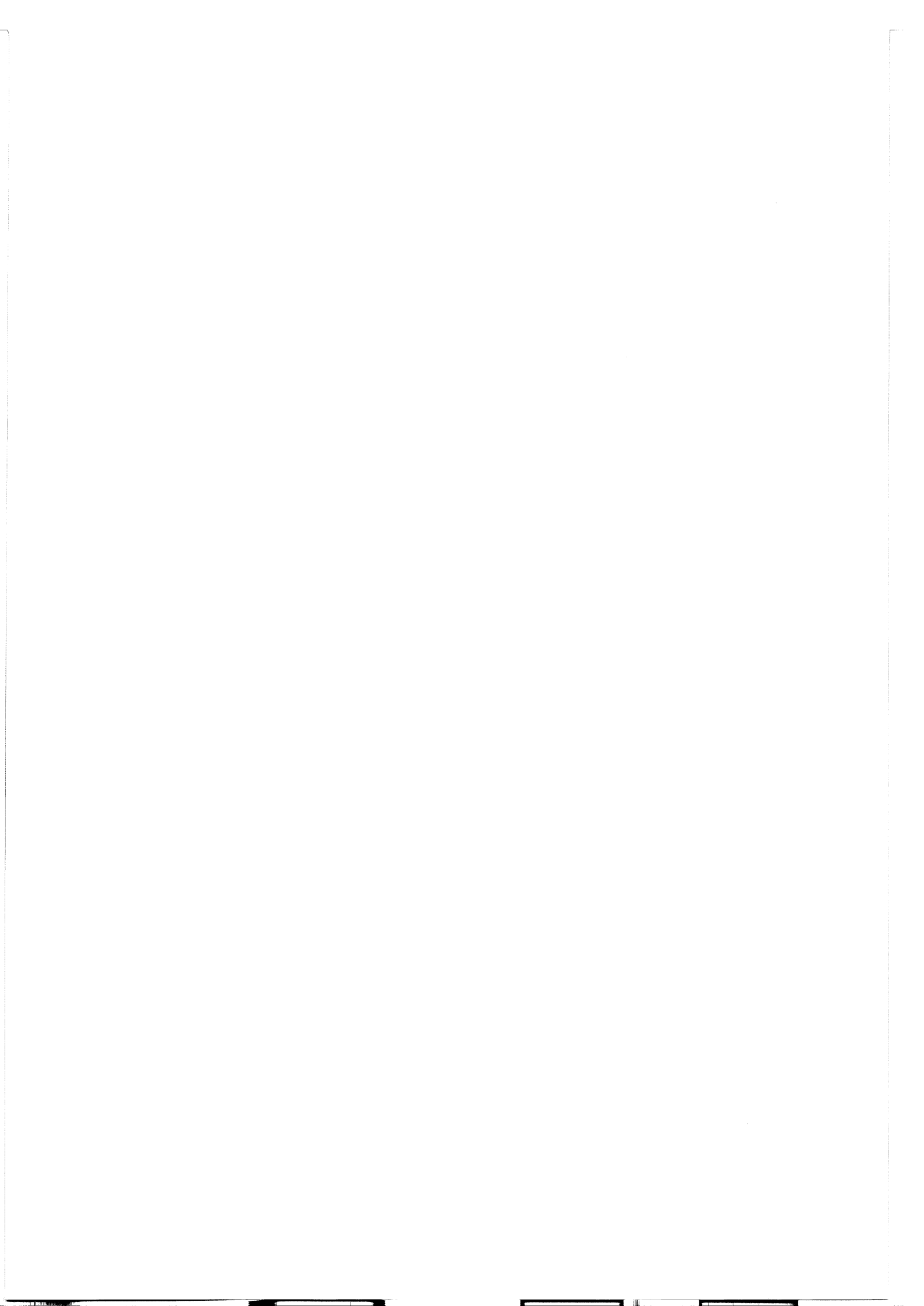
De tre sista provkropparna framställdes i en valsmaskin på VTC-väst. Vi valde att tillverka tre provkroppar med olika stenstorlek och täthet hos asfaltmassorna för att kunna påvisa skillnader i resulterande medeltexturdjup. Vi har gjort mätningar på kroppar av följande asfaltsmassa:

ABT 11, ABS 11, ABS 16

Vi läste av provkropparna med vår utrustning för att sedan utföra Sand Patch-mätningar.

Syftet med försöksserien är att visa på resultatet av vår metod och presentera MTD-resultat på ett enhetligt och konsekvent sätt. Resultat från varje mätning redovisas avsiktligt med ändamålet att lätt identifiera samband mellan de olika metoderna, för att kunna fastställa om uppnådda krav mötts, samt att ge en bakgrund till det uppnådda resultatet.

Målet är således att med vår metod beräkna ett medeltexturdjup och sedan jämföra det mot Sand Patchen. Vi förväntade oss att se en korrelation mellan dessa värden.

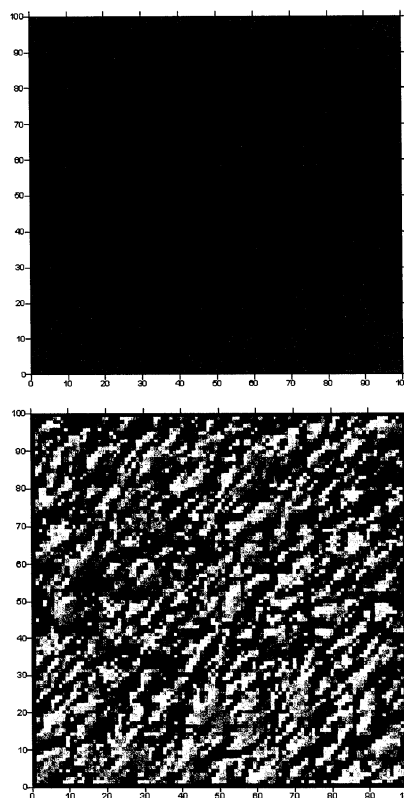


8.1 Precisionsanalys

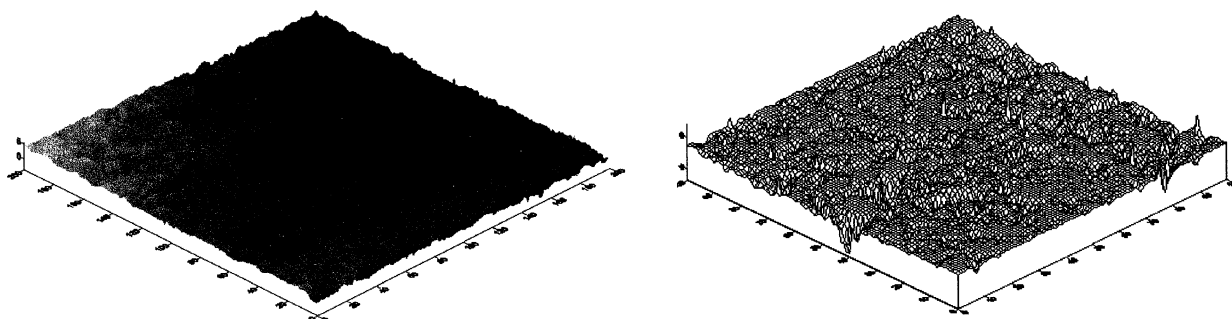
Detta var alltså ett försök så nära fältprov som vi kom i detta arbete. Dagen då vi skulle ta borrkärnorna hade föregåtts av regn. Det är inget problem ur borrhningssynpunkt men eftersom diametern på varje provkropp var 150mm var det svårt att göra en Sand Patch i labbet. Därför var tanken att vi först skulle göra en Sand Patch och sedan ta borrkärnor från platsen. Vi försökte torka upp ytan med en gasolbrännare men det var omöjligt att få alla håligheter torra. Sanden klumpade sig så det gick inte att göra någon Sand Patch.

Asfalten på Råda var en ABT 11. Eftersom diametern var 150mm läste vi av en kvadrat med sidan 100 mm.

Till höger har vi ritat upp två bilder med de inlästa värdena från Scanning som grund. Nedan har vi ritat upp en stomritning och en kombination av stomritning och konturritning. Konturritningen ligger då över stomritningen för att ge en yta.



Figur 8.1 Konturritning och en relief av ABT 11.



Figur 8.2. Kontur + stomritning och en stomritning.

Råda ABT11				
Scanning				Zmax
Mätområde [mm]	Mäthastighet [mm/s]	Inkrement X [1/100 mm]	Inkrement Y [1/100 mm]	Storlek på varje delyta [mm]
100x100	10	100	100	5.5x5.5

Tabell 8.1. Inställningar för de viktigaste parametrarna.



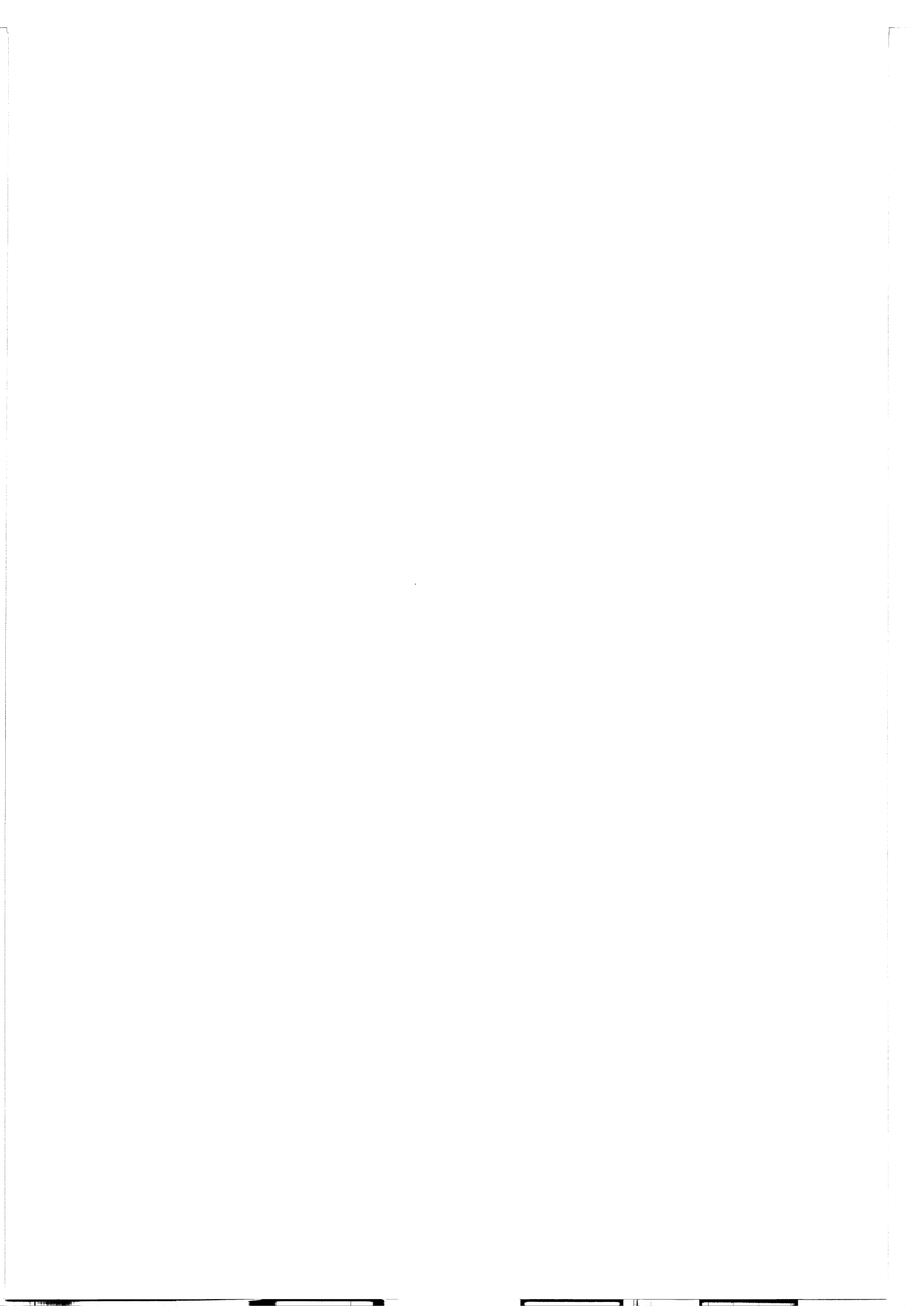
Tanken var från början att göra jämförelser i MTD mellan Sand Patch och 3dSS, men på grund av vädret gick det ej att utföra Sand Patch-mätningar. Istället gjordes tre avläsningar på varje provkropp för att kunna studera eventuella avvikelser för att utvärdera vår metods tillförlitlighet vid erhållandet av MTD. Anledning till denna statistiska analys är att kunna fastställa hur bra repeterbarheten är, vilket innebär hur lite varje mätresultat skiljer sig vid mätning på ett och samma mätobjekt.

I tabellen nedan kan vi se resultatet av mätningar på fyra olika provkroppar med tre körningar på varje.

<u>PROVKROPP No 1.</u>		<u>PROVKROPP No 2.</u>	
Körning 1	MTD=0.7253 mm	Körning 1	MTD=0.7928 mm
Körning 2	MTD=0.6893 mm	Körning 2	MTD=0.7974 mm
Körning 3	MTD=0.7122 mm	Körning 3	MTD=0.7888 mm
Standardavvikelse 0.0149		Standardavvikelse 0.0035	
<u>PROVKROPP No 3.</u>		<u>PROVKROPP No 4.</u>	
Körning 1	MTD=0.6987 mm	Körning 1	MTD=0.7399 mm
Körning 2	MTD=0.7057 mm	Körning 2	MTD=0.7488 mm
Körning 3	MTD=0.6816 mm	Körning 3	MTD=0.7259 mm
Standardavvikelse 0.0101		Standardavvikelse 0.0094	

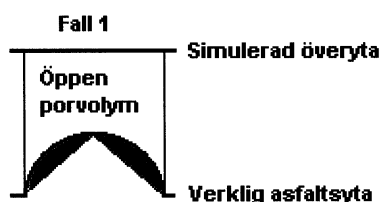
Tabell 8.2 Resultat av tre körningar på fyra provkroppar.

Slutsatserna man kan dra av dessa försök är att repeterbarheten för 3dSS är mycket god. I följande mätningar har vi valt att endast göra en avläsning per provkropp eftersom fler körningar innebära en obetydlig variation av mätresultat.

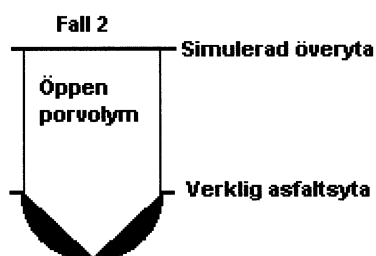


8.1.1 Felkällor

I 3dSS har vi två felkällor som skulle kunna påverka resultatet. Den första felkällan är den förenkling av asfaltsytan som vi gör när vid avläsning. Som kan ses i föregående kapitel använder vi oss av ett inkrement på 1 mm, vilket innebär att utrustningen skapar ett rutnät med nodpunkter jämnt fördelade med ett inbördes avstånd på 1 mm. Detta rutnät representerar sedan asfaltsytan. Frågan är då vad som händer mellan dessa nodpunkter. I Surfer förenklas dessa linjer till raka sträck. I verkligheten är dessa sträckor sällan raka. Det fel som då uppstår är den volymskillnad som fås i Surfer på grund av förenklingen. Detta fel kan delas upp i två fall.



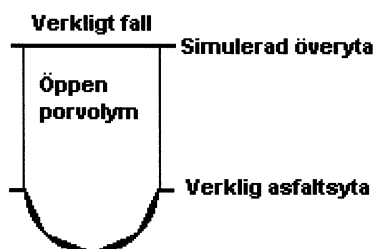
I detta fall kommer 3dSS att förenkla den cirkulära texturtoppen till en spetsig triangel. Det gör att det gröna fältet kommer att räknas in i den öppna porvolymen, vilket innebär att den beräknade porvolymen blir större än den verkliga.

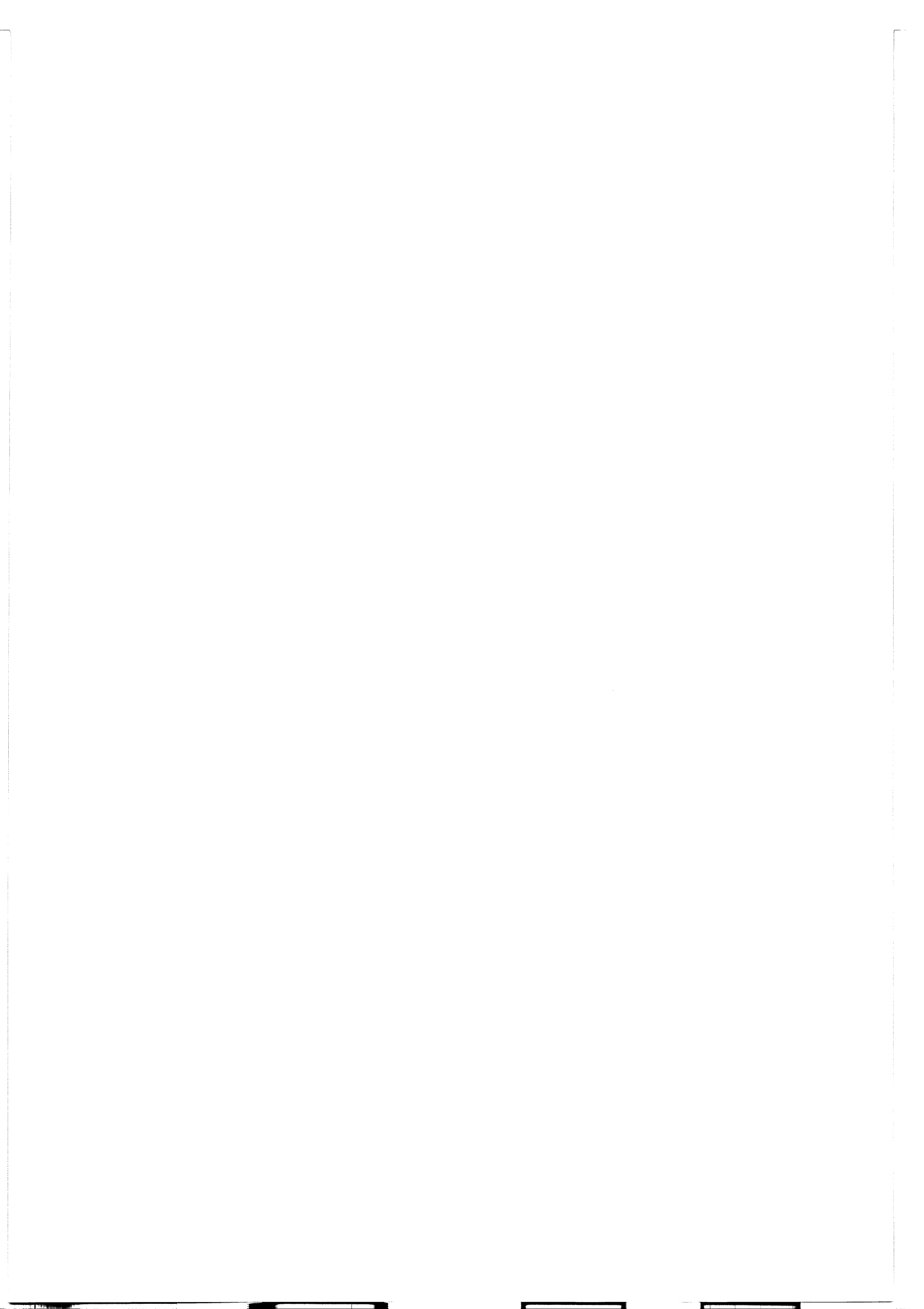


I det andra fallet ser vi på en dal i texturen. Samma sak gäller här, nämligen att 3dSS åskådliggör dalen med en triangel istället för en cirkel. Här får denna förenkling omvänd verkan. Den beräknade porvolymen blir mindre än den verkliga. Här finns emellertid två faktorer som gör denna förenkling försumbar.

För det första:

Vad vi har visat här är en topp respektive dal ur en textur med maximal stenstorlek på 2 mm. I ett fall med en ABS8 skulle denna textur ha en maximal stenstorlek på 8 mm. Den avlästa asfaltsytan följer då den verkliga asfaltsytan på ett mycket bättre sätt eftersom fler nodpunkter finns i dalen resp. toppen. Felet blir då mindre eftersom förenklingen ger en mindre inverkan på den öppna porvolymen.





För det andra:

Felet i porvolym blir lika stort för en förenklad topp som för en förenklad dal. Om vi antar att en asfaltsyta på 200x200 mm har lika många toppar som dalar (ett mycket gått antagande) så kommer felet att ta ut varandra. Det tillskott i porvolym som fås vid förenklingen av toppar är lika stor som den förlust av porvolym som fås vid förenklingen av dalar.

Den andra felkällan är den volymapproximation som görs i Surfer. Som vi har sagt innan fås resultatet av beräkningen i Surfer som en rapport med nyckeltal. I denna rapport förekommer tre volymer, en för varje approximation. Om dessa tre approximationer överensstämmer väl så är området mellan asfaltsytan och den simulerade överytan väldefinierad, och Surfer kan beräkna volymen på ett tillförlitligt sätt. I de beräkningar vi har gjort avviker den största volymberäkningen från den minsta med maximalt 5 promille.

Detta är volymberäkningen för den första körningen av provkropp 1 i precisionsanalysen. Hela rapporten återfinns som bilaga.

VOLUMES

Approximated Volume by

Trapezoidal Rule: 7244.85675

Simpson's Rule: 7244.24233333

Simpson's 3/8 Rule: 7242.11567188

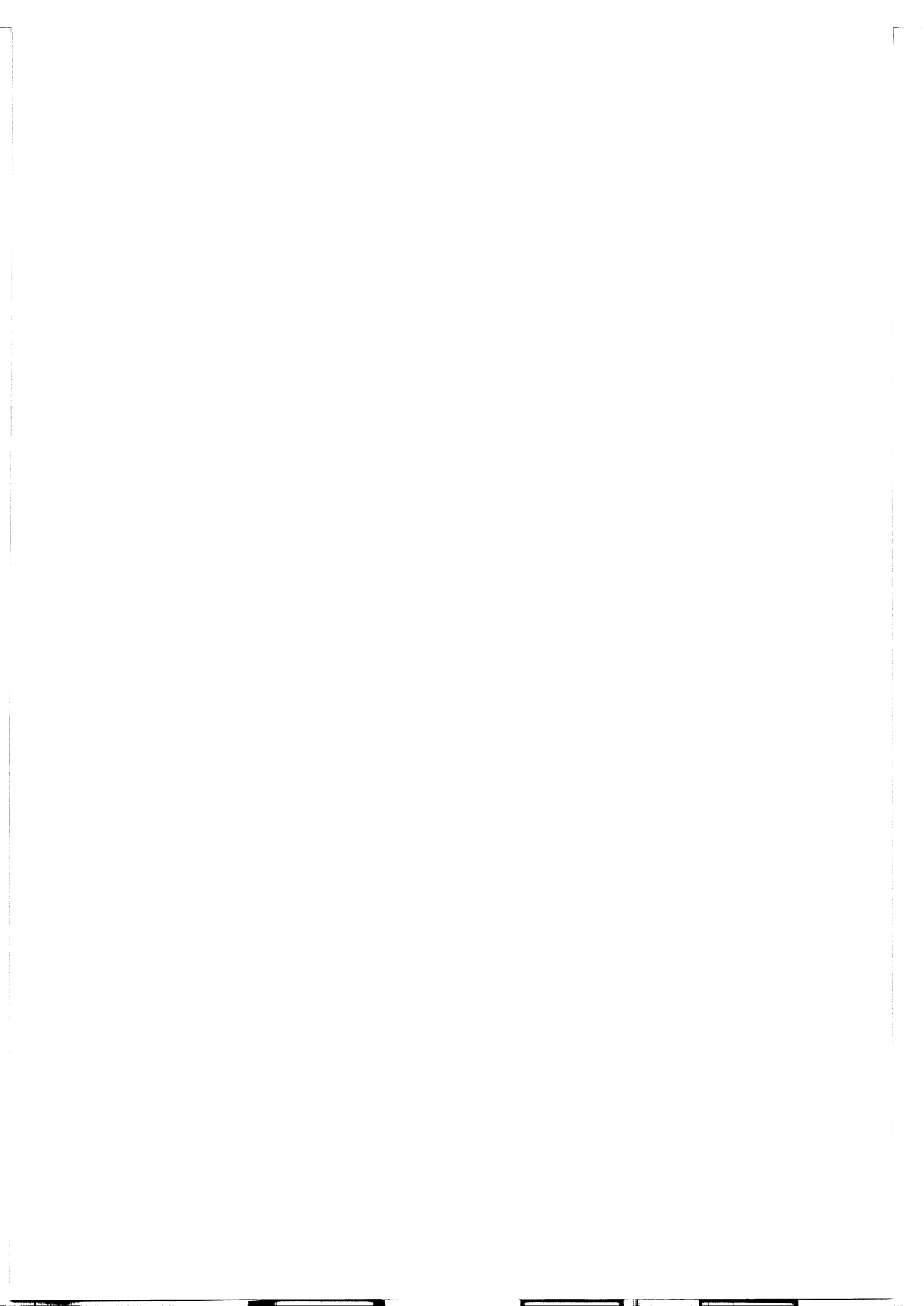
Här skiljer det 4 promille mellan största och minsta volymberäkning. När vi beräknar medeltexturdjupet dividerar vi volymen med den inlästa arean. I detta fall har vi läst in en yta på 100x100 mm. Denna area kan vi vara mycket säkra på. Dels för att vi har dubbla system i utrustningen för att ange XY-koordinater, varav linjalerna har en upplösning på 5 mikrometer, och dels för att vi i Surfer har angett att vi skall beräkna volymen över exakt denna area. Om vi sedan gör antagandet att den verkliga volymen ligger mellan största och minsta approximationen (även detta är ett mycket gått antagande eftersom approximationerna är valda för att ge ett värde i överkant och ett i underkant) så kan vi se hur detta påverkar medeltexturdjupet.

I värsta fall skulle den verkliga volymen vara 7242.115...mm³ och vi använder oss av 7244.856...mm³ i beräkningen. Detta skulle innebära att det medeltexturdjup som vi beräknar med 3dSS skulle avvika från det verkliga (absolut rätt volym) med:

$$(7244.856... - 7242.115...)/10000=0.00027...mm$$

Detta fel skulle kunna påverka exaktheten på en tusendels millimeter. Därför kan vi säga att vår metod ger ett medeltexturdjup som är tillförlitligt med en hundraedels millimeter. Som vi sa innan så är avvikelserna mellan största och minsta volymapproximation aldrig större än 5 promille med 3dSS, vilket innebär att vi alltid kan ange medeltexturdjupet med en hundraedels millimeters noggrannhet.

En av anledningarna till detta lilla feltillskott beror på att vi känner arean mycket väl. Förhållandet är det omvända i Sand Patch. Här är volymen relativt säker medan arean skall bestämmas med en linjal på 5 mm när. Detta ger en större differens i nämnaren och därmed fås en hävstångseffekt på felet.

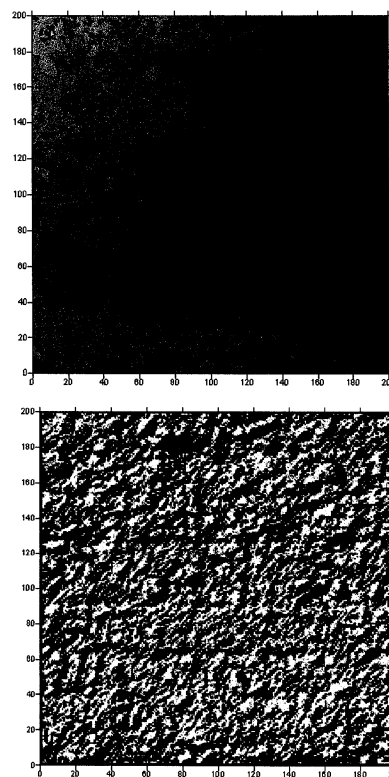
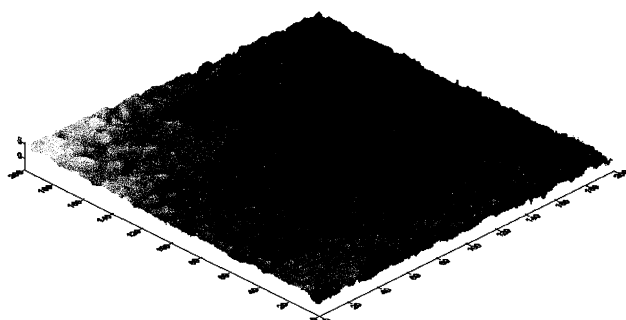


8.2 ABT 11 - Resultat

ABT är en förkortning för tät asfaltbetong. Massan har en kontinuerlig stengradering, där siffran efter anger ett mått på maximal stenstorlek.

Efter att vi upptäckt problemen med att göra Sand Patch på senhösten kom vi fram till att vi skulle gjuta våra egna provkroppar på labbet. Vi använde oss av färdig asfaltmassa som vi valsade ut till skivor av storleken 400x500 mm och ungefär 50 mm tjocklek. Detta innebar att vi kunde utföra Sand Patch på provkropparna utan problem. Valsen bestod av två gummihjul som pressades över massan i ett regelbundet mönster.

Till höger har vi ritat upp två bilder med de inlästa värdena från Scanning som grund. Nedan en stomritning kombinerad med en konturritning.



Figur 8.3. Över: Stom + konturritning. Till höger: En kontur och en relief av ABT 11.

