

**BRUGERVEJLEDNING TIL
BILLEDBEHANDLINGS PROGRAMMET
PIPPIN**

Ernst Jan de Place Hansen
Paw Mullit
Oktober 1994

Brugervejledning til billedbehandlingsprogrammet PIPPIN

Ernst Jan de Place Hansen og Paw Mullit
Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks tekniske Universitet

Teknisk Rapport 317/1994

Stikord

Digital billedbehandling, brugervejledning, computerstyring, mikroskopi, porestruktur, porestørrelsesfordeling

Resume

Laboratoriet for Bygningsmaterialers udstyr til billedbehandling beskrives. Problematikken omkring brug af billedbehandling til at studere porestruktur omtales.

Et computerbaseret program til digital billedbehandling (PIPPIN) gennemgås punkt for punkt med bestemmelsen af en porestørrelsesfordeling som udgangspunkt. Gennemgangen illustreres med figurer. I bilag uddybes centrale punkter i billedbehandlingen. Desuden vises, hvordan porestørrelser beregnes og hvordan billedbehandlingen automatiseres.

Indhold

Forord	4
Beskrivelse af udstyr	5
Opstilling	5
Anvendelse af billedbehandling til at studere porestruktur	6
Filtrering og binarisering af et billede	6
Bestemmelse af porestørrelsesfordeling	6
Videre perspektiv	7
Brugervejledning - PIPPIN	8
Kort oversigt	8
Frengangsmåde ved brug af PIPPIN	12
Operationer i WordPerfect	23
Litteratur	24
Bilag A Opstart af PIPPIN	25
Bilag B Menupunktet Max Contrast	27
Bilag C Udvælgelse af WorkArea	28
Bilag D Dilation - virkemåde og valg af matrix	30
Bilag E Beregning af pixel- og porestørrelser	33
Taleksempel	34
Bilag F Automatisering af billedbehandling	36
Bilag G Liste med kontaktpersoner	38

Forord

Denne rapport indgår som en del af mit arbejde på Ph.D-projektet "Byggematerialers frostbestandighed", der gennemføres i samarbejde mellem Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) og Laboratoriet for Bygningsmaterialer (LBM), DTU med docent Anders Nielsen og lektor Lauge Fuglsang Nielsen, begge LBM samt civilingeniør Erik Brandt, SBI som vejledere.

I projektet er bestemmelse af porestørrelsесfordeling til dels baseret på billedbehandling i computer af fotos taget i Scanning Elektron Mikroskop. Billedbehandling er foregået vha udstyr på LBM og har tidligere været anvendt bla i forbindelse med et Ph.D-projekt om salte i porøse bygningsmaterialer [C.B.Nielsen,91].

Den foreliggende rapport er skrevet på basis af mine egne erfaringer med brug af billedbehandlingsprogrammet PIPPIN, da der ikke forelå en vejledning til praktisk brug af PIPPIN. Rapporten vil ikke omhandle samtlige de muligheder for billedbehandling, programmet rummer. I stedet er der lagt vægt på en grundig skridt-for-skridt gennemgang, illustreret med figurer, der viser, hvordan billedbehandlingen benyttes til bestemmelse af porestørrelser. Visse punkter i billedbehandlingen er beskrevet særskilt i bilag. Sidst i rapporten gengives en liste med kontaktpersoner, der har været involveret i udarbejdelsen af PIPPIN.

Rapporten behandler ikke de fundamentale principper der overhovedet gør digital billedbehandling mulig. I stedet kan fx [Teuber,89] anbefales.

Hørsholm, 10. juni 1994
Ernst Jan de Place Hansen

For at gøre rapporten yderligere brugervenlig er skridt-for-skridt gennemgangen suppleret på visse punkter og med ekstra figurer. Desuden er funktionen af visse menupunkter i programmet uddybet i bilag. Endelig er det beskrevet, hvordan automatisering kan lette brugen af programmet. Den supplerende tekst er skrevet af Paw Mullit og den endelige redigering er foretaget af Ernst Jan de Place Hansen.

Hørsholm, oktober 1994
Ernst Jan de Place Hansen

Lyngby, august 1994
Paw Mullit

Beskrivelse af udstyr

Laboratoriet for Bygningsmaterialer (LBM) råder over et billedbehandlingsprogram kaldet PIPPIN (*Powerful Interactive Picture Processing INterface*). PIPPIN er i stand til at digitalisere¹ et billede, fx taget gennem et Scanning Elektron Mikroskop eller et lysmikroskop, ind i et felt bestående af 512x512 pixels² hver med en gråtoneværdi mellem 0 (sort) og 255 (hvid). Det digitaliserede billede analyseres herefter med henblik på at bestemme fx en porestørrelsesfordeling.

Programmet er udviklet af Kent Johansen, hvis manual kan hentes frem på skærmen som on-line hjælp til PIPPIN. Manualen beskriver på stikordsform de indbyggede funktioner, men er sjældent til megen hjælp med mindre man har et godt kendskab til digital billedbehandling og edb. I bilag G angives en liste med personer, der har været inddraget i forbindelse med udviklingen af programmet.

Opstilling

Billedet scannes med et videokamera (Panasonic Colour CCTV Camera) gennem et objektiv (AF Micro Nikkor 55 mm 1:2.8) eller et lysmikroskop (Nikon SMZ-2T eller Leitz Orthoplan). Fotografier, der scannes gennem objektivet, blyses vha to neonlamper (Kaiser RB 5000), der kan justeres i højden. Kameraet monteres på et videostativ (Kaiser reprostativ RS1).

Til billedbehandlingssystemet på LBM er koblet tre skærme, der alle skal være tændt. Én skærm benyttes til menustyringen (kaldet PC-skærmen). Skærmen til højre for PCen (kaldet gråtonemonitoren) benyttes til det digitaliserede billede. Den sidste skærm placeret til venstre for PCen (Philips-monitor, model CM 8833) afbilder, hvad kameraet rent faktisk "ser" og dermed også om billedet fremtræder skarpest muligt.

Skarpheden kan justeres ved at forskyde kameraet i højden eller direkte på objektivet (finindstilling). Billedet lægges på en plade, der kan forskydes i to retninger parallelt med bordpladen vha glideskinner.

-
- 1 Digitalisering: opdeling af et billede i felter, der hver forsynes med et mål for korntætheden, gråtonen eller lysintensiteten i billedet det pågældende sted.
 - 2 Pixel - fra engelsk picture element. Den mindste enhed i et billede, der kan registrere, repræsentere eller producere en mængde lys. Antallet af pixels betegner billedets oplosningsgrad.

Anvendelse af billedbehandling til at studere porestruktur

Nogle generelle betragtninger angående billedbehandling vha computer gives i det følgende. Det vil fremgå, at man på trods af, at man har en computer til rådighed til det "grove", ikke slipper for at foretage en række vurderinger undervejs i processen. Man kan derfor ikke tale om, at der findes et entydigt facit, når man bruger computerbaseret billedbehandling.

Fremhævede begreber i teksten refererer til menupunkter i PIPPIN. En egentlig beskrivelse af, hvordan billedbehandling foretages følger i næste afsnit.

Filtrering og binarisering af et billede

Når et billede er hentet ind vha **Pic In/Out** vil det rumme et bredt spektrum af gråtoner fra næsten sorte områder til meget lyse, næsten hvide områder. For at kunne bestemme fx en porestørrelsesfordeling skal man definere, hvad der er porer og hvad der er faststof, dvs vælge ved hvilken gråtone, grænsen mellem porer og faststof skal lægges. "Grød" på billedet kan gøre det vanskeligt at sætte en skarp grænse. Ét af formålene med at benytte et billedbehandlingsprogram er at forsøge at gøre billedet mindre grumset, således at det er lettere at skelne forskellige faser fra hinanden.

Den simpleste måde at rense ud i billedet foregår ved at sende det igennem et midlingsfilter (**Filters, Convolution**). Hvert punkt på billedet får en gråtoneværdi, der er en middelværdi af gråtoneværdien af punktet selv og dets nabopunkter. I [C.B.Nielsen,91] omtales andre muligheder for at "rense ud" i billedet. Filtrering skal ske på en sådan måde, at man ikke fjerner billedets karakteristika.

Når billedet er renset, skal det opdeles i to faser (porer og faststof). Det sker vha **Mark Phases**, hvor man angiver, hvilke gråtoneværdier der repræsenterer porefase henholdsvis faststoffase. Ved en simpel opdeling vha én tærskelværdi vil man ofte opleve, at porefasen vil indeholde lidt faststof og omvendt. Man må derfor "føle" sig lidt frem for at finde en passende grænse. [C.B.Nielsen,91] refererer til metoder, hvor man benytter en mere flexibel faseinddeling end en simpel skelnen vha én tærskelværdi.

Bestemmelse af porestørrelsesfordeling

Ved bestemmelse af en porestørrelsesfordeling skal man tage hensyn til, at poreformerne ofte er meget uregelmæssige. Sammenhængen mellem en pores udstrækning på et billede og pores diameter (tværsnitsdimension) vil derfor være meget dårlig.

Det er porernes tværsnitsdimension, der er afgørende for materialets evne til at transportere fx fugt. En størrelsesfordeling baseret på areal beregnet vha **Phase Analysis** og **Distribution** er derfor ikke egnet i denne sammenhæng.

I stedet benyttes funktionen **Dilation**, ved hjælp af hvilken man skiftevis kan fjerne og tilføje pixels til porefasen (grænsen mellem porefase og faststof rykkes frem og tilbage). Fjernes pixels vil de mindste porer forsvinde og den yderste rand af de øvrige vil rykke ind mod pores midte. Tilføjes derefter pixels vil randen flyttes tilbage igen, mens de mindste porer ikke vender tilbage.

Ved successivt at fjerne og tilføje flere og flere pixels fra porefasen, i principippet indtil der er én stor pore tilbage, samtidig med at man noterer restporøsiteten, kan en porestørrelsesfordeling bestemmes. For at minimere fejlene ved denne procedure skal man gå ud fra det oprindelige billede hver gang. Desuden må man tage hensyn til, at en pixel ikke er kvadratisk; en problematik der behandles mere udførligt i bilag D og E.

