

# FORORD

Laboratorierapporten er en del af erhvervsforsker Ph.D. afhandlingen *Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid*. Laboratorierapporten er udarbejdet i forbindelse med et studieophold hos *SINTEF, Bygg og miljøteknikk* i Trondheim, Norge. I den forbindelse vil jeg gerne takke Sveinung Sægrov, Inger Meland, Kåre Johansen, Erik Sellevold og Sverre Smeplass for deres uvurderlige bidrag til denne rapport. Specielt tak skal rettes til Duncan Herfort fra *Cement- og Betonlaboratoriet* ved Aalborg Portland for udlån af udstyr og vejledning i forbindelse med tyndslibsundersøgelserne.

Hovedparten af det eksperimentielle arbejde er udført på Betonlaboratoriet, Aalborg Universitet. I den forbindelse vil jeg gerne takke ingeniørassistent Nicholas Flint for hans uundværlige bistand under planlægningen og udførelsen af laboratorieundersøgelserne.

Laboratorieundersøgelserne er udført med økonomisk støtte fra *COWIfonden, Larsen og Nielsen Fonden, Direktør, dr.techn. A.N. Neergaards og Hustrus Fond* og *Berg, Nielsens Legat*.

Aalborg, august 1999

Flemming Lapertis  
*NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S*



## INDHOLDSFORTEGNELSE

1. Baggrund og undersøgelsesmetoder.....	1
1.1 Indsamling af betonrør.....	2
1.2 Undersøgelsesmetoder.....	3
1.2.1 Visuel vurdering og opmåling af betonrørene.....	3
1.2.2 Udboring og opbevaring af prøveemner fra betonrørene.....	5
1.2.3 Måling af karbonatiseringsdybde.....	6
1.2.4 Måling af vandabsorption.....	7
1.2.5 Måling af porøsitet.....	8
1.2.6 Cylindertrykstyrke.....	9
1.2.7 Tyndslibundersøgelser af betonstrukturen.....	10
1.2.8 Kemisk analyse af betonsammensætningen.....	10
1.2.9 Brudbelastning af betonrør.....	11
2. Forsøgsresultater og vurdering.....	13
2.1 Karbonatiseringsdybde.....	13
2.2 Tørdensitet og vandabsorption.....	15
2.3 Porøsitet.....	18
2.4 Kapillarsugningsforsøg.....	21
2.5 Tyndslibundersøgelser.....	22
2.5.1 Analyse af betonsammensætning ud fra tyndslib.....	24
2.6 Kemisk analyse af betonsammensætningen.....	26
2.7 Betonrørens trykstyrke.....	27
2.8 Sammenfatning af resultaterne.....	29
3. Vurdering af prøveudtagningsstederne.....	31
3.1 Forsøgsresultater fra betonrørens bundløb, side og top.....	31
3.1.1 Forholdet mellem målinger i betonrørens bundløb og top.....	31
3.1.2 Forholdet mellem målinger i betonrørens bundløb og side.....	32
3.2 Forsøgsresultater fra betonrørens spids- og muffeende.....	33
3.3 Antal betonrør til prøveudtagning pr. ledningsstrækning.....	33
3.4 Sammenfatning.....	34
4. anbefalinger.....	37
Bilag 1. Oplysningsskema for indleveret betonrør.....	39
Bilag 2. Betonrørens alder og opgravningsårsag.....	40
Bilag 3. Betonrørens dimension og omgivelser.....	42
Bilag 4. Belastning på betonrørene.....	43
Bilag 5. Visuel vurdering af betonrørene.....	44
Bilag 6. Opmåling af betonrørene.....	47
Bilag 7. Måling af karbonatiseringsdybde.....	49
Bilag 8. Vandabsorptions- og porøsitetsmålinger.....	56
Bilag 9. Kapillarsugningsforsøg, metodebeskrivelse.....	64
Bilag 10. Undersøgelse af tyndslib.....	66
Bilag 11. Resultater fra EPMA forsøgene.....	74
Bilag 12. Måling af betonrørens brudbelastning.....	84
Bilag 13. Resultater fra kapillarsugningsforsøg.....	85
Bilag 14. Præparering af planslib til EPMA forsøg.....	89
Bilag 15. Resultater fra måling af cylindertrykstyrke.....	90



# Kapitel 1

## BAGGRUND OG UNDERSØGELSESMETODER

Hvis betonafløbsrør udsættes af aggressive påvirkninger, kan det resultere i en nedbrydning af betonens bindemiddelfase. Nedbrydningen af betonens bindemiddelfase forøger betonens porøsitet, hvilket generelt gør betonen mindre modstandsdygtig over for aggressive påvirkninger. En vigtig del af en tilstandsvurdering er derfor at få fastlagt, hvor stor en del af betonrørene godstykke, som er nedbrudt/korroderet. Det er dog ikke altid lige indlysende, hvilke undersøgelser der på bedste og ”billigste” måde giver information om betonens/betonrørens tilstand/kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger. Hovedformålene med laboratorieundersøgelserne er derfor at:

- ◆ Undersøge hvilke forsøgsmetoder, som er bedst egnet ved undersøgelse af betonafløbsrørens evne til at modstå aggressive påvirkninger, og dermed hvilke forsøgsresultater, som er egnet som indgangsdata til den neurale netværksmodel.
- ◆ Undersøge hvilken effekt nedbrydningsmekanismerne har på betonstrukturen og dermed på betonens egenskaber.
- ◆ Undersøge hvor på betonrøret det er mest hensigtsmæssigt at udtage prøver for at få den bedste information om betonrørets tilstand.
- ◆ Undersøge om prøver taget fra enkelte betonrør på tilfredsstillende vis afspejler hele afløbsstrækningens tilstand.

Betonens evne til at modstå aggressive påvirkninger er knyttet til dens evne til at hindre/besværliggøre væsketransport gennem betonen. Hvor let/svært det er at transportere væske gennem betonen afhænger af betonens porestruktur. En tæt beton med en meget fin porestruktur vil have en lav transportkapacitet, mens en åben porestruktur med f.eks. mange kontinuerlige makroporer vil have en forholdsvis stor transportkapacitet. Denne undersøgelsesserie vil derfor være koncentreret omkring undersøgelse af betonens porestruktur. Forsøgsserien omfatter undersøgelse af karbonatiseringsdybden på betonrørens yder- og inderside (afsnit 1.2.3), betonens vandabsorption til forskellige tidspunkter (afsnit 1.2.4), betonens suge-, makro- og totalporøsitet (afsnit 1.2.5), kvalitativ undersøgelse af betonstrukturen vha. tyndslib (afsnit 1.2.7) og undersøgelse af betonens kemiske sammensætning vha. mikrosonde forsøg (afsnit 1.2.8). Traditionelt undersøges betonkvalitet ved styrkemålinger. Det er derfor valgt dels at behandle cylindertrykstyrke på udborede cylindre (afsnit 1.2.6), og dels at måle brudbelastning på nogle af betonrørene (afsnit 1.2.9)

Ved planlægningen af forsøgsserien er der lagt vægt på, at de første undersøgelser, som skal bruges ved en vurdering af betonrørs evne til at modstå aggressive påvirkninger, skal være simple og

standardiserede forsøgsmetoder. Forsøgsserien skal også vise muligheden for at benytte tyndslibs- og mikrosondeundersøgelser.

Udgangspunktet for undersøgelserne er betonafløbsrør, hvor der ikke er nogen information omkring leverandør, vand/cement-forhold, cementpasta/tilslag-forhold, tilslagstype, gradering af tilslag, hærdebetingelser, hydratiseringsgrad og eventuel brug af tilsætningsstoffer. De manglende informationer omkring materialernes egenskaber bevirker, at forsøgsresultaterne er behæftet med en vis usikkerhed.

Resultaterne af forsøgsserien bliver sammenfattet i kapitel 4, hvor de forsøgsmetoder, som på bedste og billigste måde giver den nødvendige information omkring betonens evne til at modstå aggressive påvirkninger, vil blive fremhævet, sammen med anbefalinger dels omkring antallet af prøveemner, og dels omkring prøveemnernes placering på betonrørene.

## **1.1 INDSAMLING AF BETONRØR**

De indsamlede betonrør er næsten alle gravet op af driftsmæssige årsager. Der er ved indsamlingen ikke sat nogen nedre eller øvre grænse for afløbsrørens størrelse, ligesom der heller ikke på forhånd er fravalgt nogle betonrørstyper. Af praktiske og økonomiske årsager er der kun indsamlet betonrør fra Midt- og Nordjylland. Blandt de indsamlede betonrør var der 4 helt nye rør, som var doneret til projektet af *IBF Betonvarer* i Nørresundby.

Betonrørene blev indleveret til *Betonlaboratoriet* ved *Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitet*. Ved afleveringen blev det kontrolleret, at afløbsrørene var mærket korrekt. Hvis det var nødvendigt, blev rørmærkningen genopfrisket. Rørmærkningen består af et tal og et bogstav. Tallet angiver afløbsstrækningen og bogstavet rørets placering på strækningen. Hvis der f.eks. opgraves 3 betonrør fra samme strækning, f.eks. strækning 1, mærkes de med henholdsvis 1A, 1B og 1C. Rørmærkningen angives ligeledes på det oplysningsskema, som udfyldes ved opgravning af afløbsrørene. Oplysningsskemaet indeholder oplysninger omkring afløbsledningens placering, alder, systemtype, opgravningsårsag, skadesomfang, rørdimensioner, afløbsrørens omgivelser og belastning på afløbsrørene. Oplysningsskemaet er vist i bilag 1, og resultaterne er gengivet i bilag 2, bilag 3 og bilag 4. I alt blev der indsamlet 57 betonrør fra 25 forskellige afløbsstrækninger.



**Figur 1.1** Før udboringen af prøveemner blev betonrørene spulet rene for slam og sand.

Ved indlevering blev betonrørene opmagasineret uden for betonlaboratoriet. Betonrørene blev indleveret i perioden fra april til august måned 1997. Ved afslutningen af indsamlingsperioden blev der foretaget en visuel inspektion (afsnit 1.2.1), hvorefter afløbsrørene blev rengjort. Rengøringen blev ved forsigtigt at spule afløbsrørene fri for sand og slam. Figur 1.1 illustrerer fremgangsmåden ved rengøringen.