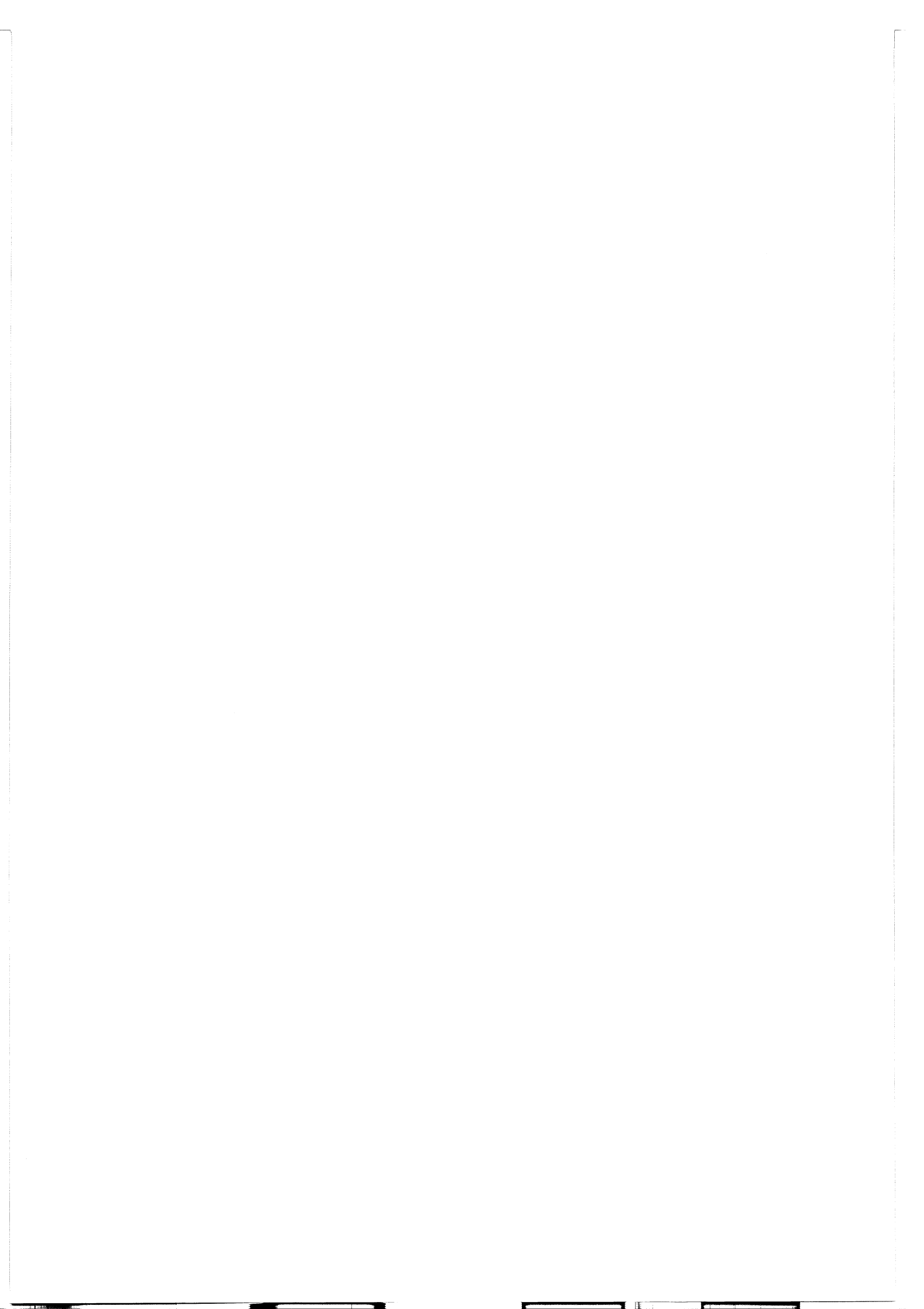
ABT 11				
Scanning				Zmax
Mätområde [mm]	Mäthastighet [mm/s]	Inkrement X [1/100 mm]	Inkrement Y [1/100 mm]	Storlek på varje delyta [mm]
200x200	10	100	100	5.5x5.5

Tabell 8.3. Inställningar för de viktigaste parametrarna.

Vi har beräknat MTD som angivet i Metodbeskrivning kap 7.

Resultat		
Volym [mm³]	26810.9	MTD =0.670mm
Area [mm²]	40000	

Tabell 8.4 Resultat av mätningen.



8.2.1 Analys av resultat

Utfall	
Sand Patch	Vår Metod
MTD =0.682mm	MTD =0.670mm

Tabell 8.5 Jämförelse mellan Sand Patch och 3dSS.

Vi har använt oss av samma ingående variabler och formel som hos Sand Patch vid beräkning av MTD, och erhållit resultat som överensstämmer mycket väl.

Anledning till inställningar hos lasern gällande storleken på avläst yta, 200x200 mm, gjordes dels med hänsyn till att den motsvarar storleken hos ytan på Sand Patch-cirkeln, och dels på grund av det maximala avläsningsområdet är 250x220 mm.

Utrustningen har en fysik begränsning i form av överföringshastigheten mellan systemlådan och datorn. Därför kan vi inte läsa av en yta snabbare än 10 mm/s med ett inkrement på 1 mm. Lägre hastighet är inte av intresse då noggrannheten vid inläsning ej påverkas, eftersom laserhuvudet läser in 50 000 mätpunkter per sekund. Vi valde rutstorlek i linje med den tidigare teori som vi framlagt i kapitel 4.3, till halva maximala stenstorleken. I detta fall 5.5x5.5 mm. Detta antagande styrks genom att studera hur vårt MTD varierar med vald rutstorlek. Vi har här använt ABT 11:s Sand Patch värde som referensvärde. Genom att ta skillnaden mellan vårt referensvärde och olika MTD:n, kan det absoluta felet åskådliggöras som en funktion av vald rutstorlek. I diagrammet ses att vid rutstorlek på 5.5x5.5 mm är absoluta felet som minst.

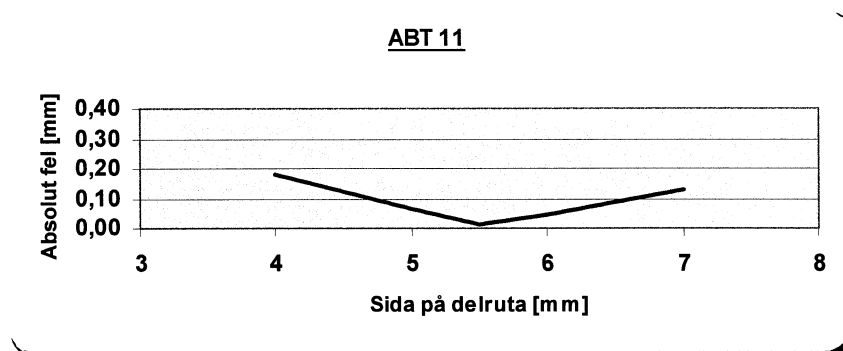
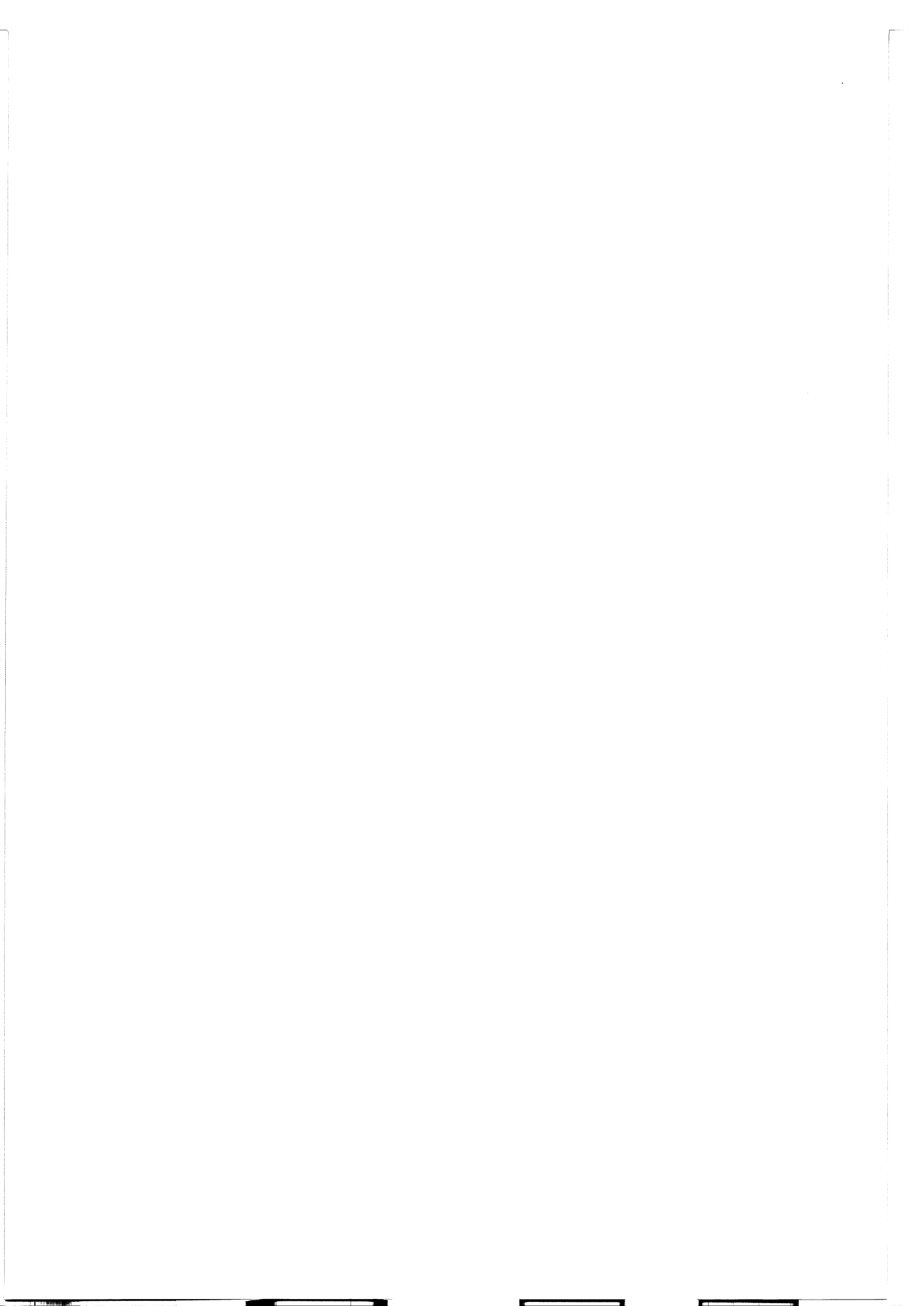


Diagram 8.1 Absolut fel som funktion av rutstorlek.

Dessutom har vi utnyttjat resultatrapporten från Surfer som riktmärke (Se bilaga). Surfer talar nämligen om hur stor negativ volym som fås, alltså den volym som bildas där vår simulerade överyta ligger under asfaltytan. Om den negativa volymen blir förhållandevis stor innebär det att överytan på många ställen har passerat under asfaltytan. Den negativa volymen ökar med minskad rutstorlek. Det innebär samtidigt att om vi har för stora rutor kommer överytan att ligga för högt, den positiva volymen blir för stor och därmed blir även medeltexturdjupet för stort.



Den negativa volymen för ABT 11 utgör 0.6 % av den positiva, vilket indikerar på att vår simulerade överyta varken ligger för högt, då den negativa volymen blir större än 0, eller för lågt eftersom den negativa volymen är försumbar. Att negativ volym existerar i vår metod är ofrånkomligt då asfaltytan är av oregelbunden karaktär. Nedan ser vi hur överytans position beror av rutstorleken. Optimalt är då överytan ligger på en höjd som tangerar asfaltytans toppar.

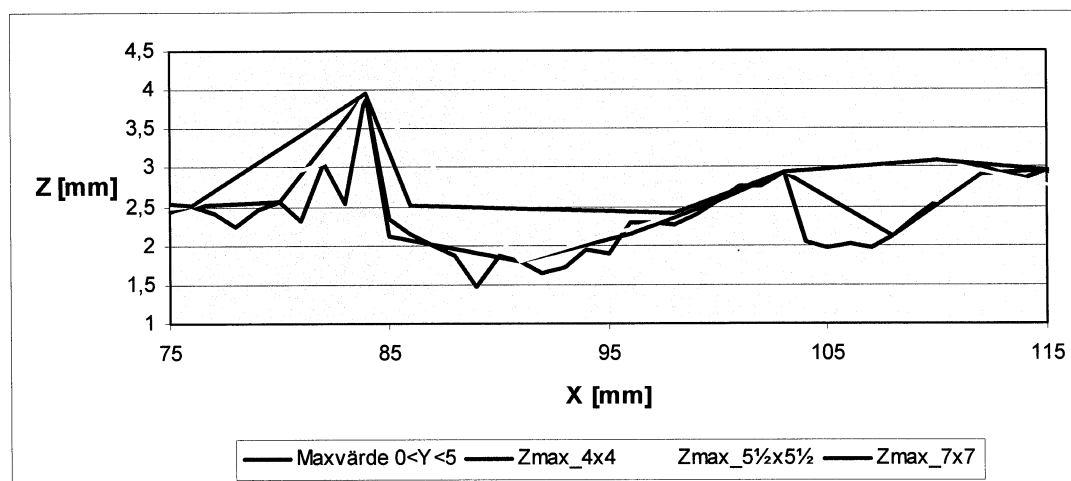
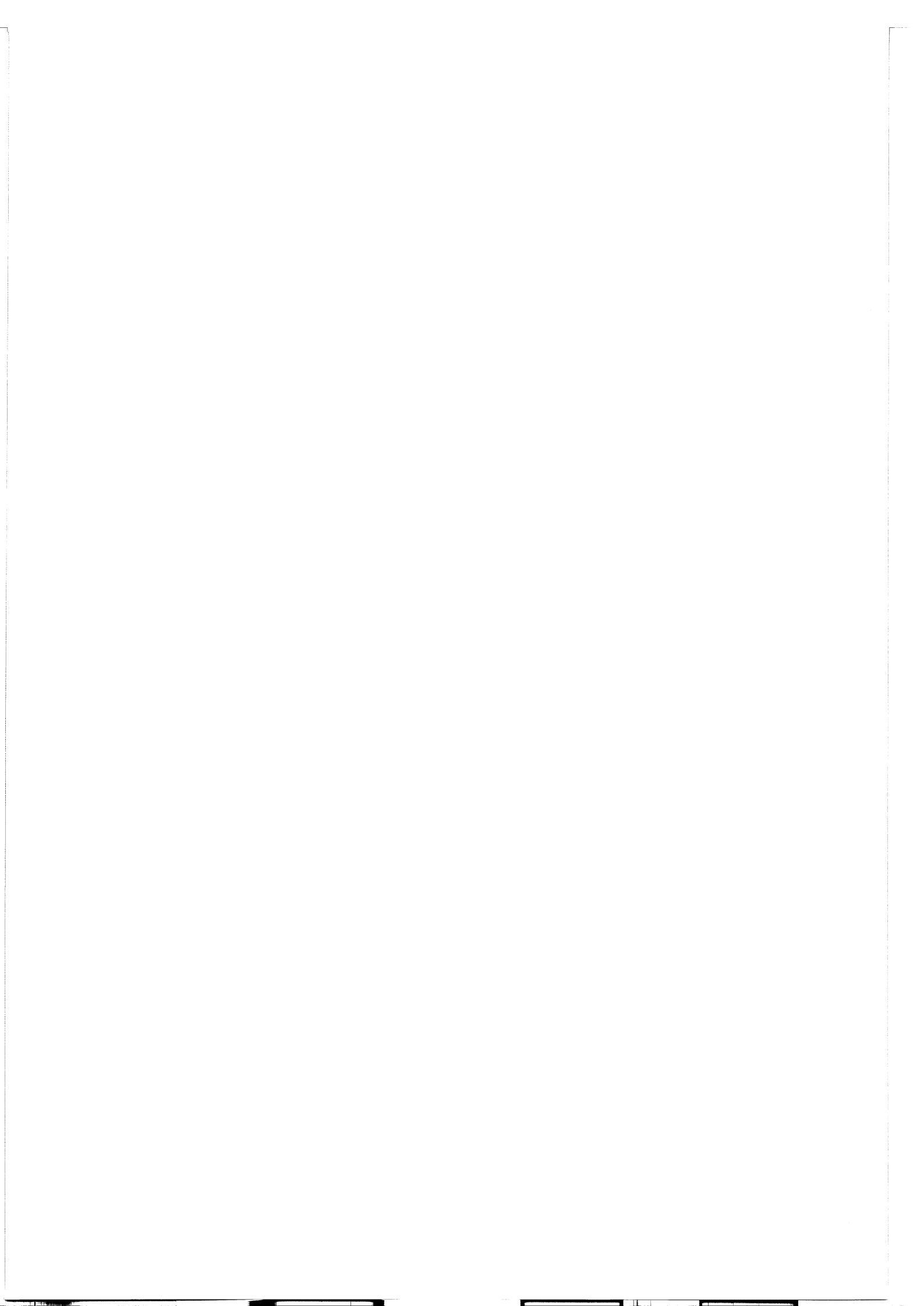


Diagram 8.2 Olika rutstorlekars inverkan på överytan. OBS, olika skalor på X och Z.

Detta är ett snitt av asfaltytan.

Linjen för maxvärde motsvarar en yta av de första fem svepen i Y-led längs x-axeln. I diagrammet ser vi att rutstorleken 4x4 skapar en överyta som ligger för lågt och att rutstorleken 7x7 ligger för högt. Detta är en uppförstoring av intervallet $75 < X < 115$ av diagram 8.3.

Eftersom test har utförts inomhus i neutral miljö är de yttre faktorerna minimerade mot vad de varit om mätning gjorts i fält. Provkropparna tillverkades i labb vars resulterande MTD:n kan avvika från vad som kan anses vara representativt för just en sådan asfaltstyp, men syftet har varit att jämföra metoderna inbördes. Lutning hos provkropparna vid avläsning med lasern utgör inga problem. Den relativa volymskillnaden beräknas i Surfer med hjälp av vår simulerade överyta som har samma lutning som asfaltytan, därför behöver provkroppen ej ligga parallellt med ramen. Provkroppens yta är rengjord i labbet innan mätning. Vi har använt oss av vit färgbeläggning vid avläsning som applicerats genom att spraya en mycket tunn film. Dess påverkan är försumbar i detta sammanhang på grund av dess ringa mängd, dessutom görs relativa jämförelser mellan metoderna och ytbehandlingen har existerat vid båda mätningarna.



ABT 11

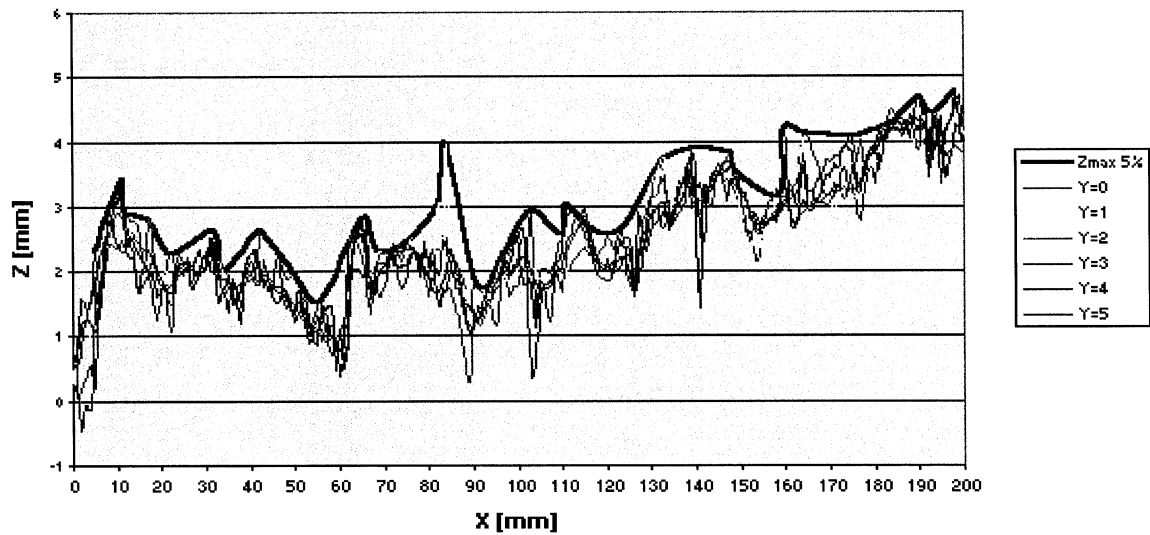
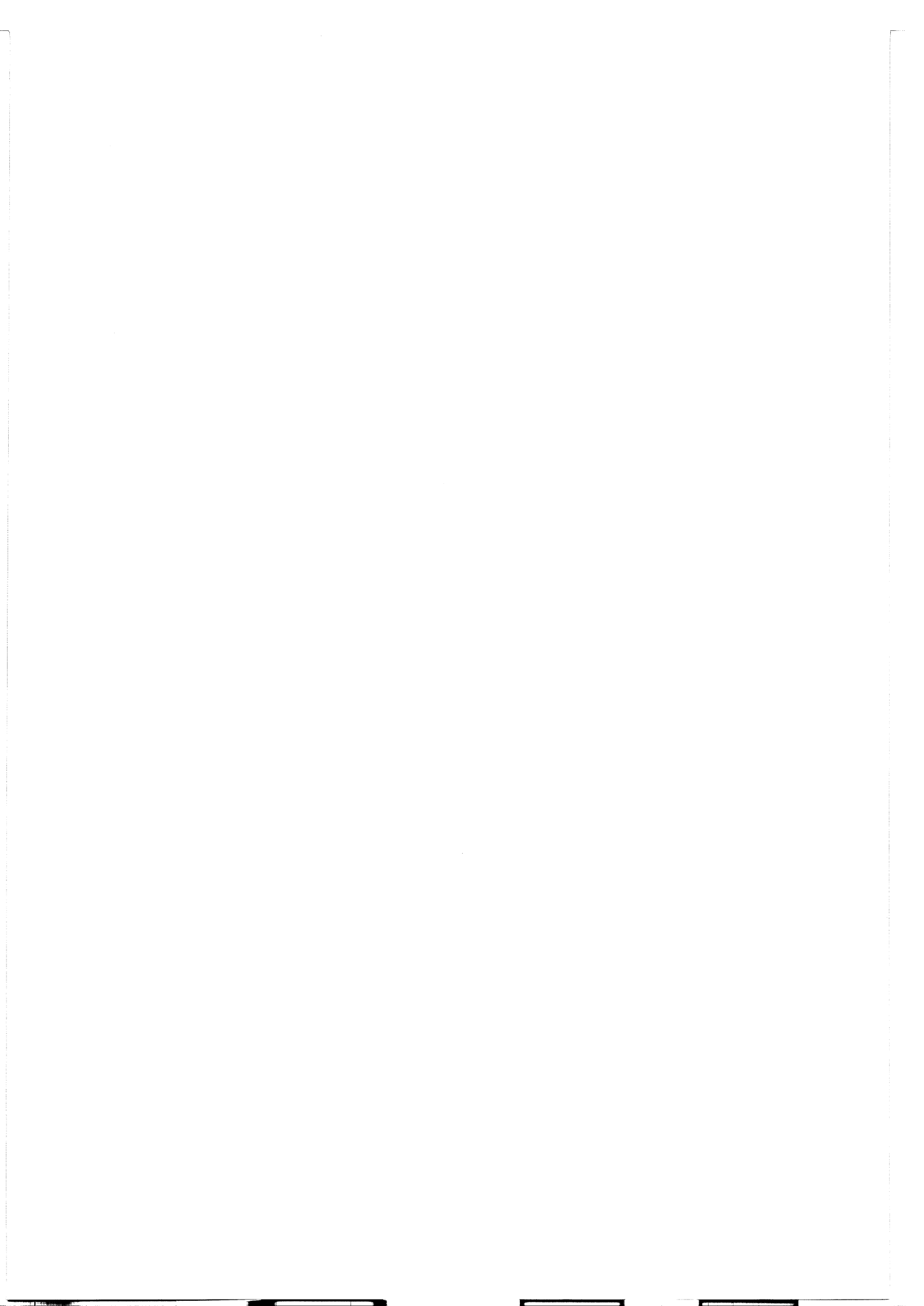


Diagram 8.3. Överytan i förhållande till profiltopparna.

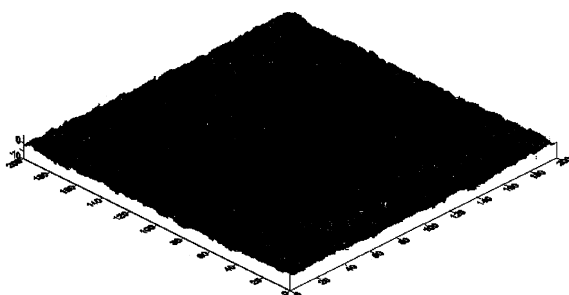
Diagram på hur vår simulerade överyta, med en rutstorlek på $5\frac{1}{2} \times 5\frac{1}{2}$ mm, tangerar de lokala profiltopparna längs med provkroppens ena sida som är 200 mm. De olika kurvorna, Y=0 till Y=5 visar variationen på djupet. Vi har här valt att redovisa det tvådimensionellt för att kunna demonstrera hur överytan lägger sig i förhållande till den oregelbundna asfaltytan hos ABS 11. Diagrammet finns i större storlek i bilaga.



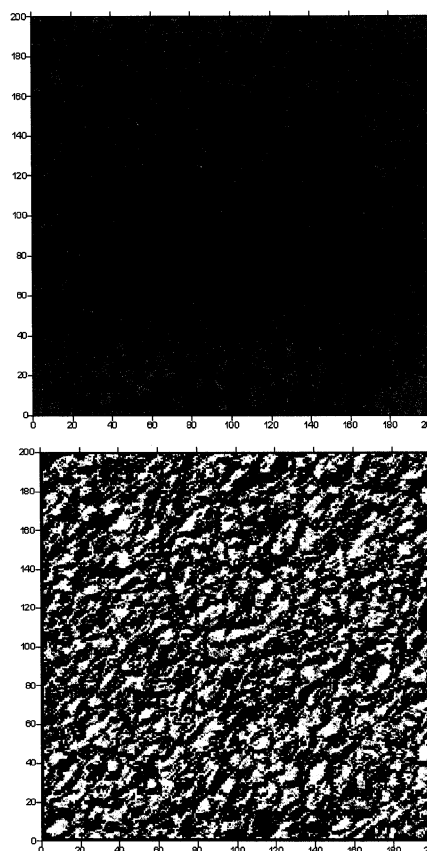
8.3 ABS 11- Resultat

Stenmaterialet i en ABS-massa har en diskontinuerlig gradering, vilket innebär att det lättare uppstår hålrum. Det grova stenmaterialet bildar en skelettstruktur i beläggning. Vi använde oss av färdig asfaltsmassa som vi valsade ut till skivor av storleken 400x500 mm och ungefär 50 mm tjocklek. Detta innebar att vi kunde utföra Sand Patch på provkropparna utan problem.

Till höger har vi ritat upp två bilder med de inlästa värdena från Scanning som grund. Nedan en kombination av stomritning och konturritning.



Figur 8.4. Stomritning kombinerad med konturritning



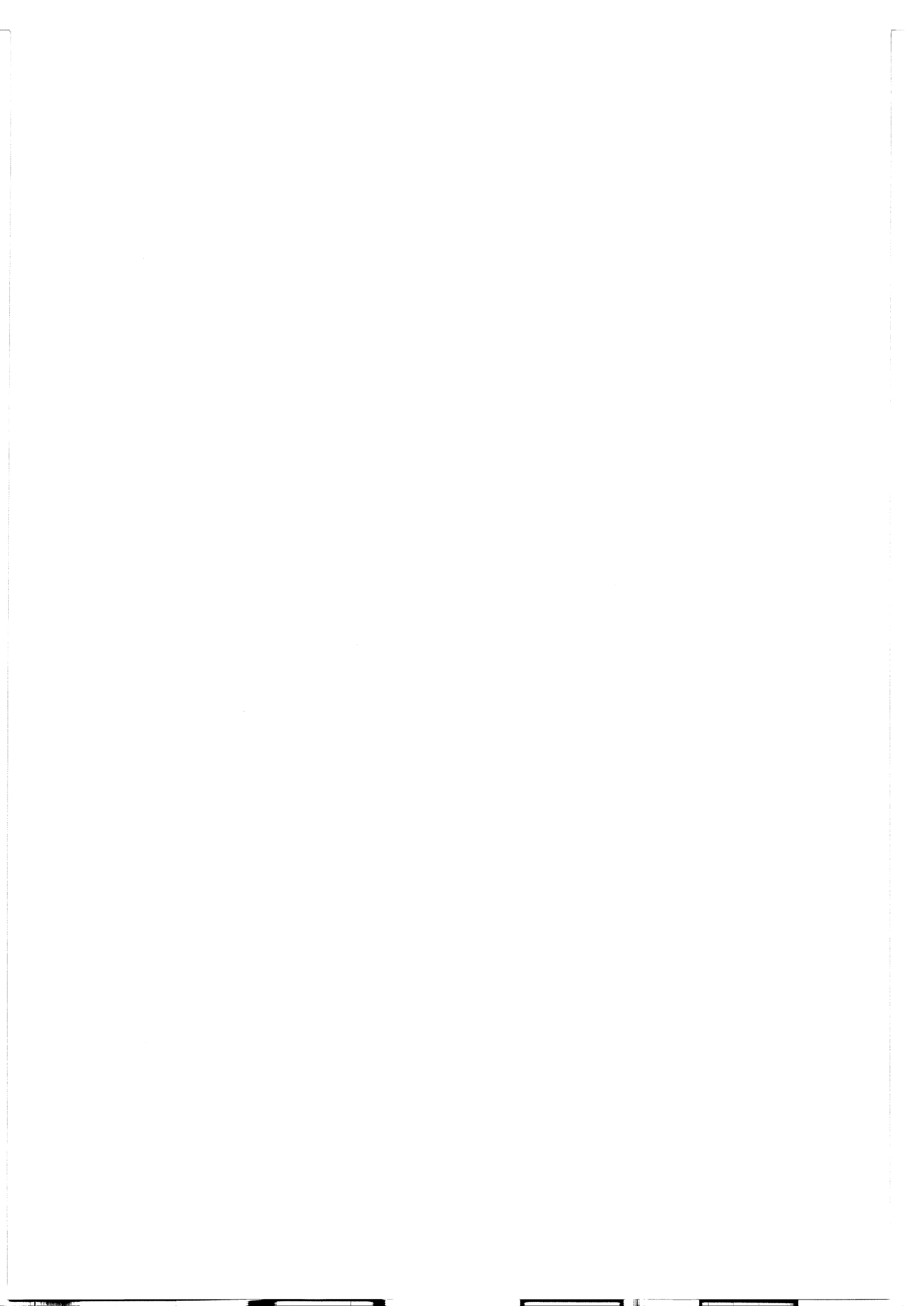
Figur 8.5. Konturritning och en relief av ABS 11.