Inden man går i gang med at behandle billedet, må man gøre sig klart, hvad der kan detekteres ud fra det pågældende billede. Uanset billedeets forstørrelse vil der være en nedre grænse for, hvor små porer, det vil være rimeligt at tælle med. Denne grænse kan udtrykkes ved et antal pixels. Porer med et pixeltal under denne grænse bør ikke studeres, uanset om man benytter PIPPINs faciliteter til at beregne størrelsesfordeling, eller det ovennævnte princip med at fjerne og tilføje pixels.

Videre perspektiv

Billedbehandling som metode er studeret i en doktorafhandling, [Kukko, 92]. Udviklingen i brugen af computer til billedbehandling samt principperne for billedbehandling som metode beskrives. Kukko har arbejdet med at optimere billedbehandlingen således at billedet træder klarere frem, samtidig med at det oprindelige billedes karakteristika bevares.

Når billedbehandling benyttes til at studere porestruktur skal man huske på, at man ser på et to-dimensionalt billede, mens porestrukturen er tre-dimensional. En tilbundsgående analyse af porestrukturen baseret fotos vil derfor kræve en serie af parallelt placerede billeder taget i forskellige "dybder" i materialet. Desuden må man inddrage studier af poreformer og porestrukturens konnektivitet (sammenhæng), se fx [Nakamura, Ohnishi & Kamitani, 91]. Dette område er endnu ret uopdyrket.

Brugervejledning - PIPPIN

Den foreliggende brugervejledning er skrevet til følgende version af billedbehandlingsprogrammet PIPPIN:

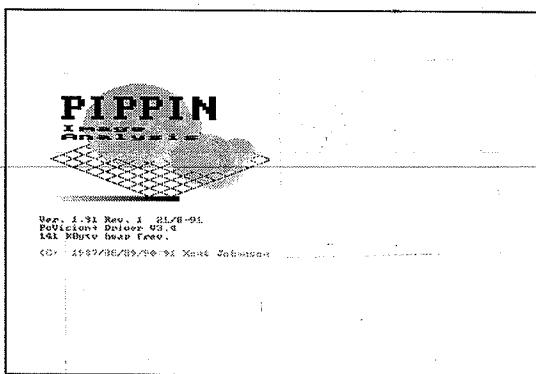
Version 1.91, revision 1, 21/8-91. PC Vision Driver V3.4.

Vejledningen er delt i to dele, først en kort oversigt over programmets muligheder, dernæst en mere detaljeret beskrivelse af fremgangsmåden ved praktisk brug af programmet til bestemmelse af porestørrelsesfordeling og lignende. Ikke alle de features, der beskrives, er benyttet i forbindelse med arbejdet på Ph.D-projektet "Byggematerialers frostbestandighed", der har været udgangspunktet for udarbejdelsen af denne vejledning.

Kort oversigt

Start af PIPPIN

- tænd for PCen. Efter et par sekunder med "rulletekster" skal man vælge mellem 1: Normal og 2: PIPPIN. Vælg 2. PCen er nu sat op til at kunne kalde PIPPIN frem.
- programmet startes fra DOS ved ud for "c:\>" at skrive:
cd PIPPIN <ENTER>
PIPPIN <ENTER>
- programmets logo (se figur 1) kommer frem på skærmen (i det følgende kaldet PC-skaermen).
Ved siden af logoet ses et menuvindue (ikke vist).



Figur 1. Skærbillede med PIPPINS logo.³

3 Figur 1 er af praktiske grunde vist som en farveversion, mens de øvrige skærbilleder af tekniske grunde vises i s/h og aht til læsbarheden er forstørret i lodret retning i forhold til det originale skærbilleder.

På gråtonemonitoren (placeret til højre for PCen) skal der stå:

PIPPIN
PcVision Driver V3.4
Copyright 1987/88/89/90/91 Kent Johansen

Er gråtonemonitoren sort eller mangler noget af denne tekst, vil der erfaringsmæssigt opstå problemer hvis man bruger programmet. For at afhjælpe dette henvises til bilag A "Opstart PIPPIN".

Hovedmenu - oversigt

Starter programmet korrekt op ses et menuvindue på PC-skærmen. Dette menuvindue er den såkaldte hovedmenu. I det følgende gives en liste over punkterne i denne menu, menupunkternes funktion beskrives kort, og de væsentligste underpunkter nævnes; i øvrigt henvises til den efterfølgende beskrivelse.

Pic IN/OUT

- benyttes til at hente et billede ind i PIPPIN og digitalisere det samt gemme det til senere brug.
- **Digitize, Digitize (R/S), Save .PP Pic, Load .PP Pic, Save as TIF.**

Filters

- faciliteter til at bearbejde billedet så det bliver lettere at arbejde med.
- **Max Contrast, Convolution, Dilation.**

Mark Phases

- benyttes til at dele billedet op i faser.
- **Mark Phase/hist, Repeat Markings, Reset Phases.**

Paint & Edit

- benyttes hvis man vil tilføje linier, tekst mm til billedet.

Scale & Measure

- benyttes til angivelse af målestoksforhold og størrelse af skærbilledet.
- **Set Scale-2-Line, Measure Length, Set Aspect Ratio.**

Analyze

- analyse af enkelte porer samt hele faser.
- **Phase Analysis, Analyze Log, Distribution**

Microstructure

- udregner mikrostruktur-konnektivitet (sammenhæng)

Palette

- benyttes til at lægge farver på det digitaliserede billede

System Config

- her defineres hvilke parametre, der ønskes udregnet under Analyze. Desuden angives enhed for længder samt hvor man ønsker sine datafiler gemt.
- Set Config, Load Config

Zoom

Usermenu

- i LBM's version havner man øverst i hovedmenuen ved at vælge Usermenu

Set WorkArea

- benyttes hvis man vil arbejde med en begrænset del af skærmbilledet. Fra start er WorkArea hele skærmen på gråtonemonitoren.

Brug af PIPPIN - generelt

- *on-line hjælp* fås ved at trykke på <PgDn>. Hjælpen er på stikordsform, skrevet af programmets udvikler Kent Johansen, og er sjældent til megen hjælp med mindre man har et godt kendskab til digital billedbehandling og computere.
- PIPPIN styres ved hjælp af en mus. Når musens trådkryds eller cursor (+) flyttes hen på et menupunkt, indrammes det. Enkelte gange kan man benytte tabulatortasten, <HOME> eller <END> for at rykke mellem inputfelter, men generelt skal musen bruges overalt.
- trykker man på *venstre musetast* vælges menupunktet, og en undermenu dukker frem eller en funktion udføres.
- trykker man på *højre musetast* annulleres menupunktet og man kommer tilbage til den forrige menu.
- *piltaster* benyttes til at komme rundt i menuer, hvor man selv skal udfylde felter (fx filnavn).
- står PIPPIN tændt i længere tid uden at programmet bruges, vil billedet på PC-skærmen begynde at flimre og få voldsomme farver. Flimmeret fjernes ved at trykke <ESC> og man kan fortsætte.

Gemme filer

Filer kan gemmes som PP-filer (**Save .PP Pic**); PIPPINs eget grafikformat. PP-filer kan derfor hentes ind i PIPPIN igen.

Filer kan også gemmes som TIFF-filer⁴ (**Save as TIF**); et grafikformat der fx kan indlæses i WordPerfect. Se også under "Operationer i WordPerfect".

Et filnavn kan bestå af op til otte karakterer valgt blandt bogstaverne A til Z samt cifrene 0 til 9.

⁴ TIFF = Tagged Image File Format

Hent filer ind i PIPPIN

Kun PP-filer kan hentes ind. Gå ind i **Pic IN/OUT** og vælg **Load .PP**. Forskellige filnavne kommer nu op, og hvis den ønskede fil ikke vises kan man trykke på **More**. Musen flyttes hen på det ønskede filnavn og venstre musetast trykkes ned. Det valgte billede ses nu på gråtonemonitoren.

Afslutte PIPPIN

Man skal stå i hovedmenuen. Tryk på højre musetast og ved at vælge "Yes, quit !!" afsluttes programmet.
En liste institutioner og firmaer der råder over programmet eller har været til hjælp ved udviklingen af programmet kommer frem på PC-skærmen når programmet afsluttes. Se også bilag G.

Fremgangsmåde ved brug af PIPPIN

Klargør opstilling

- montér kamera og objektiv i det tilhørende stativ / monter kamera på mikroskop
- tænd for PC, skærme og lys
- tænd for kamera (sort knap øverst på kameraet)
- placér foto eller mm-papir på pladen (Kaiser RS1); læg glasplade over (retter billedet ud) / anbring slib i mikroskop
- indstil skarphed vha stativ og objektiv / stil skarpt på mikroskop. Ved brug af objektiv kan det anbefales at anvende blænde 22 eller 32.

Start PIPPIN

- som beskrevet i "Kort oversigt" ovenfor.

Konfiguration af programmet

- **System Config⁵** **Set Config⁶**.

Under Set Config defineres, hvilke parametre, der ønskes udregnet under Analyze (s.d.⁷). Desuden angives enhed for længder samt hvor man ønsker sine datafiler gemt.

→ **Logfile Members⁸**; udvælger de data der skal med i en LOG-fil. Kun relevant, hvis **Phase Analysis** benyttes.

→ **Unit**; angiv den enhed der benyttes ved fastsættelse af målestoksforholdet (fx millimeter).

→ **Log Path**; angiv hvor LOG-filer skal gemmes. LOG-filer er datafiler, der kan hentes ind i PIPPIN igen, eller overføres til regnearksprogrammer. Standard-directory er C:\PIPPIN. Kun relevant hvis **Phase Analysis** benyttes.

→ **Picture Path**; angiv hvor PP-filer skal gemmes. PP-filer er grafikfiler, der kan hentes ind i PIPPIN igen. Standard-directory er C:\PIPPIN\PICTURES.

- Ved fx at vælge sin egen rammefarve kan man fremover på en enkel måde kontrollere, at man benytter den korrekte opsætning:

⁵ Menupunkt i hovedmenuen (1.niveau).

⁶ Menupunkt i 2.niveau. Angives ved indrykning i forhold til venstre margin.

⁷ s.d. = se denne

⁸ Menupunkt i 3.niveau. Angives med →

Set Config → Menu Colors → Function Menu → Set Menu Colors⁹

Man kan nu vælge mellem et antal farver angivet ved numre.

Save Config; gem konfigurationen.

Load Config; en gemt konfiguration hentes ind.