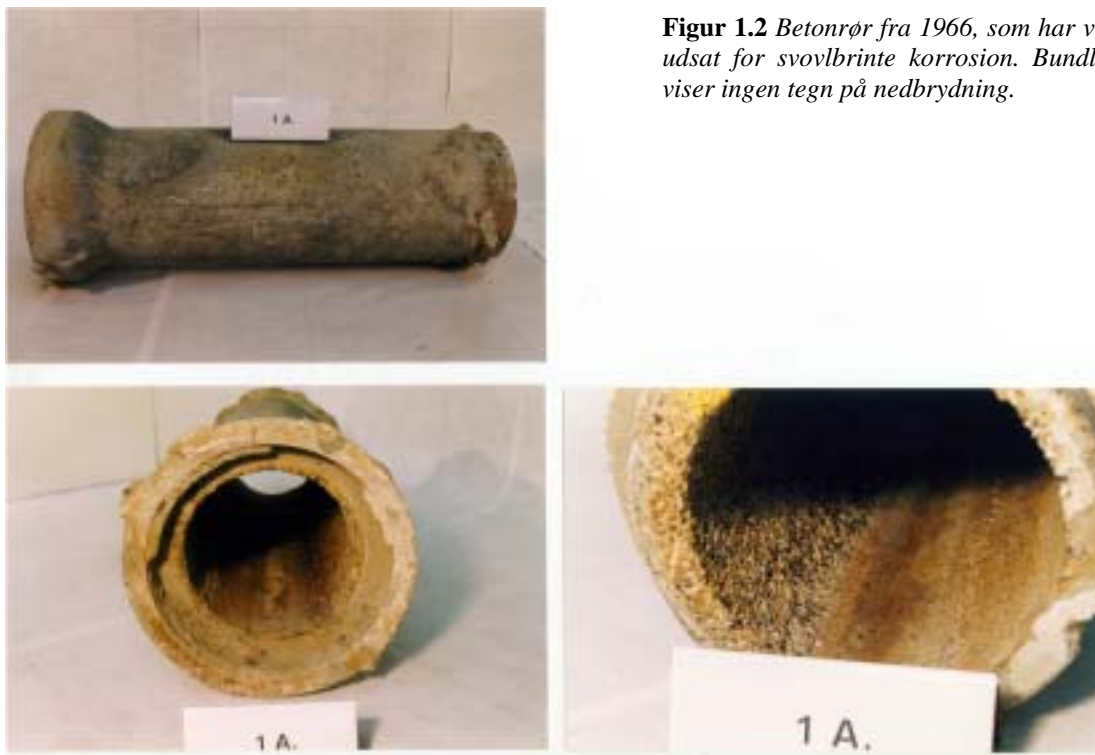
## 1.2 UNDERSØGELSESMETODER

Undersøgelserne er koncentreret omkring betonens struktur på undersøgelsestidspunktet, udtrykt ved måling af karboniseringsdybde, betonens vandabsorption ved givne tidspunkter, betonens porøsitet, kvalitativ undersøgelse af betonstrukturen ved udførelse af tyndslibsundersøgelser, undersøgelse af betonens kemiske sammensætning ved udførelse af mikrosonde undersøgelser samt måling af betonrørenes brudstyrke. Derudover behandles måling af cylindertrykstyrke.

### 1.2.1 VISUEL VURDERING OG OPMÅLING AF BETONRØRENE

Ved den visuelle vurdering af betonrørene blev afløbsrørene undersøgt for tegn på revner og korrosion på yder- og inderside, muffe- og spidsendernes beskaffenhed, og samlingsmetoden. Resultaterne fra den visuelle vurdering af betonrørene er vist i bilag 5.

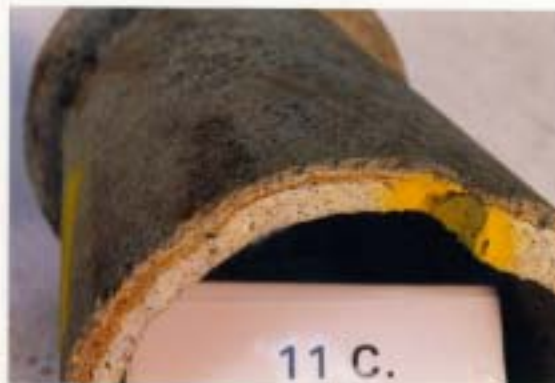
Efter rengøringen af betonrørene blev afløbsrørenes indvendige diameter, godstykkelse, rørlængde og muffedybde registreret. I henhold til DS 400.3.0 [1] blev der foretaget 4 målinger på hver betonrør. Ud fra de 4 målinger udregnes en gennemsnitsværdi for afløbsrørenes indvendige diameter, godstykkelse, rørlængde og muffedybde. Resultaterne er vist i bilag 6.



**Figur 1.2** Betonrør fra 1966, som har været udsat for svovlbrinte korrosion. Bundløbet viser ingen tegn på nedbrydning.



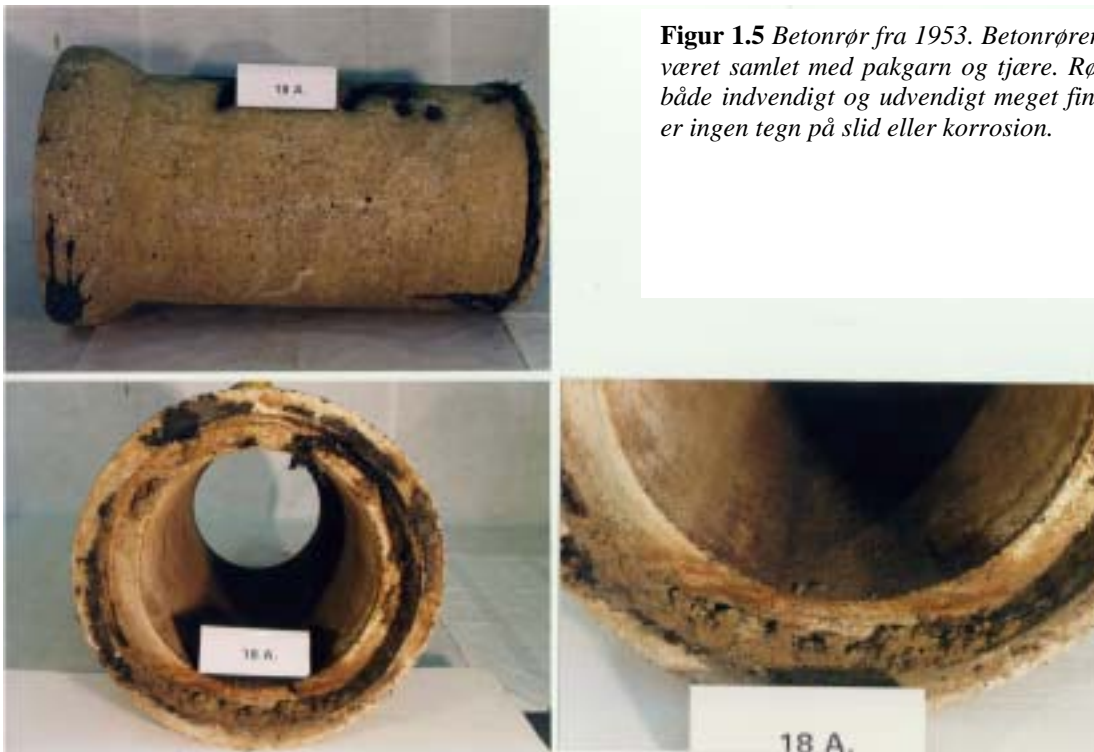
**Figur 1.3** Betonrør fra 1916. På rørets yderside er der tydelige tegn på korrosion. Indvendig er røret fint med ganske lidt slid.



**Figur 1.4** Betonrør fra 1930. Røret har sandsynligvis haft sedimentaflejringer i bundløbet, som har beskyttet mod overfladeslitage. På den vandførende del af røret (over sedimentaflejringerne) er der tydelige tegn på slid.







**Figur 1.5** Betonrør fra 1953. Betonrørene har været samlet med pakkarn og tjære. Røret er både indvendigt og udvendigt meget fint. Der er ingen tegn på slid eller korrosion.

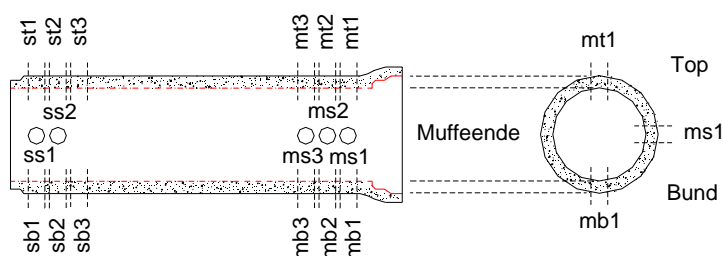
### 1.2.2 UDBORING OG OPBEVARING AF PRØVEEMNER FRA BETONRØRENE

De forskellige undersøgelser foretages på prøveemner boret ud af betonrørene. Til udboringen af prøveemnerne blev der benyttet en kerneboremaskine, som kørte med 620 omdr./min. Kerneboret havde en indre diameter på 51 mm. Kerneboringsudstyret er vist i figur 1.6.



**Figur 1.6** Kerneboringsudstyr. Opstillingen sikrede, at udboringen blev foretaget vinkelret på betonrørens overflade, samt at både boremaskine og betonrør blev fastholdt under udboringen.

Der blev boret prøveemner ud fra både spidsende og mufteende på afløbsrørene. En sammenligning af resultaterne vil vise om betonkvaliteten varierer langs det enkelte betonrør. I hver ende af afløbsrørene bores der prøveemner ud fra rørets top, side og bund<sup>a</sup>. En sammenligning af resultaterne vil vise eventuelle forskelle i betonens kvalitet i top, side og bund af afløbsrørene.



**Figur 1.7** Prøveemnernes antal og placering på de indleverede betonrør.

Prøveemnerne mærkes med henholdsvis rør- og prøvenummer. Prøvenummeret angiver, hvor på betonrøret prøveemnet er boret ud: spidsende (s), mufteende (m), top (t), side (s) og bund (b). Rækkefølgen angives numerisk startende med 1 ved rørets ender. Prøveemne *mt3* er således boret ud i toppen af rørets mufteende som nr. 3. Placering og antal af prøveemnerne er vist på figur 1.7.

Efter udboringen (og efter måling af karbonatiseringsdybden, se afsnit 1.2.3) tørres prøveemnerne med en tør klud, og anbringes i plastbeholdere af polyethylen. Plastbeholderne lukkes med et inderlåg og et skruelåg, hvorefter de anbringes i et klimarum med en temperatur på 20 °C og en luftfugtighed på 55%. Klimarummets temperatur og luftfugtighed blev indstillet, så det havde ca. samme temperatur og luftfugtighed som betonlaboratoriet i perioden, hvor cylinderen blev udboret. Ved at anbringe prøveemnerne i plastbeholdere og klimarum sikres der samme startbetingelser for alle prøveemnerne. Udboringen af prøveemner strakte sig over en periode på ca. 4 uger.