ABS 11				
Scanning				Zmax
Mätområde [mm]	Mäthastighet [mm/s]	Inkrement X [1/100 mm]	Inkrement Y [1/100 mm]	Storlek på varje delyta [mm]
200x200	10	100	100	5.5x5.5

Tabell 8.6. Inställningar för de viktigaste parametrarna.

Resultat		
Volym [mm³]	44160.9	MTD = 1.104mm
Area [mm²]	40000	

Tabell 8.7. Resultat av mätning.



8.3.1 Analys av resultat

Utfall	
Sand Patch	Vår Metod
MTD = 1.045 mm	MTD = 1.104mm

Tabell 8.8. Resultat av mätning.

För ABS 11 avviker vår metod med 6 promille från Sand Patch, eller 0.059 mm för framtagna MTD. Vi läste av en yta på 200x200 mm vilket är den optimala ytan med tanke på tid, motsvarande storlek hos ytan på Sand Patch-cirkeln, och fysiska begränsningarna hos utrustningen.

Vi sätter rutstorleken till halva maximala stenstorleken. Emellertid visar jämförelsen att erhållet resultat avvek från förväntat resultat. Som kan ses i diagrammet nedan är det absoluta felet mindre vid en rutstorlek på 5x5 mm, än vid 5.5x5.5mm. Detta kullkastar inte vår teori eftersom, det i sammanhanget är ett mycket litet fel. Det kan bero på avläsningsfel vid uppskattning av Sand Patch medeldiametern med 1.5 mm.

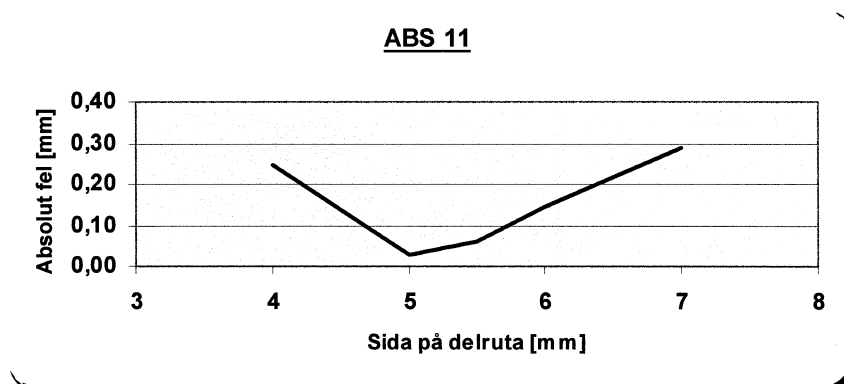
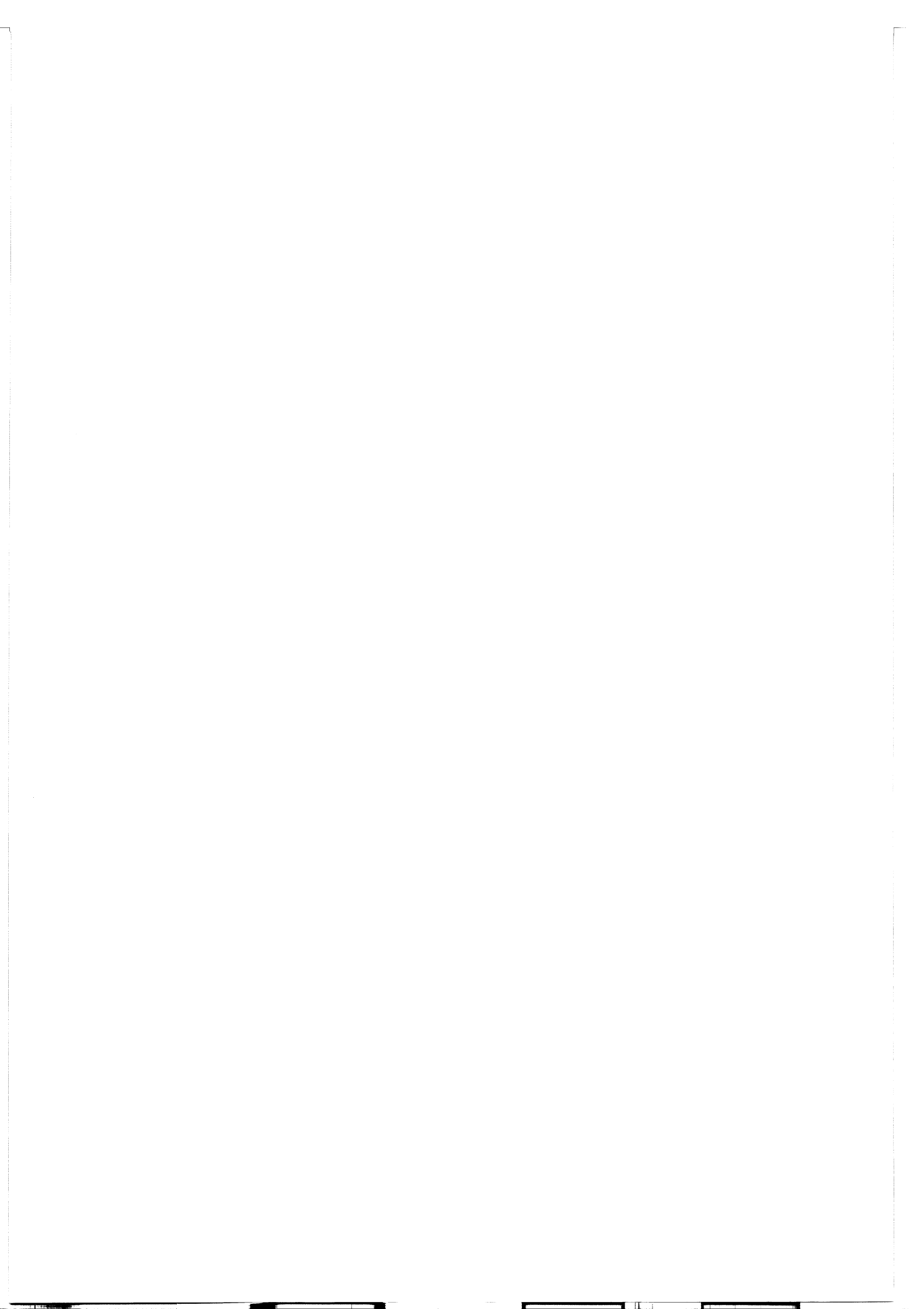


Diagram 8.4. Absoluta felet som en funktion av rutstorlek.

Den negativa volymen för ABS 11 utgör 0.5 % av den positiva, vilket indikerar på att vår simulerade överyta varken ligger för högt, då den negativa volymen är större än 0, eller för lågt eftersom den negativa volymen är försumbar. Att negativ volym existerar i vår metod är ofrånkomligt då asfaltytan är av oregelbunden karaktär. Nedan ser vi hur överytans position beror av rutstorleken. Optimalt är då överytan ligger på en höjd som tangerar asfaltytans toppar.



Nedan ser vi hur överytans läge beror av rutstorleken.

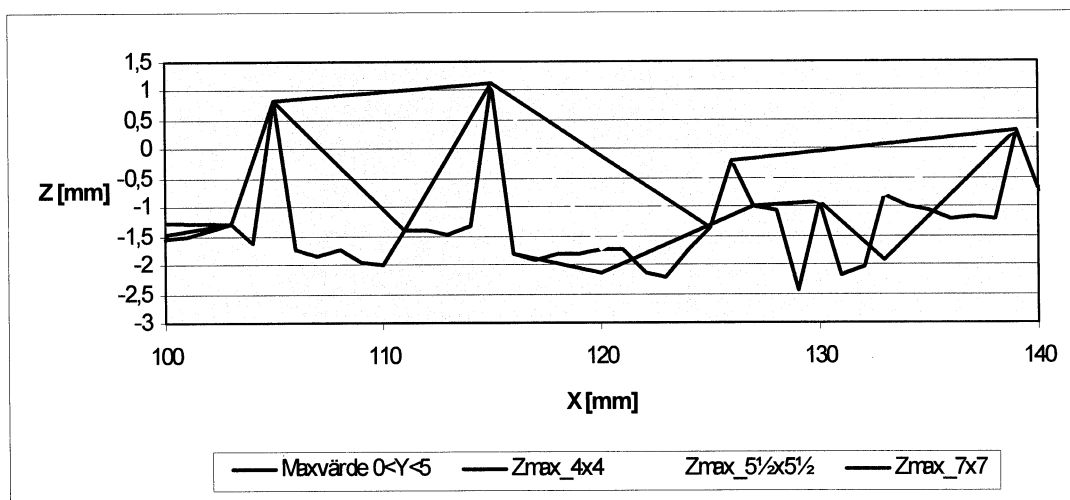


Diagram 8.5 Olika rutstorlekar inverkan på överytan. OBS, olika skalor på X och Z.

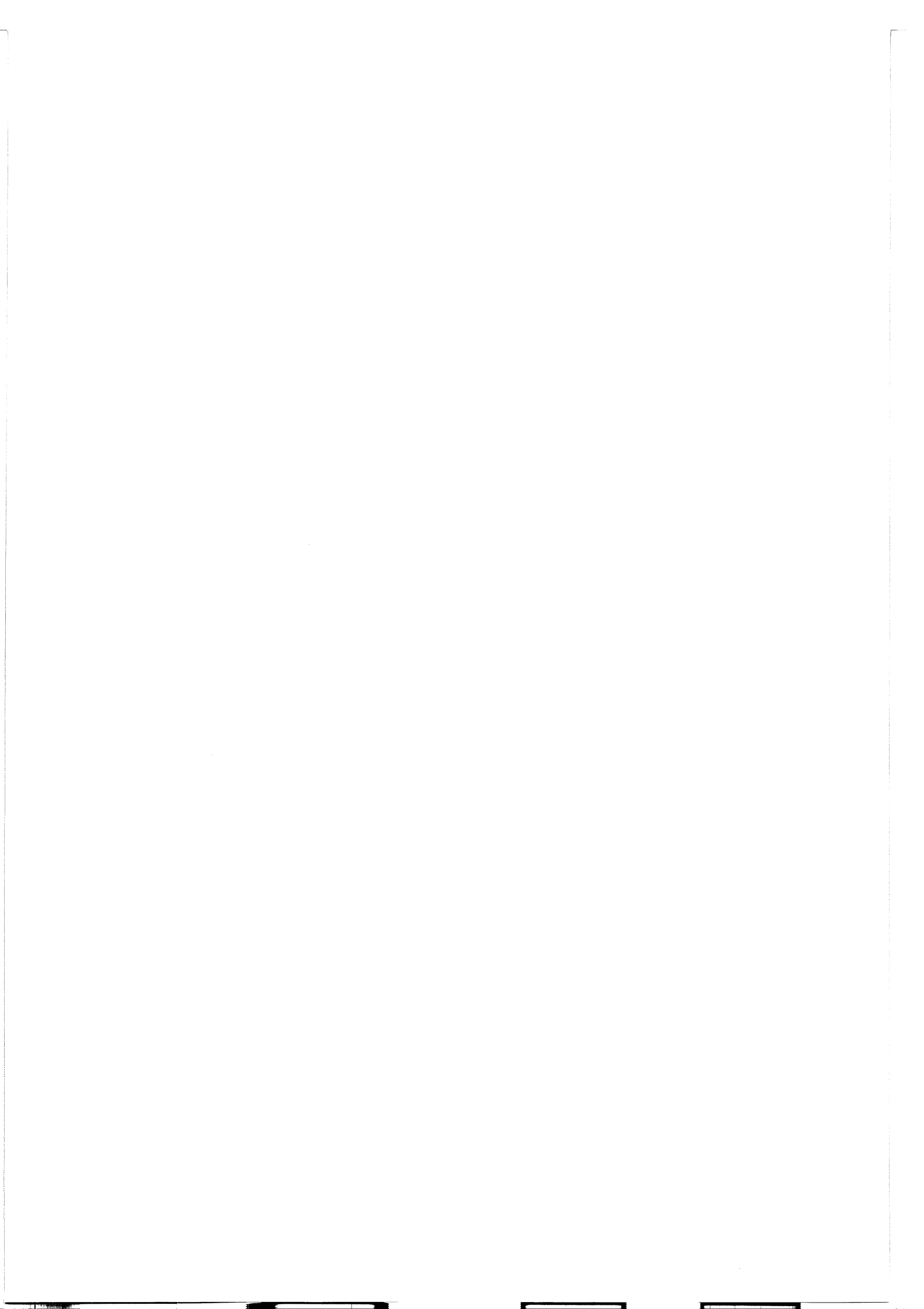
Detta är ett snitt vinkelrätt ytan hos ABS 11, linjen för maxvärdet representerar den yta som bildas av de första sex svepen parallellt med X-axeln. I diagrammet ser vi att rutstorleken 4x4 skapar en överyta som ligger för lågt och att rutstorleken 7x7 ligger för högt.

Optimalt är då överytan ligger på en höjd som tangerar asfaltytans lokala profiltoppar. Här kan vi se att den kurvan, $Z_{max_5\frac{1}{2} \times 5\frac{1}{2}}$ mm, uppfyller detta kriteriet.

Detta är en uppförstoring av Diagram 8.6 i intervallet $100 < X < 140$

Eftersom test har utförts inomhus i neutral miljö är de yttre faktorerna minimerade.

Provkropparna tillverkades i labb vars resulterande MTD:n kan avvika från vad som kan anses vara representativt för just en sådan asfaltstyp, men syftet har varit att jämföra metoderna inbördes. Lutning hos provkropparna vid avläsning med lasern utgör inga problem. Den relativa volymskillnaden beräknas i Surfer med hjälp av vår simulerade överyta som har samma lutning som asfaltytan, därför behöver provkroppen ej ligga parallellt med ramen. Provkroppens yta är rengjord i labbet innan mätning. Vi har använt oss av vit färgbeläggning vid avläsning som applicerats genom att spraya en mycket tunn film. Dess påverkan är försumbar i detta sammanhang på grund av dess ringa mängd, dessutom görs relativa jämförelser mellan metoderna och ytbehandlingen har existerat vid båda mätningarna.



ABS 11

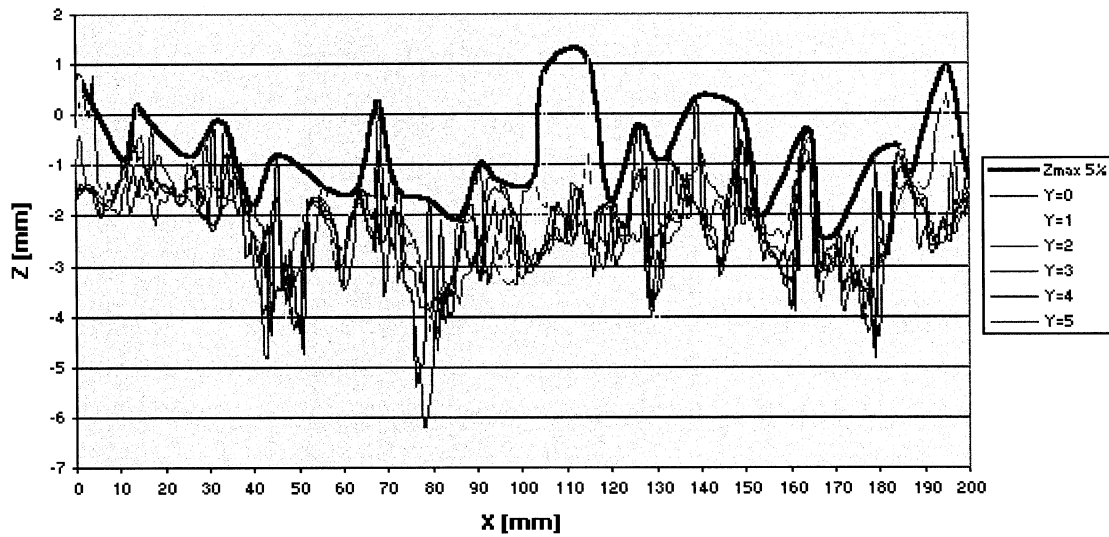
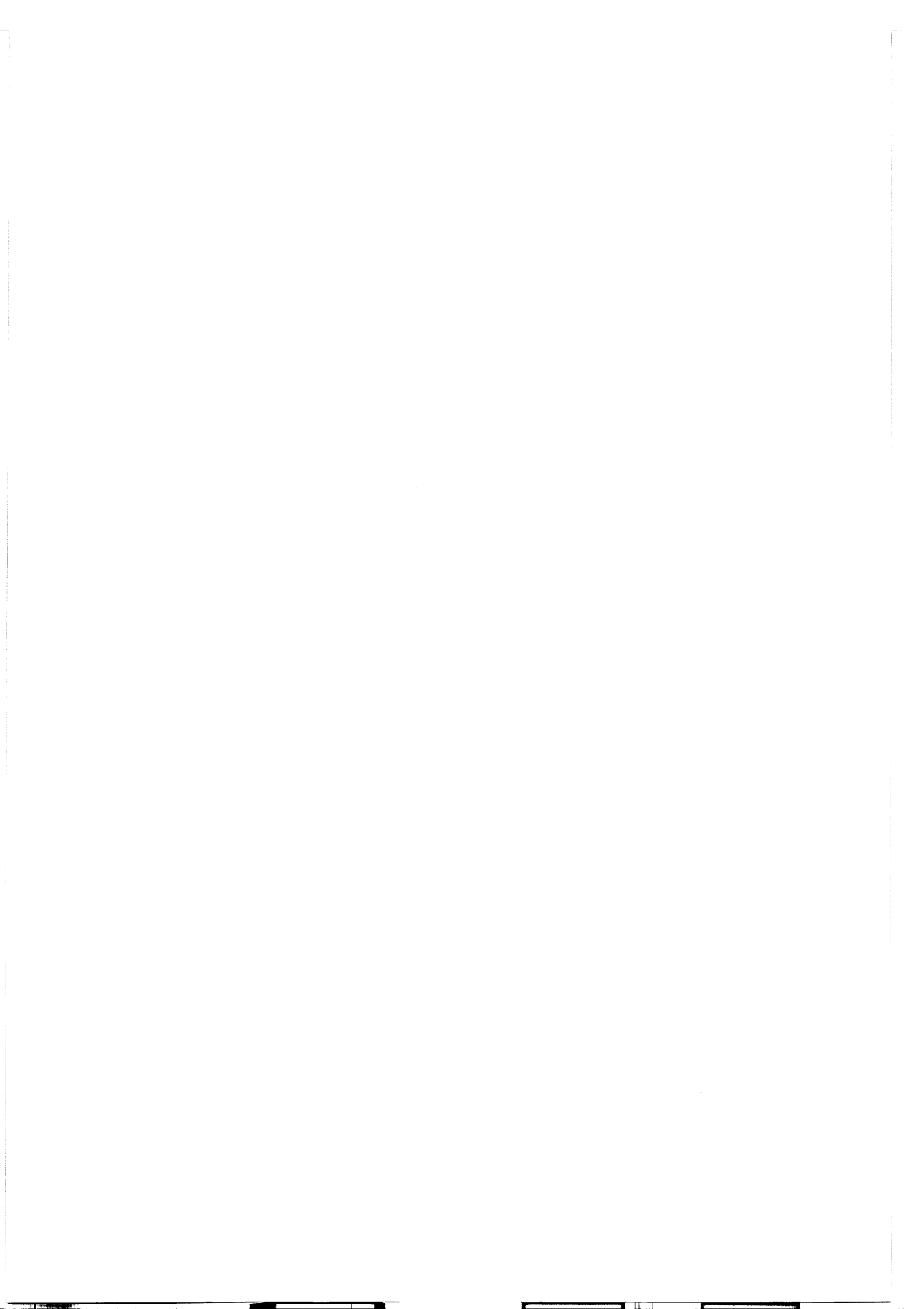


Diagram 8.6 Överytan i förhållande till profiltopparna.

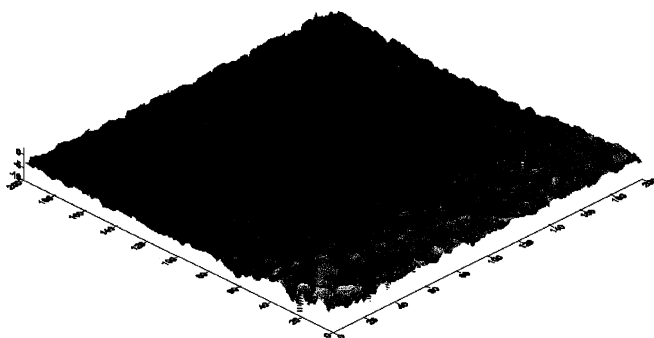
Diagram på hur vår simulerade överyta, med en rutstorlek på $5\frac{1}{2} \times 5\frac{1}{2}$, tangerar de lokala profiltopparna längs med provkroppens ena sida som är 200 mm. De olika kurvorna, Y=0 till Y=5 visar variationen på djupet. Vi har här valt att redovisa det tvådimensionellt för att kunna demonstrera hur överytan lägger sig i förhållande till den oregelbundna asfaltytan hos ABS 11. Diagrammet finns i större storlek som bilaga.



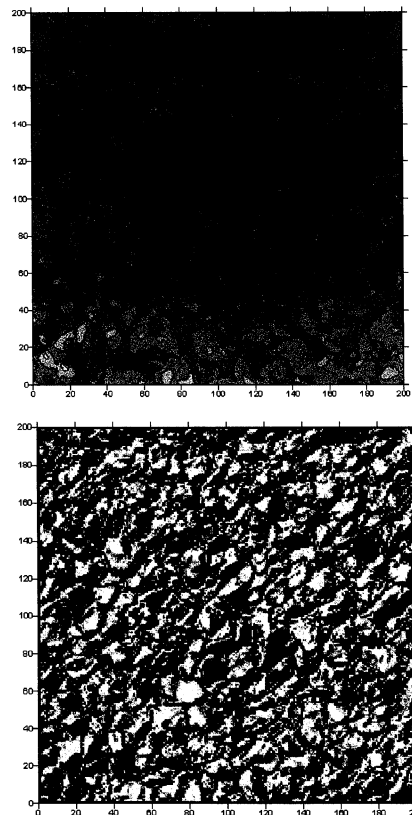
8.4 ABS 16 - Resultat

Detta är en stenrik asfaltsbetong med största stenstorlek 16 mm. Det innebär att den har en grövre yttextur än tidigare provkroppar. Vi använde oss av färdig asfaltsmassa som vi valsade ut till skivor av storleken 400x500 mm och ungefär 50 mm tjocklek. Detta innebär att vi kunde utföra Sand Patch på provkropparna utan problem.

Nedan har vi ritat upp en kombination av stomritning och konturritning. Konturritningen ligger då över stomritningen för att ge en yta. Till höger har vi ritat upp två bilder med de inlästa värdena från Scanning som grund.



Figur 8.6 Stomritning kombinerad med konturritning



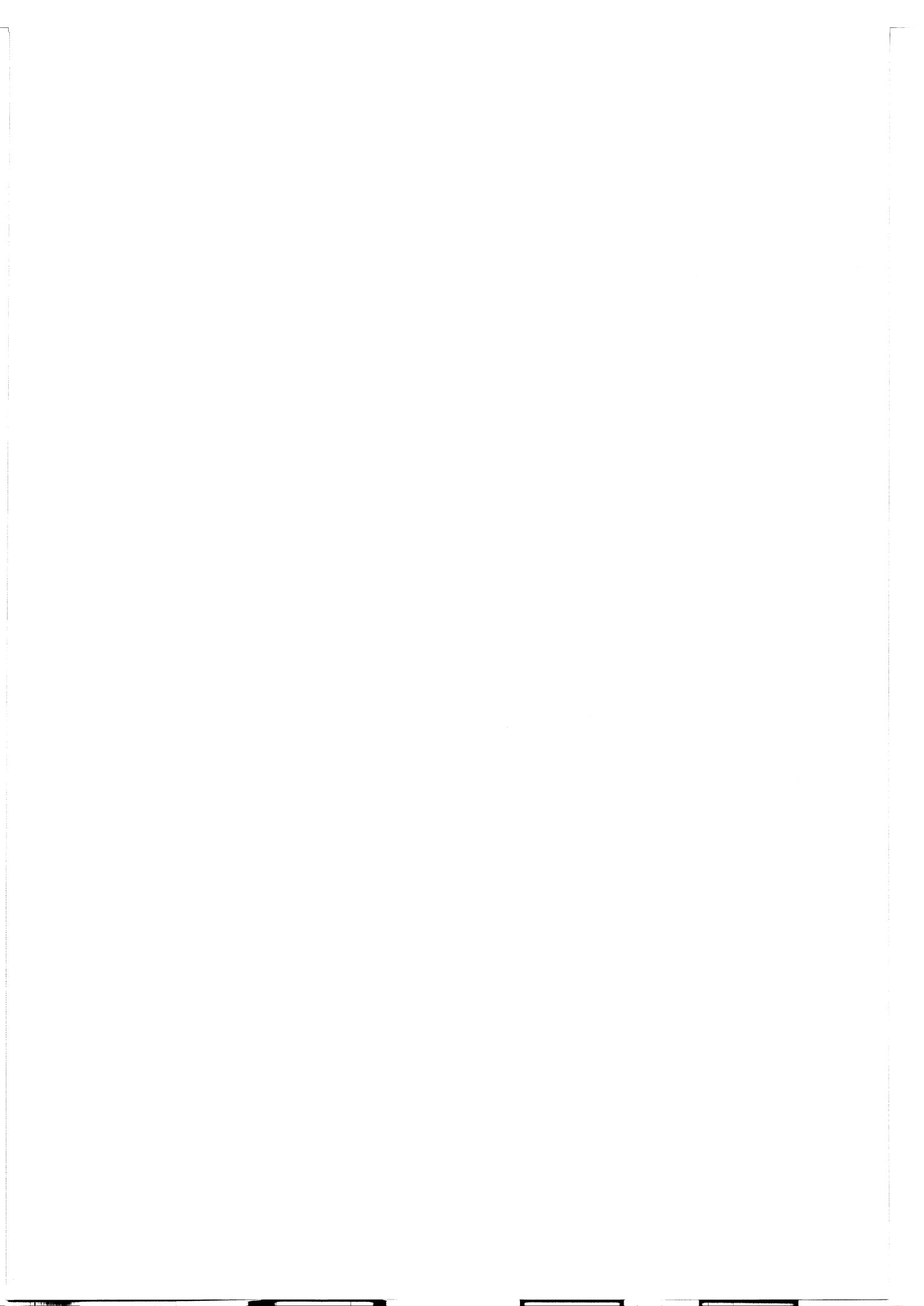
Figur 8.7 En kontur och en relief av ABS 16.

ABS 16				
Scanning				Zmax
Mätområde [mm]	Mäthastighet [mm/s]	Inkrement X [1/100 mm]	Inkrement Y [1/100 mm]	Storlek på varje delyta [mm]
200x200	10	100	100	8x8

Tabell 8.9 Inställningar för de viktigaste parametrarna.

Resultat		
Volym [mm³]	68121.1	MTD = 1.703mm
Area [mm²]	40000	

Tabell 8.10 Resultat av mätningen.



8.4.1 Analys av resultat

Utfall	
Sand Patch	Vår Metod
MTD = 1.74 mm	MTD = 1.703mm

Tabell 8.11 Jämförelse mellan Sand Patch och 3dSS.

För ABS 16 avviker vår metod med 2% från Sand Patch, eller 0.037 mm i MTD. Vi läste av en yta på 200x200 mm. I detta fall blev Sand Patch-arean ungefär hälften av den area vi läste av. Vi kompenserade detta genom att göra flera Sand Patch-mätningar över hela den avlästa ytan.

Vår metod bygger på att ansätta rutstorleken i överytan till halva maximala stenstorleken. Eftersom den maximala stenstorleken hos en ABS 16 är 16 mm så följer att rutstorleken sattes till 8x8 mm. En granskning av diagrammet nedan visar att det absoluta felet mellan vår metod och motsvarande Sand Patch-värde minimeras när rutstorleken är 8x8 mm.