Angivelse af aspektforhold og størrelse af skærbilledede

For *hver enkelt indstilling af kamera/mikroskop* foretages følgende:

- hent billede af mm-papir ind vha menupunkt **Digitize** under **Pic In/Out**.

Scale & Measure

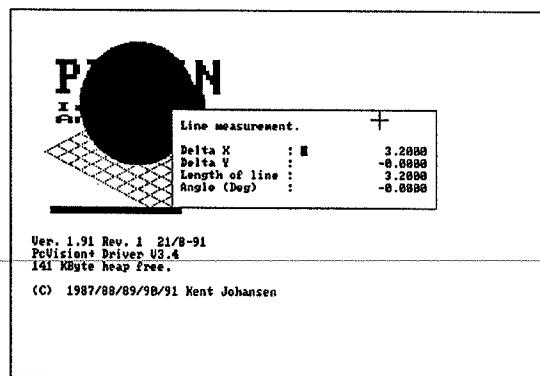
Set Scale-2-Line. Placér musens trådkryds i et skæringspunkt på mm-papiret. Hold venstre musetast nede og træk en vandret linie til et andet skæringspunkt og slip tasten. Jo længere linien er desto bedre. PIPPIN vil spørge om liniens længde som angives i den valgte enhed (typisk mm). Enhed angives under System Config jf ovenfor. Gentag proceduren med en lodret linie. Vha mm-papiret kan man sikre, at stregerne placeres lodret henholdsvis vandret i billedet.

Kontroller at skaleringen er korrekt ved at vælge

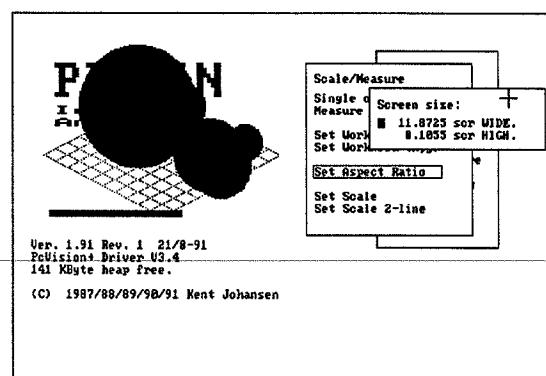
Scale & Measure

Measure Length. Træk en linie på skrå af mm-papiret på samme måde som beskrevet ovenfor. Liniens længde, længden i x- og y-retningen samt liniens hældning i forhold til vandret vil herefter angives af PIPPIN. I figur 2 angives oplysninger for en vandret linie.

Herefter har skærbilledet det korrekte aspektforhold¹⁰. For at kunne beregne pixelstørrelser (bilag E) skal aspektforholdet angives, idet antallet af pixels er 512x512 på trods af at skærbilledet ikke er kvadratisk.



Figur 2. Angivelse af en linies længde.



Figur 3. Menupunktet **Set Aspect Ratio**. Angivelse af skærbilledets størrelse.

9 Set Menu Colors er i 5.niveau i PIPPINs menuer.

10 Forholdet mellem længde og bredde (bredde og højde) af billedet på gråtonemonitoren.

Scale & Measure	Set Aspect Ratio. Sidelængderne af skærmbilledet angivet med den valgte enhed oplyses, jf figur 3. Forholdet mellem de to angivne længder svarer til aspektforholdet. Kontroller at det er 0.68 (1.46).
----------------------------	---

Angivelse af aspektforhold og størrelse af skærmbillede bør *altid* ske ved at bruge hele skærmen aht nøjagtigheden. Den fundne skærmstørrelse kan anvendes til *samtlige* billeder, *forudsat indstillingen af kamera / mikroskop ikke ændres !!.*

- Billedet af mm-papiret kan med fordel gemmes som TIFF-fil (**Save as TIF under Pic In/Out**) og benyttes som reference ved gengivelsen af billeder i fx WordPerfect, i tilfælde af at SEM-billedets lineal ikke er med på det udsnit, der analyseres¹¹. På den måde kan man let beregne den aktuelle forstørrelse af billedet i forhold til det originale foto. Den aktuelle forstørrelse vil afhænge af, hvor stort et grafikfelt, der benyttes, jf figur 15 til 18. Se også bilag E.
For en sikkerheds skyld kan man også gemme mm-papiret som PP-fil, fx hvis man ikke med det samme beregner pixelstørrelser (bilag E).
Husk at navngive filer med mm-papiret på en sådan måde, at det fremgår, hvilke(n) oprindelig(e) fil(er) mm-papiret hører sammen med, fx STEN69MM.
- En vis forvrængning af billedet kan konstateres især i nederste højre hjørne af gråtonemonitoren. Ved at trække en linie på skrå med start i dette hjørne (vha **Measure Length**), konstateres dog, at forvrængningen har begrænset betydning. Det er muligt at vælge et udsnit af billedet som arbejdsmønster vha **Set WorkArea** (se bilag C) og dermed fjerne den værste forvrængning. Det skal opvejes mod ulempen ved at arbejde med et mindre billeddudsnit mht repræsentativitet og lignende.

For *hvert enkelt billede eller billeddudsnit* foretages følgende:

- læg motivet på pladen / under mikroskopet

Digitalisering af billede

- **Pic In/Out** Vælges **Digitize (R/S)** (se figur 4) er billedeet på gråtonemonitoren "levende" dvs det vil ændres hvis man flytter rundt på sit foto, slib eller lignende under videokameraet.
Når et passende udsnit er valgt kaldes menuen frem igen med musen og **Digitize** vælges. Nu fryses billedeet på gråtonemonitoren og digitaliseres.

Gem billedeet som PP-fil (**Save .PP Pic**) for senere behandling. På den måde kan man lave nye analyser på *præcis* det samme udsnit på et senere tidspunkt, fx hvis det viser sig at man har begået fejl under analysen. PP-filer gemmes automatisk under C:\PIPPIN\PICTURES

11 SEM = Scanning Elektron Mikroskop

med mindre man har angivet andet under **Set Config**. Filnavnet kan bestå af op til otte karakterer valgt blandt bogstaverne A til Z og cifrene 0 til 9.

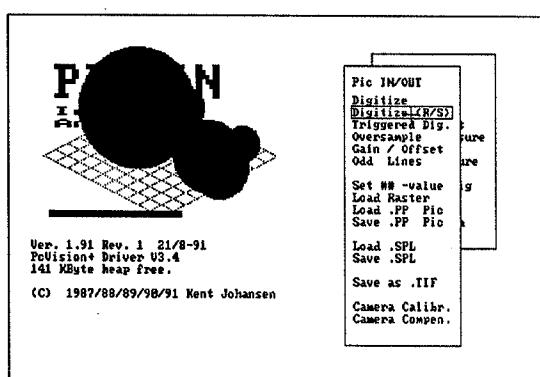
Gem billedet som TIFF-fil¹² (Save as TIF) til brug i WordPerfect. TIFF-filer gemmes automatisk under C:\PIPPIN\PICTURES med mindre man har angivet andet under **Set Config**.

Figur 5 viser et eksempel på en sådan TIFF-fil. Det benyttede billede er af en teglsten med en porøsitet på 50 % forstørret ca 2000 gange.

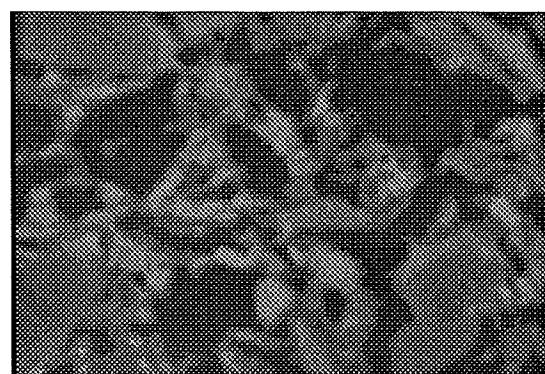
Skal hele SEM-billedet digitaliseres, gentages proceduren for hver enkelt udsnit.

OBS !!

Billedudsnit der anvendes til poretælling bør *ikke* indeholde lineal og tekst, med mindre man senere ændrer størrelsen af WorkArea (se under "Udvælgelse af WorkArea" nedenfor).



Figur 4. Menupunkt Pic IN/OUT.



Figur 5. Digitaliseret billede, tegl.

Gain Offset: Lys- og kontrastforhold på billedet kan justeres (ikke benyttet).

- For at kunne beregne pixelstørrelser behøves et udsnit, hvor billedets lineal indgår (se fx figur 11). Billeder med *samme* forstørrelse, der analyseres med samme kameraindstilling har *samme* pixelstørrelser.

Scale & Measure

Measure Length. Med musen skal længden af en enhed på linealen på SEM-billedet måles. Placér musens trådkors i den ene ende af en enhed. Træk en linie til den anden ende mens venstre musetast *holdes nede* og slip derefter tasten. Den målte længde angives af PIPPIN (se figur 2). Ud fra denne længde samt WorkArea's størrelse angivet i pixels og mm kan pixelstørrelsen beregnes, jf bilag E.

Filtrering af billedet

- Filters

Max Contrast; gør faseinddeling lettere, idet billedets gråtonefordeling "bredes" ud, således at alle gråtonenværdier repræsenteres, jf bilag B.

Convolution; filtrerer billedet ved at midle punkternes gråtonenværdier i forhold til nabopunkternes.

En matrix "lægges ned over" det aktuelle punkt og dets nabopunkter. Hvert element i denne matrix har en værdi fra 0 til 1 (inklusive). Gråtonenværdierne vægtes med værdien af matrixelementet og det aktuelle punkt på billedet får en gråtonenværdi der er den vægtede sum af disse.

I visse tilfælde fører brug af Convolution til en sløring af billedet, især hvis man har at gøre med finkornede materialer (små "porer", mange gråtoneskift hen over billedet).

PIPPIN indeholder en række standardmatricer til filtrering af billedet. Som eksempel kan nævnes:

→ **MIDL3x3.MAT:** Feltets gråtonenværdi bliver en middelværdi af feltets egen og otte nabopunkters.

Det er muligt at lave midling over et større område (op til 99 x 99 punkter) ved at vælge **Large Filters** under **Filters**.

→ **DIFF!** giver mål for, hvor meget et felts gråtonenværdi afviger fra nabofelternes og kan derfor bruges som hjælp til at bestemme overgangen mellem to faser (ikke benyttet).