Antal prøveemner og placering for de enkelte undersøgelsesmetoder er vist i tabel 1.1.

**Tabel 1.1** Antal prøveemner som undersøges, udboringsstedet og cylindernumrene.

Undersøgelser:	Antal prøveemner fra			Prøvenummer
	Top	Side	Bund	
Karbonatiseringsdybde, cylindertrykstyrke	2	2	2	st1, ss1, sb1, mt1, ms1, mb1
Vandabsorption, porøsitet	2	2	2	st2, ss2, sb2, mt2, ms2, mb2
Tyndslib, EPMA	1	-	1	st3, sb3
Arkivering	1	1	1	mt3, ms3, mb3

### 1.2.3 MÅLING AF KARBONATISERINGSDYBDE

I området omkring betonrørens overflade vil calciumhydroxyd  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  i betonen reagere med luftens, spildevandets og/eller grundvandets indhold af kuldioxid  $\text{CO}_2$  og derved danne calcium-

<sup>a</sup> Ved top, side og bund refereres til betonrørens orientering i jorden. "Bund" angiver således bundløbet på betonrørene. Bundløbet er letgenkendeligt pga. mørke aflejringer fra spildevandet.

carbonat  $\text{CaCO}_3$ . Ved karbonatiseringen reduceres betonens pH-værdi fra 12-13 til 8-9. Betonens karbonatisering har i sig selv ingen betydning for betonrørens holdbarhed, men oplysninger om karbonatiseringsdybde sammenholdt med betonrørens alder, giver oplysninger om betonens porøsitet. En lille karbonatiseringsdybde på ældre betonrør indikerer en tæt beton med en lav porøsitet, mens en forholdsvis stor karbonatiseringsdybde indikerer en beton med en åben porestruktur og dermed med en forholdsvis høj porøsitet. Da karbonatiseringsdybden ikke kun afhænger af betonens porøsitet, men også af betonens vandindhold og koncentrationen af kuldioxid, kan karbonatiseringsdybden kun bruges som en indikator og ikke som et entydigt mål for betonens porestruktur/porøsitet.

Efter udboringen af de enkelte prøveemner blev de tørret med en klud, hvorefter prøveemnernes sider blev påstrøget med phenolphtalein. Phenolphtalein er farveløs ved pH over 9 og rød ved pH lavere end 9. Efter påstrygningen registreres karbonatiseringsdybden som et gennemsnit af karbonatiseringsdybden målt 4 steder forsat  $90^\circ$  fra hinanden. Målingerne blev foretaget på både inder- og yderside af betonrørene. Målingerne af karbonatiseringsdybden er vist i bilag 7.

Da phenolphtalein reagerer på betonens pH-værdi vil de områder, hvor calciumcarbonaten er udløst, også blive registreret som karbonatiserede områder. Det er derfor ikke helt rigtigt at betegne målingerne som "karbonatiseringsdybden". Men da målingerne indeholder information omkring de karbonatiserede områder i betonen, vil de registrerede målinger i nærværende projekt fortsat blive betegnet som karbonatiseringsdybden.

## 1.2.4 MÅLING AF VANDABSORPTION

Måling af betonens vandabsorption giver oplysninger om betonens porestruktur og porøsitet. Ved at følge den norske standard *NS 461A* [2] kan målingerne af betonens vandabsorption sammenholdes med tilsvarende norske undersøgelser udført af *Sægrov* [3].

I henhold til *NS 461A* blev prøveemnerne først børstet fri for løse partikler i overfladen og tørret ved  $105^\circ\text{C}$  i 72 timer i en ventileret ovn. Tørvægten  $m_{\text{tør, absorption}}$  (kg) blev bestemt ved vejning straks efter udtagningen af ovnen. Derefter blev prøveemnerne neddykket i rent drikkevand med en vandtemperatur på ca.  $18^\circ\text{C}$ . Efter 10 minutter blev prøveemnerne taget op, hvorefter de forsigtigt blev aftørret med en tør klud og vejnet  $m_{10 \text{ min}}$  (kg). Efter vejningen blev prøveemnerne igen neddykket i vandbadet. Efter 24 timer blev de taget op igen, forsigtigt aftørret og vejnet  $m_{24 \text{ timer}}$  (kg). Ifølge *NS 461A* [2] beregnes mængden af absorberet vand i % af tørvægten. Resultaterne vil således blive angivet i vægt-%. Men som vist i afsnit 2.2 er der en betydelig variation i betondensiteten for de enkelte betonrør, hvilket betyder, at resultater angivet som vægt-% er lidt misvisende, idet en variation i det anvendte tilslagsmateriale ikke nødvendigvis har betydning for betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger. Det er derfor valgt at angive resultaterne fra vandabsorptionsmålingerne i volumen %.

$$\text{Vandabsorption, 10 min} = \frac{(m_{10 \text{ min}} - m_{\text{tør, absorption}}) / \rho_{\text{vand}}}{V_{\text{prøveemne}}}$$

$$\text{Vandabsorption, 24 timer} = \frac{(m_{24 \text{ timer}} - m_{\text{tør, absorption}}) / \rho_{\text{vand}}}{V_{\text{prøveemne}}}$$

Vandets densitet sættes til  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Prøveemnernes volumen  $V_{\text{prøveemne}}$  ( $\text{m}^3$ ) bestemmes i forbindelse med porøsitetsmålingerne ved at veje prøveemnerne hhv. over og under vand. Metoden er nærmere beskrevet i afsnit 1.2.5. Resultaterne fra vandabsorptionsmålingerne er vist i bilag 8.

### 1.2.5 MÅLING AF PORØSITET

Forsøgene blev udført i henhold til fremgangsmåden beskrevet af *Smeplass m. fl.* i [5]. Ved måling af betonens porøsitet blev prøveemnerne neddykket i et vandbad ved ca. 18 °C, indtil cylindernes vægtstigning var mindre end 0,01 % pr. døgn. Kravet til vægtstigningen blev opnået efter 7 døgn, hvorefter prøveemnerne blev taget op af vandbadet, tørret forsigtigt med en klud og vejet  $m_{7 \text{ døgn}}$  (kg). Derefter blev prøveemnerne placeret i en tryktank, hvor de blev fuldstændig vandmættet ved et vandtryk på 50 atm. i 24 timer. Efter vandmætningen blev prøveemnerne tørret forsigtigt med en klud og vejet både over vand  $m_{\text{over vand}}$  (kg) og under vand  $m_{\text{under vand}}$  (kg). Herefter blev prøveemnerne placeret i en ovn ved 105 °C, indtil prøveemnernes vægttab var mindre end 0,01 % pr. døgn, hvorefter de blev vejet  $m_{\text{tør, porøsitet}}$ .

Til vejning af prøveemnerne blev der benyttet en *Satorius LP4200* præstationsvægt, som angiver prøveemnernes vægt med 1/100 g nøjagtighed.

Ud fra de registrerede vægte beregnes prøveemnernes volumen, betonens tørdensitet, betonens sugoporøsitet  $p_S$ , makroporøsitet  $p_M$  og totalporøsitet  $p_T$ :

$$V_{\text{prøveemne}} = \frac{(m_{\text{over vand}} - m_{\text{under vand}})}{\rho_{\text{vand}}} \quad (\text{m}^3)$$

$$\rho_{\text{beton, tør}} = \frac{m_{\text{tør, porøsitet}}}{V_{\text{prøveemne}}} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$p_S = \frac{(m_{7 \text{ døgn}} - m_{\text{tør, porøsitet}}) / \rho_{\text{vand}}}{V_{\text{prøveemne}}} \quad (\text{vol. \%})$$

$$p_M = \frac{(m_{\text{over vand}} - m_{7 \text{ døgn}}) / \rho_{\text{vand}}}{V_{\text{prøveemne}}} \quad (\text{vol. \%})$$

$$p_T = p_S + p_M \quad (\text{vol. \%})$$

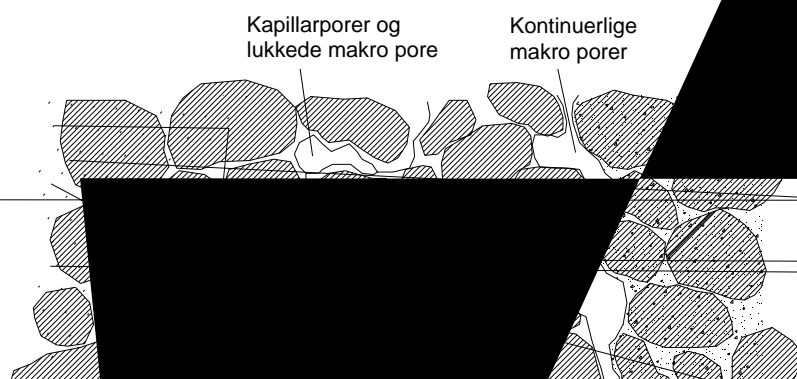
I beregningerne sættes vandets densitet  $\rho_{\text{vand}}$  til 1000 kg/m<sup>3</sup>. Når betoncylinderne bliver placeret i et vandbad, fyldes "alle" de åbne gel- og kapillarporer samt de kontinuerlige makroporer med vand<sup>b</sup>. Den målte sugoporøsitet bliver således et mål for det samlede poresystem af gel-, kapillar- og kontinuerlige makroporer.

Ved betonrør produceret med tørbeton er kontinuerlige makroporer en naturlig del af betonens poresystem, mens de normalt ikke observeres ved konstruktioner produceret med almindelig beton. Forskellen mellem kapillarporer, lukkede makroporer og kontinuerlige makroporer fremgår af figur

---

<sup>b</sup> Når betoncylinderne nedsænkes i vandbadet, og vandet suges ind i betonen, vil der uundgåeligt blive fanget små luftlommer inde i betonen. Disse luftlommer vil med tiden blive fyldt med vand. Denne udskiftning af luft med vand foregår dog så langsomt, at vægtstigningen pr. dag bliver mindre end 0,01 %, hvilket betyder, at forsøget afbrydes, og prøveemnerne vejes. Det er derfor en tilnærmelse at sige, at alle gel- og kapillarporer er vandfyldte.

1.8, som skematisk viser et snit i et betonemne. Der er ingen forstørrelser på poresystemet og poresystemet i en virkelig beton.