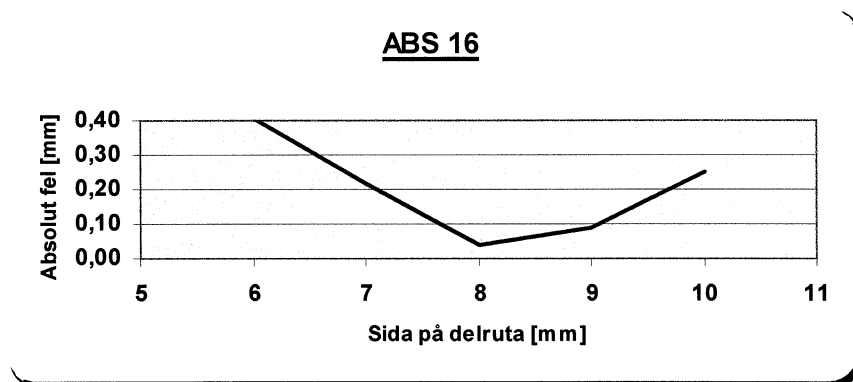
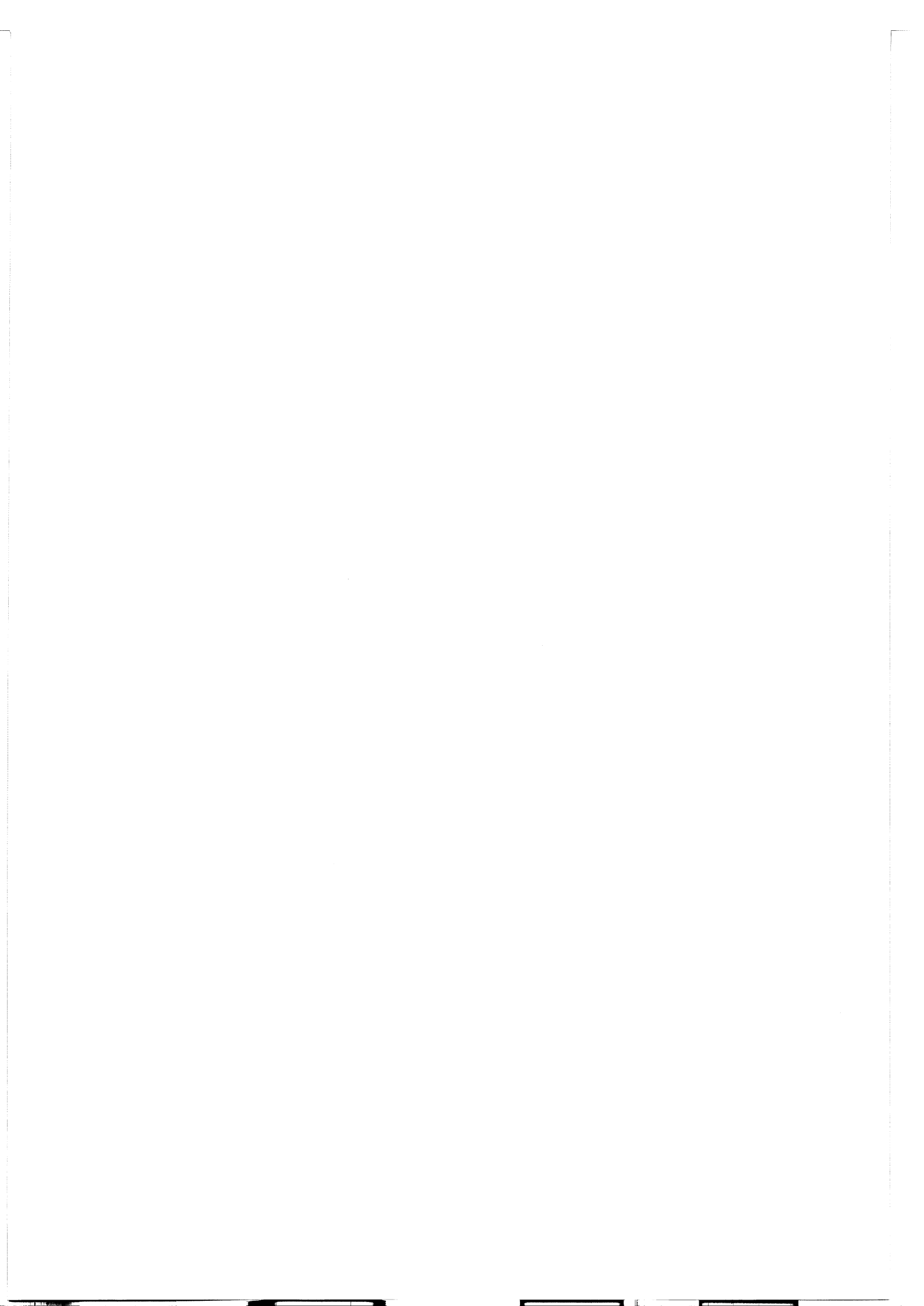


Diagram 8.7 Absoluta felet som funktion av rutstorlek.

Den negativa volymen för ABS 16 utgör 0.3 % av den positiva, vilket visar att vår överyta följer asfaltytan på ett mycket bra sätt. Detta kan vi säga eftersom vi har en negativ volym, vilket innebär att överytan inte har hamnat alldeles för högt, och att den negativa volymen är försumbar i sammanhanget. Att negativ volym existerar i vår metod är ofrånkomligt då asfaltytan är av oregelbunden karaktär. Nedan ser vi hur överytans position beror av rutstorleken. Optimalt är då överytan ligger på en höjd som tangerar asfaltytans toppar.



Nedan ser vi hur överytans position beror av rutstorleken.

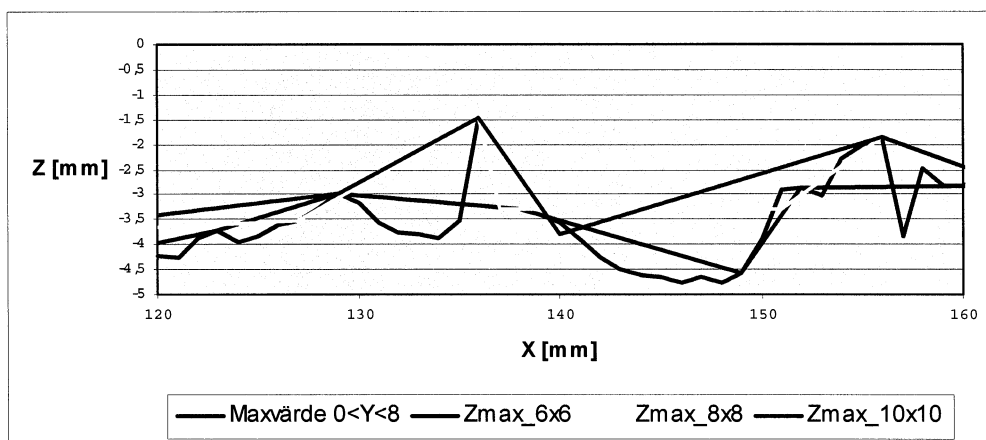


Diagram 8.8 Olika rutstorlekars inverkan på överytan. OBS, olika skalor på X och Z.

Här har vi åskådliggjort tre olika överytor beroende av vilken rutstorlek som har använts. Optimalt är då överytan ligger på en höjd som tangerar asfaltytans lokala profiltoppar. Här kan vi se att kurvan $Z_{max_10 \times 10}$ uppfyller detta kriteriet. "Maxvärde" representerar den yta som bildas av de första sex svepen parallellt med X-axeln. I diagrammet ser vi att rutstorleken 6x6 mm skapar en överyta som ligger för lågt och att rutstorleken 10x10 mm ligger för högt. Detta är en uppförstoring av diagram 8.9 i intervallet $120 < X < 160$.

Eftersom test har utförts inomhus i neutral miljö är de yttre faktorerna minimerade. Provkropparna tillverkade i labb vars resulterande MTD:n kan avvika från vad som kan anses vara representativt för just en sådan asfaltstyp, men syftet har varit att jämföra metoderna inbördes, varför detta är ovidkommande. Lutning hos provkropparna vid avläsning med lasern utgör inga problem. Den relativa volymskillnaden beräknas i Surfer med hjälp av vår simulerade överyta som har samma lutning som asfaltytan, därför behöver provkroppen ej ligga parallellt med ramen. Ytan hos provkroppen är rengjord i labbet innan mätning. Vi har använt oss av vit färgbeläggning vid avläsning som applicerats genom att spraya en mycket tunn film. Dess påverkan är försumbar i detta sammanhang på grund av dess ringa mängd, dessutom görs relativa jämförelser mellan metoderna och ytbehandlingen har existerat vid båda mätningarna.



ABS 16

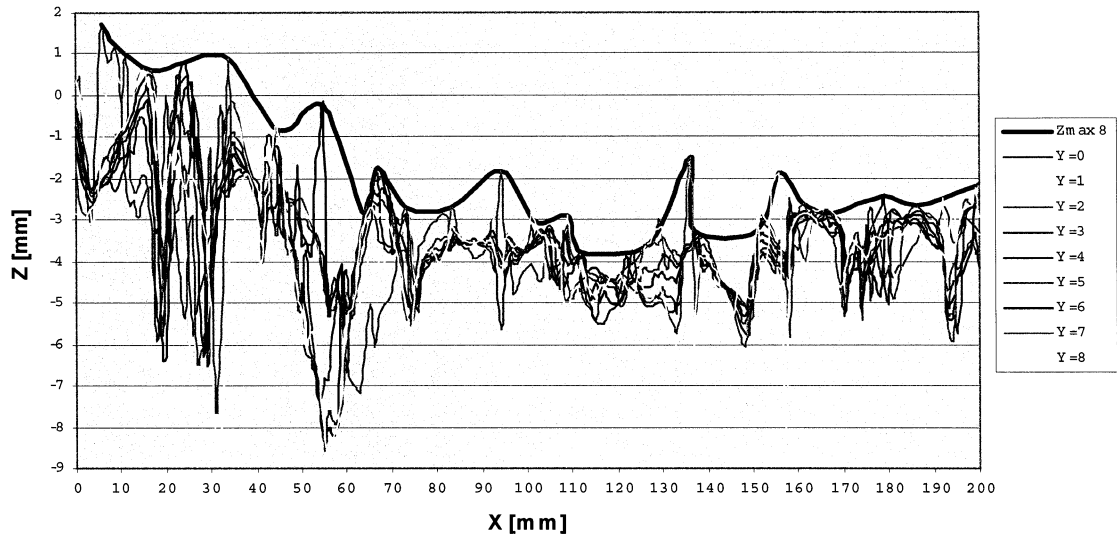
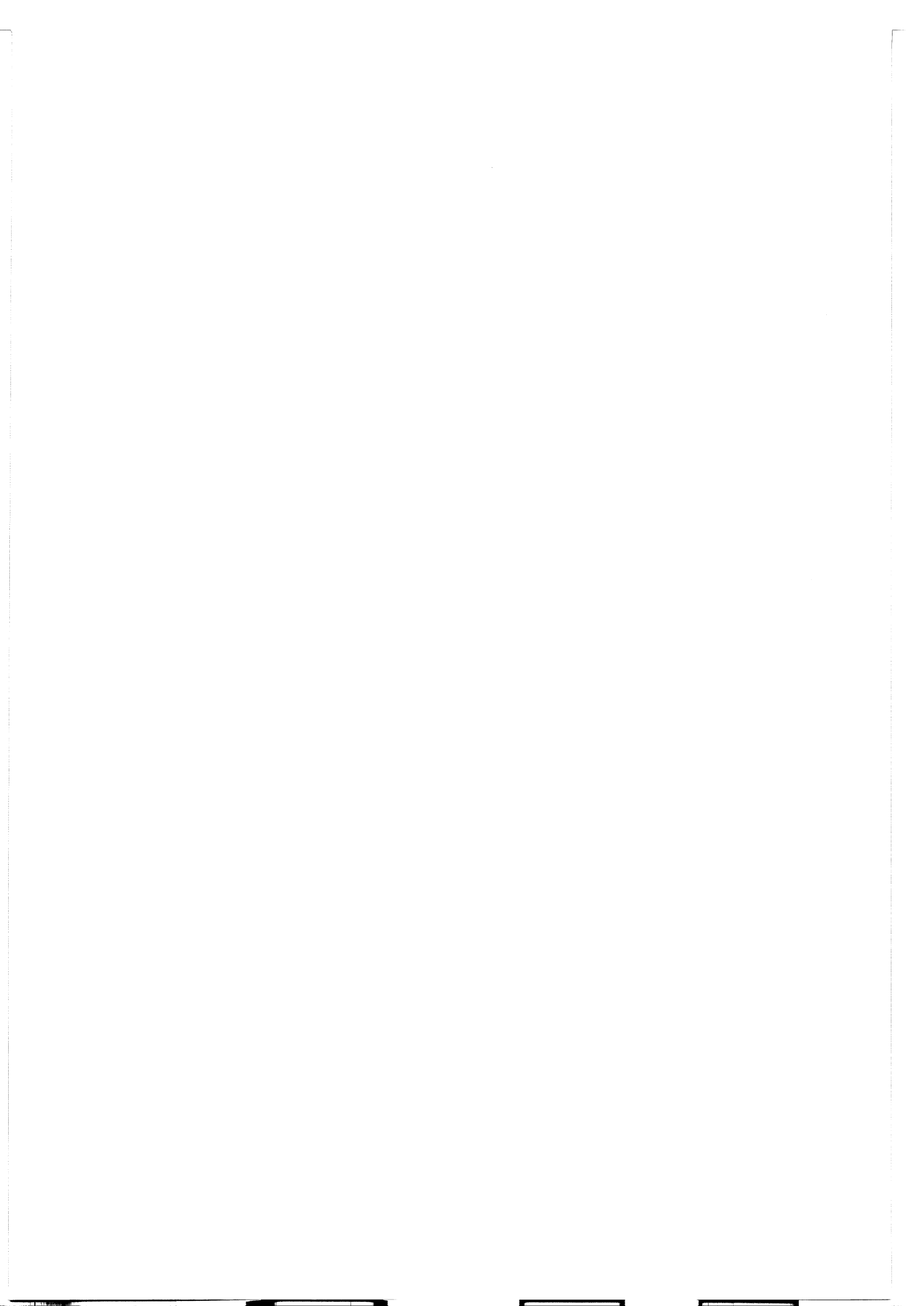


Diagram 8.9 Överytan i förhållande till profiltopparna.

Diagram på hur vår simulerade överyta, med en rutstorlek på 8x8 mm, tangerar de lokala profiltopparna längs med provkroppens ena sida som är 200 mm. De olika kurvorna, Y=0 till Y=5 visar variationen på djupet. Vi har här valt att redovisa det tvådimensionellt för att kunna demonstrera hur överytan lägger sig i förhållande till den oregelbundna asfaltytan hos ABS 16. Ett uppförstorat exemplar av diagrammet återfinns under "Bilaga".



9. SLUTSATS

Denna undersökning har lett fram till en mätmetod för mätning av yttexturer hos asfaltytor, där vi har lyckats förbättra precisionen vid mätningen signifikant jämfört med den etablerade metoden Sand Patch. Med begreppet precision menas repeterbarheten samt reproducerbarheten hos vår metod. Repeterbarheten är mycket god vilket precisionsanalysen visar.

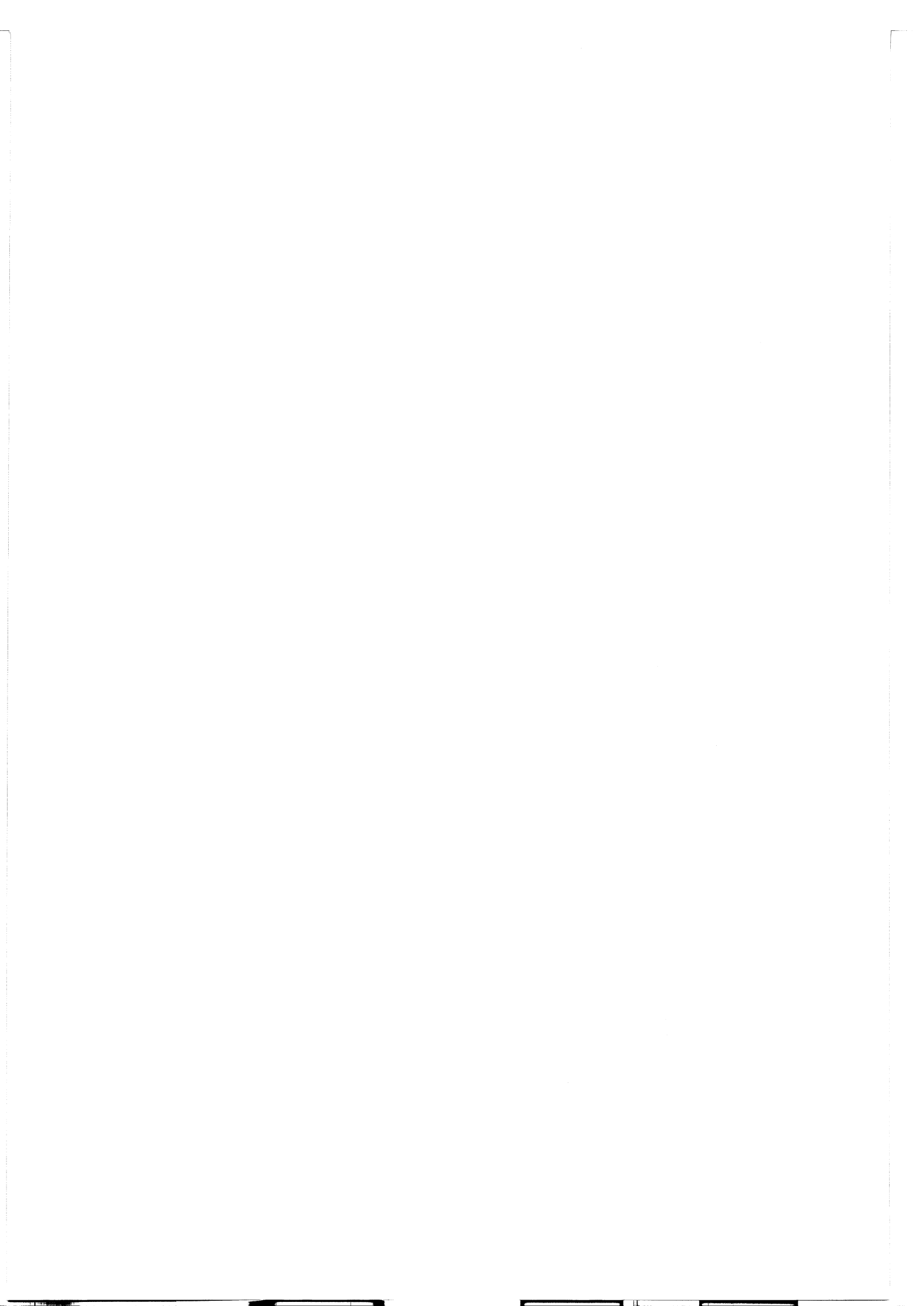
Reproducerbarheten innebär att med olika operatörer utföra test på samma objekt och se hur mycket deras resultat skulle avvika. Detta element har vi lagt mycket tid på att förbättra, då vi anser att det är av stor vikt att ha en metod som ej är operatörsberoende. Detta arbete har lett fram till en metod som är helt oberoende av yttre faktorer påverkan.

Vi ställer oss frågande till det antal värdesiffror som används vid redovisning av MTD från Sand Patch. Där anges svaret med en hundradels mm. I VTI:s metodbeskrivning för hur Sand Patch-mätningar skall utföras står det att diametern skall anges på 5 mm när. Dessutom approximeras sandcirkelns area med fyra diametrar.

I vårt arbete har vi inte haft tillgång till någon annan metod för mätning av yttextur än Sand Patch, och därför vi varit tvungna att använda Sand Patch som referensvärde. Vår analys bygger inte på att få samma värde som Sand Patch, istället har vi lagt tyngdpunkten på att empiriskt bevisa att den metod vi använder verkligen bestämmer den volym som uppstår mellan den simulerade överytan och asfaltsytan. Att resultaten mellan metoderna överensstämmer är en logisk följd av att 3dSS stödjer sig på samma lösningsalgoritm som Sand Patch.

Med 3dSS skapas en datoriserad numerisk modell av mätobjektet vilket innebär att mätdatan är tillgänglig för fortsatta studier och kan bearbetas på många olika sätt med hjälp av olika mjukvara, beroende på vad som efterfrågas. På så vis kan man spara information om vägobjekt genom att lagra dem i databaser för att se hur vägytan förändras över tiden. Detta underlättar uppföljningen eftersom vår metod utnyttjar dagens teknik bättre vid behandling av mätdata. Med Sand Patch är den enda informationen i form av utdata en skalär siffra som anger en medelhöjd vilket medför att de utredande möjligheterna blir begränsade.

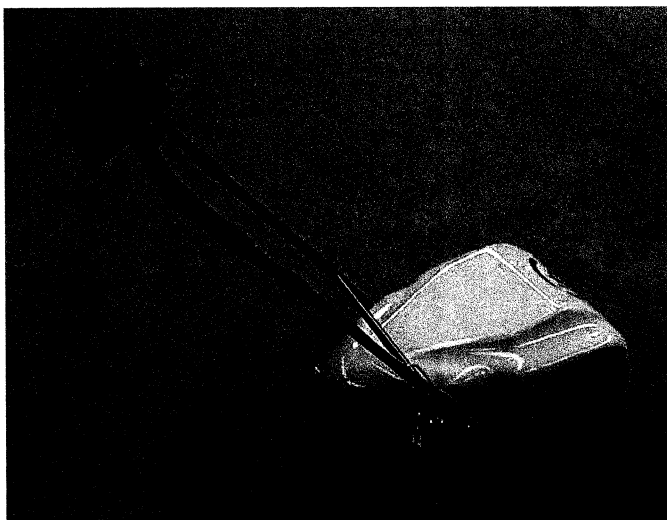
Vi har två stora begränsningar vid tillämpningen av utrustningen, det första är tid. Som vi har nämnt tidigare finns en fysisk övre gräns mellan relationen hastighet och noggrannhet. Denna flaskhals beror på överföringen av X- och Y- koordinater mellan pulsräknare och dator. Det tar 75 min att läsa in 200x200 mm. Den andra begränsningen är också av fysisk natur. Så som utrustningen idag är konstruerad, är den för otymplig och lämpar sig ej för att utföra fältmätningar.



10. FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER

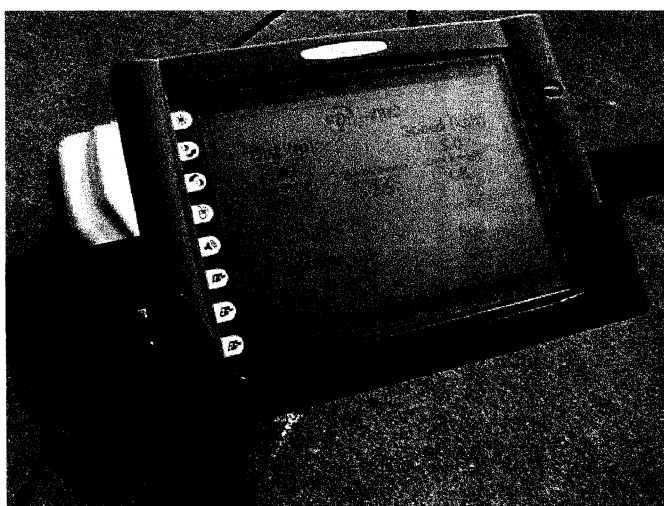
~TM2~

Eftersom vi tidigare kom fram till att utrustningen inte lämpade sig för fältmätningar skall vi här visa på en alternativ teknik, med en utrustning som finns och brukas idag. Det är en engelsk uppfinning av företaget WDM Ltd i Bristol.



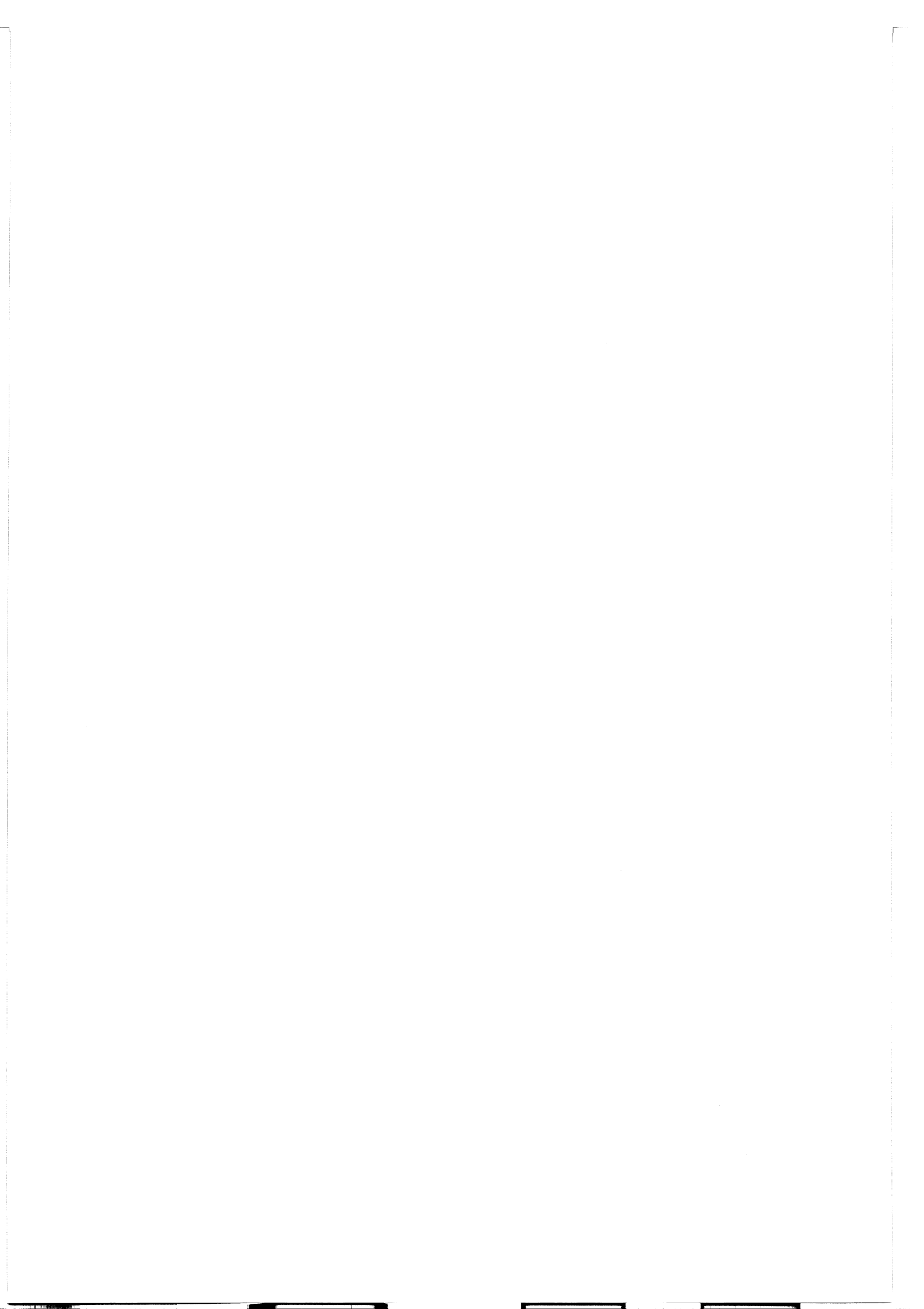
Figur 10.1 Texture Meter 2, ~TM2~.

Detta är en förenkling av laserpunktmetoden som gör att all utrustning får plats i en apparat lite större än en gräsklippare. Tekniken bygger på en laser och en processor som på ett snabbt sätt läser av asfaltsytan. En stråle från en högfrekvenslaser projiceras på asfalten. En lins fokuserar det återfallande ljuset på en ljussensor som tillsammans med mjukvaran kan avgöra på vilket avstånd ytan befinner sig. Detta är alltså en utrustning som bestämmer medeltexturdjupet ur ett svep till skillnad från vår metod som bygger på en volymapproximation.



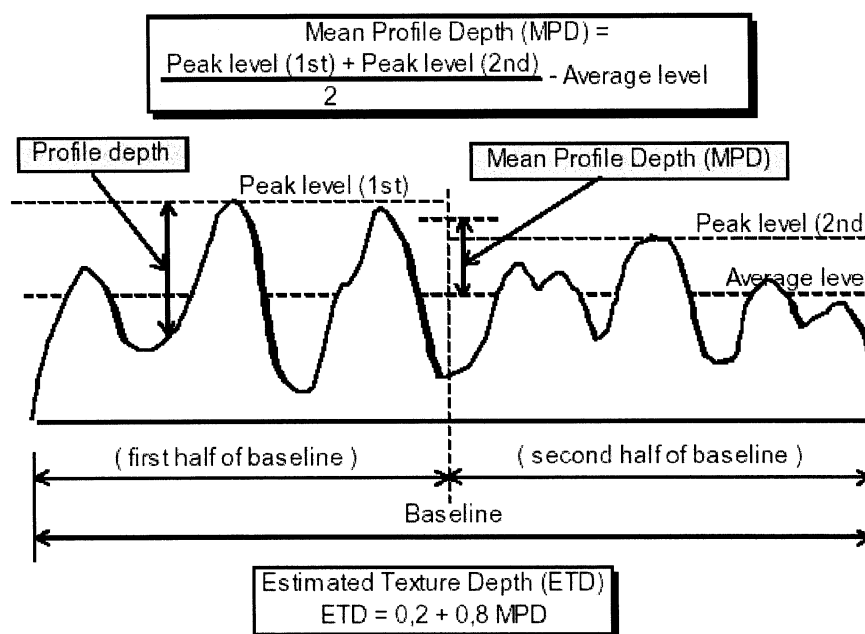
Figur 10.2 Pekskärm på vilken inställningarna görs.

För att göra inställningar i innan körningar finns en så kallad "Touch Screen" på handtaget. Det är en tryckkänslig display som även visar resultatet av körningen i realtid. I överkant på skärmen sitter minneskortet för överföring av information till en dator för vidare analyser.



Apparaten framförs för hand och rullar på tre hjul. För att förhindra mätfel om vagnen skulle köras över en ojämnhet så är den försedd med en masströghetssensor som automatiskt kompenserar för höjdskillnaden.

Texturdjupet lagras på Flash-minne som kan lagra upp till 330 km. Formatet är av konventionell typ vilket gör att mätvärden kan importeras till de flesta program för analys. TM2 beräknar och lagrar två typer av medeltexturdjup, i linje med gällande ISO-standardisering, för beräkning av medeltexturdjup baserat på en profil. "Roat Mean Square Texture Depth" och "Mean Profile Depth" (MPD).



Figur 10.3 Beräkning av MPD och ETD.