Udvælgelse af WorkArea

- ved billedbehandling bør arbejdes med så stor en del af skærmen som muligt. En situation hvor det kan være *nødvendigt* at arbejde med et udsnit af skærmen, er hvis det område man vil arbejde med er tæt på billedets kant eller i nærheden af den lineal, der normalt er angivet nederst på SEM-billedet¹³. Billedkanter, linealen eller tekst på billedet vil opfattes som porer eller faststof og vil derfor påvirke resultatet af poretællingen. WorkArea udvælges vha **Set WorkArea** og er beskrevet nærmere i bilag C.

Opdeling i faser (binarisering)

- efter at billedet er digitaliseret og filtreret, skal det opdeles i faser (porer og faststof) for at kunne optælle porestørrelser.

Opdelingen er meget subjektiv, og det er derfor vanskeligt at give nogle retningslinier herfor. Man er nødt til at prøve sig lidt frem, men kan med fordel støtte sig til histogram-

13 SEM = Scanning Elektron Mikroskop

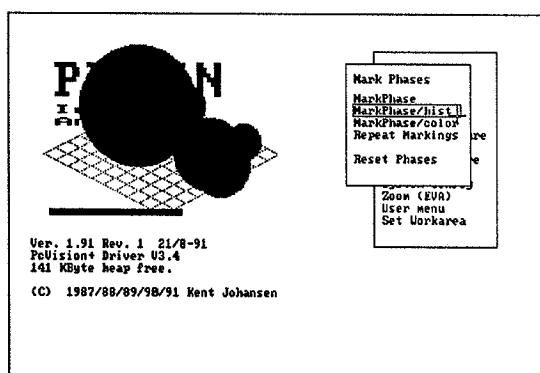
mer over gråtonefordelingen, se fx figur 7, der viser at det aktuelle billedees gråtoner samler sig i to "klumper". Opgaven begrænses så til at definere en passende grænse mellem de to "klumper". I andre tilfælde kan opgaven være betydelig mere vanskelig.

- **Mark Phases** **Reset Phases** bruges til at nulstille faseinddelingen. Har primært betydning, hvis man gør brug af Repeat Markings (s.d.).

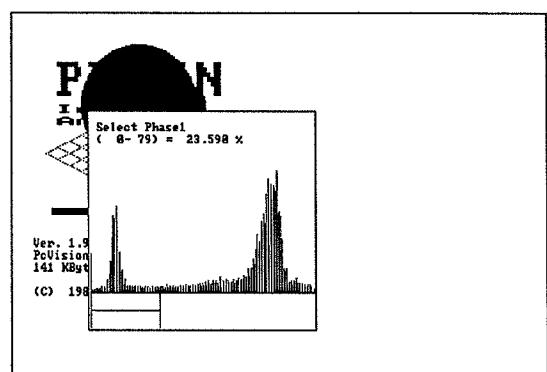
Vælg **Mark Phase/hist** jf figur 6. Vælg **Phase 1** og et histogram over gråtonefordelingen kommer frem på PC-skærmen jf figur 7. Ved at bevæge musen op/ned, til højre/til venstre, vælges det gråtoneområde, der tilhører Phase 1 (porefasen). Området vil farves grønt på gråtonemonitoren. Når området er valgt, trykkes på venstre musetast og hele gråtoneområdet svarende til Phase 1 repræsenteres nu af én gråtoneværdi i histogrammet, jf figur 8.

Vælg **Phase 2**. Den resterende del af histogrammet udvælges som tilhørende Phase 2 (faststoffasen) jf figur 8.

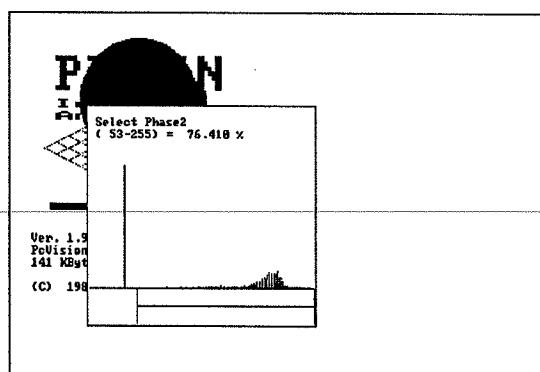
Herefter er billedet binariseret og vil nu optræde som et tofarvet billede på gråtonemonitoren. Figur 9 viser, hvordan billedeet i figur 5 kan se ud efter binarisering.¹⁴



Figur 6. Menupunkt Mark Phase/hist.



Figur 7. Udvælgelse af gråtoneværdier til Phase 1 (porefase).



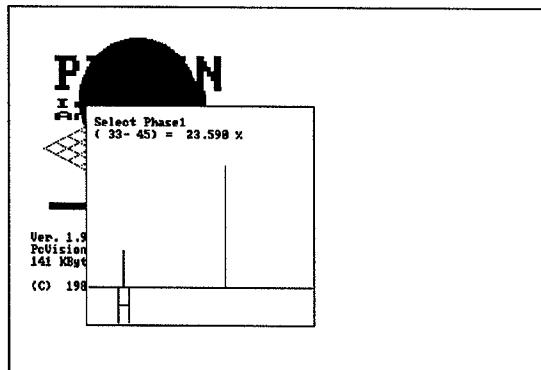
Figur 8. Udvælgelse af gråtoneværdier for Phase 2 (faststoffase). Bemerk at Phase 1 (porefasen) nu angives ved én gråtoneværdi.



Figur 9. Binariseret billede, tegl.

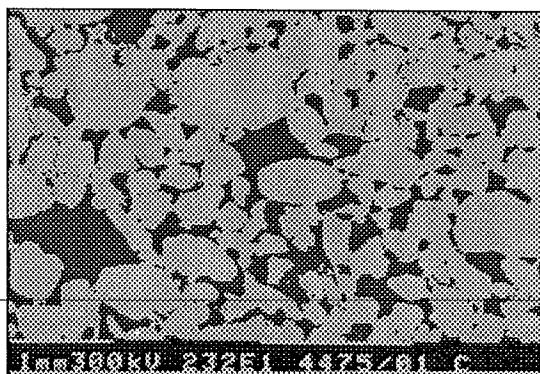
¹⁴ Der er ingen sammenhæng mellem figur 5 og 9 og histogrammet i figur 7.

Tilsvarende vil histogrammet bestå af to søjler repræsenterende de to faser jf figur 10.



Figur 10. Histogram efter udvælgelse af Phase 1 og Phase 2.

Ved at sammenligne det binariserede billede med det originale billede, der under hele processen vises på Philips-monitoren til venstre for PCen, vurderes det, om faseinddelingen er tilfredsstillende. Figur 11 og 12 viser to udgaver af et binariseret billede, som illustration af, at valget af gråtoneintervaller er subjektivt. Umiddelbart kan det være svært at se forskel på de to billeder, men forskellen i porøsitet er trods alt 4 %.



Figur 11. Binariseret billede. Gråtoneinterval for porefase 0-79. Porøsitet 23.6 %. Se også figur 7.



Figur 12. Binariseret billede. Gråtoneinterval for porefase 0-42. Porøsitet 19.5 %.

Repeat Markings kan med fordel benyttes hvis samme gråtoneinddeling skal bruges til en serie af billeder, eller hvis man laver fejl undervejs i analysen.

I begge tilfælde kræver det, at man er konsekvent i brugen af **Reset Phases**, da **Repeat Markings** gentager samtlige markeringer siden **Reset Phases** blev brugt sidst.

Mark Phase/color kan benyttes for at få størst mulig kontrast i det binariserede billede, således at de to faser repræsenteres af gråtoneværdierne 0 og 255. I modsat fald fås et billede med to grålige nuancer som fx vist i figur 9, 11 og 12.

- **Pic In/Out** *Gem* det binariserede billede som en PP-fil (**Save .PP Pic**), da det skal bruges flere gange i forbindelse med bestemmelse af porestørrelsесfordeling (se under **Dilation** nedenfor). Lad fx bogstavet B indgå som sidste bogstav i filnavnet for at markere, at der er tale om et binariseret billede.
Gem desuden billedet som en TIFF-fil (**Save as TIF**), så man senere i WordPerfect kan se, hvad man udvalgte som pore- henholdsvis faststof-fase. Er WorkArea mindre end hele skærmen vil kun WorkArea gemmes i TIFF-filen.

Bestemmelse af porestørrelsесfordeling (Dilation)

- efter at et WorkArea er valgt og billedet er binariseret og gemt kan bestemmelsen af porestørrelsесfordelingen begynde
 - **Filters** **Dilation;** bestemmelse af porestørrelsесfordeling ved skiftevis at fjerne og tilføje pixels til porefasen.
Brug af Dilation kræver et binariseret, dvs faseinddelt billede.
Et begrænset antal pixels kan fjernes og tilføjes ad gangen. Hvis flere pixels skal fjernes må funktionen bruges flere gange efter hinanden.
- Dilation benytter det samme udvalg af matricer som Convolution, men ikke de store matricer der findes under Large Filters. Hvor mange pixels der fjernes og tilføjes afhænger af valget af matrix. Hvordan Dilation mere præcist virker, og hvilken betydning valget af matrix har, er beskrevet i bilag D.
- proceduren er herefter:

Vælg **Dilation**, vælg en passende matrix (fx **4PIXSQ2.MAT**)¹⁵ og vælg **Phase 2** (porefase fjernes). Derefter tilføjes porer vha **Dilation, 4PIXSQ2.MAT, Phase 1**.

- restporøsiteten aflæses vha
- **Mark Phases** **Mark Phase/hist.** Fase 1 udpeges og %-delen aflæses.

Det binariserede billede hentes ind igen vha **Load .PP Pic under Pic In/Out** (vælg **More** hvis det ønskede filnavn ikke ses).

Vælg efter **Dilation**, den samme matrix og **Phase 2**, men nu to gange efter hinanden, hvorefter **Dilation, matrix og Phase 1** vælges to gange og restporøsiteten aflæses vha **Mark Phase/hist.**

¹⁵ 4PIXSQ2 betegner en 9x9 matrix, der er "klemt" så den er tilnærmet ellipseformet. 4 angiver at "radius" i matricen er ca 4 pixels. Se også bilag D.