De  
p  
di  
san  
cyl  
geom  
omreg

Det er selvfølgelig muligt at tilnærme omregningskurverne ved at opdele betonrørene i grupper ud fra en vurdering af deres tilstand og de brugte betonblandinger. Ved at benytte samme omregningskurve til hver af grupperne er det muligt at reducere antallet af nødvendige omregningskurver, og samtidig minimere den fejl som begås ved omregningen til samme h/d-forhold. Det næste problem vil så være at producere de nødvendige omregningskurver. Betonrørenes godstykkelser begrænser muligheden for at producere cylindre med forskellige h/d-forhold, hvorfor det ikke vil være muligt at lave omregningskurverne på baggrund af cylindre udboret fra betonrørene. En anden mulighed vil så være at bruge støbte cylindre med forskellige h/d-forhold til produktionen af omregningskurverne. Det vil dog være meget svært/umuligt at producere betonblandinger med samme egenskaber som de blandinger, som er brugt ved betonrørene. Disse vanskeligheder bliver ikke mindre, når der skal tages hensyn til de forskellige nedbrydningsmekanismer, som betonen har været udsat for i deres levetid.

Med baggrund i det ovenstående må det konkluderes, at måling af cylindertrykstyrken ikke er en anvendelig undersøgelsesmetode, når man skal undersøge betonafløbsrør med begrænset godstykkelse og meget varierende betonsammensætninger. Cylindertrykstyrken vil derfor ikke blive behandlet nærmere.

### **1.2.7 TYNDSLIBSUNDERSØGELSER AF BETONSTRUKTUREN**

En betons sammensætning, blanding, komprimering og afbindingforløb har indflydelse på betonens porestruktur. Derfor kan man ved mikroskopering af tyndslib få et indtryk af betonens tilblivelse og de påvirkninger, den senere har været udsat for. Tyndslibet er en ca. 20 µm tyk skive af beton, som dækker en flade på 20 x 50 mm. Ved denne tykkelse er betonen gennemskinnelig. Ved fremstillingen af tyndslibet er det nødvendigt at imprægnere betonen med epoxyplast for at holde sammen på prøven under slibningen. I epoxyen blandes et fluorescerende sporstof, som bevirker, at hulrum og revner vil fremtræde som lyse på mørk baggrund, når tyndslibet belyses med ikke-polariseret lys i mikroskopet.

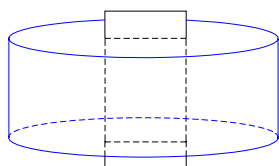
Tyndslibsundersøgelserne indeholder en kvalitativ vurdering af betonstrukturen, pore- og tilslagsfordelingen, omfanget af nedbrydningen, udfældninger i revner/porer og betonens porøsitet.

I alt undersøges 24 tyndslib fra 14 forskellige betonrør. Resultaterne fra tyndslibsundersøgelserne er vist i bilag 10 sammen med billeder af tyndslibene.

### **1.2.8 KEMISK ANALYSE AF BETONSAMMENSÆTNINGEN**

Ved hjælp af EPMA (Elektron Probe Mikro Analyse) kan man få oplysninger om cementpastaens kemiske sammensætning, samt oplysninger om de kemiske påvirkninger betonen har været udsat for. Af økonomiske årsager er der kun udført EPMA forsøg på prøver fra de afløbsstrækninger, hvor der enten er synlig korrosion eller en speciel interessant betonoverflade/coatning (afløbsstrækning 17). I alt er der udført EPMA forsøg på 12 prøver. De udvalgte prøver er beskrevet i bilag 11 sammen med måleresultaterne.

Metoden brugt ved præpareringen af prøverne/planslibene er beskrevet i detaljer i bilag 14. Ved præpareringen af prøverne placeres planslibet således, at slibet indeholder enten hele godstykkelse eller fra betonrørets overflade og så langt ind i tværsnittet som muligt. Planslibets orientering i forhold til de udborede prøveemner er vist på figur 1.9.



**Figur 1.9** Planslibets orientering i forhold til det udborede prøveemne. Prøveemnernes placering i betonrørene er vist i figur 1.3.

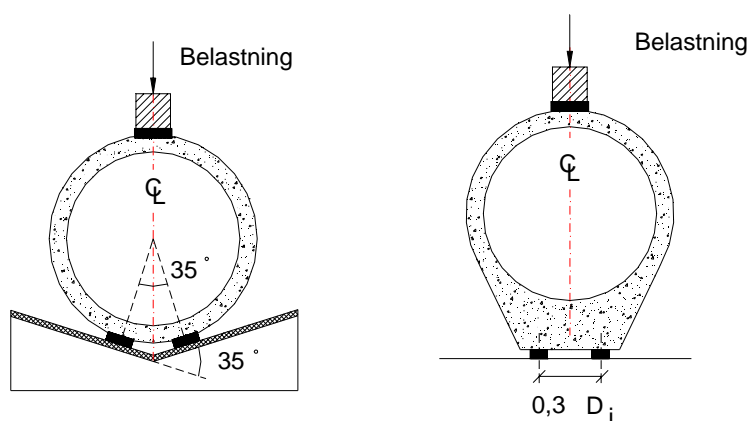
Ved forsøgene bliver prøverne bombarderet med elektroner. Når elektronerne rammer de forskellige grundstoffer (atomer) i prøven, bliver nogle af atomernes elektroner ramt, hvorved de skubbes ud af deres elektronbaner. Derved bliver atomet bragt i en energimæssig ustabil tilstand, og for at genoprette stabiliteten falder der elektroner fra de ydre elektronbaner ind i den/de elektronbaner, hvor der er fjernet elektroner. Ved denne proces udstråles der røntgenstråler, hvis bølgelængde afhænger dels af atomet (grundstoffet), dels af hvilken elektronbane den indfaldne elektron kommer fra, og dels hvilken bane den falder ind til. Ved registrering af røntgenstrålernes bølgelængder (bølgelængdespektrometri)

får man således oplysninger om, hvilke grundstoffer der findes i prøven og grundstoffets andel af det elektronbestrålede område.

Ved EPMA forsøgene er målepunkterne i de yderste 10 mm placeret med en indbyrdes afstand på 250  $\mu\text{m}$ . I resten af tværsnittet er den indbyrdes afstand valgt til 500  $\mu\text{m}$ , hvilket skyldes, at variationen i cementpastaens sammensætning bliver mindre, jo større afstanden er til den eksponerede betonoverflade. Det er derfor ikke nødvendig at placere målepunkterne så tæt som ved betonrørens overflade. For at sikre, at målepunkterne var placeret i cementpastaen, blev prøven manuelt forskudt sideværts, indtil et egnet måleområde var fundet. Ved hver målepunkt blev et cirkulært område med en diameter på 20  $\mu\text{m}$  bombarderet med elektroner med en energi på 15 kV. Ved forsøgene blev der skannet for grundstofferne Calcium *Ca*, Silicium *Si*, Aluminium *Al*, Jern *Fe*, Svovl *S*.

### 1.2.9 BRUDBELASTNING AF BETONRØR

Brudlasten afhænger af betonens materialeegenskaber og rørets dimension, hvorfor brudlasten er et mål for hele rørkonstruktionens styrke. De udborede huller er før trykprøvningen lukket med 0-8 mm tørbeton. Tørbetonen har efter 28 døgn afbinding en trykstyrke på ca. 45 MPa og et E-modul på ca. 42000 MPa. Tilstedeværelsen af de støbte huller vil have indflydelse på de målte resultater. Hvor meget de støbte huller påvirker resultaterne, afhænger af afløbsrørens længde og til dels også udstøbningens kvalitet.



**Figur 1.10** Forsøgsopstilling ved brudbelastning af betonrør med fod og cirkulære betonrør.

Forsøgsopstillingerne er vist i figur 1.10 og beskrevet i det følgende.

For begge opstillinger blev belastningen overført over én frembringer. Listerne, som overfører belastningen, var af gummi af hårdhedsklasse 60 IRHD. De havde en tykkelse på 25 mm og en bredde  $b$  af størrelsen:

- ◆ Rør  $< \text{Ø}300 \Rightarrow b = 35 \text{ mm}$
- ◆ Rør  $> \text{Ø}300 \Rightarrow b = 50 \text{ mm}$

Erfaringer fra forsøg udført af betonrørsproducenterne i Danmark har vist, at betonrørens vandindhold har indflydelse på den målte trykstyrke. For at opnå tilnærmelsesvis samme vandindhold ved trykprøvning blev betonrørene overrislet med vand 24 timer før starten af forsøgene. Brudforsøgene blev foretaget hos *RC Betonvarer A/S* i Rødkærsgade og udført i samarbejde med *Poul Rasmussen* fra *Eurotest* i Vejle. Under forsøgene blev trykbelastningen styret manuelt. Belastningen blev påført med en hastighed, således at bruddet skete ca. 2 minutter efter start af forsøget.

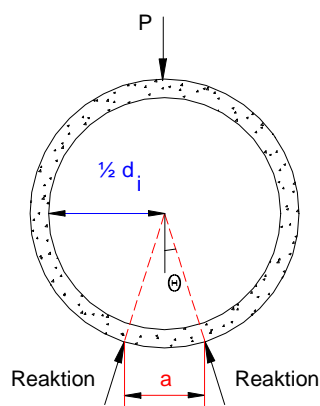
Ved beregningerne for de cirkulære rør kan elasticitetsteorien benyttes, idet afløbsrørene betragtes som en plan, lukket ring påvirket af kræfter i eget plan. Med en belastning på rørene, som vist i figur 1.10, vil brudlinjerne udvikle sig ved afløbsrørens top, side og bundløb. Spændingerne i afløbsrørene er ikke kun et resultat af selve belastningen men også et resultat af afløbsrørens egenvægt. Med en forsøgsopstilling som vist i figur 1.10, vil betonrørens egenvægt bevirke, at de største bøjningsmomenter optræder ved afløbsrørens bundløb. Afløbsrørens egenvægt resulterer ifølge *Rørhåndbogen* [9] i et bøjningsmoment ved afløbsrørens bundløb på:

$$M_{\text{bundløb, egenvægt}} = \frac{3}{8} \gamma t (d_i + t)^2 L$$

hvor  $\gamma$  (kN/m<sup>3</sup>) er betonens specifikke tyngde,  $t$  (m) er afløbsrørens godstykkelse,  $d_i$  (m) er afløbsrørens indre diameter, og  $L$  (m) er rørlængden. Ved beregningerne sættes betonens specifikke tyngde tilnærmelsesvis til 24 kN/m<sup>3</sup>. Bøjningsmomentet regnes positivt, når det forårsager trækspændinger ved rørens inderside. Med en liniebelastning og understøtninger som vist i figur 1.10, vil der for cirkulære rør optræde følgende bøjningsmomenter ved afløbsrørens bundløb, *Rørhåndbogen* [9]:

$$M_{\text{bundløb, belastning}} = \frac{1}{k_u} \frac{1}{2\pi} P (d_i + t)$$

hvor  $k_u = \frac{2}{1 + \frac{1 - \Theta \sin \Theta}{\cos \Theta}}$  med  $\Theta = \text{Arc sin } \frac{a}{d_i + 2t}$



hvor  $P$  (kN) er brudbelastningen,  $a$  (m) er afstanden mellem understøtningspunkterne på ydersiden af afløbsrørene, og  $\Theta$  (rad.) er vinklen mellem lodret og den ene linieunderstøtning.  $\Theta$  er således direkte afhængig af vinklen på understøtningen. Som vist i figur 1.6 er vinklen på understøtningen 35°, hvilket betyder, at  $\Theta$  er ca. 0,3054 rad. (17,5°).