Ur MPD kan ett uppskattat medeltexturdjup (ETD) erhållas genom en ett samband som lyder: $ETD = 0,2 + 0,8 \times MPD$. Detta värde skall överensstämma med medeltexturdjupet (MTD) som fås från de volymetriska metoderna så som Sand Patch eller 3dSS. Omvandlingen beror på det faktum att MPD grundar sig på en 2-dimensionell princip medan Sand Patch är en 3-dimensionell metod.

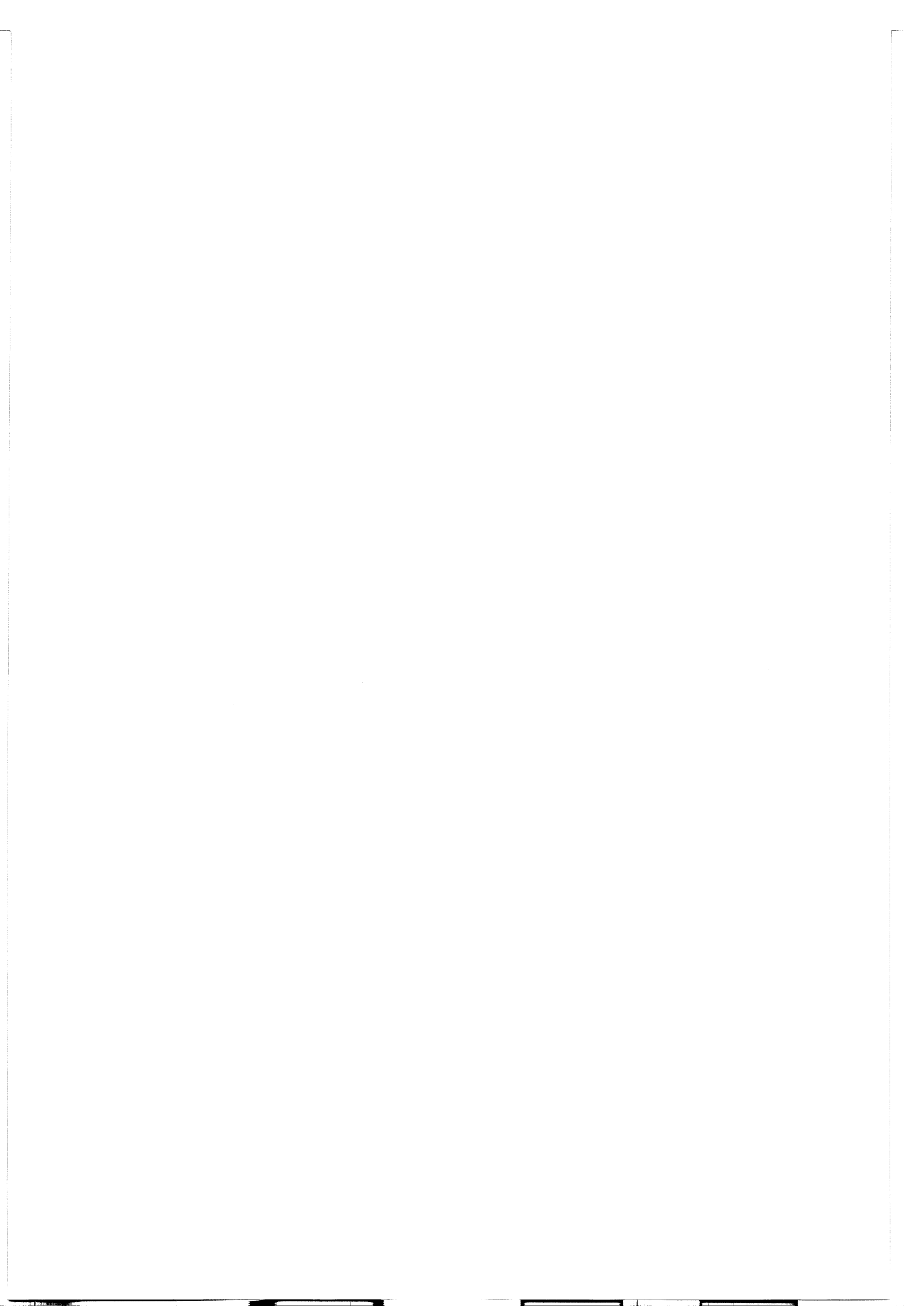
Beräkning av MPD görs genom att den inlästa profilen delas upp i segment på 100 mm. Medellinjen för segmentet beräknas. Sedan delas segmentet upp i två delar varpå den högsta punkten i varje segment bestäms. Skillnaden mellan den högsta punkten och medellinjen beräknas. Medelvärde av alla dessa skillnader, minus medellinjens höjd, utgör till sist MPD.
[7] [18] [19]



11. KÄLLFÖRTECKNING

Litteratur

- [1] Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige, **FAS Asfaltbok**, Stockholm 1995
- [2] Roger L. Wayson, Ph.D., P.E., **Relationship Between Pavement Surface Texture and Highway Traffic Noise**, Washington D.C. 1998
- [3] Lars. Johansson, VTI, **Metoder för karaktärisering av vägbelägningars yttextur**, Linköping 1977
- [4] Worcester Polytechnic Institute-Surface Metrology Lab, **Advances in the Design of Pavement Surfaces, chapter 3. Volume-Scale Analysis of Topographic Data**, www.wpi.edu/Academics/Depts/ME/MFE/SurfMet/Pubs/Johnsen/chap3.html , 2001-10-28
- [5] The New Roads and Streetworks Act, **Sand Patch Test - Measuring Skid Resistance** Streetwoorks Sand patch www.streetworks.fsnet.co.uk 2000
- [6] Nils-Gunnar Göransson, VTI, **Bestämning av medeltexturdjup enligt sandutfyllnadsmetoden**, 1981
- [7] WDM Ltd. **Texture meter 2**, www.wdm.co.uk 2000
- [8] Bolina, Václav. Viageos s.r.o. **Technincal description of the multi-function ARAN equipment subsystems**. www.viageos.cz/tech_udaje_en.asp 2001-03 Tjeckien.
- [9] Sixbey, Dennis. Turner-Fairbank Highway Research Center. **Pavement Surface Analysis Laboratory**. www.tfhr.gov/about/pavesurf.htm 2001-06-26 USA
- [10] Givi Misure, **Riga SCR 3923**. www.givimisure.it/scr_2.html 2000
- [11] Austin Huges, **Electric Motors and Drivers: Fundamentals, Types and Applications-Second Edition** , Manchester 1993
- [12] Weschler, Matthew. Florida state university. **How Lasers Work**. www.howstuffworks.com/laser.htm 2000
- [13] Strop-Gardiner, M. et al. National Center for Asfalt Technology. **Segregation in Hot-Mix Asfalt Pavements**, Auburn USA 2000
- [14] S.J Page et al., **Aternative to sand circle test for measuring texture depth**, Transfund New Zealand Research Report No. 110, Lower Hutt 1998
- [15] Keyence Corp. **Instruction manual LC-2400 Series**, Japan 1994
- [16] American Data Acquisition Corp. **PCM5516-*-16 Manual**, USA
- [17] JVL Industri Elektronik A/S. **AC-Servo Motor Controller**, Danmark 1997
- [18] The American Society for Testing and Materials. **Standard Practice for Calculating Pavement Macrotecture Mean Profile Depth**, USA 1997



- [19] Schomer, Paul D. **Transportation Related Environmental Noise Standards**, US Army Engineer Research & Development Center, USA 2001
- [20] Isacsson, Ulf. **Drift och underhåll av vägar och gator**, Centrum för forskning och utbildning i drift och underhåll av infrastruktur, Sverige 2000

BILDREGISTER

Figur 1.1

Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige, **FAS Asfaltbok**, Stockholm 1995

Figur 1.2

Isacsson, Ulf. **Drift och underhåll av vägar och gator**, Centrum för forskning och utbildning i drift och underhåll av infrastruktur, Sverige 2000

Figur 1.3

Instructions for Using the Portable Skid Resistance Tester, Transport Road Research Laboratory HMSO

Figur 1.4

The New Roads and Streetworks Act, **Sand Patch Test - Measuring Skid Resistance**
Streetworks Sand Patch www.streetworks.fsnet.co.uk 2000

Figur 1.5, 4.7

Worcester Polytechnic Institute-Surface Metrology Lab, **Advances in the Design of Pavement Surfaces, chapter 3. Volume-Scale Analysis of Topographic Data**,
www.wpi.edu/Academics/Depts/ME/MFE/SurfMet/Pubs/Johnsen/chap3.html , 2001-10-28

Figur 3.4

Givi Misure, Riga SCR 3923. www.givimisure.it/scr_2.html 2000

Figur 3.6

JVL Industri Elektronik A/S. www.jvl.dk 2000

Figur 3.7, 3.8

Weschler, Matthew. Florida state university. **How Lasers Work**.
www.howstuffworks.com/laser.html 2000

Diagram 3.1, 3.2, 3.3

Figur 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13

Keyence Corp. **Instruction manual LC-2400 Series**, Japan 1994

Figur 7.1

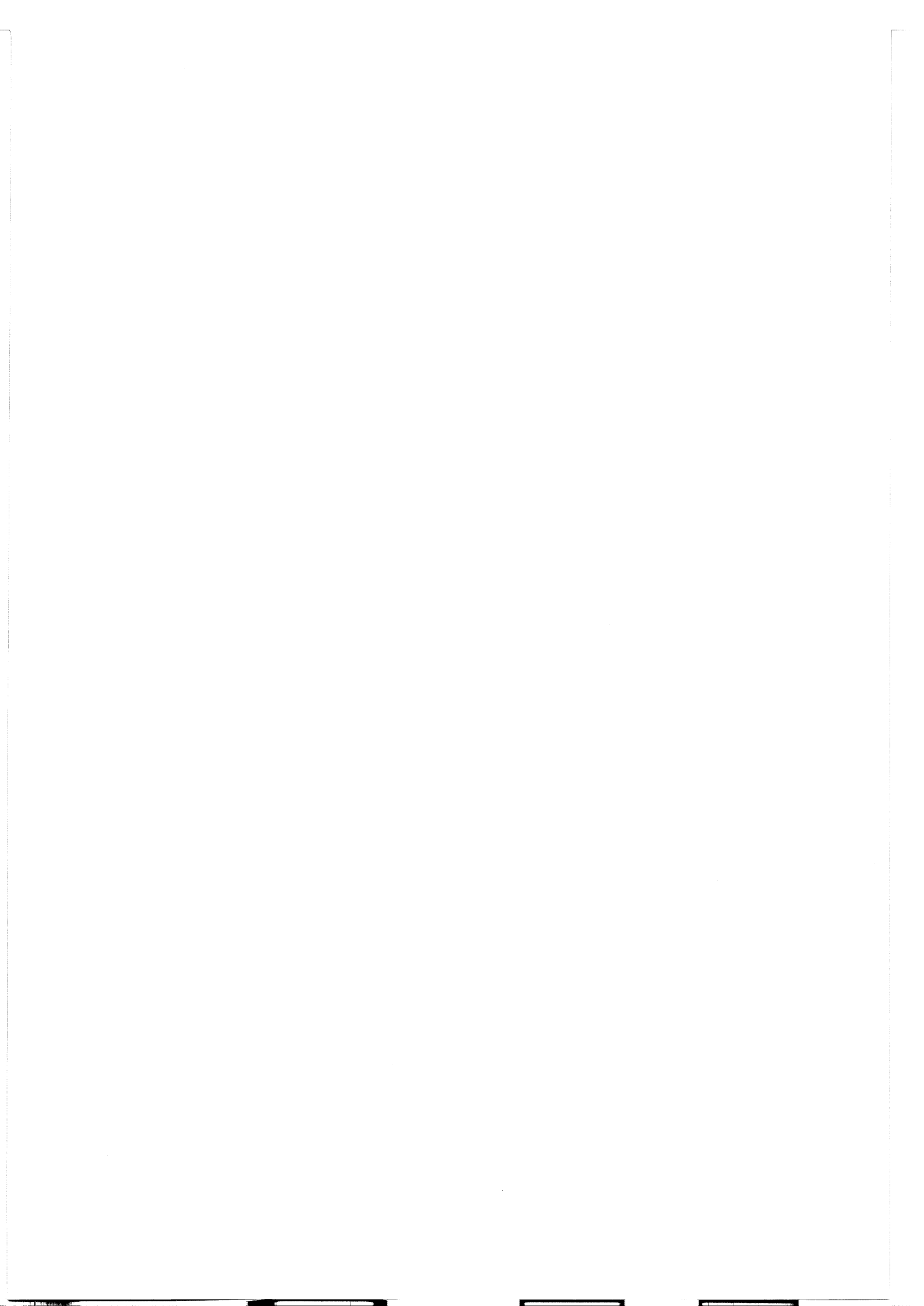
Surfer v7.04. Golden Software Inc. USA 2000

Figur 10.1, 10.2

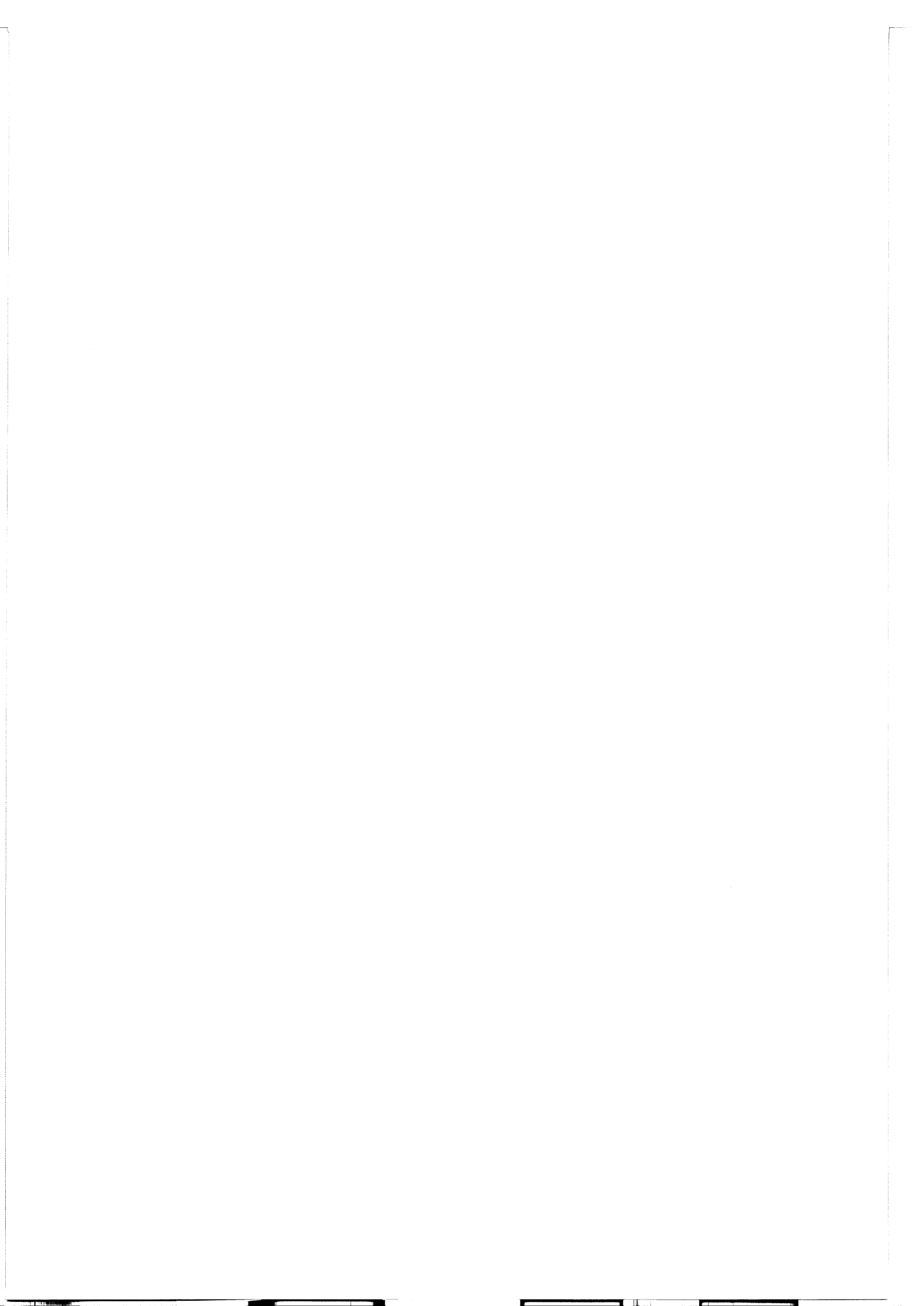
WDM Ltd. **Texture meter 2**, www.wdm.co.uk 2000

Figur 10.3

Schomer, Paul D. **Transportation Related Environmental Noise Standards**, US Army Engineer Research & Development Center, USA 2001



12. Bilaga



VOLUME COMPUTATIONS – ABT 11, RUTA 5½x5½

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\MTD Zmax\ABT
11\Zmax_5½.grd
Grid size as read: 201 cols by 201 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 200
Y-Range: 0 to 200
Z-Range: -1.261 to 5.313

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\MTD Zmax\ABT
11\20000x20000_10mm_100100_sammanställd.grd
Grid size as read: 201 cols by 201 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 200
Y-Range: 0 to 200
Z-Range: -3.82 to 5.313

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 26654.51725
Simpson's Rule: 26712.0381111
Simpson's 3/8 Rule: 26684.692658

CUT & FILL VOLUMES

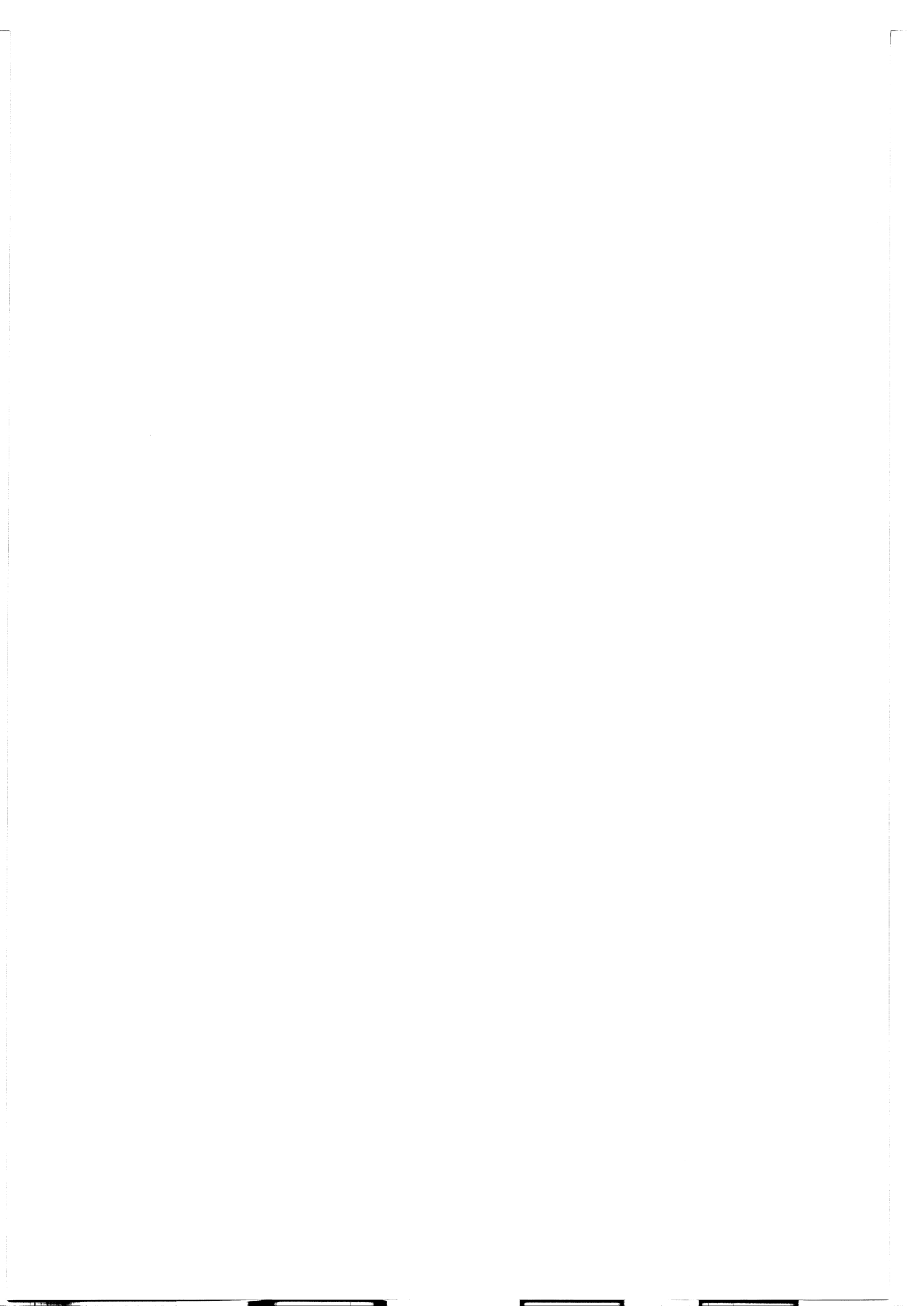
Positive Volume [Cut]: 26810.8805065
Negative Volume [Fill]: 156.444006509
Cut minus Fill: 26654.4365

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 38904.8506692
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 1095.14933075
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 40000

MTD=0,6703 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 45449.3671732
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 1256.08749631



VOLUME COMPUTATIONS – ABS 11, Ruta 5½x5½

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\MTD Zmax\Zmax_5½.grd
Grid size as read: 201 cols by 201 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 200
Y-Range: 0 to 200
Z-Range: -3.967 to 4.323

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\MTD
Zmax\ABS11_20000x20000#1_10mm_100100_sammanställd.grd
Grid size as read: 201 cols by 201 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 200
Y-Range: 0 to 200
Z-Range: -9.988 to 4.323

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 43953.69725
Simpson's Rule: 43925.5985556
Simpson's 3/8 Rule: 43952.4397309

CUT & FILL VOLUMES

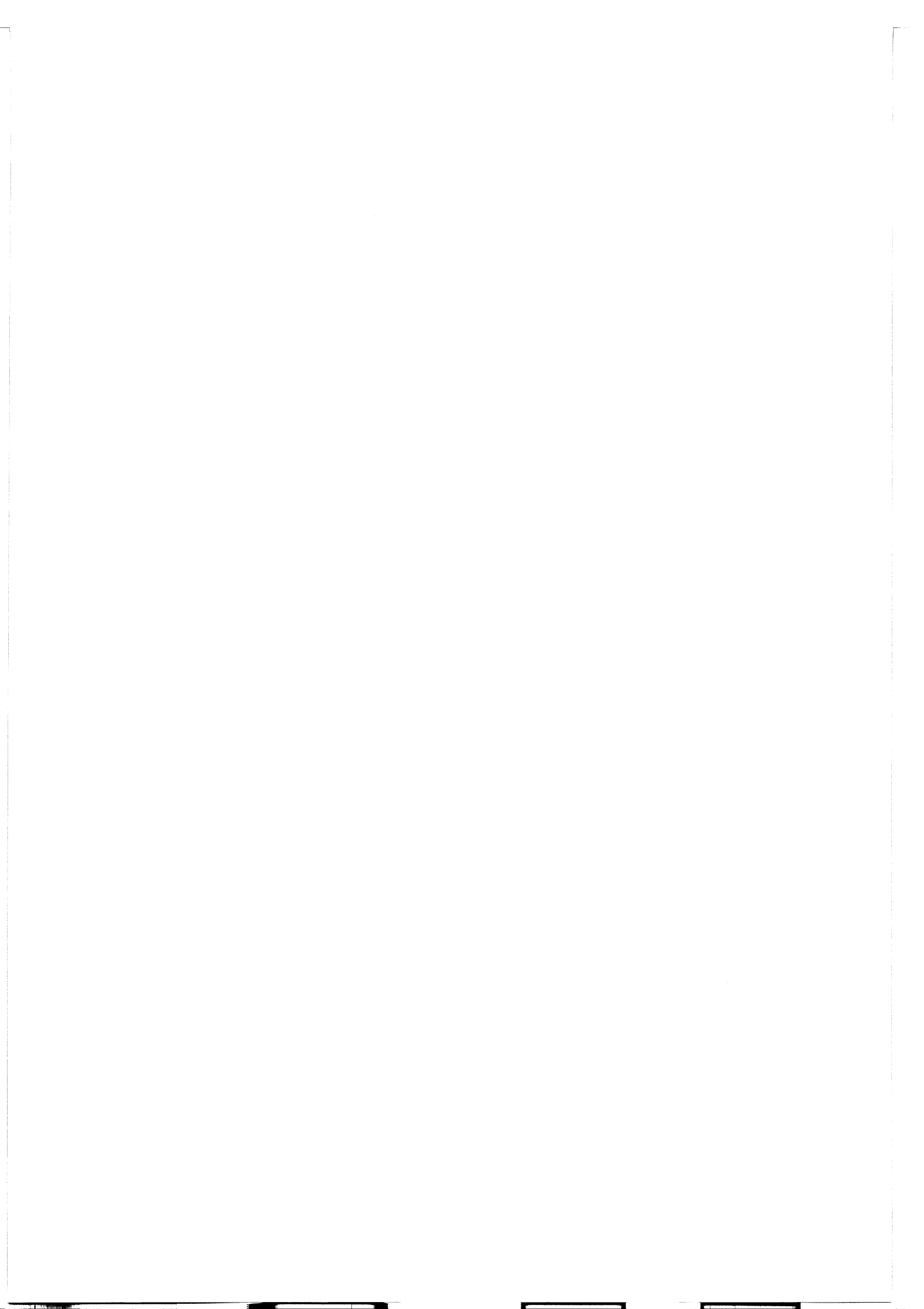
Positive Volume [Cut]: 44161.5684562
Negative Volume [Fill]: 207.659622838
Cut minus Fill: 43953.9088333

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 38767.7555807
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 1232.24441927
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 40000

MTD=1.1040 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 53178.2004331
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 1474.37278657



VOLUME COMPUTATIONS – ABS 16, Ruta 8x8

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\MTD Zmax\ABS
16\Zmax_8.grd
Grid size as read: 201 cols by 201 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 200
Y-Range: 0 to 200
Z-Range: -6.077 to 2.625

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\MTD Zmax\ABS
16\ABS16_20000x20000_10mm_100100_sammanställd.grd
Grid size as read: 201 cols by 201 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 200
Y-Range: 0 to 200
Z-Range: -9.568 to 2.625

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 67895.7595
Simpson's Rule: 67929.9231111
Simpson's 3/8 Rule: 67925.4255937

CUT & FILL VOLUMES

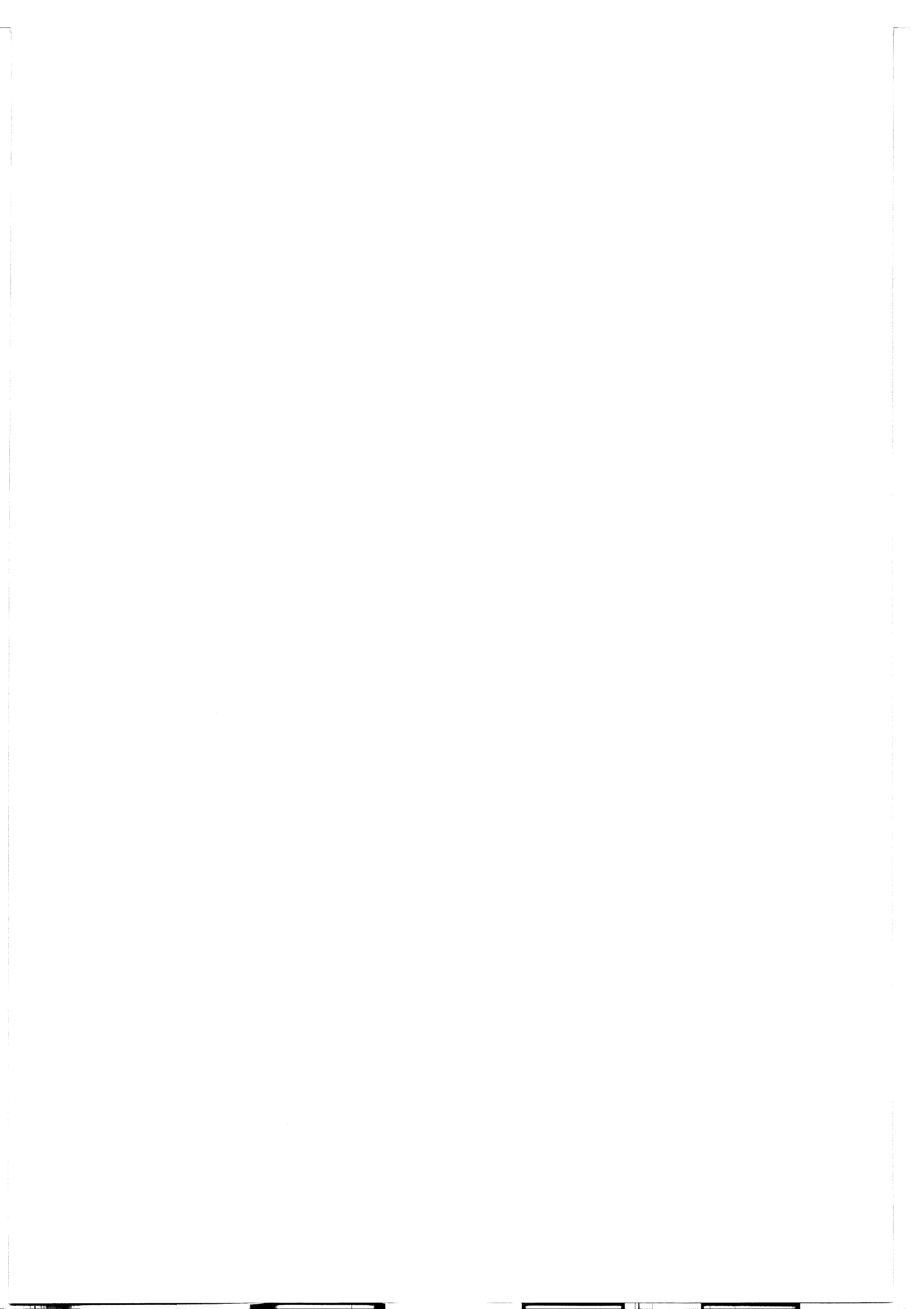
Positive Volume [Cut]: 68121.0797797
Negative Volume [Fill]: 225.242112999
Cut minus Fill: 67895.8376667

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 39033.385697
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 966.614303037
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 40000

MTD=1.7030 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 56291.8844573
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 1174.99273089



Beräkningar för den statistiska analysen. Puck No 1.