Dette gentages et passende antal gange evt til alle porer er fjernet. Ofte vil der være en naturlig grænse for hvor mange Dilations man kan udføre, idet porestrukturen ellers vil deformeres alt for meget. Jo mere "kasseformet" matricen er, desto hurtigere deformeres porestrukturen jf bilag D. Benyttes 4PIXSQ2 er fem gange normalt det maksimale antal.

Husk

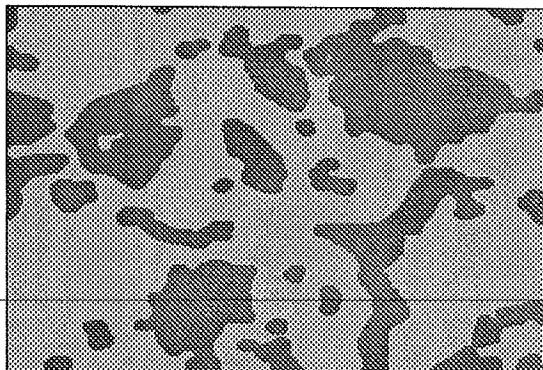
Husk altid at tage udgangspunkt i det *oprindelige*, binariserede billede. *Husk både* at fjerne og tilføje pixels, således at man ikke får den ene fase til at brede sig mere og mere.

I visse tilfælde kan det være nødvendigt at repetere, hvilken af de to farver i det binariserede billede der repræsenterer pore- henholdsvis faststoffase. Det kan let gøres vha **Repeat Markings** (jf tidligere).

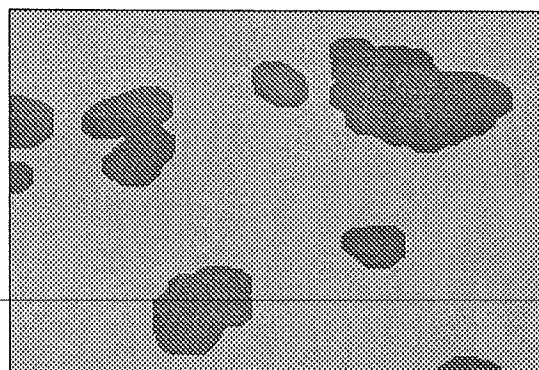
I bilag F er beskrevet, hvordan proceduren omkring **Dilation** kan automatiseres, så man undgår de mange manuelle operationer, med den risiko det giver for fejltastninger.

- efter behov kan man gemme billedet fx som TIFF-fil (**Pic In/Out, Save as TIF**).

Figur 13 og 14 viser, hvordan billedet i figur 9 ser ud efter to henholdsvis fem gange at have fjernet og tilføjet pixels vha matricen 4PIXCIR.MAT.¹⁶



Figur 13. Binariseret billede, hvor Dilation er benyttet to gange (4PIXCIR.MAT), tegl.



Figur 14. Binariseret billede, hvor Dilation er benyttet fem gange (4PIXCIR.MAT), tegl.

Mens der er en vis lighed mellem figur 9 og figur 13, er porestrukturen på næsten ikke til at kende igen på figur 14. Kun de helt grove porer er tilbage, og det er nu let at bestemme størrelsen af disse manuelt.

- herefter afsluttes PIPPIN. Sammenhørende værdier af poreradius og porøsitet optegnes i et regnearksprogram. TIFF-filer kan benyttes i WordPerfect (se nedenfor).

¹⁶ 4PIXCIR.MAT er en 9x9 matrix, der er tilnærmet en cirkel jf bilag D.

Andre analyser med PIPPIN

- Analysis

Phase Analysis; total analyse af **WorkArea**. Oplysninger om *hvert enkelt* element ("pore") i de to faser angives. Desuden angives de samlede resultater for de to faser.

Phase Analysis beregner bla porernes areal, massemidtpunkt, inertimoment samt dimensioner i lodret og vandret retning.

Piltaster skal bruges til at "gå rundt" i menuen.

→ **Sample Name;** identifikation af de enkelte beregning. Især relevant når man gemmer flere analyser på samme fil (= Logfile Name).

→ **Logfile Name.** Angiv et navn på den fil, hvor beregningerne skal gemmes. Extension skal *altid* være LOG, fx EDP.LOG

→ **Min Pixels;** porer med en pixelstørrelse mindre end den man vælger, tælles ikke med. Det er ofte en fordel at sortere meget små porer fra, da det er tvivlsomt hvor repræsentative de er.

→ **Restart log Y/N;** Vælges Y, ryddes den pågældende fil for eventuelle data. Ønsker man at gemme data i en allerede oprettet fil, fx en ny tælling på det samme billede, vælges N. Data vil da lagres under de foregående med overskrift som angivet under Sample Name.

Phase Analysis startes herefter ved at trykke på <ENTER>. Resultatet gemmes i den angivne LOG-fil. Resultaterne angives for hvert enkelt element, begyndende i billedets ene hjørne. Resultater kommer således *ikke* ud i størrelsesorden. Derudover angives resultater for fasen under ét.

LOG-filen kan hentes ind i et regnearksprogram. Man kan også vælge at lade PIPPIN arbejde videre vha Distribution (s.d.).

- er man kun interesseret i det samlede resultat for de to faser kan man benytte

Analyze Log

Navnet på LOG-filen samt den benyttede længdeenhed skal angives (**Log File, Unit**). Vha Analyze Log beregnes bla Phase Area, Phase %, Mean Area og Mean Chord (det absolutte og relative areal af fasen, samt gennemsnitsareal og gennemsnitlig lodret kordelængde). Desuden oplyses antallet af elementer i den analyserede fase (fx porefase). Brug af **Analyze Log** kræver at **Phase Analysis** er benyttet (jf reference til en LOG-fil).

Fordelen ved at benytte **Analyze Log** er:

- 1) Resultaterne fås direkte på PC-skærmen. Alternativt må man afslutte programmet før resultaterne kan studeres vha LOG-filen.
- 2) Man får flere oplysninger om fasen under ét end vha Phase Analysis.

Bemærk !

Tilsyneladende fungerer Analyze Log kun, når skærmens standardenhed (Scr; skærbredde = 1 Scr (screen)) benyttes. Skifter man fx til mm opstår der problemer.

- man kan også vælge at analysere fx porer enkeltvis vha
- **Scale & Measure** **Single Object.** Musens trådkryds placeres på det område, der skal analyseres og venstre musetast trykkes ned. Analysen giver de samme oplysninger som **Analysis**, men kun for det udpegede område.
- efter at porefasen er analyseret med Phase Analysis kan en fordeling beregnes vha
- **Analysis** **Distribution**

Udregner direkte og kumuleret fordeling af en valgt variabel (fx poreareal).

 - **Log File** (fx EDP.LOG)
 - **Number of Classes**; angiv antal inddelinger (klasser) i fordelingen.
 - **Lower Limit**; nedre grænse for klasser, kan fx sættes til samme værdi som Min Pixels under Phase Analysis.
 - **Upper Limit**; øvre grænse for klasser, dvs største pore (angivet i antal pixels) der skal tælles med.
 - **Correction Factor**; sættes normalt til 1.0.
 - **Phase**; Phase1 eller Phase2, den fase der skal klassificeres.

→ **Distribution File**; navn på resultatfil (extension DST). Resultatfilen kan hentes ind i regneark.
- hverken **Phase Analysis** eller **Distribution** er anvendt i projektet "Byggematerialers frostbestandighed".

Andet

- ønskes fx en lineal eller tekst angivet på det digitaliserede eller det binariserede billede kan det gøres vha

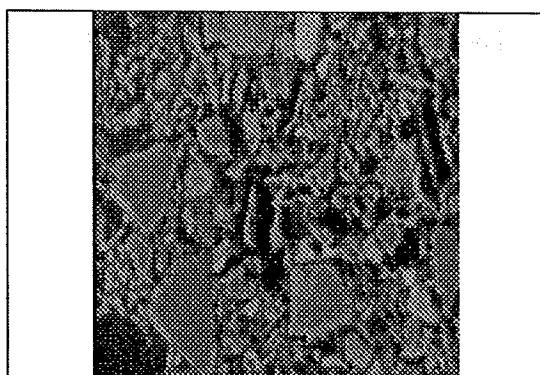
Paint & Edit

Operationer i WordPerfect

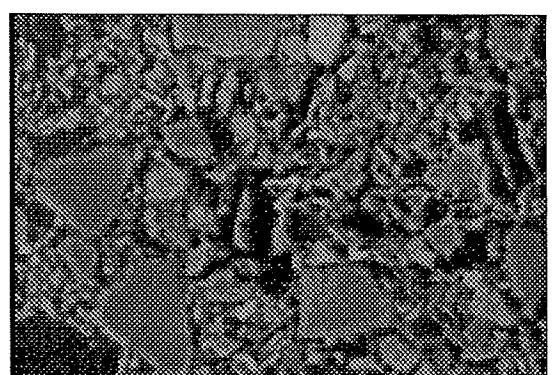
Billeder, der på gråtonemonitoren ses som rektangulære vil være kvadratiske når de hentes ind i WordPerfect (Grafik; ALT - F9) som TIFF-filer uanset hvilket format man har givet sit grafikfelt, jf figur 15.

Derfor skal forholdet mellem x-akse og y-akse tilpasses det korrekte aspektforhold (Redigér, Zoom under Grafik). Er aspektforholdet bestemt til 1.46 kan det klares ved at skrive 146 for x-akse og 100 for y-akse (uændret).

Starter man med at oprette et grafikfelt med det korrekte aspektforhold, kan hele det udsnit som TIFF-filen indeholder derefter vises, uden at man behøver at benytte en mindre forstørrelse. Dette illustreres i figur 16.

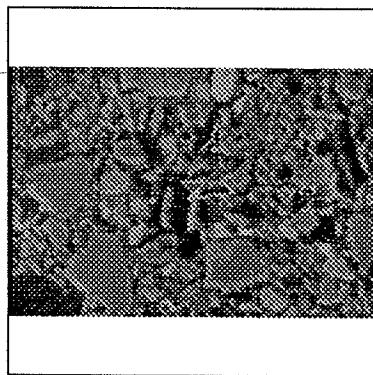


Figur 15. TIFF-fil, der ikke er tilpasset det korrekte aspektforhold.