Idet der ikke tages hensyn til bidraget fra normalkræfterne<sup>c</sup>, bestemmes trækspændingerne ved:

$$\sigma_{\text{bundløb, træk}} = \frac{6(M_{\text{bundløb, egenvægt}} + M_{\text{bundløb, belastning}})}{t^2 L}$$

Ved betonrør med fod beregnes bøjningsmomenterne principielt på samme måde som vist ovenfor. Men på grund af betonrørets varierende godstykkelser kan der ikke angives generelle formler for beregning af bøjningsmomentet, *Rørhåndbogen* [9]. For betonrør med fod (betonrør nr. 19A, 19B og 19C) kan brudspændingerne beregnes vha. et elementmetodeprogram, mens den for de øvrige betonrør vil blive beregnet ud fra ovenstående formel udtryk.

Resultaterne af brudforsøgene er vist i bilag 12.

<sup>c</sup> Normalt er bidraget fra normalkræfterne betydeligt mindre end bidraget fra bøjningsmomentet. Betragter man eksempelvis et betonrør, hvor godstykkelsen er en tiendedel til en femtedel af diameteren, lagt med normal understøtning, bliver fejlen ved ikke at medtage normalkraften 2-3 %, *Rørhåndbogen* [9]



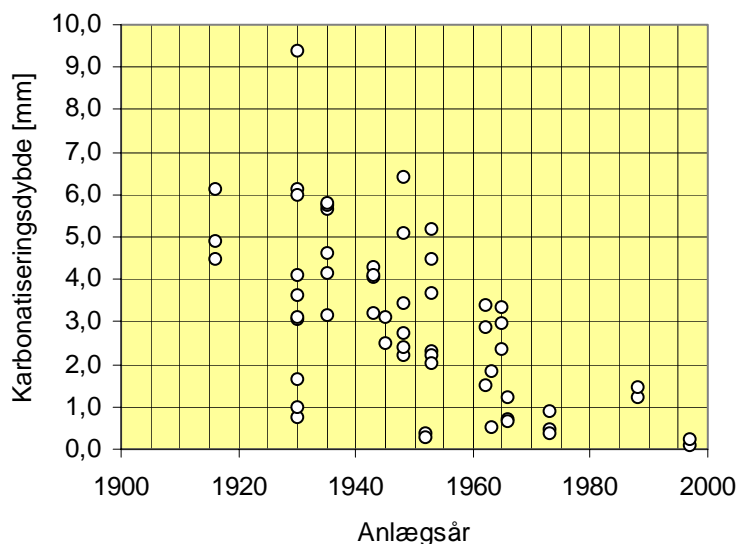
# Kapitel 2

## FORSØGSRESULTATER OG VURDERING

Resultaterne fra de forskellige laboratorieundersøgelser vil i det følgende blive præsenteret og kommenteret. Resultaterne vil hovedsageligt blive præsenteret som funktioner af afløbsstrækningernes anlægsår. I henhold til forsøgsprocedurene beskrevet i kapitel 1 er vandabsorptionerne og porøsiteterne udregnet som volumen %. Tendenslinierne, som er vist i figurerne, er alle udregnet vha. mindste kvadraters metode.

### 2.1 KARBONATISERINGSDYBDE

Som nævnt i afsnit 1.2.2 og 1.2.3 blev karbonatiseringsdybden på rørenes inder- og yderside målt på i alt 6 prøveemner. Ved hver af prøveemnerne er karbonatiseringsdybden udregnet som et gennemsnit af 4 målinger forsat 90 ° fra hinanden. Resultaterne af målingerne er vist i figur 2.1 og figur 2.2. Hvert målepunkt i figurerne repræsenterer den gennemsnitlige karbonatiseringsdybde for hver enkelt beton-afløbsrør.

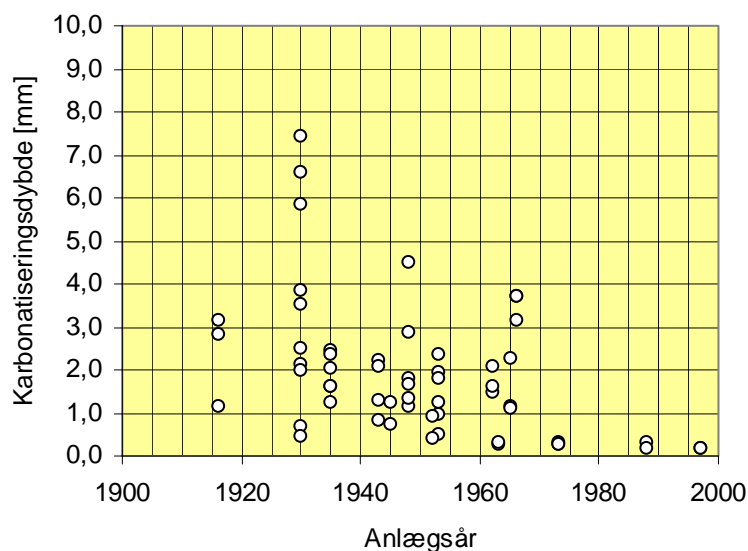


**Figur 2.1** Karbonatiseringsdybden målt på rørenes yderside. Hvert målepunkt repræsenterer gennemsnittet af målinger på 6 prøveemner fra hvert rør.

○ Karbonatiseringsdybde på betonrørenes yderside

Som det kan ses på figur 2.1 og figur 2.2, er der en klar tendens til større karbonatiseringsdybde med voksende alder. Samtidig kan det ses, at afstanden mellem største og mindste karbonatiseringsdybde bliver større med alderen. Specielt rørene fra slutningen af 1960'erne viser mindre spredning og generelt lavere karbonatiseringsdybde end betonrørene fra starten af 1960'erne. Der kan være flere grunde til dette tilsyneladende spring i kvaliteten. For det første er den målte karbonatiseringsdybde afhængig af den tid, som betonen har været eksponeret for CO<sub>2</sub> holdigt luft og spildevand. Forskellen i eksponeringstiden for betonrørene fra starten og i slutningen af 1960'erne kan dog ikke

forklare den forskel, der er mellem største og mindste karbonatiseringsdybde. En anden forklaring kan være, at betonrørproducenterne i starten af 1960'erne fik bedre styr på deres betonblandinger og til dels også deres støbeteknik, hvilket forbedrede betonrørens startkvalitet betydeligt. Datagrundlaget er dog for spinkelt til at kvantificere denne kvalitetsstigning.



**Figur 2.2** Karbonatiseringsdybden målt på rørens inderside. Hvert målepunkt repræsenterer gennemsnittet af målinger på 6 prøveemner fra hvert rør.

○ Karbonatiseringsdybde på betonrørens inderside

Generelt varierer de målte karbonatiseringsdybder en del inden for det samme betonrør. Variationskoefficienten på resultaterne fra samme betonafløbsrør var 0,551<sup>d</sup> målt på ydersiden af betonrørene og 0,619 målt på indersiden. Til sammenligning kan nævnes, at variationskoefficienten på prøveemner på betonrør fra samme strækning var 0,623 og 0,653 for karbonatiseringsdybden målt på hhv. betonrørens yderside og inderside. Variationskoefficienten på prøver fra samme rør og prøver fra betonrør fra samme afløbsstrækning er nærmere omtalt i afsnit 3.3. Variationen inden for samme betonrør kan tildels skyldes, at karbonatiseringsdybden ud over eksponeringstiden og betonens porøsitet også afhænger af betonens vandindhold. Vandindholdet kan variere en del inden for samme betonrør. Denne variation skyldes både et varierende grundvandsniveau og en varierende vandføring i røret. Det er således uundgåeligt, at målingen af karbonatiseringsdybden bliver behæftet med en forholdsvis stor variation. Som det kan ses i figur 2.1 og 2.2, er der en tendens til større karbonatiseringsdybder langs rørens yderside end ved indersiden. Forklaringen på dette skal sandsynligvis findes i betonens fugtindhold. Store dele af betonrørens inderside er ofte i direkte kontakt med spildevandet, hvilket betyder, at betonen ved rørens inderside i perioder vil have et naturligt højt fugtindhold. Hvis rørstrækningen ligger over grundvandsniveau, vil der således optræde en variation i betonens fugtindhold over rørens godstykkelse. Ifølge *Herholdt m. fl.* [7] går karbonatiseringsprocessen langsomt i meget våd beton. En periodevis variation i betonens fugtighed med meget våd beton ved rørens inderside og lavere fugtighedsindhold langs rørens yderside, vil betyde, at der med tiden vil kunne måles en større karbonatiseringsdybde ved rørens yderside end ved indersiden.

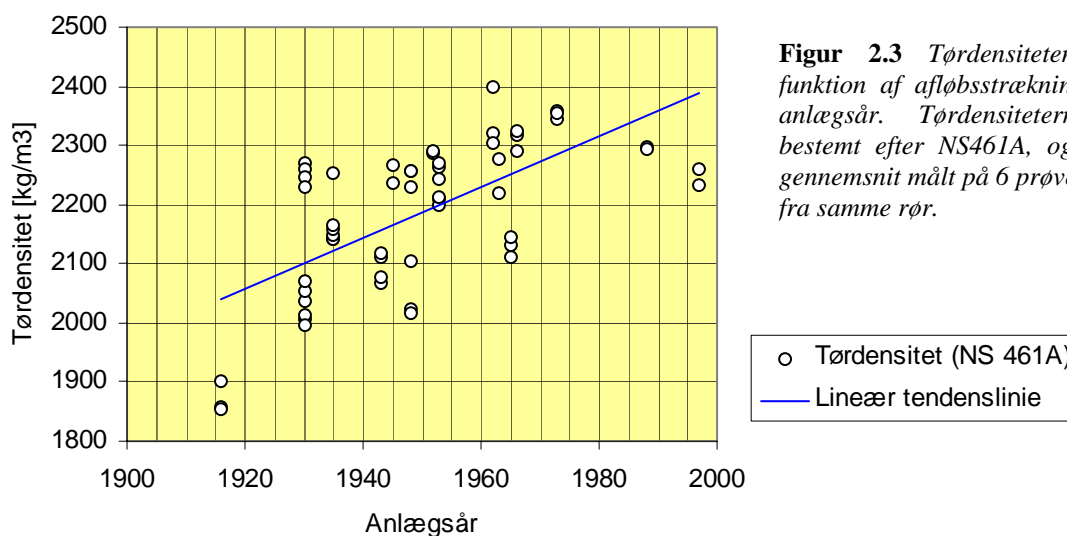
Den forholdsvis store variationskoefficient på karbonatiseringsmålingerne betyder, at det ved en vurdering af betonrørens kvalitet er nødvendigt at udtage adskillige prøver. Antal prøver og deres placering bliver nærmere behandlet i afsnit 3.3. Den forholdsvis store variation på resultaterne fra samme betonrør gør det samtidig klart, at måling af karbonatiseringsdybden kun kan bruges som en grov indikator for betonens kvalitet, og ikke som et entydigt mål for betonens kvalitet/porøsitet.