VOLUME COMPUTATIONS No 1. #1

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_1\No1_överyta_#1.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -2.584 to 2.121

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_1\No1_10000x10000_10mm_100100_#1.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -6.739 to 2.121

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 7244.85675
Simpson's Rule: 7244.24233333
Simpson's 3/8 Rule: 7242.11567188

CUT & FILL VOLUMES

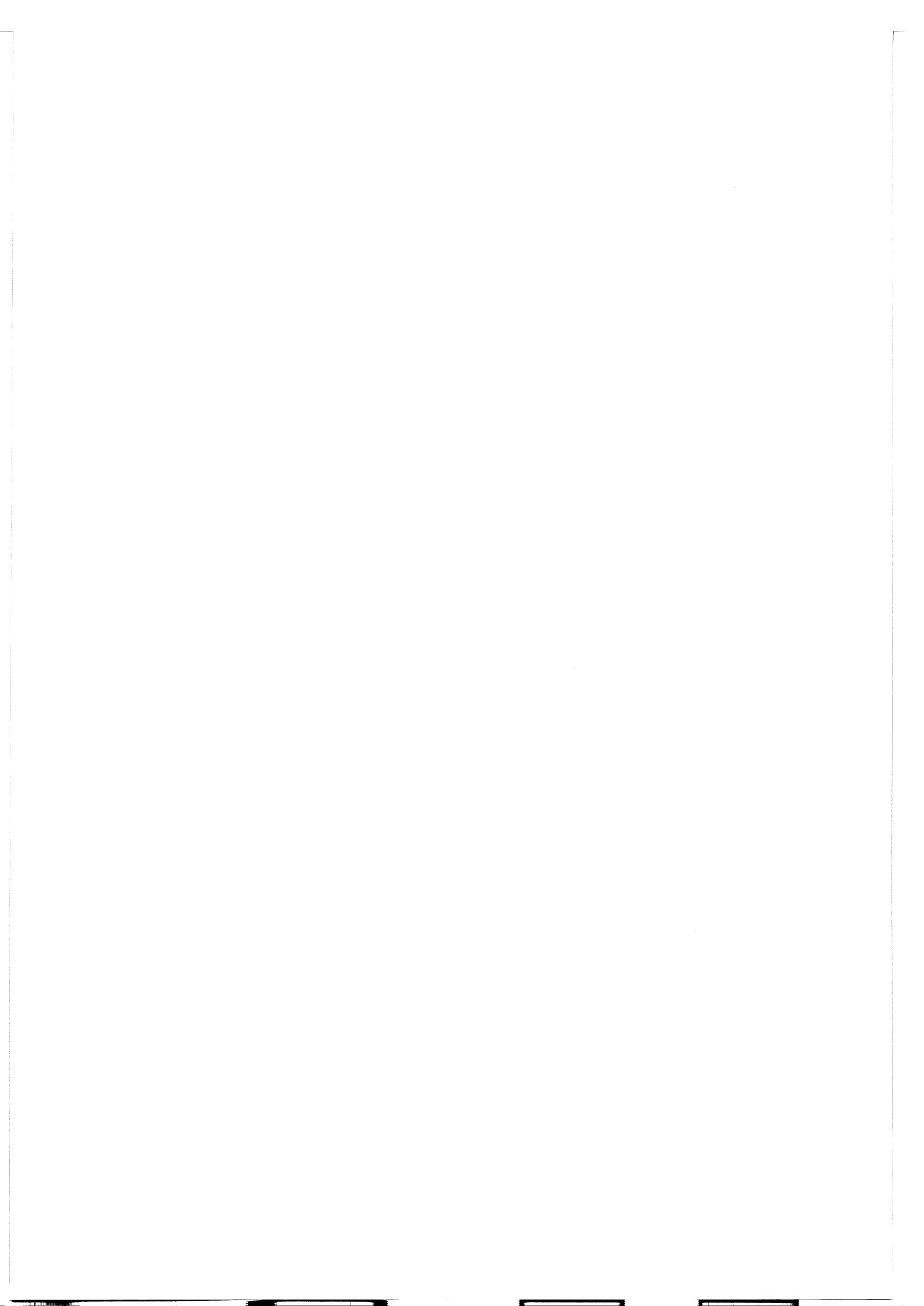
Positive Volume [Cut]: 7253.37222447
Negative Volume [Fill]: 8.51672446937
Cut minus Fill: 7244.8555

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9809.75145963
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 190.248540367
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.7253 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12572.5394888
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 199.816151244



VOLUME COMPUTATIONS No 1. #2

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_1\No1_överyta_#2.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -2.691 to 1.983

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_1\No1_10000x10000_10mm_100100_#2.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -6.844 to 1.983

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 6893.411
Simpson's Rule: 6889.48422222
Simpson's 3/8 Rule: 6884.58592188

CUT & FILL VOLUMES

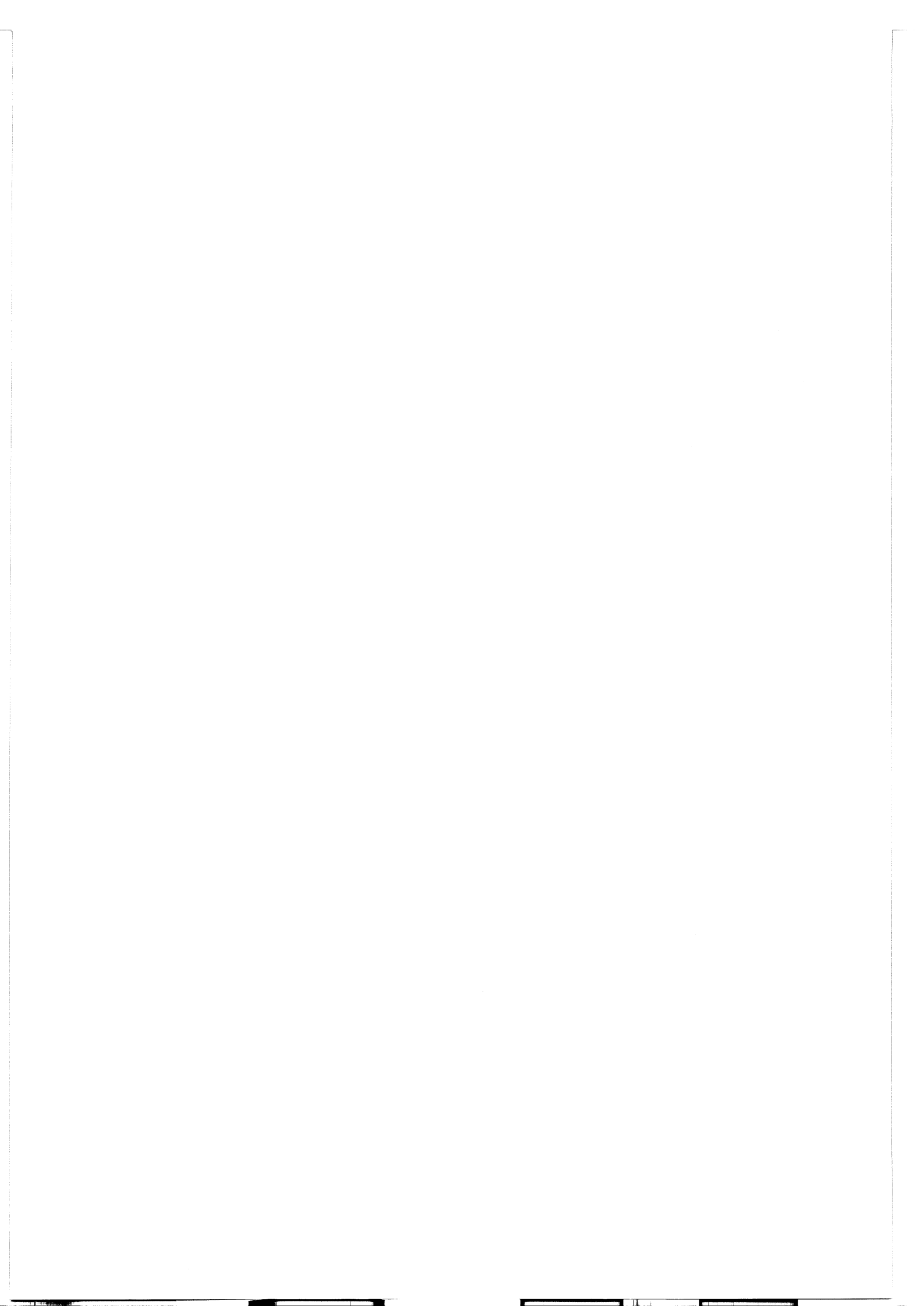
Positive Volume [Cut]: 6906.70189206
Negative Volume [Fill]: 13.2785587313
Cut minus Fill: 6893.42333333

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9766.03120756
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 233.968792437
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.6893

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12411.1650891
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 245.363465117



VOLUME COMPUTATIONS No 1. #3

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_1\No1_överyta_#3.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -2.788 to 1.913

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_1\No1_10000x10000_10mm_100100_#3.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -6.958 to 1.913

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 7122.46575
Simpson's Rule: 7099.58344444
Simpson's 3/8 Rule: 7121.92707813

CUT & FILL VOLUMES

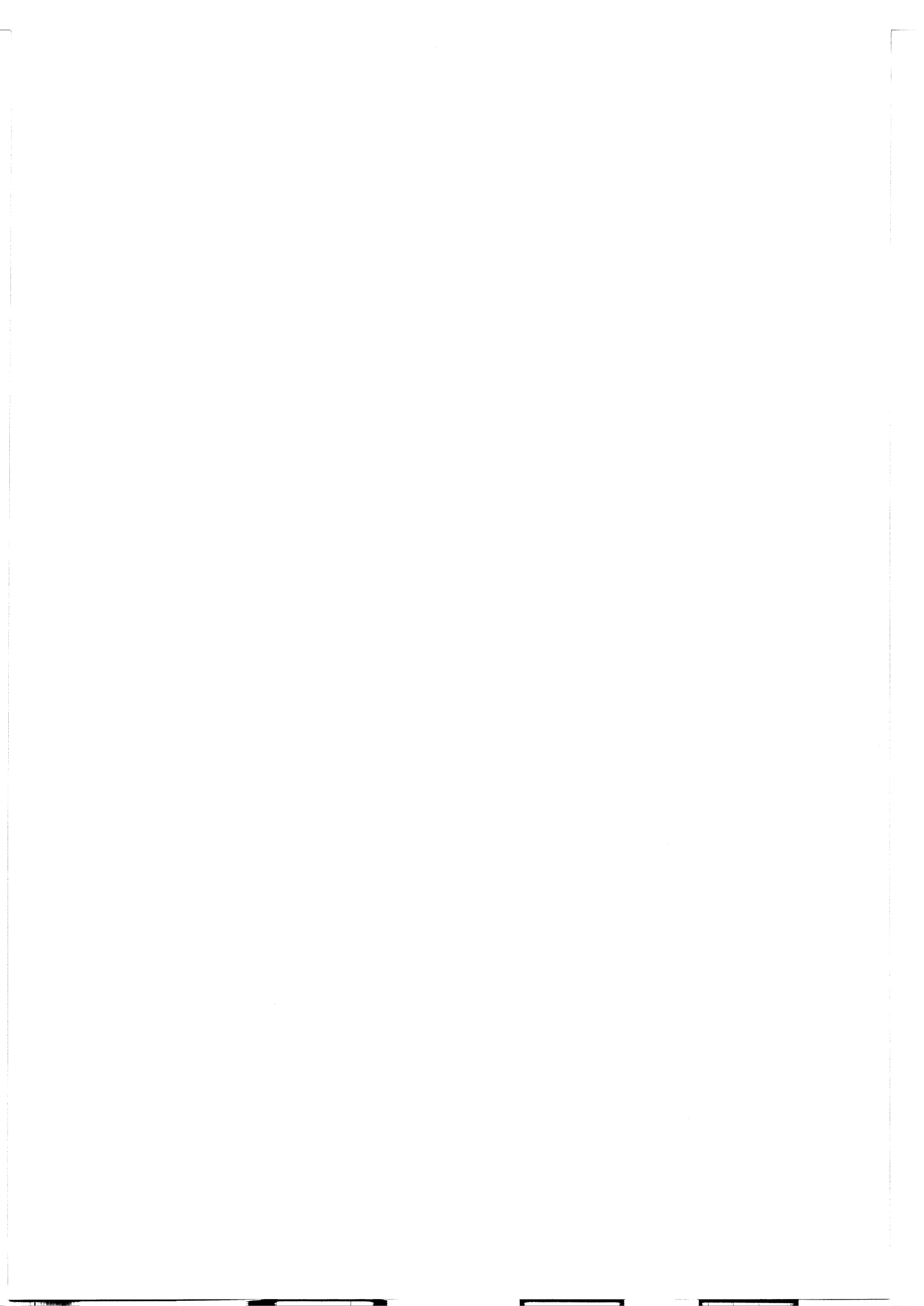
Positive Volume [Cut]: 7131.92198545
Negative Volume [Fill]: 9.44398544783
Cut minus Fill: 7122.478

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9797.62448793
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 202.375512074
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.7122 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12583.0742535
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 210.722005297



Beräkningar för den statistiska analysen. Puck No 2.
VOLUME COMPUTATIONS No 2. #1

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_2\No2_överyta_#1.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -2.094 to 3.85

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_2\No2_10000x10000_10mm_100100_#1.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -9.308 to 3.85

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 7911.82025
Simpson's Rule: 7921.447
Simpson's 3/8 Rule: 7907.2484375

CUT & FILL VOLUMES

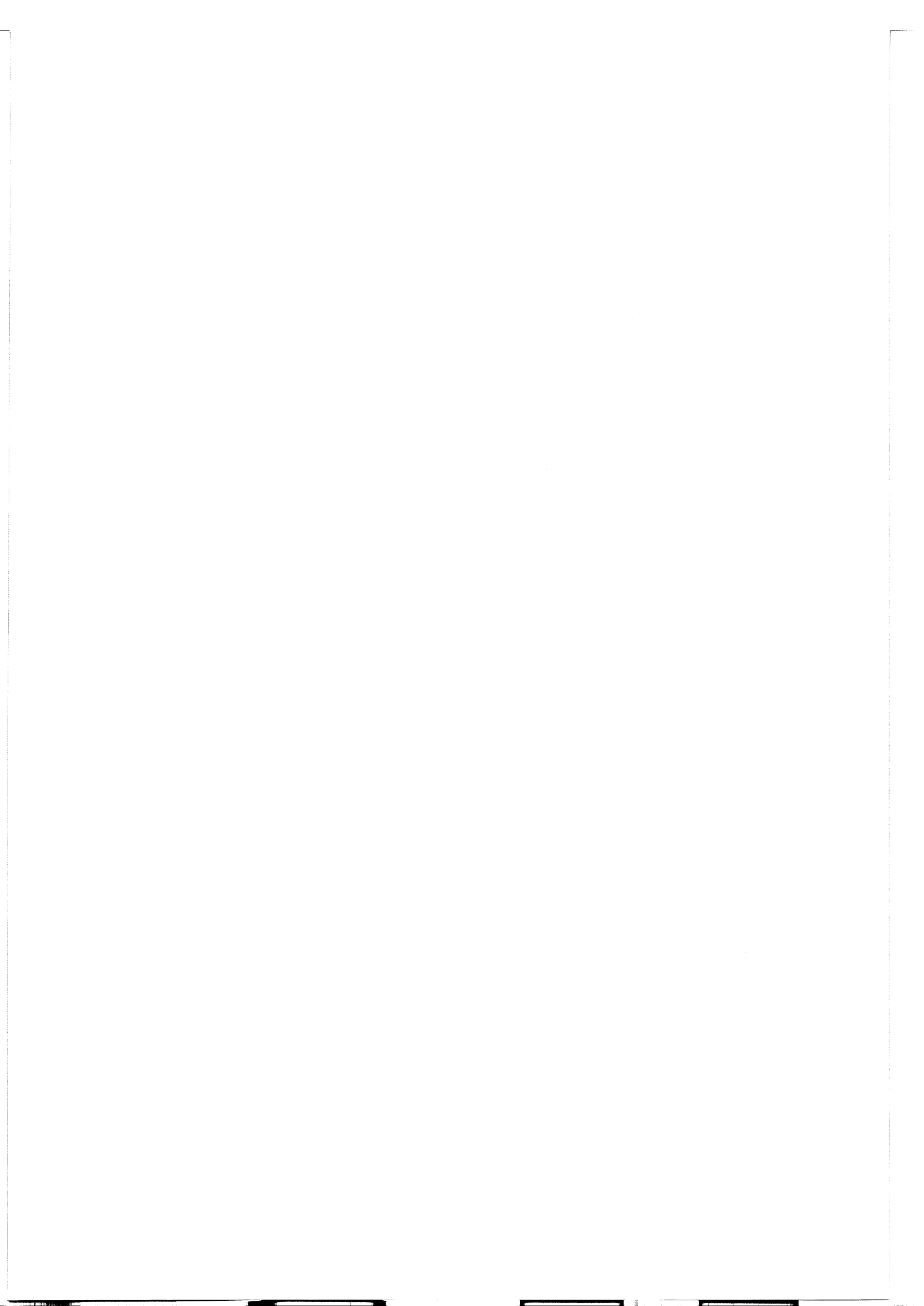
Positive Volume [Cut]: 7928.41872908
Negative Volume [Fill]: 16.5173957436
Cut minus Fill: 7911.90133333

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9706.35858064
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 293.641419363
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.7928 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12745.6543469
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 304.60903973



VOLUME COMPUTATIONS No 2. #2

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_2\No2_överyta_#2.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -2.169 to 3.698

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_2\No2_10000x10000_10mm_100100_#2.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -9.34 to 3.698

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 7951.625
Simpson's Rule: 7940.61977778
Simpson's 3/8 Rule: 7961.21139062

CUT & FILL VOLUMES

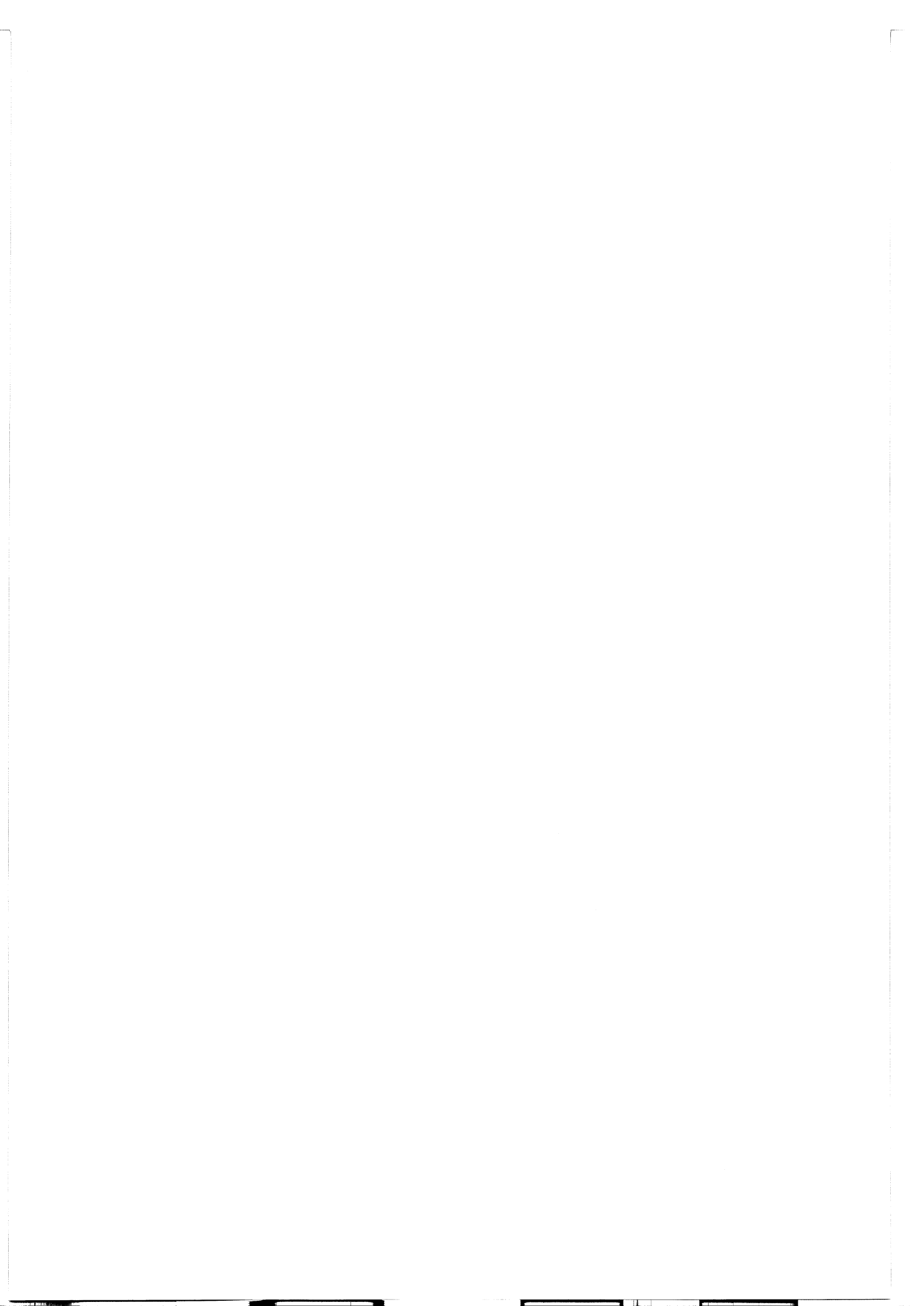
Positive Volume [Cut]: 7974.00416099
Negative Volume [Fill]: 22.3048276585
Cut minus Fill: 7951.69933333

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9678.49426895
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 321.505731047
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.7974 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12709.8715413
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 338.62671825



VOLUME COMPUTATIONS No 2. #3

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_2\No2_överyta_#3.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -2.199 to 3.704

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_2\No2_10000x10000_10mm_100100_#3.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -9.407 to 3.704

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 7888.25475
Simpson's Rule: 7882.79722222
Simpson's 3/8 Rule: 7900.77801563

CUT & FILL VOLUMES

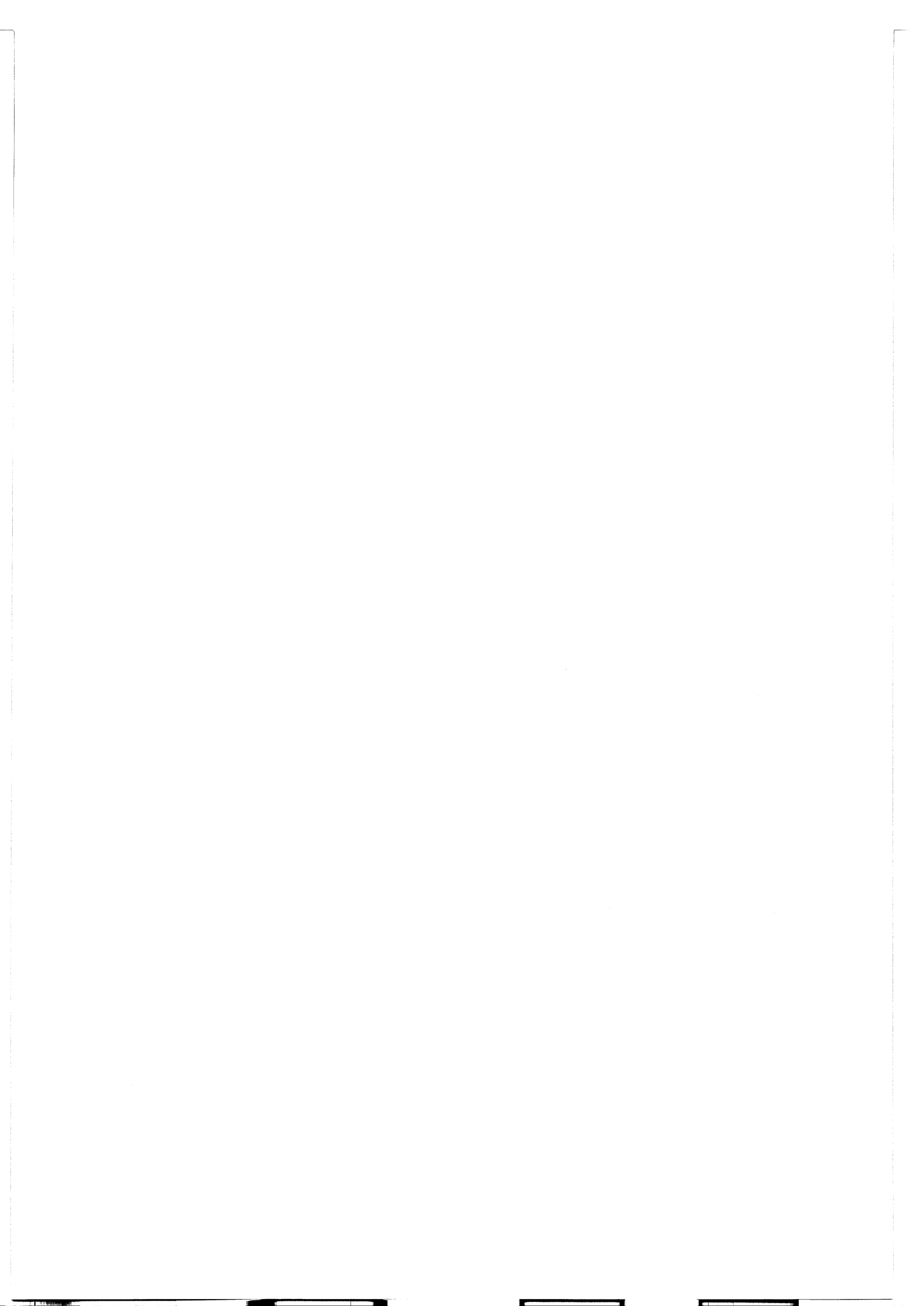
Positive Volume [Cut]: 7908.95375509
Negative Volume [Fill]: 20.6190884256
Cut minus Fill: 7888.33466667

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9674.76752404
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 325.232475965
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.7888 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12659.6855735
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 340.949608036



Beräkningar för den statistiska analysen. Puck No 3.
VOLUME COMPUTATIONS No 3. #1

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_3\No3_överyta_#1.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -0.989 to 2.446

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_3\No3_10000x10000_10mm_100100_#1.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -10 to 2.446

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 6976.89225
Simpson's Rule: 6951.22477778
Simpson's 3/8 Rule: 6983.287

CUT & FILL VOLUMES

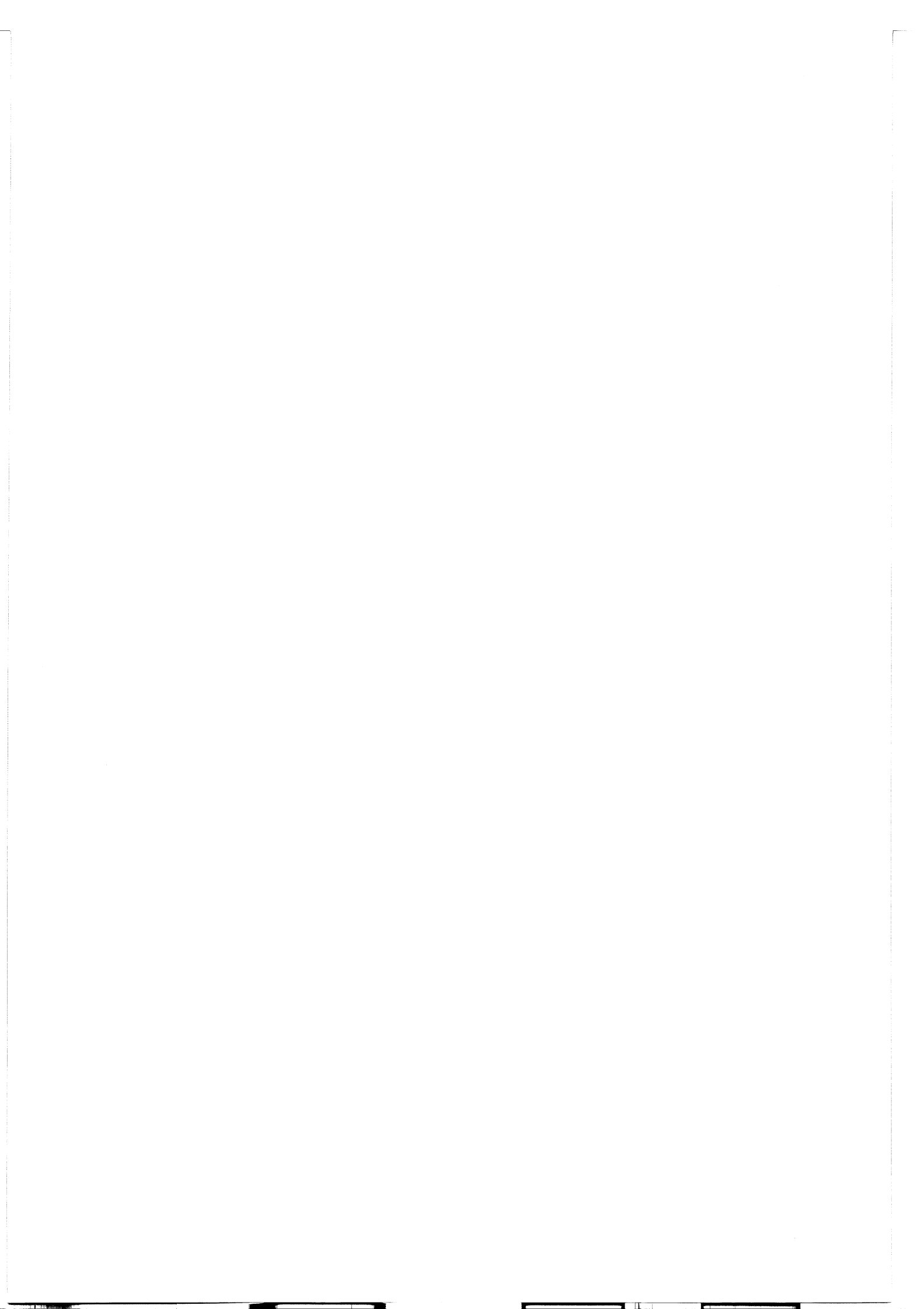
Positive Volume [Cut]: 6987.3786431
Negative Volume [Fill]: 10.54847643
Cut minus Fill: 6976.83016667