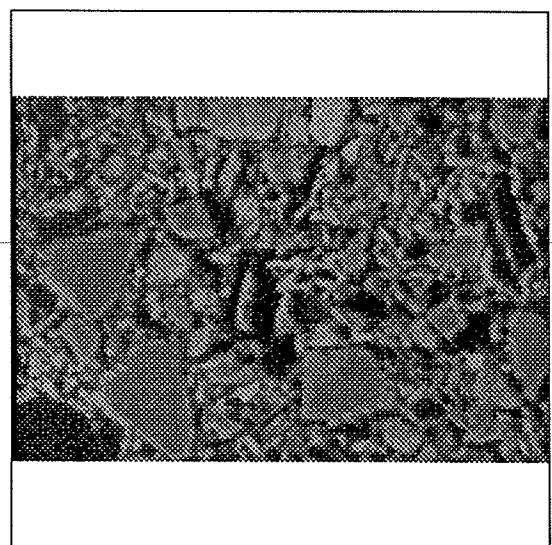


Figur 16. TIFF-fil med det korrekte aspektforhold.

Bibeholdes den kvadratiske form som et grafikfelt har, når det oprettes, er man tvunget til at formindske billedet i TIFF-filen, hvis man vil vise det hele jf figur 17, med mindre man vil lave et grafikfelt med en større højde, figur 18. Figurerne illustrerer desuden, at den forstørrelse, billedet repræsenterer afhænger fuldstændigt af, hvor stort et grafikfelt, der oprettes til figuren. Se også bilag E.



Figur 17. TIFF-fil, der er formindsket for at vise hele udsnittet.



Figur 18. TIFF-fil, hvor grafikfeltets højde er øget for at vise hele udsnittet.

Litteratur

Kukko H.: *Frost effects on the microstructure of high strength concrete and methods for their analysis.* Thesis (D.Tech.) VTT Publications 126. Building Materials Laboratory, Technical Research Centre of Finland (VTT). Espoo, Finland, 1992.

Nakamura M., Ohnishi T. & Kamitani M.: *Quantitative analysis of pore structure on frost durability of inorganic building materials.* Journal of the Ceramic Society of Japan, Int. Edition, vol.99, pp.1074-1079, 1991.

Nielsen, C.B.: *Salts in porous building materials.* PhD-thesis. Technical Report 243/1991, Building Materials Laboratory, Technical University of Denmark. Lyngby, 1991.

Teuber J.: *Digital billedbehandling.* Teknisk Forlag A/S. København, 1989.

Bilag A Opstart af PIPPIN

Inden PIPPIN startes op skal følgende 3 punkter være opfyldt:

Punkt 1:

Koldstart PCen ved at trykke på afbryderknappen.

Punkt 2:

Der må ikke være indlæst en EMM-driver i CONFIG.SYS. Dette skyldes at EMM-driveren benytter et hukommelsesområde, som PIPPIN skal bruge. Hvis der derfor i CONFIG.SYS (ligger i rod-directoryet) er en linie som følgende:

DEVICE=C:\DOS\EMM386.EXE (her kan stå forskellige options)

skal denne rettes med en passende editor til

REM DEVICE=C:\DOS\EMM386.EXE (her kan stå forskellige options)

da REM (engelsk for "remark") bevirket at denne linie ikke indlæses. Hvis denne linie er rettet, skal PCen koldstartes igen. Det er ikke tilstrækkeligt blot at trykke CTRL-ALT-DELETE.

Ved opstart af PCen er det muligt at vælge mellem to typer opstart: "Normal" og "PIPPIN". Vælg *PIPPIN* ved at *trykke 2* når opstartsmenuen kommer frem på skærmen.

Man kan nemt kontrollere om EMM386 er indlæst, ved at skrive MEM og trykke ENTER. Hvis EMM386 benyttes, vil der stå noget i retning af at "EMM386 is using extended memory as simulating expanded memory".

Punkt 3:

Philips-monitoren (model CM8833) til venstre for PCen skal være tændt. Ligeledes skal videokameraet og gråtonemonitoren (til højre for billedbehandlingsPCen) være tændt. Det må anbefales at KAISER-lamperne er tændt, men dette er ikke strengt nødvendigt.

Hvis alt er tændt, skulle Philips-monitoren gerne vise videokameraets aktuelle billede.

Nu kan PIPPIN startes ved kommandoen

CD C:\PIPPIN (tryk ENTER)
PIPPIN (tryk ENTER)

Der skulle nu gerne komme et startskærmbillede op på PCen, samt et logo
på gråtonemonitoren.

Logoet består af følgende tekst

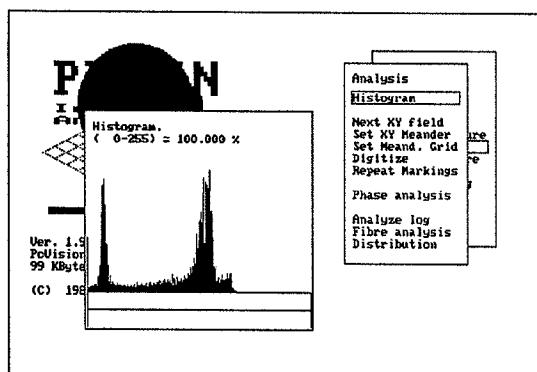
PIPPIN
PcVision Driver V3.4
Copyright 1987/88/89/90/91 Kent Johansen

Bilag B Menupunktet Max Contrast

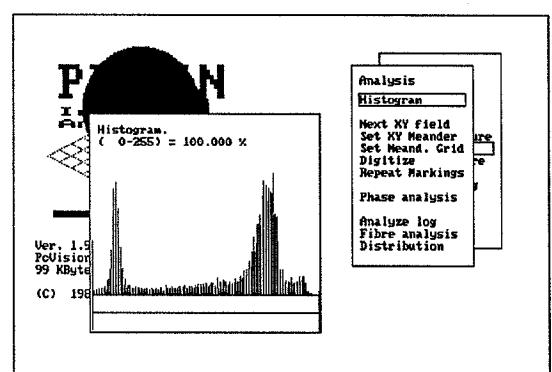
Hent det digitaliserede billede fra disken (se "Hent filer" i "Kort oversigt"). Gå tilbage til hovedmenu ved at trykke på højre musetast, gå ind i **Filters** og vælg **Max Contrast**.

Det digitaliserede billede består af en pixelmatrix på 512 rækker og 512 søjler, hvor hvert element er tildelt en værdi mellem 0 og 255. 0 står for en helt sort pixel, og 255 for en helt hvid pixel. De mellemliggende pixelværdier er således gråtoneværdier.

Det er sjældent at alle gråtoneværdier er repræsenteret i et billede; fx vil et mørkt billede kun bruge gråtoneværdier mellem 0 og 75. Ved at benytte Max Contrast vil gråtoneværdierne blive spredt ud over intervallet 0-255, således at kontrastforholdet vil forbedres. Dette er illustreret i figur 19 og figur 20, hvor **Histogram** under **Analysis** er benyttet til at vise et histogram over gråtonefordelingen.¹⁷



Figur 19. Histogram over gråtonefordeling før benyttelse af Max Contrast.



Figur 20. Histogram over gråtonefordeling efter benyttelse af Max Contrast.

Generelt bør Max Contrast benyttes, inden udvælgelse af WorkArea samt binarisering af billede.

Gem evt billedet på disk som en PP-fil under et nyt navn.

17 Alternativt kan **Mark Phase/hist** under **Mark Phases** benyttes.

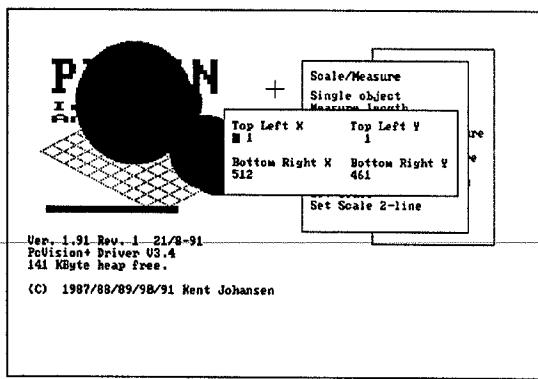
Bilag C Udvælgelse af WorkArea

Når et SEM-billede skal benyttes til bestemmelse af et materiales porestørrelsesfordeling, skal et repræsentativt udsnit af billedet udvælges. I den forbindelse kan være nødvendigt at arbejde med et udsnit, der er mindre end hele skærmen (gråtonemonitoren), fx hvis det område man vil arbejde med er tæt på billedets kant eller i nærheden af den lineal, der normalt er angivet nederst på SEM-billedet. Billedkanter, linealen eller tekst på billedet vil opfattes som porer eller faststof og vil derfor påvirke resultatet af poretællingen.

Til at udvælge et udsnit af skærmbilledet benyttes **Set WorkArea**. For at bestemmelsen af porestørrelsesfordelingen kan blive så nøjagtig som mulig bør udsnittet vælges så stort som muligt. Desuden bør *hele* skærmen anvendes ved angivelse af aspektforhold og størrelse af skærmbillede jf beskrivelse af fremgangsmåden. Ved opstart af PIPPIN er WorkArea sat til hele skærmen.

Når menupunktet **Set WorkArea** er valgt, kommer der et trådkors frem på gråtonemonitoren. Trådkorset benyttes til at udpege WorkArea og flyttes rundt vha musen. Første klik på venstre musetast vil sætte det ene hjørne i WorkArea. *Hold venstre musetast nede*, og "træk" nu kassen rundt på skærmen. Ved andet tryk på venstre musetast vil den aktuelle kasse blive valgt som WorkArea.

Gå tilbage til hovedmenuen (klik på højre musetast) og gå ind under **Scale/Measure** og vælg **Set WorkArea (x,y)**. Herfra nedskrives de 4 værdier (figur 21). Øverste venstre hjørne af skærmen har koordinaterne (1,1) og nederste højre hjørne (512,512). Ønsker man at sætte størrelsen af WorkArea manuelt, dvs uden brug af musen som beskrevet ovenfor, kan koordinater indtastes direkte her. Menuen i figur 21 forlades ved at trykke på højre musetast.



Figur 21. Skærmbillede, hvor koordinater til øverste venstre og nederste højre hjørne i WorkArea (x,y) angives.

OBS!! De fire koordinater bestemmer det valgte område i billedet, og er gældende for alle de efterfølgende analyser. Opbevar disse tal på et sikkert sted!