<sup>d</sup> Variationskoefficient = Standard afvigelse [mm] / middelværdi [mm].

## 2.2 TØRDENSITET OG VANDABSORPTION

De målte tørdensiteter er vist i figur 2.3. Hvert målepunkt repræsenterer gennemsnittet af tørdensitetsmålinger på 6 prøveemner, hvis placering er nærmere omtalt i afsnit 1.2.2.

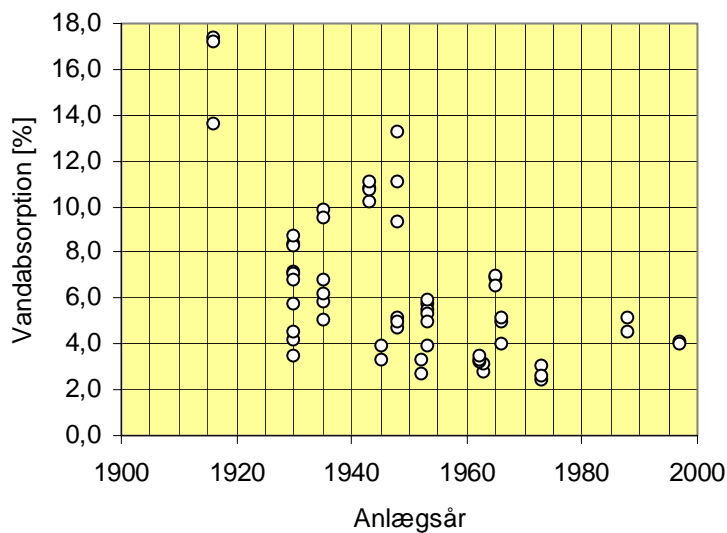
Som der kan ses i figur 2.3, er der en klar tendens til lavere tørdensitet med voksende alder. Hovedårsagen til den lavere tørdensitet skal findes i betonens porøsitet, som er højere for ældre end for nyere betonrør, jf. afsnit 2.3. Samtidig kan det ses, at der er en betydelig variation i de målte tørdensiteter inden for samme aldersklasse, hvilket indikerer en variation i betonsammensætningen og/eller en variation i porøsiteten. En del af de indsamlede betonrør havde en betonsammensætning, som må karakteriseres som mørtelblandinger uden større tilslag end sand og kun ganske få små sten. Alle disse "mørtelrør" har lavere tørdensitet end rørene med traditionel tilslagsindhold.



**Figur 2.3** Tørdensiteten som funktion af afløbsstrækningernes anlægsår. Tørdensiteterne er bestemt efter NS461A, og er et gennemsnit målt på 6 prøveemner fra samme rør.

Variationskoefficienten på tørdensiteterne målt på prøveemner fra samme betonrør er beregnet til 0,015, hvilket indikerer, at tørdensiteten er næsten uafhængig af stedet for prøveudtagningen på rørene. Forklaringen på variationen inden for samme betonrør skal primært findes i de nedbrydningsmekanismer, som har virket på betonrørene gennem tiden. Resultaternes afhængighed af prøveudtagningsstedet i betonrørene er nærmere omtalt i afsnit 3.3.

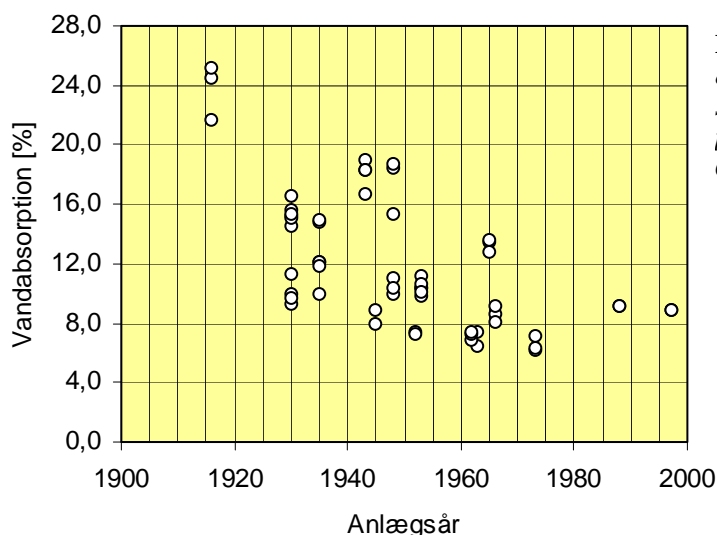
Måling af vandabsorptionen efter hhv. 10 minutter og 24 timer er vist i figur 2.4 og 2.5. Målepunkterne er udregnet som et gennemsnit af målingerne på 6 prøveemner fra samme betonafløbsrør. Prøvernes placering er nærmere omtalt i afsnit 1.2.2.



**Figur 2.4** Betonens vandabsorption efter 10 minutter som funktion af afløbsstrækningernes anlægsår. Hvert målepunkt er et gennemsnit af målinger på 6 forskellige prøveemner fra hvert rør.

○ Vandabsorption, 10 min.

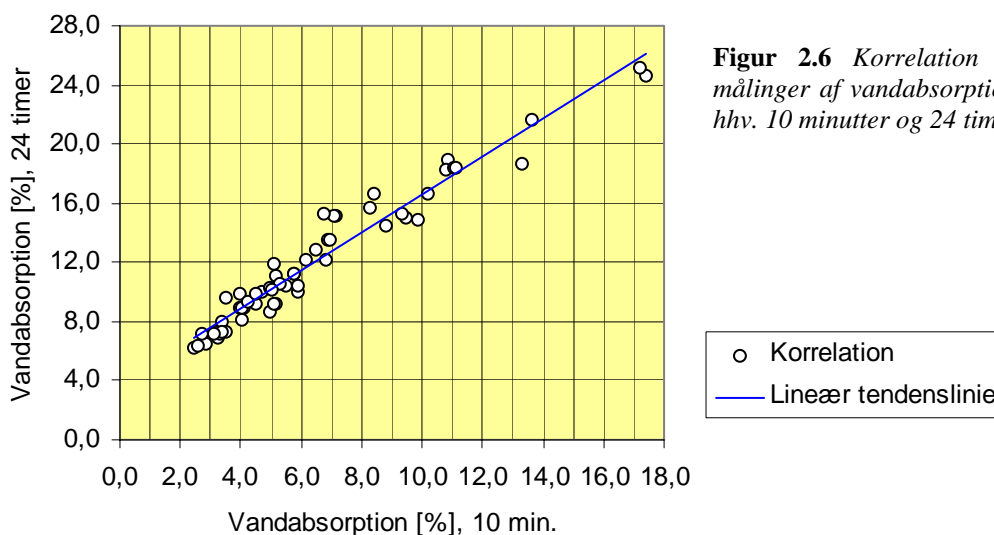
På figur 2.4 og 2.5 kan der ses en tendens til højere vandabsorption med voksende alder. Mere markant er det dog, at variationen mellem højeste og laveste vandabsorptionsmåling inden for de enkelte aldersgrupper stiger betydeligt med alderen, hvilket indikerer en større variation i betonens kvalitet på de ældre betonrør i forhold til de nyere. Den forbedrede betonkvalitet er dels et resultat af bedre kontrol med betonblandingerne, og dels et resultat af den forbedrede støbeteknik op gennem dette århundrede. Figur 2.4 og 2.5 viser også, at de nye betonrør har højere absorptionsværdier end nogle af betonrørene produceret før 1975. Dette skyldes, at betonrørene i årene efter produktionstidspunktet undergår stadig hydratisering, og at der med tiden sker forskellige omdannelsesprocesser inde i betonen, hvor reaktionsprodukterne fylder mere end reaktanterne. Både den fortsatte hydratisering og omdannelsesprocesserne vil med tiden resultere i en tættere beton og dermed lavere absorptionsværdier.



**Figur 2.5** Betonens vandabsorption efter 24 timer som funktion af afløbsstrækningernes anlægsår. Hvert målepunkt er et gennemsnit af målinger på 6 forskellige prøver fra hvert rør.

○ Vandabsorption, 24 timer

Beregning af korrelationskoefficienten for vandabsorption efter hhv. 10 minutter og 24 timer og afløbsstrækningernes anlægsår giver korrelationskoefficienter<sup>e</sup> på hhv. -0,56 og -0,62, hvilket betyder, at vandabsorptionsmålingerne kun er svagt korreleret med betonrørens alder. Korrelationen mellem vandabsorption efter 10 minutter og 24 timer er vist i figur 2.6.