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9809.61969752
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 190.380302484
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.6987 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12408.4214864
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 201.308188614



VOLUME COMPUTATIONS No 3. #2

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_3\No3_överyta_#2.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -1.029 to 2.266

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_3\No3_10000x10000_10mm_100100_#2.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -4.768 to 2.266

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 7049.27925
Simpson's Rule: 7026.457
Simpson's 3/8 Rule: 7054.894125

CUT & FILL VOLUMES

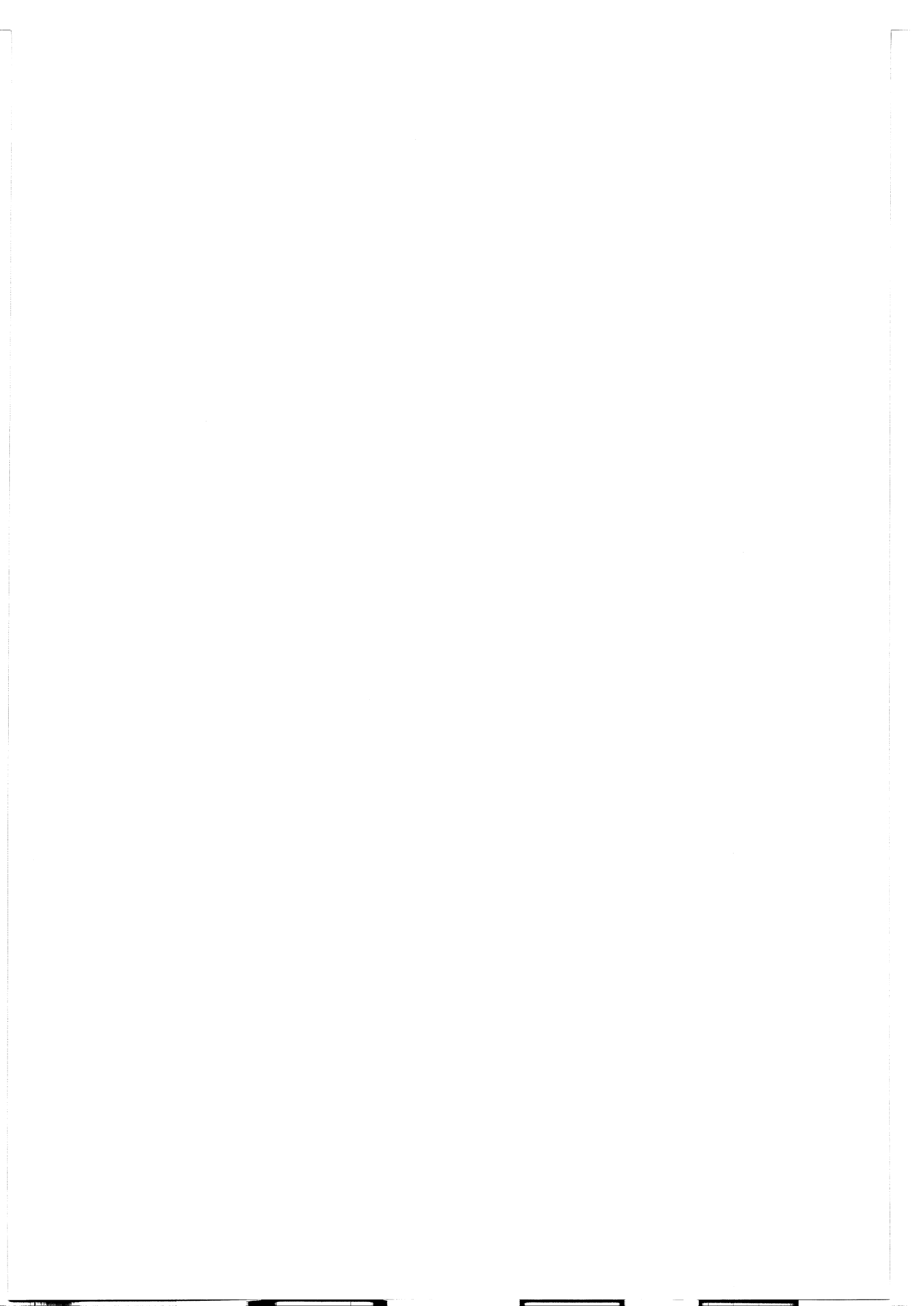
Positive Volume [Cut]: 7057.19500333
Negative Volume [Fill]: 8.00967000155
Cut minus Fill: 7049.18533333

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9823.75853645
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 176.241463555
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.7057 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12373.9119616
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 182.547029548



VOLUME COMPUTATIONS No 3. #3

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_3\No3_överyta_#3.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -1.06 to 2.394

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_3\No3_10000x10000_10mm_100100_#3.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -4.814 to 2.394

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 6806.90675
Simpson's Rule: 6786.01833333
Simpson's 3/8 Rule: 6821.28692187

CUT & FILL VOLUMES

Positive Volume [Cut]: 6815.82972701
Negative Volume [Fill]: 8.89322700652
Cut minus Fill: 6806.9365

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9819.19178373
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 180.808216266
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.6816 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12341.5563391
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 189.961507048



Beräkningar för den statistiska analysen. Puck No 4.

VOLUME COMPUTATIONS No 4. #1

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_4\No4_överyta_#1.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -2.675 to 2.761

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_4\No4_10000x10000_9mm_100100_#1.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -6.472 to 2.761

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 7390.493
Simpson's Rule: 7384.23133333
Simpson's 3/8 Rule: 7410.66226563

CUT & FILL VOLUMES

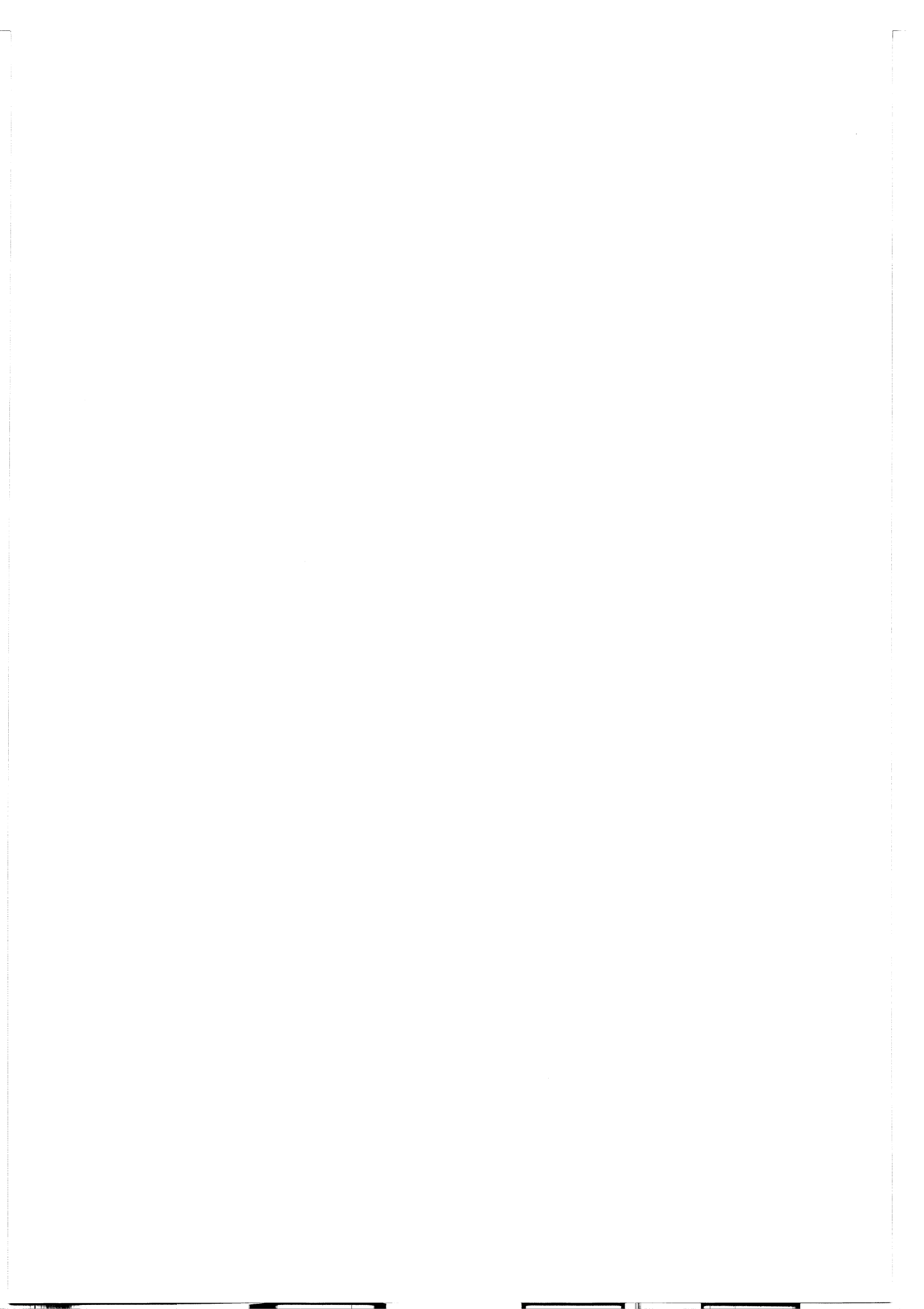
Positive Volume [Cut]: 7399.37778219
Negative Volume [Fill]: 8.68944886163
Cut minus Fill: 7390.68833333

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9773.19147084
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 226.808529155
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.7399 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12578.8759622
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 234.777031008



VOLUME COMPUTATIONS No 4. #2

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_4\No4_överyta_#2.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -2.677 to 2.776

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_4\No4_10000x10000_9mm_100100_#2.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -6.429 to 2.776

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 7478.188
Simpson's Rule: 7461.04422222
Simpson's 3/8 Rule: 7504.5266875

CUT & FILL VOLUMES

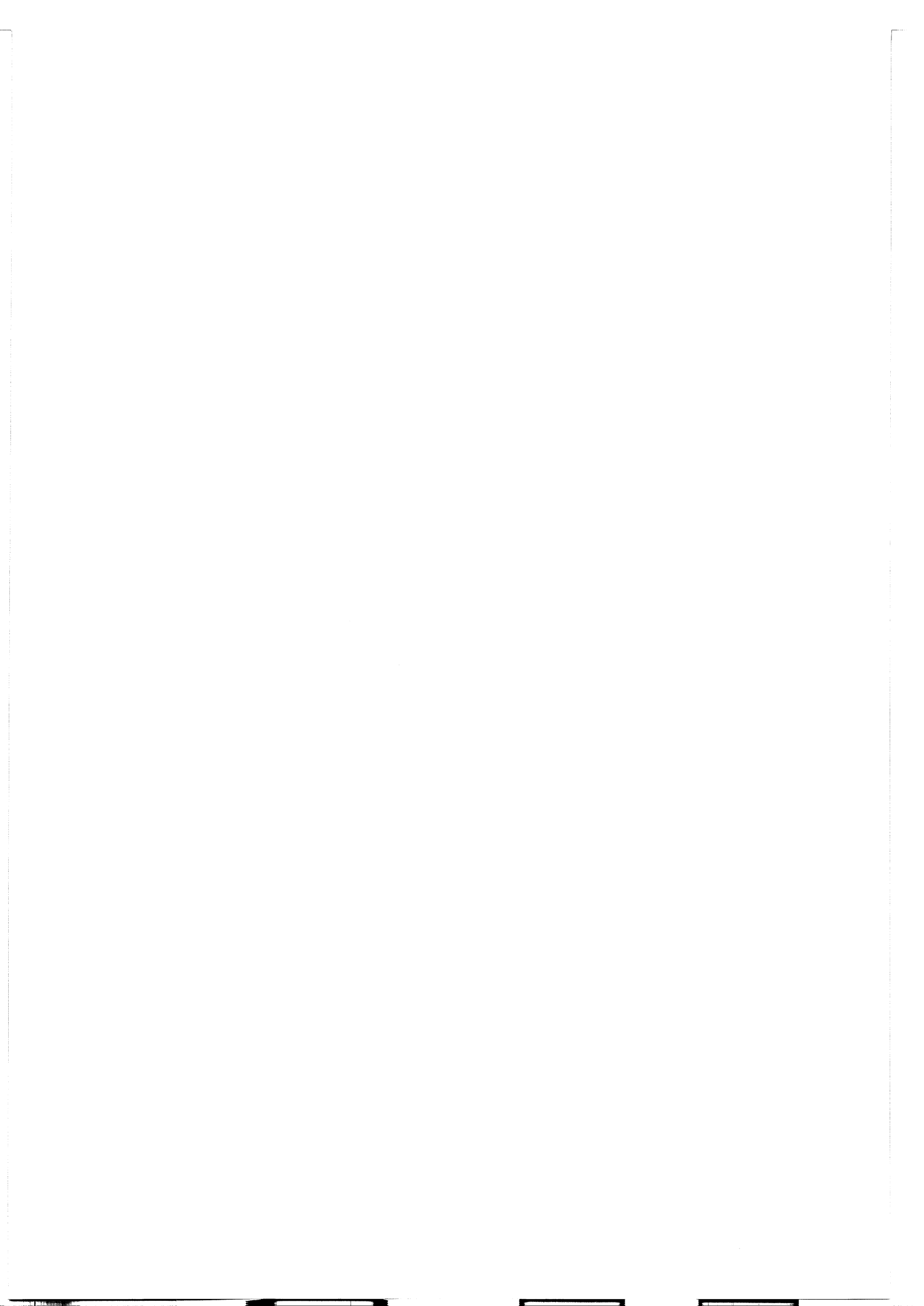
Positive Volume [Cut]: 7487.80580517
Negative Volume [Fill]: 9.43013850276
Cut minus Fill: 7478.37566667

AREAS

Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9785.77833414
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 214.22166586
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

MTD=0.7488 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12645.7306529
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 221.077092165



VOLUME COMPUTATIONS No 4. #3

UPPER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_4\No4_överyta_#3.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -2.664 to 2.089

LOWER SURFACE

Grid File: C:\Mina dokument\X-jobbet\Resultat
scanning\RÅDA\Puck No_4\No4_10000x10000_9mm_100100_#3.grd
Grid size as read: 101 cols by 101 rows
Delta X: 1
Delta Y: 1
X-Range: 0 to 100
Y-Range: 0 to 100
Z-Range: -6.462 to 2.089

VOLUMES

Approximated Volume by
Trapezoidal Rule: 7249.9275
Simpson's Rule: 7214.818
Simpson's 3/8 Rule: 7271.07221875

CUT & FILL VOLUMES

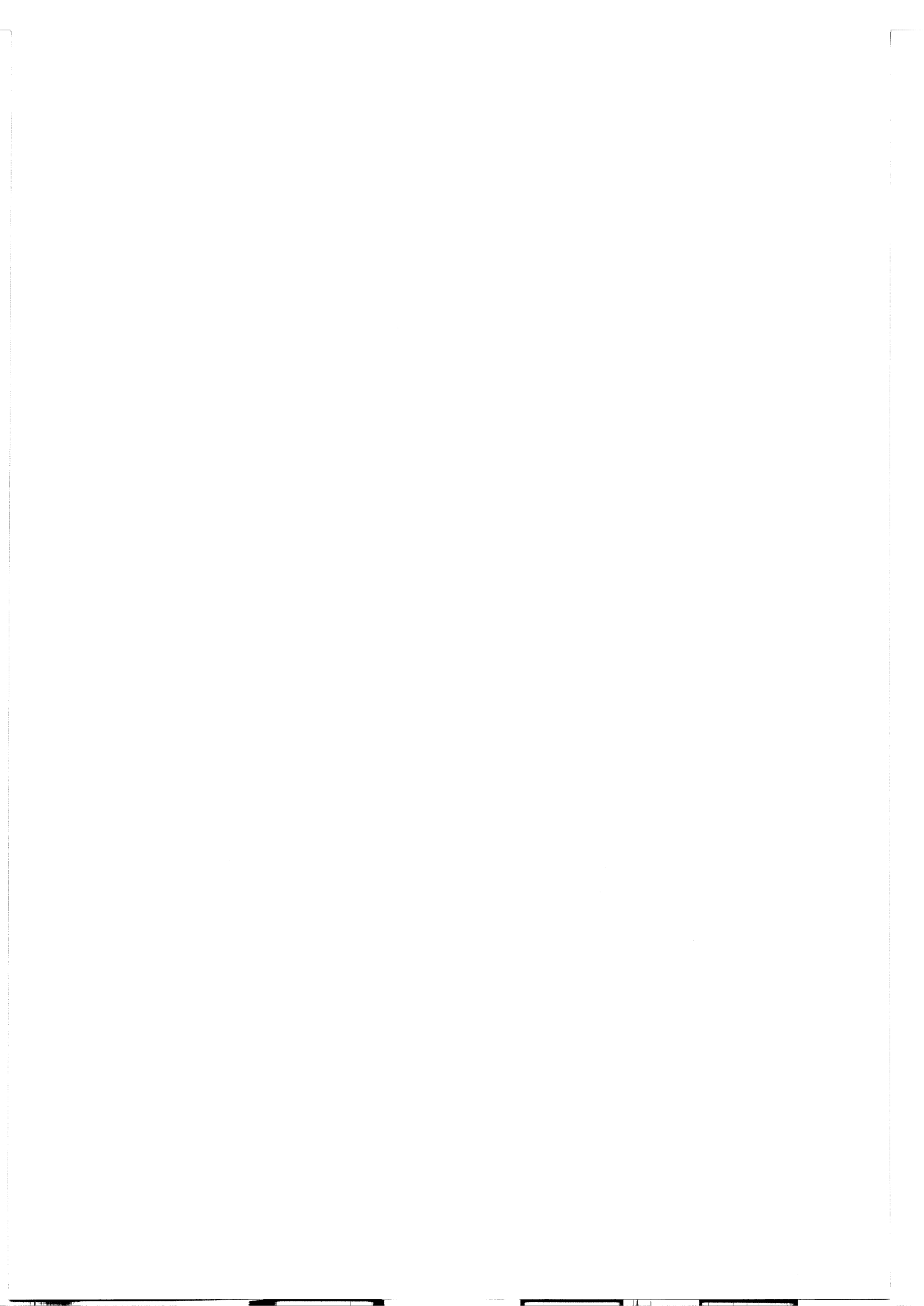
Positive Volume [Cut]: 7258.58236404
Negative Volume [Fill]: 8.53653070416
Cut minus Fill: 7250.04583333

AREAS

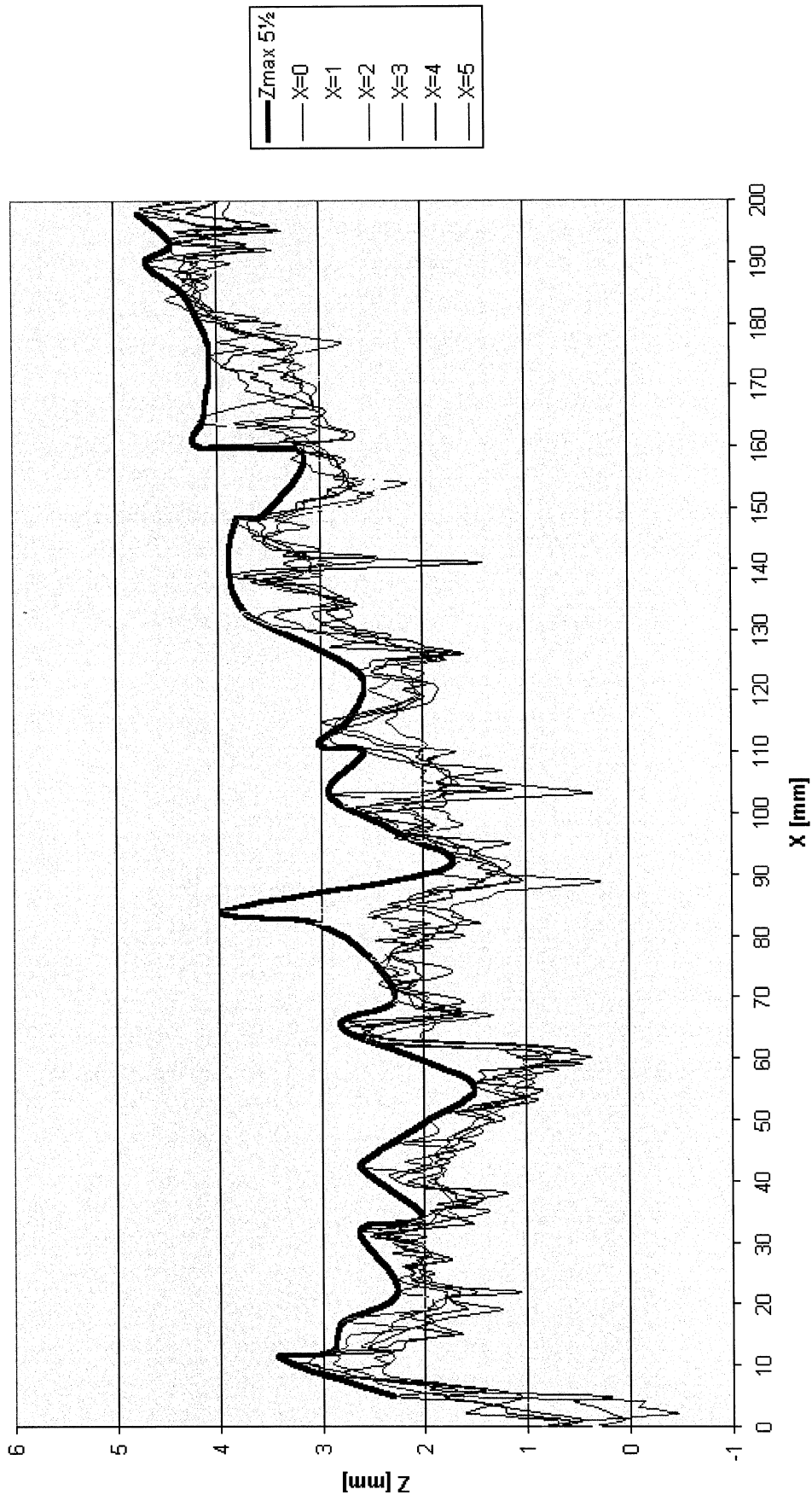
Positive Planar Area
(Upper above Lower): 9804.42670508
Negative Planar Area
(Lower above Upper): 195.573294925
Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 10000

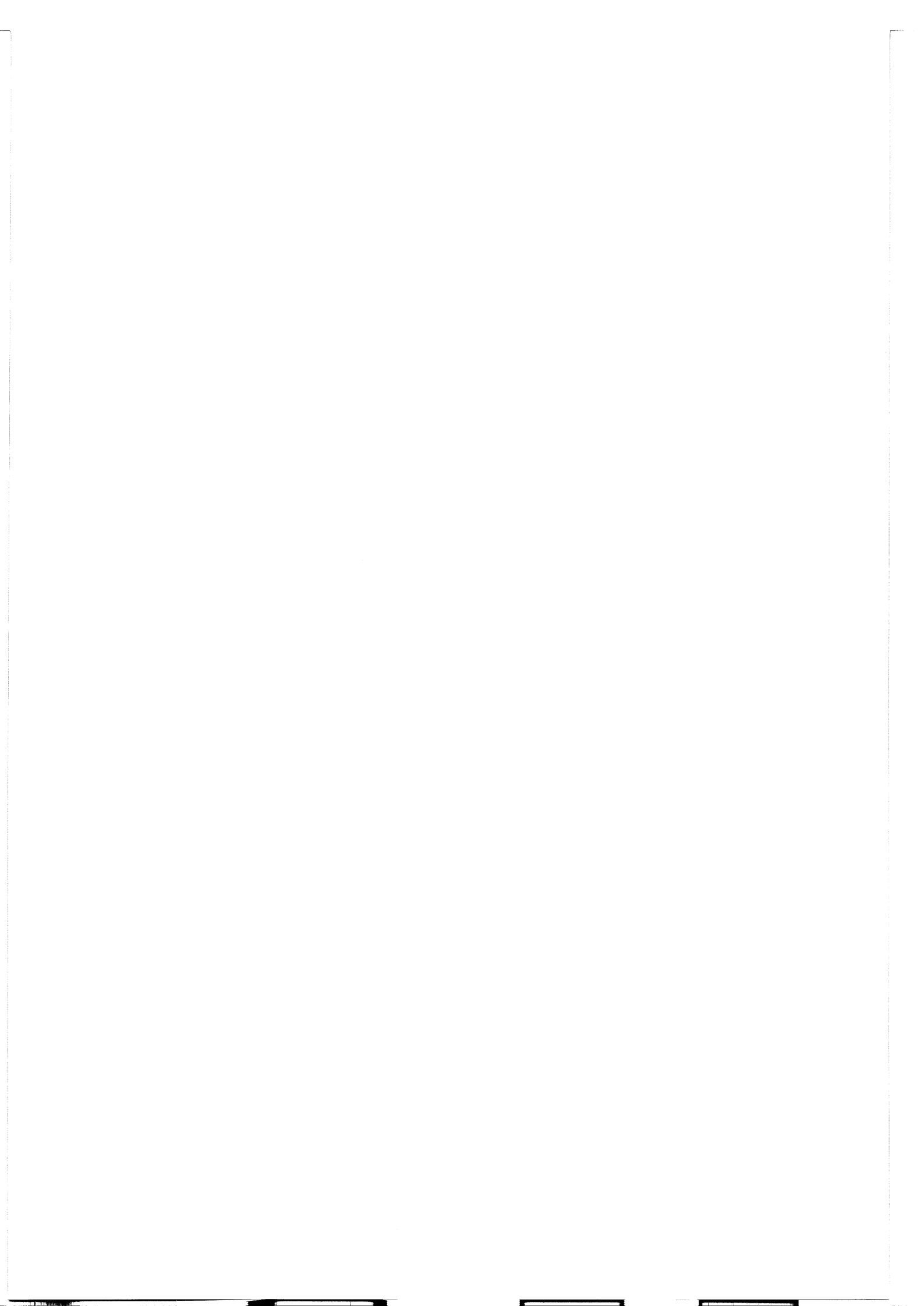
MTD=0.7259 mm

Positive Surface Area
(Upper above Lower): 12625.4075606
Negative Surface Area
(Lower above Upper): 205.276772056