Bilag C Udvælgelse af WorkArea

Porer/pixels der ligger udenfor denne WorkArea vil *ikke* blive berørt ved efterfølgende analyser. Først ved udvælgelse af et nyt WorkArea, eller afslutning af PIPPIN vil WorkArea's størrelse blive ændret. Ved opstart af PIPPIN er WorkArea sat til hele skærmen.

BEMÆRK: WorkArea er individuelt for hvert billede og skal derfor sættes ved indlæsning af nye billeder! Denne WorkArea-størrelse kan dog gemmes i CFG-filer (for avancerede brugere), der derfor bliver nødt til at være unikke for hvert billede.

Bilag D Dilation - virkemåde og valg af matrix

I det følgende gives en mere udførlig beskrivelse af, hvordan Dilation fungerer samt en række overvejelser omkring valg af matrix til Dilation.

Der findes et udvalg af matricer svarende til de, der findes under Convolution, dog kan de såkaldte **Large Filters ikke** anvendes. Den største matrix er en 9x9 matrix (**MIDL9x9.MAT**) som vist i figur 22¹⁸. For denne samt de to matricer i figur 27 og 28 gælder, at kun de felter (pixels), hvor der står et tal $\neq 0$, berøres af beregningen. Da man både fjerner og tilfører pixels til en fase, er det nødvendigt med en symmetrisk matrix.

1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81
1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81
1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81
1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81
1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81
1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81
1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81
1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81
1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81	1/81

Figur 22. MIDL 9x9 matrix.

I principippet bevirket anvendelse af funktionen Dilation følgende: Felter (pixels) i matricen der tilhører en anden fase end matricens centerfelt og som har en værdi $\neq 0$ vil skifte fase. De øvrige felter ændres ikke. Afhængig af om man har valgt **Dilation, Phase 1** eller **Dilation, Phase 2** vil matricens centerfelt placeres i felter der ligger i fase 1 (porefase) eller i fase 2 (faststoffase). På den måde kan man styre, hvilken retning fasegrænsen skal flyttes.

Udseendet (formen) af den benyttede matrix vil få betydning for fasegrænsens udseende efter brug af Dilation. Jo flere elementer i matricen, der er forskellig fra nul (jo større matricen er), desto hurtigere fjernes porerne. Dette illustreres i figur 23-26. Jo flere gange Dilation benyttes, desto mere udpræget er betydningen. Benyttes **MIDL9x9.MAT** bliver porerne mere og mere kasseformede, mens en tilnærmet cirkel som **4PIXCIR** eller en "klemt" cirkel som **4PIXSQ2** i højere grad bibeholder det oprindelige udseende. Porerne bliver også "kasseformede" ved at anvende **MIDL3x3.MAT**¹⁹, men det ses først efter flere Dilations, da porerne fjernes meget langsomt sammenlignet med MIDL9x9.

¹⁸ At der benyttes brøkværdier og at alle brøkværdier i en matrix er ens skyldes, at de samme matricer benyttes i forbindelse med midling (Convolution), hvor det er vigtigt, at den samlede vægtning er 1, da midling åbenbart udtrykkes som en sum og ikke som et gennemsnit.

¹⁹ MIDL3x3 svarer til MIDL9x9, blot har de ni elementer i midten værdien 1/9, de øvrige har værdien 0.

Det skal bemærkes, at Dilation kun er benyttet på fase 2 i de viste figurer, dvs at fasegrænsen kun er rykket den ene vej. Det viser til gengæld tydeligere hvori forskellen på de valgte matricer består.



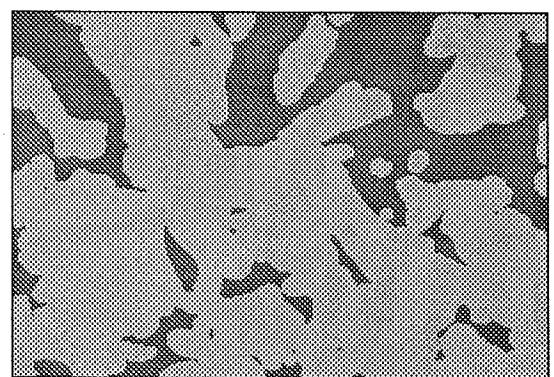
Figur 23. Binariseret billede, tegl. Forstørret 2000x.



Figur 24. Dilation med MIDL3x3 to gange.



Figur 25. Dilation med MIDL9x9 to gange.



Figur 26. Dilation med 4PIXSQ2 to gange.

For at undgå "kasseformede" porer kan **4PIXCIR.MAT** og **4PIXSQ2.MAT**, der er vist i figur 27 og 28 benyttes. 4PIX refererer til, at fasegrænsen, for hver gang matricen benyttes, flyttes 4 pixels. Porer med en radius på 4 pixels eller derunder vil da forsvinde og ikke dukke op igen, når fasegrænsen flyttes tilbage. 4PIXCIR er en tilnærmet cirkel, idet antallet af punkter i matricen (9x9) sætter en grænse for, hvor påen en cirkel man opnår.

Dilation-matrix afpasset aspektforholdet

Forskellen på 4PIXCIR.MAT og 4PIXSQ2.MAT er, at man med sidstnævnte bedre er i stand til at tage hensyn til aspektforholdet. En pixel er aflang, da skærmen rummer samme antal pixels lodret og vandret i billedet, uanset at dette ikke er kvadratisk. Det betyder, at en cirkel målt i pixels ikke vil være en cirkel målt i mm. Den afstand, grænsen mellem porefase og faststof flyttes, vil derfor være afhængig af, om fasegrænsen er lodret / vandret / på skrå i billedet det pågældende sted. Med et aspektforhold på 1.46 er fejlen op til 46%. Ved at benytte 4PIXCIR.MAT

og derefter gentage proceduren med billedet drejet 90° kan man til en vis grad imødegå dette. Problemet er, at udsnittet ikke længere er det samme, når billedet drejes 90° .

0	0	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	0	0
0	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	0
1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69
1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69
1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69
1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69
1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69
0	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	0
0	0	1/69	1/69	1/69	1/69	1/69	0	0

Figur 27. 4PIXCIR matrix.

0	0	0	1/51	1/51	1/51	0	0	0
0	0	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	0	0
0	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	0
0	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	0
0	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	0
0	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	0
0	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	0
0	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	0
0	0	1/51	1/51	1/51	1/51	1/51	0	0
0	0	0	1/51	1/51	1/51	0	0	0

Figur 28. 4PIXSQ2 matrix.

En bedre løsning er at benytte en matrix, der tager hensyn til aspektforholdet. For at nå frem til en (tilnærmet) cirkel i målt mm skal cirklen målt i pixels "klemmes" til en ellipse, som vist i figur 28. På samme måde som antallet af punkter i matricen sætter en grænse for, hvor påen en cirkel man opnår, vil der også være en grænse for hvor påen en tilpasning man kan lave. Det er derfor ikke muligt fuldstændigt at tage højde for aspektforholdet ved at anvende 4PIXSQ2.MAT som erstatning for 4PIXCIR.MAT.

Hver gang 4PIXSQ2.MAT benyttes, flyttes fase-grænsen 3 pixels i x-retningen og 4 pixels i y-retningen. Det oprindelige aspektforhold på 1.46 (0.68) ændres derfor til $3/4 \cdot 1.46 = 1.10$ ($4/3 \cdot 0.68 = 0.91$). Fejlen er altså reduceret fra 46% til 10% i forhold til en perfekt cirkel (målt i mm). Taget i betragtning, hvor stor usikkerhed, der er forbundet dels med defineringen af porefase og faststoffase (binarisering af billedet) dels med repræsentativiteten af det/de udsnit af materialet, man studerer, er det en acceptabel fejlmargin.

Bilag E Beregning af pixel- og porestørrelser

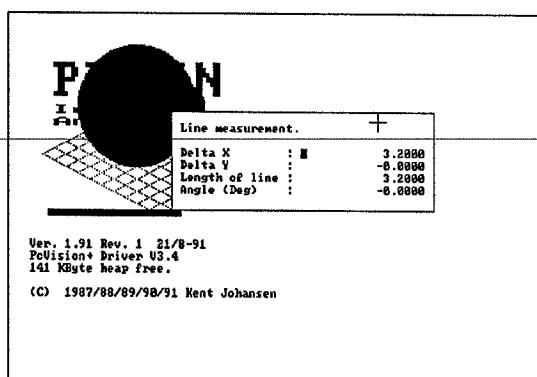
For at få bestemt sin porestørrelsесfordeling korrekt, er det vigtigt at man indregner samtlige ændringer af forstørrelser der sker undervejs i processen.

Det letteste er at benytte et stykke mm-papir (se fx figur 30²⁰), dels til at angive skærmstørrelsen som beskrevet under "Angivelse af aspektforhold og størrelse af skærbilledе", dels til at bestemme forstørrelsen af det SEM-billede, der skal analyseres²¹. Studeres slib i stedet for SEM-billeder er det tilstrækkeligt at kende skærmstørrelsen.

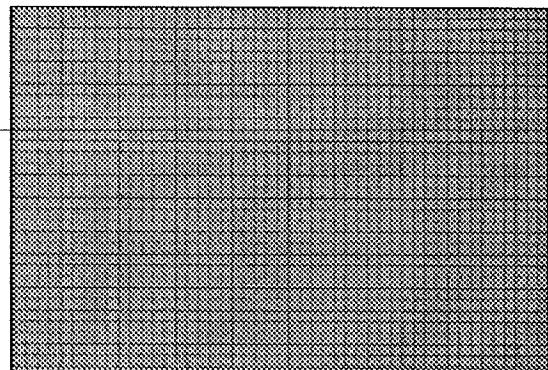
Et digitaliseret billede, hvor linealen ses, hentes ind på gråtonemonitoren vha **Load .PP Pic** under **Pic IN/OUT**. Vælg derefter **Measure Length** under **Scale/Measure**. Med musen skal længden af en enhed på linealen måles.

Musens trådkors placeres i den ene ende af linealen. Man trykker nu på venstre musetast, *holder denne nede*, trækker linien til anden ende af linealens enhed og slipper musetasten. Den målte længde vil herefter blive oplyst af PIPPIN (se figur 29).