**Figur 2.6** Korrelation mellem målinger af vandabsorption efter hhv. 10 minutter og 24 timer.

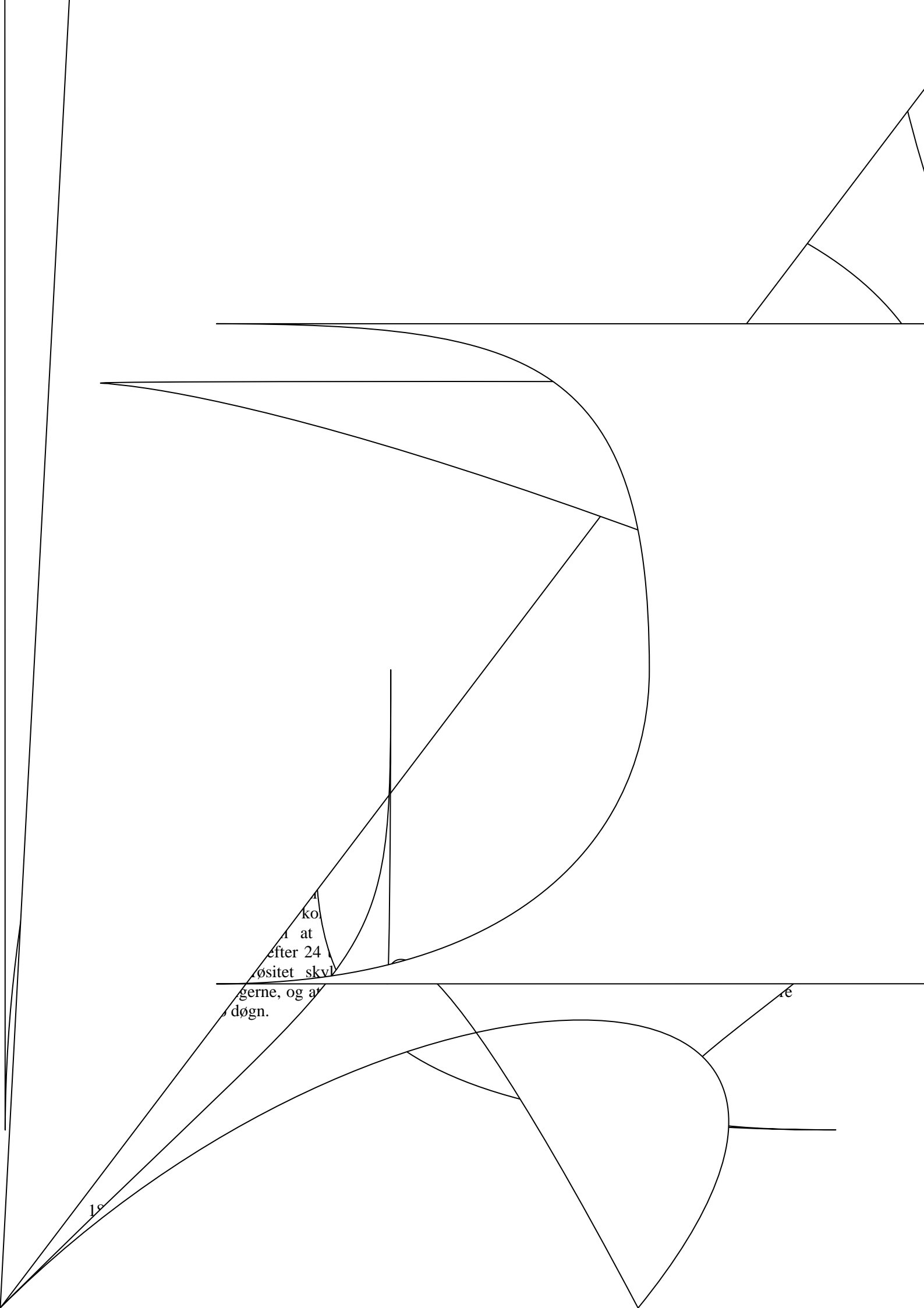
Målingerne i figur 2.6 har en korrelationskoefficient på 0,97, hvilket betyder, at vandabsorptionsmålingerne efter 24 timer i praksis er fuldt korrelerede med målingerne efter 10 minutter. Der er således ingen grund til at benytte begge vandabsorptionsmålingerne, ved en vurdering af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger.

Umiddelbart efter prøveemnerne neddykkes i vandbadet, sker der en kraftig vandabsorption, hvis intensitet aftager med tiden. Hældningen på vandabsorptionskurven vil således aftage med tiden. Tidspunktet for vandabsorptionsmålingerne er derfor meget vigtigt for nøjagtigheden af målingerne. Det er ikke praktisk muligt at veje alle prøverne på samme tid, og derfor vil nogle af prøverne blive vejede lidt før eller lidt efter det fastsatte tidspunkt. Hældningen på vandabsorptionskurven bevirker imidlertid, at fejlen, som begås, er betydelig større ved målingen af vandabsorption efter 10 minutter end efter 24 timer.

I teorien har forholdet mellem prøveemnernes overfladeareal og volumen betydning for absorptionsforløbet. Deres betydning vil være størst i starten af absorptionsforløbet, og vil aftage med længden af absorptionsforsøget. Med baggrund i dette forhold og det ovennævnte må det anbefales, at vandabsorptionsmålingerne foretages efter 24 timer.

En sammenligning mellem de målte tørdensiteter og vandabsorption efter 24 timer viser en klar tendens til lavere vandabsorption med højere tørdensitet, med en korrelationskoefficient på -0,94. Vandabsorption efter 24 timer og tørdensitet er således fuldt korreleret. Resultaterne er vist i figur 2.7.

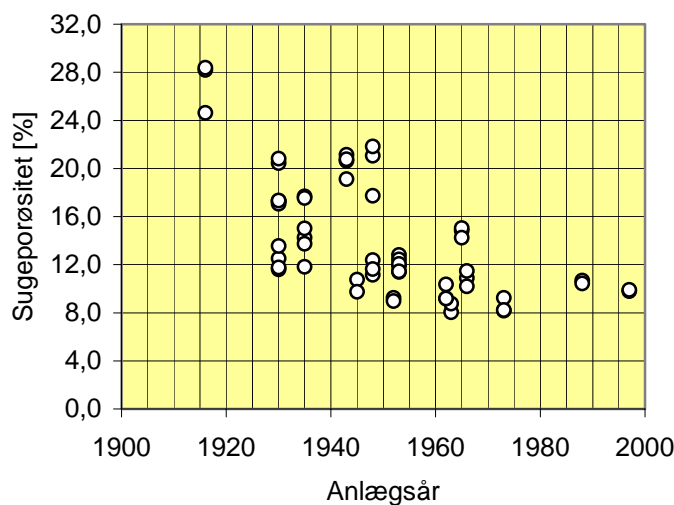
<sup>e</sup> Beregnet som kovariansen mellem de to datasæt divideret med produktet af standardafvigelse



ko  
at  
efter 24  
ositet skv  
gerne, og af  
døgn.

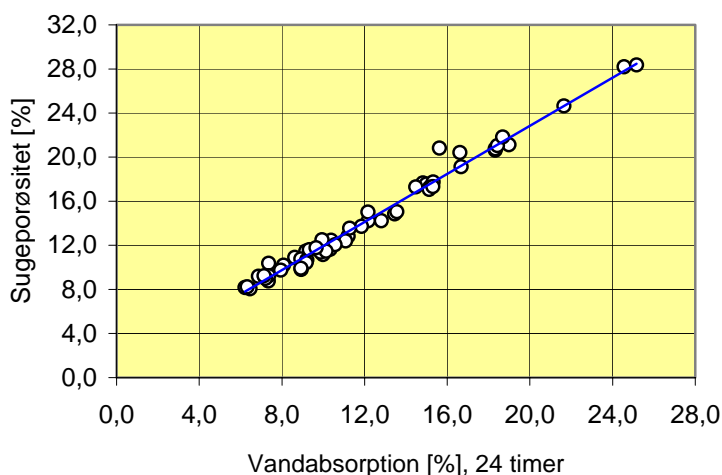
18

re



**Figur 2.8** Målinger af betonens sugeporøsitet som funktion af afløbsstrækningens anlægsår. Hvert punkt er gennemsnittet af målinger på 6 forskellige prøver fra samme rør.

○ Sugeporøsitet, Måling efter 7 døgn

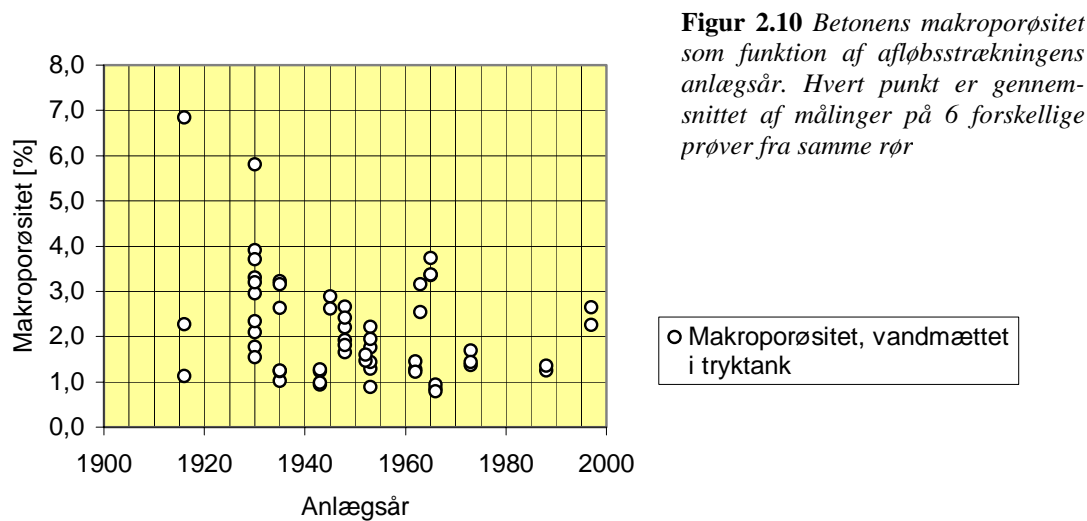


**Figur 2.9** Korrelationen mellem betonens sugeporøsitet og vandabsorptionen efter 24 timer

○ Korrelation  
— Lineær tendenslinie

I figur 2.10 er vist resultaterne af betonens makroporøsitet som funktion af afløbsstrækningernes anlægsår. Hvert målepunkt repræsenterer gennemsnittet af målingerne på 6 prøveemner fra samme betonrør. Figuren viser en svag tendens til højere makroporøsitet med alderen. Derimod viser figur 2.10 en betydelig spredning af resultaterne inden for de enkelte aldersgrupper, hvilket som før omtalt indikerer en stor variation i betonkvaliteten inden for aldersgrupperne.

Ifølge norske undersøgelser udført af *Sellebold m. fl.* [4] kan makroporøsiteten bruges som et mål for betons luftindhold. Men som det kan ses i figur 2.10, har nogle af betonrørene en meget lav makroporøsitet. 6 ud af 57 betonrør har en makroporøsitet mindre end 1 %, og 22 ud af 57 betonrør har en makroporøsitet mindre end 1,5%. Da et luftindhold på under 1,5 % er meget lavt, er det meget sandsynligt, at den målte makroporøsitet for disse betonrør ikke har noget at gøre med betonens luftindhold. Ud fra resultaterne i figur 2.10 kan det ses, at når det drejer sig om ældre/gamle betonrør med en meget varierende betonkvalitet, skal man være meget forsigtig med at bruge makroporøsiteten som et mål for betonens luftindhold.