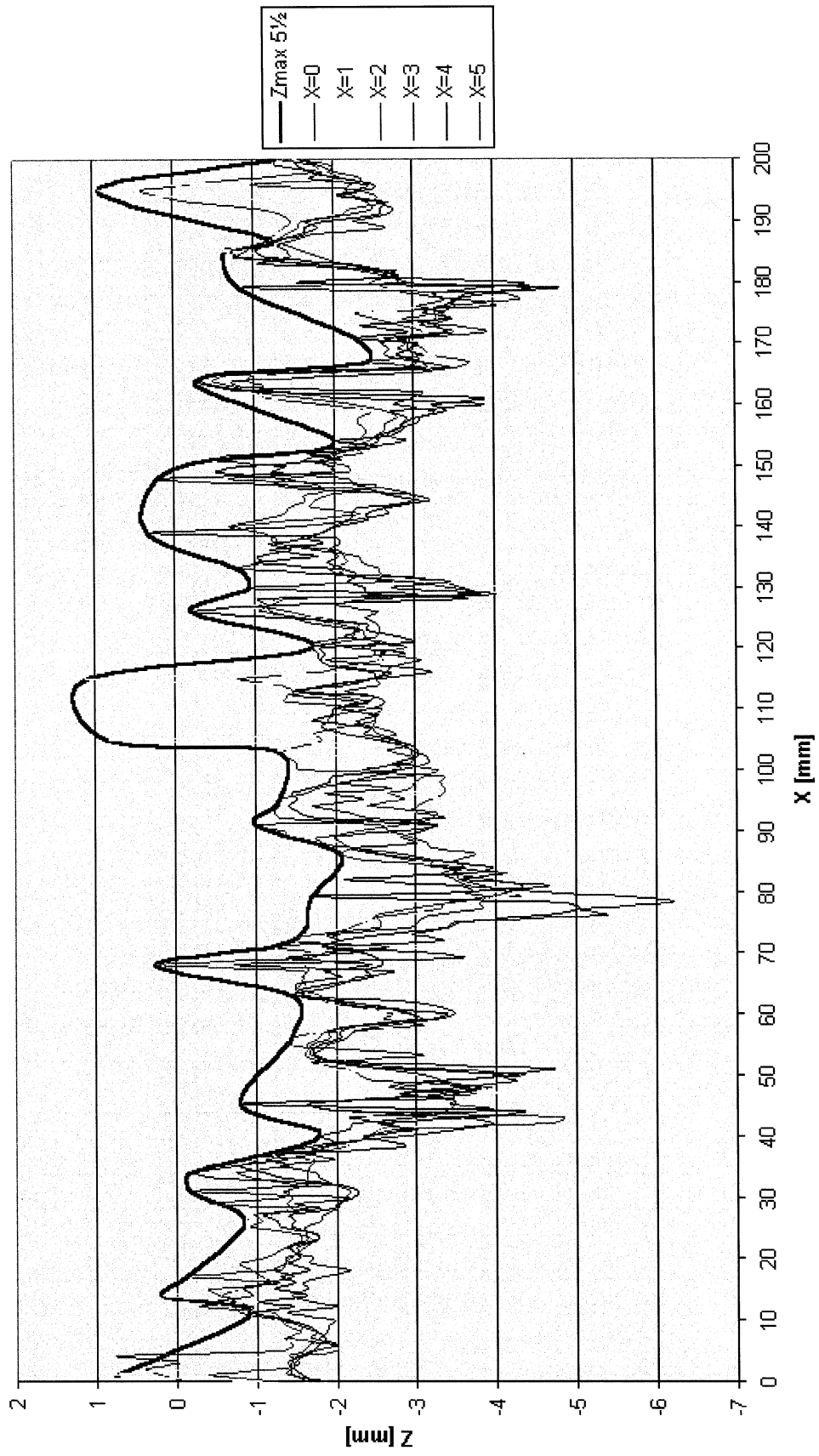


ABT 11



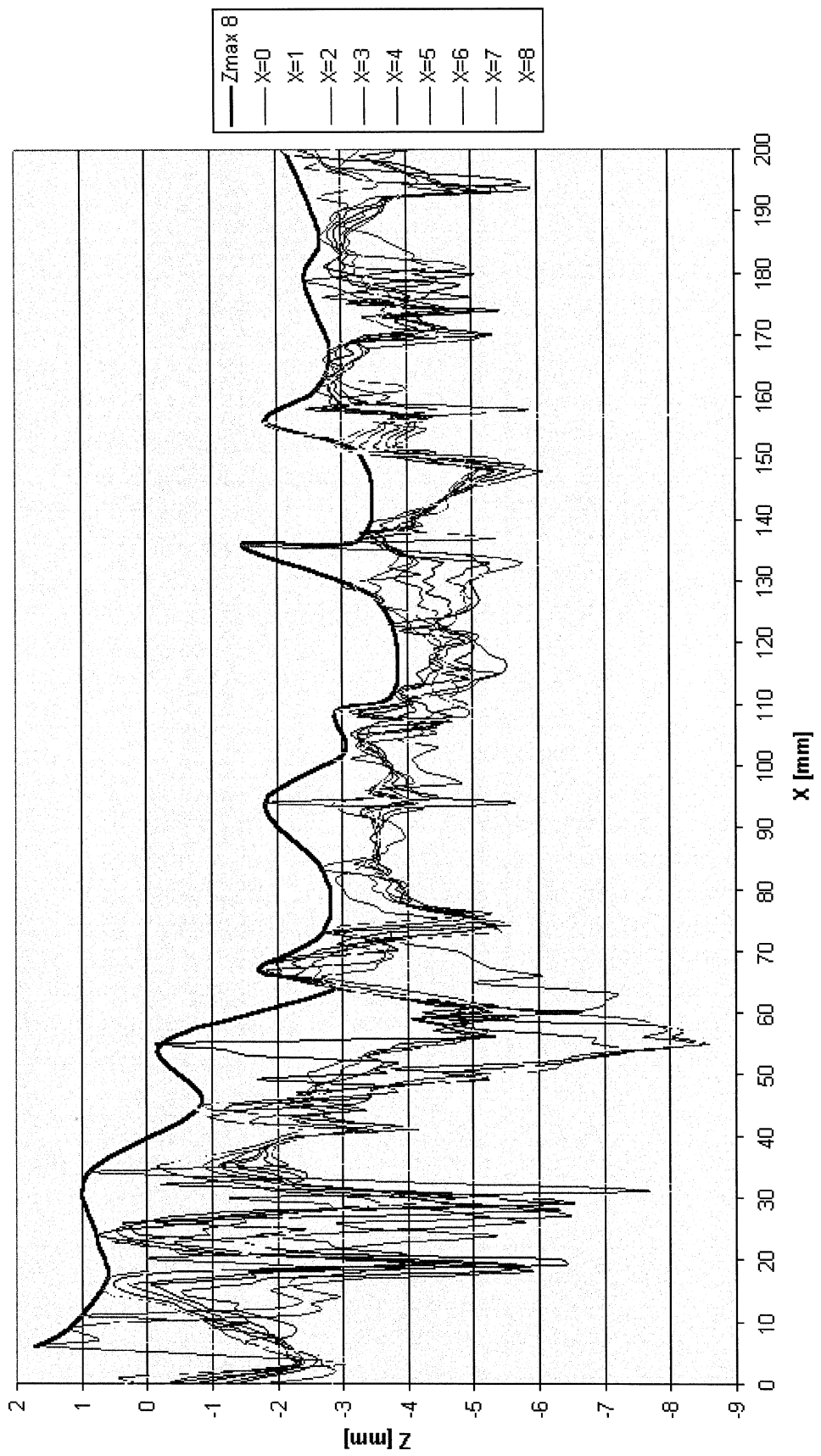


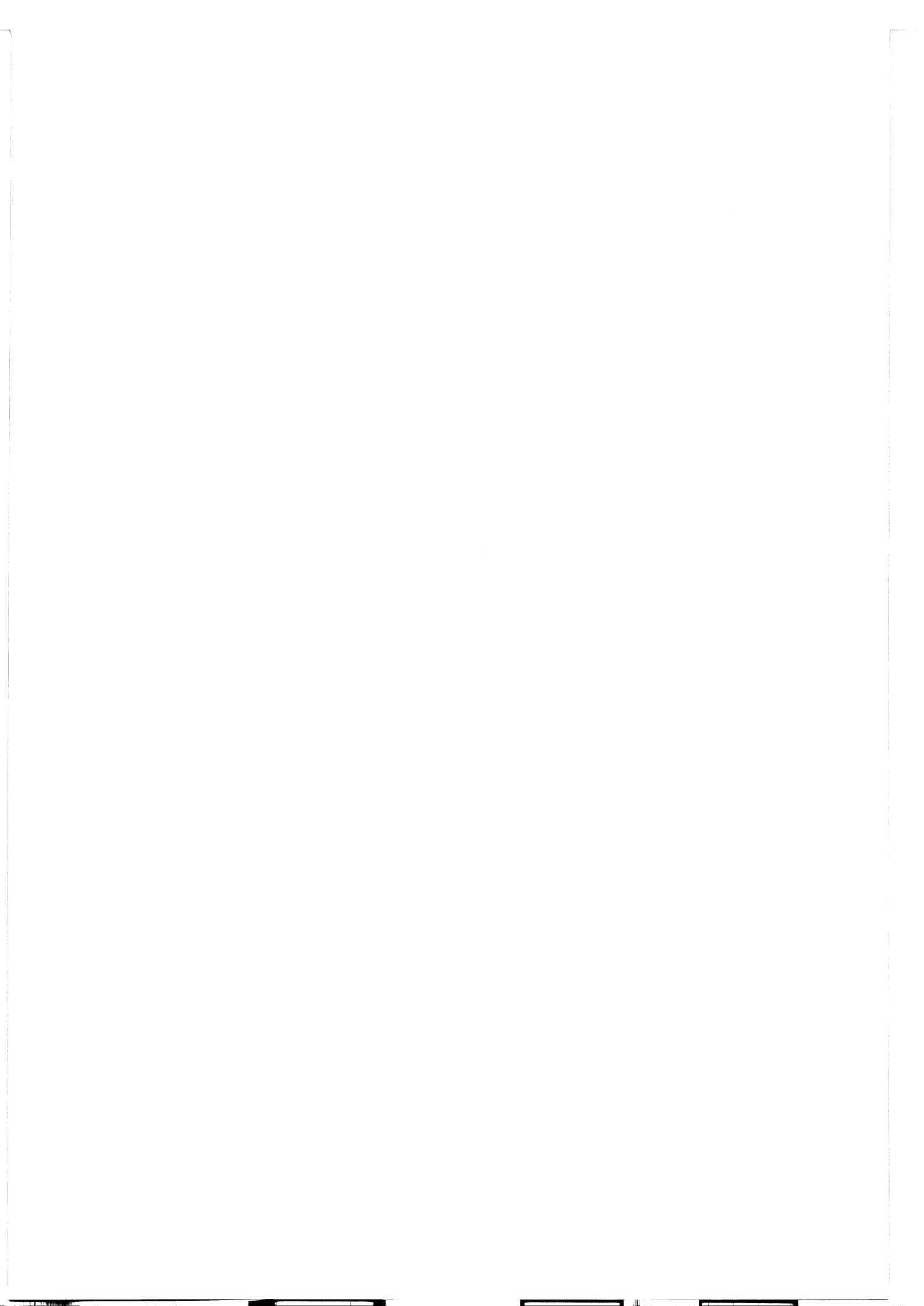
ABS 11





ABS 16





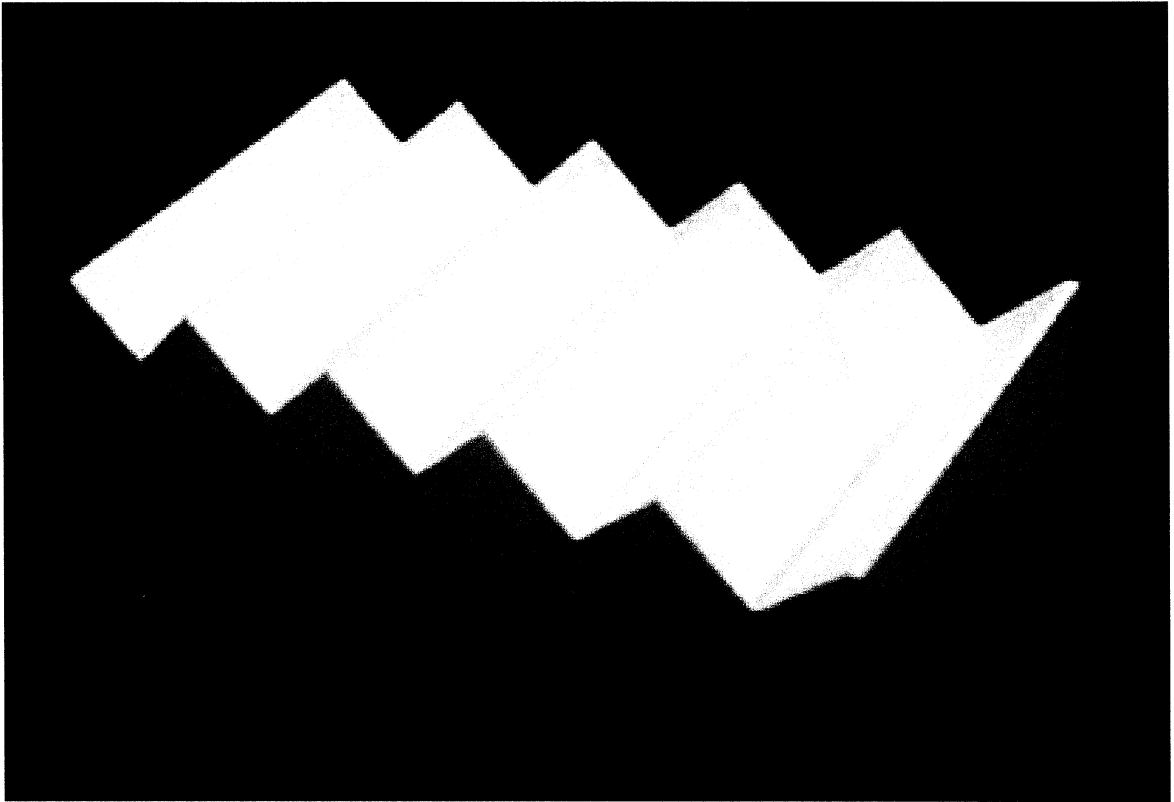


Bild 1. Aluminiumprofil för test av metoden.

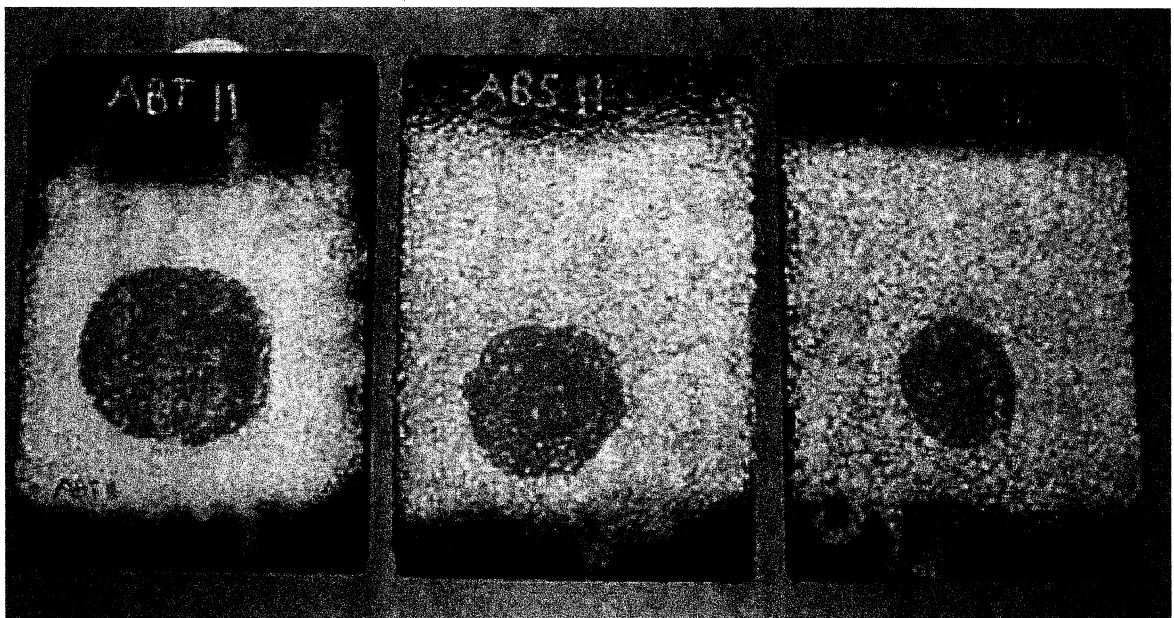


Bild 2. Testplattor av olika asfaltsmassa.



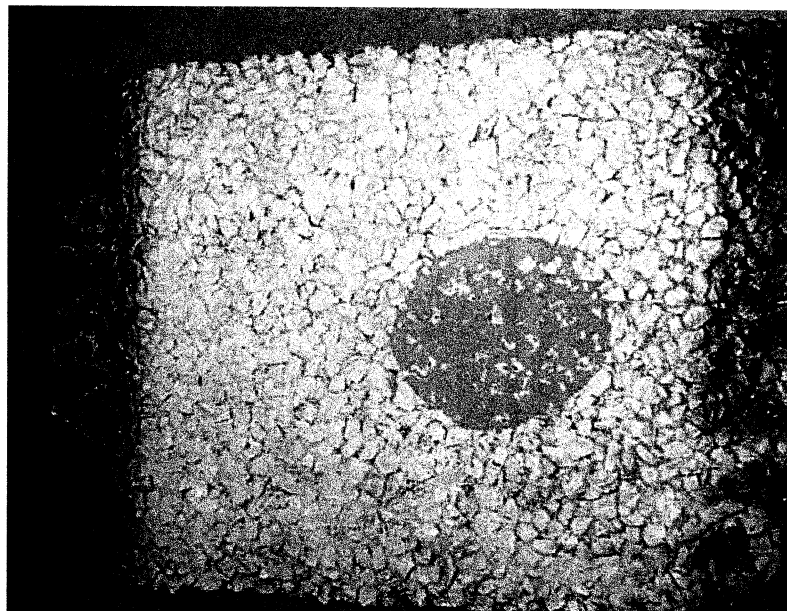
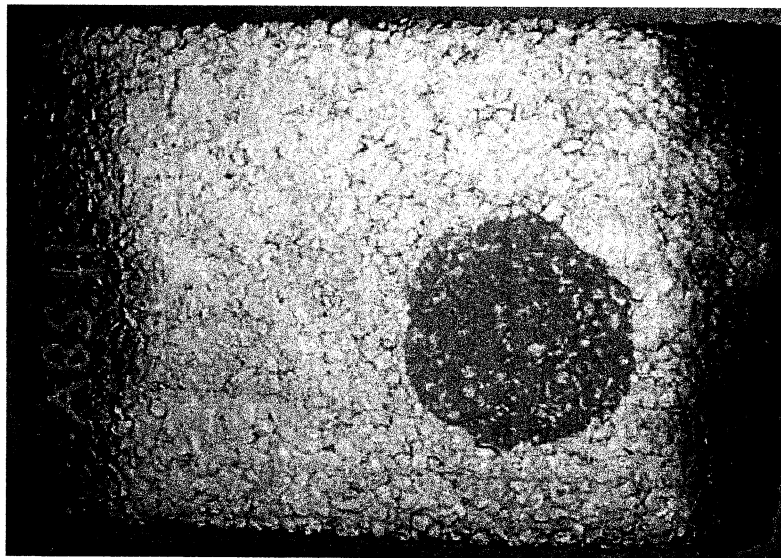
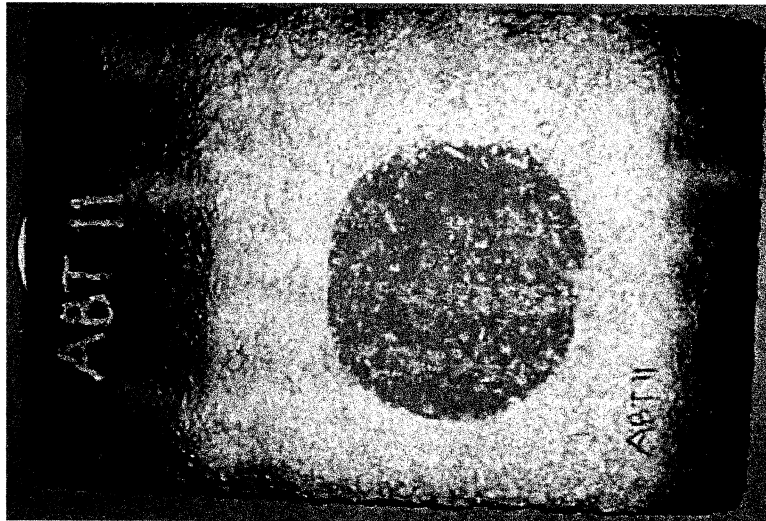
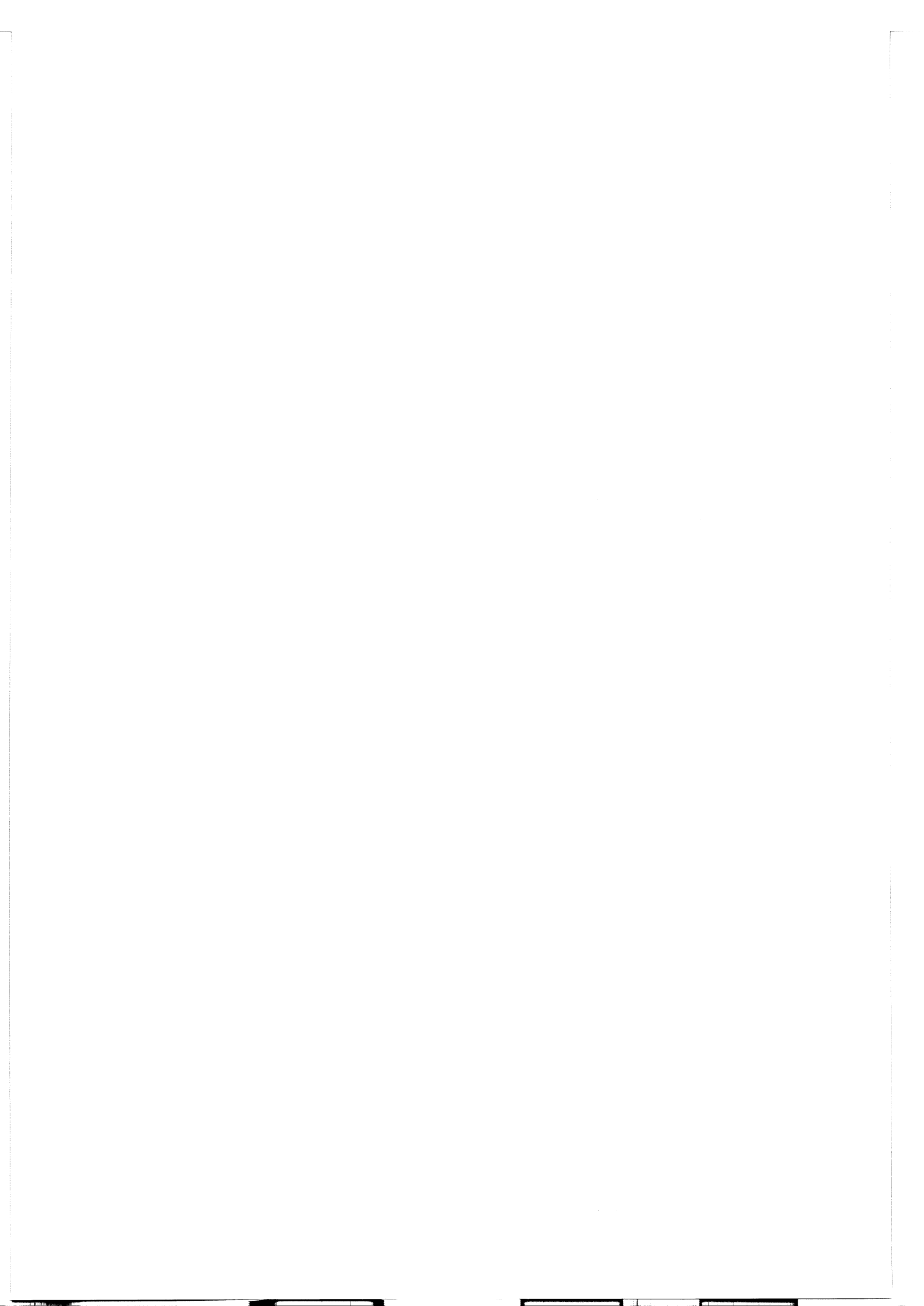


Bild 3, 4 & 5. Förstoring av testplattor.



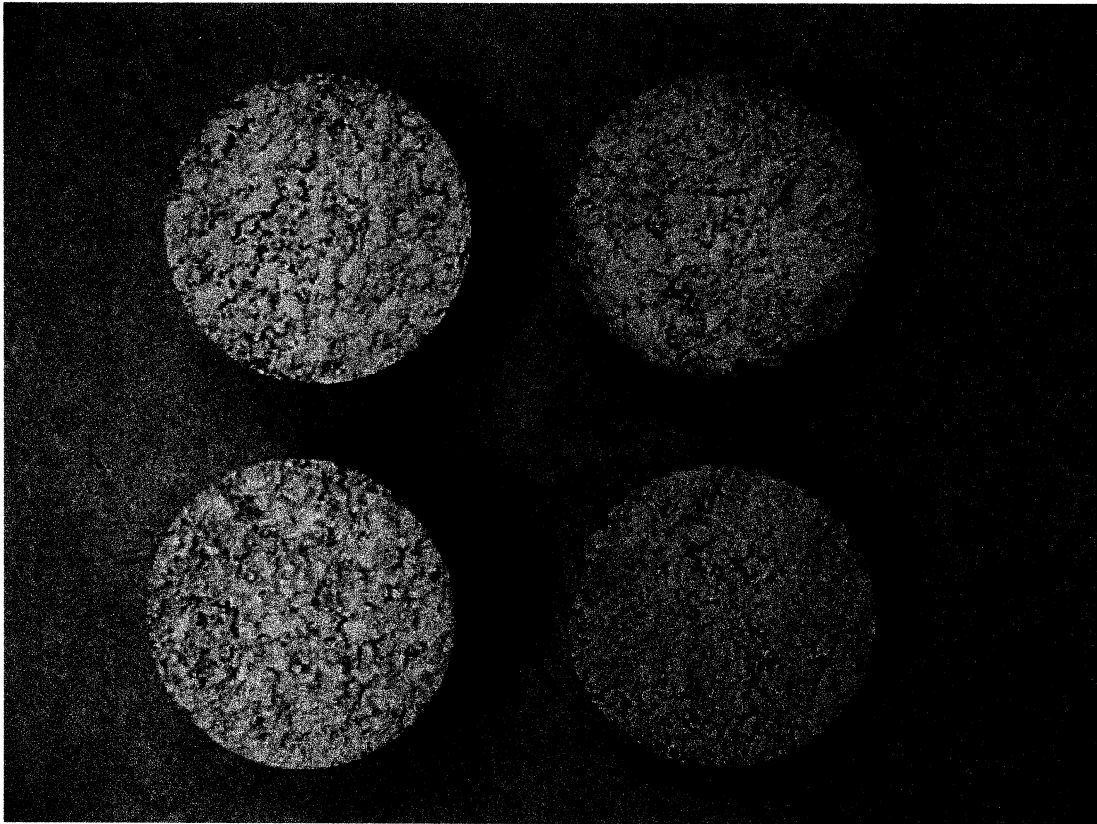


Bild 6. Puckar för statistisk analys

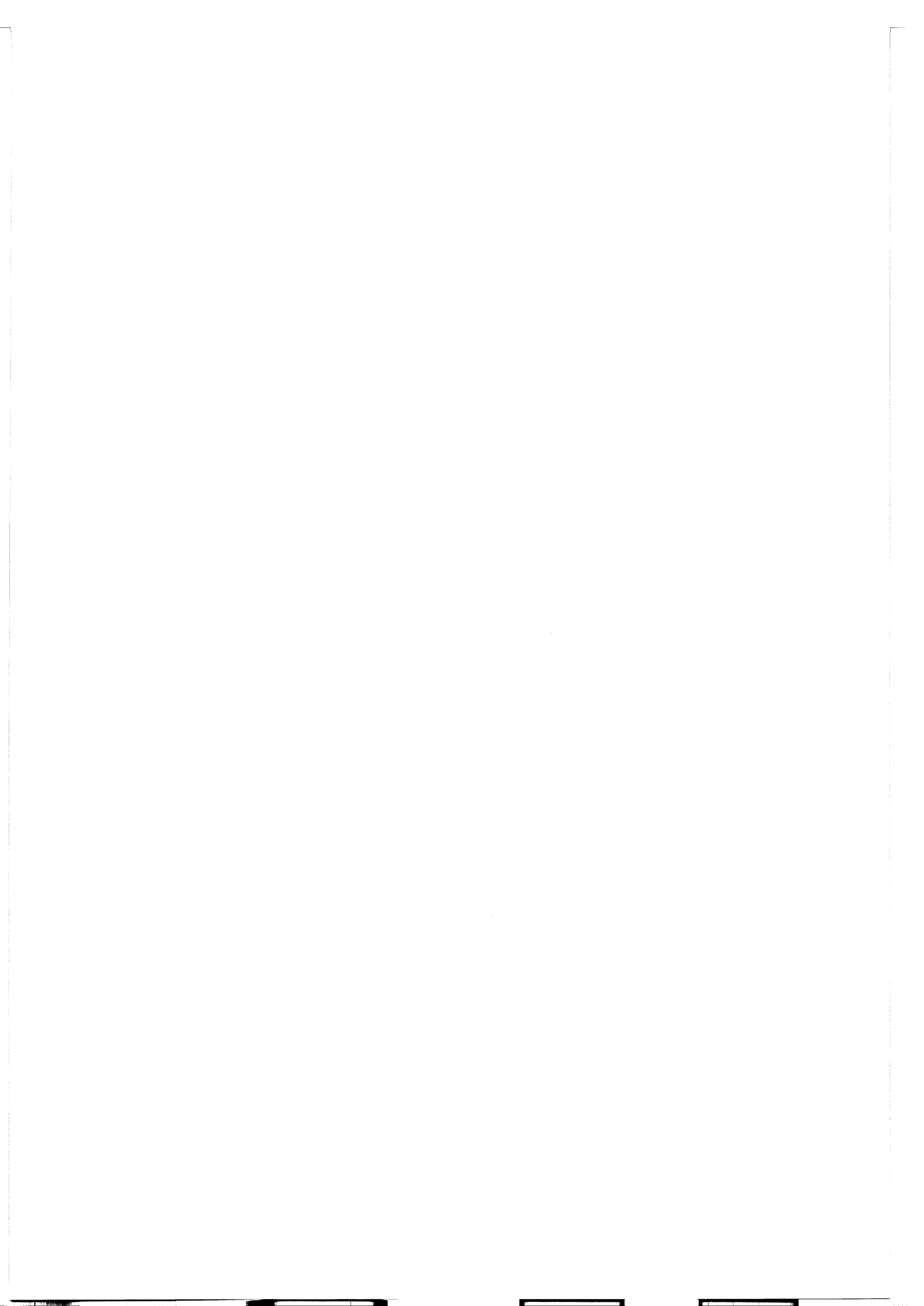




Bild 7. Puck No 4. Diameter 150 mm

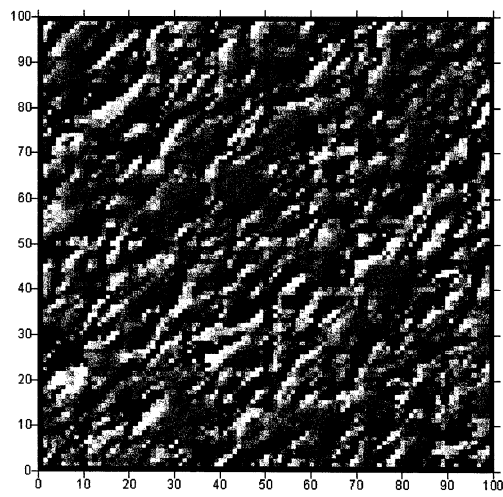


Bild 8. Relief av puck No 4. 100x100 mm.