Målestokslængde bliver da den angivne længde divideret med længden på linealen angivet på SEM-billedet (fx 0.1 mm eller 10 μm) og angiver SEM-billedets *korrekte* forstørrelse, der typisk er større end forstørrelsen angivet på papirkopien.



Figur 29. Angivelse af målestokslængde.



Figur 30. Billede af mm-papir gemt som TIFF-fil.

Ud fra målestokslængde samt størrelse af skærbilledе, dels i mm (vha **Scale & Measure**, **Set Aspect Ratio**), dels i pixels (512x512 hvis hele skærmen benyttes) kan pixelstørrelser nu bestemmes. Benyttes et WorkArea mindre end hele skærmen ved bestemmelsen af pixelstørrelser, skal der tages hensyn til dette, jf efterfølgende taleksempel.

20 Figur 30 hører sammen med figur 5, 9, 13 og 14.

21 SEM = Scanning Elektron Mikroskop

Det sidste forhold der skal tages hensyn til, er den ændring af forstørrelsen der sker, når billedudsnyttet som TIFF-fil hentes ind i WordPerfect. Jo større man vælger sit grafikfelt, desto større forstørrelse, jf "Operationer i WordPerfect". Betydningen af denne ændring bestemmes ved at overføre en TIFF-fil af mm-papiret til et grafikfelt af tilsvarende størrelse, med mindre billedet indeholder SEM-billedets lineal. Denne ændring af forstørrelsen har *udelukkende* betydning for forstørrelsen af billedet i WordPerfect, mens det *ingen* betydning har for pixelstørrelsen. Se også under "Angivelse af aspektforhold og størrelse af skærbilleder".

Taleksempel

For x-retningen gælder følgende sammenhæng for pixel pr mm

$$\frac{PixelMax_x - PixelMin_x + 1 \text{ [pixel]}}{\frac{WorkSizeArea_x \text{ [mm]}}{Målestokslængde \text{ [mm/mm]}}}$$

$Pixelmax_x$ og $Pixelmax_y$ fås af figur 21, $WorkSizeArea_x$ af figur 3 og $Målestokslængde$ direkte af figur 29 idet enheden på det aktuelle SEM-billedes lineal er 1 mm jf figur 11. Derved fås

$$\frac{512 - 1 + 1}{\frac{11.8725}{3.2}} = 138 \text{ [pixel/mm]}$$

I y-retningen gælder tilsvarende

$$\frac{PixelMax_y - PixelMin_y + 1 \text{ [pixel]}}{\frac{WorkSizeArea_y \text{ [mm]}}{Målestokslængde \text{ [mm/mm]}}}$$

og følgelig

$$\frac{461 - 1 + 1}{\frac{7.2981}{3.2}} = 202 \text{ [pixel/mm]}$$

Bemærk, at pixelstørrelse udregnes på basis af et WorkArea mindre end hele skærmen. Generelt bør det tilrådes at benytte *hele* skærmen aht nøjagtigheden.

Ovenstående udregning kontrolleres ved at sikre sig, at der opnås et aspektforhold på 0.68 jf tidligere

$$\text{Aspektforhold} = \frac{138}{202} = 0.68$$

Pixelstørrelsen bestemmes til

$$\frac{1}{138} [\text{mm/pixel}] = 7.25 [\mu\text{m/pixel}]$$

$$\frac{1}{202} [\text{mm/pixel}] = 4.95 [\mu\text{m/pixel}]$$

i vandret (x) henholdsvis lodret (y) retning.

Disse værdier skal nu omregnes til en *ækvivalent poreradius*, som angiver den mindste poreradius, der kan registreres i det aktuelle tilfælde. Omregningen sker ved en arealbetragtning, hvor en pixels areal regnes som en ellipse med a og b som halve storakse og halve lilleakse

$$r_{PORE}^2 \cdot \pi = a \cdot b \cdot \pi$$

Som a og b indsættes halverede pixelstørrelser, jf at a og b er halve akser i ellipsen. Den ækvivalente poreradius bliver da

$$r_{PORE} = \sqrt{\frac{7.25}{2} \cdot \frac{4.95}{2}} = 3 [\mu\text{m}]$$

Som en tilnærmede kan radius beregnes ud fra gennemsnittet af pixelstørrelsen i x- og y-retning. Med et aspektforhold på 1.46 (0.68) er afvigelsen på ca 2 %.

De porostørrelser, der skal benyttes til optegning af en porostørrelsесfordeling beregnes ud fra den ækvivalente poreradius ved at multiplicere med radius af den benyttede Dilation-matrix samt antallet af gange Dilation er benyttet jf bilag D og bilag F.

Bilag F Automatisering af billedbehandling

For at lette udførelsen af billedbehandlingen, primært opdelingen i faser samt poretællingen vha menupunktet **Dilation** kan en række procedurer automatiseres vha såkaldte makroer. I det følgende beskrives, hvordan det foregår.

Automatisering af binarisering

Tryk på ALT og F5 *samtidig*. PIPPIN vil bippe kort, og skrive MAKRO START i øverste venstre hjørne. Gå ind i menuen PIC In/Out, og hent den binariserede fil ved menupunktet Load .PP. Gå derefter tilbage til hovedmenuen, ved at trykke på højre musetast.

Gå nu ind i **Mark Phases** og tryk på **Repeat Markings**. Gå tilbage til hovedmenuen, og tryk så ALT og F5 *samtidig*. PIPPIN vil bippe og skrive MAKRO END.

Der er nu oprettet en såkaldt *makro* i PIPPIN, og ved tryk på F5 vil PIPPIN nu hente det binariserede billede og sætte faserne til det ønskede, forudsat man står i *hovedmenuen*. Hvis man *ikke* står i hovedmenuen, vil PIPPIN gå ned og returnere til DOS. *Så pas på ved makroudførelse at stå det rigtige sted!* F5 makroen skal oprettes igen for hver ny fil der skal behandles.

Automatisering af poretælling (Dilation)

Vælg **Histogram** under **Analysis**²² og aflæs den totale porositet ved at udpege Phase 1 med musen. Tryk ALT+F1 for at oprette en makro på F1 tasten. Gå ind i **Dilation** under **Filters** og vælg et passende filter (matrix), jf bilag D. Vælg Phase 2. Vent nu et kort øjeblik, mens PIPPIN regner. Gå nu tilbage til hovedmenuen, og tryk så ALT+F1 for at afslutte makroen. PIPPIN har nu "flyttet" fasegrænsen n pixels²³ ind i porefasen (tilføjet pixels af faststoftypen til porefasen), jf bilag D.

Tilsvarende oprettes en makro på F2 tasten. Gå ind i **Dilation** under **Filters** og vælg det samme filter som ovenfor. Vælg Phase 1. Vent nu et kort øjeblik, mens PIPPIN regner. Gå så tilbage til hovedmenuen, og tryk så ALT+F2. Fasegrænsen er flyttet n pixels tilbage²³ (pixels af faststoftypen er fjernet fra porefasen).

Vælg **Histogram** under **Analysis**²² og udpeg porefasen med musen. Det angivne tal for porefasens størrelse (angives i %) *trukket fra* det oprindelige tal for den samlede porefase, er porevolumen (i %) af porer med en radius mindre end n * ækvivalent poreradius²³.

²² Alternativt **Mark Phase/hist** under **Mark Phases**.

²³ Afhængig af hvilket filter der benyttes, vil radius af de porer de "forsvinder" for hver gang Dilation benyttes, svare til et vist antal gange den ækvivalente poreradius jf bilag D. *Husk* at den ækvivalente poreradius er ca det *halve* af pixelstørrelsen !!

Når F1- og F2-makroerne er oprettet og F5-makroen gælder for den ønskede fil, samt at totalporøsiteten er aflæst, er fremgangsmåden nu følgende, for at bestemme porevolumen af porer med radius mindre end $n * \text{ækvivalent poreradius}^{23}$:

- 1: Hent det binære billede ved tryk på F5.
- 2: Foretag dilation ved at trykke på F1.
- 3: Lav omvendt dilation ved at trykke på F2.
- 4: Gå ind i **Histogram** under **Analysis²²** og noter porefasens størrelse (angives i %).

For at bestemme porevolumen af porer med radius mindre end $2n * \text{ækvivalent poreradius}$ udføres punkt 1 igen - *det oprindelige binære billede skal benyttes igen!* - derefter udføres punkt 2 to gange, punkt 3 udføres to gange, og endelig findes porøsiteten ved punkt 4.

Ved $3n * \text{ækvivalent poreradius}$ skal punkt 2 udføres 3 gange osv.

Hvor mange gange Dilation skal benyttes for at få fjernet alle porer, afhænger dels af billedets udseende, dels af hvor stor en matrix, der benyttes, jf bilag D. Der er risiko for at Dilation efterhånden forvrænger porestrukturens udseende så meget, at analysen må stoppes før alle porer er fjernet. Se fx figur 9, 13 og 14. Resten af porerne (dvs de største) må opmåles manuelt eller også må et billede med en mindre forstørrelse benyttes. Alt i alt kan det dog kraftigt anbefales at benytte makroer som beskrevet ovenfor i stedet for den langsomme metode med at benytte mus i menerne.

Bilag G Liste med kontaktpersoner

Her gengives den liste af personer, der krediteres for hjælp og lignende i forbindelse med udviklingen af programmet. Listen kommer frem på PC-skærmen når programmet afsluttes. Listen er ikke ajourført siden 1991 og kan derfor rumme fejl.

Programmer:

Kent Johansen

Invaluable help:

Sven Mortensen, Polyteknisk Forskning & Udvikling Aps

Video/Hardware:

Ing.Firma Allan Dekker

Testing, Help & Ideas:

Thomas Blume, dbt

Henrik Søgård, Geografisk Institut

J. Buhr Hansen, ISVA

Leif Thoudal Petersen, EMI

Carsten Mikkelsen, Grundfoss

Per Grove Thomsen, Numerisk Institut, DTU

Carsten Bredahl Nielsen, LBM (egen tilføjelse: pt Statens Vejlab)

Jens N. Sørensen, AEM

Knut Conradsen, IMSOR

Kirsten V. Christensen, DIA

Finn Wammen, DR

J. Skafte Hansen, DtH

KTAS/JTAS

MICROGLASS, Philips, Dansk Leca, dds Automatik, Risø, 4C Lab, JAI,
Claus Dybdal, Dan Trade, DRIVE, G.M.Idorn Consult