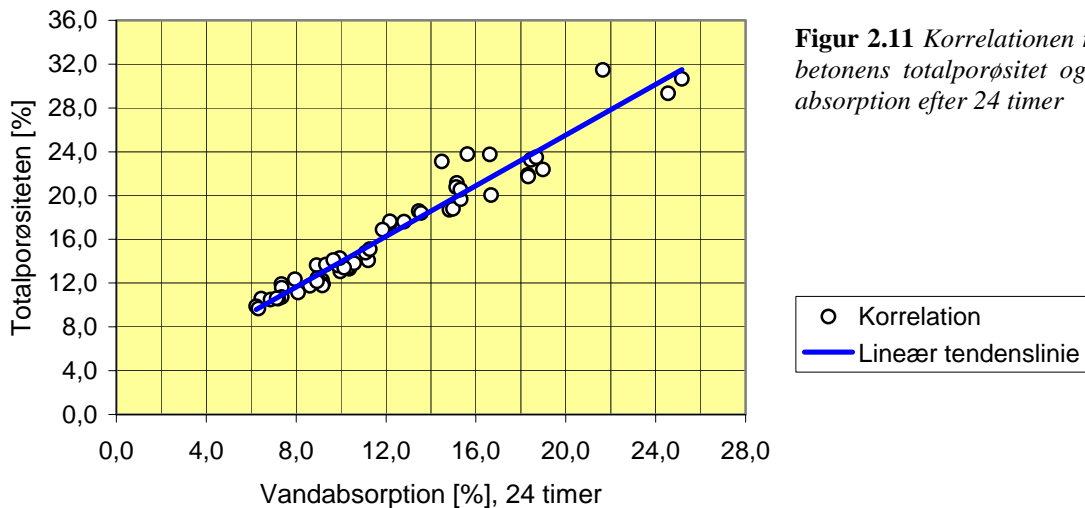
Som omtalt i afsnit 1.2.5 så afspejler makroporøsiteten mængden af lukkede porer og grove luftfyldte hulrum i betonen. Betonens makroporøsitet bestemmes ved at trække betonens sugeporøsitet fra betonens totale porøsitet ( $p_M = p_T - p_S$ ). En lav makroporøsitet kan således både være udtryk for en velkomprimeret beton med få grove luftfyldte hulrum (lav  $p_T$ ) og udtryk for beton med en meget åben porestruktur (høj  $p_S$ ). En meget åben porestruktur reducerer betonens evne til at modstå aggressive påvirkninger, og reducerer derved betonens bestandighed. Derimod vil en velkomprimeret beton have en tæt struktur og dermed en god bestandighed over for aggressive påvirkninger. Omvendt er en høj makroporøsitet ikke ensbetydende med en beton med lav bestandighed over for aggressive påvirkninger. Hvis betonen indeholder få men store luftporer og luftfyldte hulrum, vil betonen have en høj makroporøsitet, men hvis cementpastaen ellers har en lav kapillarporøsitet, så har en høj makroporøsitet ingen betydning for betonens bestandighed. Makroporøsiteten giver således ikke et entydigt billede af betonens kvalitet, og det kan derfor ikke anbefales, at makroporøsiteten bruges som et mål for betonens bestandighed over for aggressive påvirkninger.

Betonafløbsrør har et naturligt indhold af kontinuerlige makroporer. Ifølge *Smeplass m. fl.* [5] er porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer normalt på ca. 0,5 vol. %, og bliver ikke betragtet som et problem for betonens bestandighed. Men et poresystem bestående af kontinuerlige makroporer har en meget større transportkapacitet end kapillarporesystemet, og kan derfor lettere transportere væske og dermed aggressive stoffer ind gennem betonen. En høj porøsitet pga. kontinuerlige makroporer kan derfor have en negativ virkning på betonens bestandighed over for aggressive påvirkninger.

Hvis betonen udsættes for f.eks. udludning, vil betonen med tiden få en mere åben porestruktur. Udludningen betyder bl.a., at lukkede makroporer med tiden bliver forbundet, og derved udgør et poresystem af kontinuerlige makroporer. Hvis det er tilfældet, vil den målte makroporøsitet afspejle, hvor åben poresystemet er, og dermed om der er risiko for en stor andel af kontinuerlige makroporer. En lav makroporøsitet kan således være udtryk for en høj porøsitet pga. kontinuerlige makroporer. Hvor stor en andel af betonens porøsitet, der udgøres af kontinuerlige makroporer, kan bestemmes ved udførelse af kapillarsugningsforsøg. Oprindeligt var udførelsen af kapillarsugningsforsøg ikke en del af forsøgsserien præsenteret i denne laborierapport. Men for at undersøge om en lav makroporøsitet er ensbetydende med en høj porøsitet pga. kontinuerlige makroporer, udføres der nogle få pejlingsforsøg. Forsøgene er behandlet i afsnit 2.4. Metoden ved kapillarsugningsforsøg er beskrevet i detaljer i *Sellebold m fl.* [4], *Smeplass m. fl.* [5] og *Sellebold* [8], og er gengivet i bilag 9.



Da makroporøsiteten er forholdsvis konstant bliver målingerne af totalporøsitet reduceret til en parallelforskydning af resultaterne fra måling af sugeporøsiteten ( $p_T = p_S + p_M$ ). Som følge heraf vil totalporøsiteten, i lighed med sugeporøsiteten, være fuldt korreleret med vandabsorptionen efter 24 timer. Totalporøsiteten er i figur 2.11 sammenholdt med vandabsorptionsmålingerne efter 24 timer.



**Figur 2.11** Korrelationen mellem betonens totalporøsitet og vandabsorption efter 24 timer

Totalporøsiteten er fuldt korreleret med vandabsorptionen efter 24 timer med en korrelationskoefficient på 0,98. Da resultaterne fra de to undersøgelsesmetoder er fuldt korreleret, kan informationen omkring betonens totalporøsitet erstattes med vandabsorptionsmålinger efter 24 timer.

## 2.4 KAPILLARSUGNINGSFORSØG

For at undersøge om en lav makroporøsitet indikerer en høj porøsitet pga. kontinuerlige makroporer, er det valgt at udføre nogle enkelte pejlingsforsøg. Metoden brugt ved kapillarsugningsforsøg er beskrevet i bilag 9.

Da det forventes, at en høj porøsitet forårsaget af kontinuerlige makroporer, vil være forbundet med en lav makroporøsitet, er der udvalgt 6 betonrør med en makroporøsitet mindre end 1,5 % og 2 betonrør med en makroporøsitet større end 2,5 %. Norske undersøgelser udført af *Sellebold* [8] har vist, at det er vigtigt, at alle prøveemnerne i forsøgsserien har nogenlunde samme højde. Betonrørens godstykkelse er derfor brugt som parameter ved udvælgelsen af betonrør til kapillarsugningsforsøg. Alle prøveemnerne (på nær 11A, ms3) har således en højde på  $31 \pm 3$  mm. Målingerne fra kapillarsugningsforsøgene er vist i bilag 13, og resultaterne er vist i tabel 2.1.

Ud fra kapillarsugningsforsøgene beregnes prøveemnets modstandstal.

$$\text{modstandstal} = \frac{t_{kap}}{h^2} \quad (\text{s/m}^2)$$

Modstandstallet udtrykker den tid væskefronten bruger på at nå prøveemnerens overside.  $h$  (m) angiver prøveemnerens højde. Ifølge *Sægrov* [3] indikerer et højt modstandstal en tæt beton.

**Tabel 2.1** Målinger af betonrørens absorption efter 24 timer, makroporøsitet, porøsitet pga. kontinuerlige makroporer og betonens modstandstal. Der er ingen målinger af vandabsorption efter 24 timer for 11A, ms3, så den angivne værdi er et gennemsnit af absorptionsmålingerne efter 24 timer for betonrør 11A.

Prøve nr.	Prøve- højde $h$ [mm]	Absorption 24 timer [vol. %]	Makro- porøsitet [vol. %]	Porøsitet pga. kontinuerlige makroporer [vol. %]	Modstandstal [s/m <sup>2</sup> ]
1B,mb3	33,8	8,16	0,94	0,15	$4,89 \cdot 10^7$
5A, mb3	33,9	13,91	1,02	0,08	$5,67 \cdot 10^7$
11A, ms3	21,3	24,56	1,13	0,07	$2,40 \cdot 10^7$
13A, mb3	30,5	7,89	1,28	0,17	$8,52 \cdot 10^7$
15A, mb3	30,5	7,28	1,22	0,22	$10,04 \cdot 10^7$
24C, sb3	33,7	6,48	1,44	0,23	$8,06 \cdot 10^7$
3A, mb3	32,2	9,08	2,89	0,92	$5,08 \cdot 10^7$
16A, mb3	27,2	10,89	2,68	0,09	$4,10 \cdot 10^7$

Der er umiddelbart ingen sammenhæng mellem en lav makroporøsitet og en høj porøsitet forårsaget af kontinuerlige makroporer, jf. tabel 2.1. Kun ved 3A, mb3 er der målt en forholdsvis høj porøsitet pga. kontinuerlige makroporer. Ydermere fremgår det af resultaterne, at man ikke umiddelbart ud fra makroporøsiteterne kan forudsige, hvilke prøveemner som har en høj andel af kontinuerlige makroporer.

Ved stigende højde på prøveemnet bliver kurveforløbet på absorptionskurven "blød", hvilket forøger usikkerheden på bestemmelsen af  $t_{kap}$ . Det bløde kurveforløb kan ses på absorptionskurverne for 13A, mb3 (figur B13.4), 15A, mb3 (figur B13.5), 24C, sb3 (figur B13.6) og 3A, mb3 (figur B13.7). For disse prøveemner er der en større usikkerhed på modstandstallet end ved de øvrige prøveemner. For at reducere usikkerheden på modstandstallet må det anbefales, at prøveemnernes højde ikke overstiger 30 mm. For de øvrige prøveemner er  $t_{kap}$  rimeligt veldefineret. Især for 11A, ms3 (figur B13.3) er der en meget klar overgang mellem de to kurvedele på absorptionskurven. Tabel 2.1 viser, at der umiddelbart ikke er nogen sammenhæng mellem makroporøsiteterne og modstandstallet.

Da modstandstallet afspejler finheden i kapillarporesystemet, må det forventes, at der er en vis sammenhæng mellem absorptionsmålingerne og modstandstallene. Modstandstallet er da også svagt korreleret med absorptionsmålingerne efter 24 timer med en korrelationskoefficient på  $-0,72$ .

På baggrund af resultaterne fra kapillarsugningsforsøgene og diskussionen i afsnit 2.3 må det anbefales, at kapillarsugningsforsøg bliver en del af den forsøgsserie, som skal benyttes ved undersøgelse af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger.

## 2.5 TYNDSLIBSUNDERSØGELSER

Resultaterne af tyndslibsundersøgelserne er vist i bilag 10. Den kvalitative gennemgang i bilag 10 af betonkvaliteterne/betonstrukturerne for de forskellige betonrør viser tydeligt, hvilke betonrør der havde en god betonkvalitet, og hvilke der havde en dårlig betonkvalitet.

I modsætning til de øvrige undersøgelser viser tyndslibsundersøgelserne, hvor stor en del af betonrørens tværsnit, som var nedbrudt og dermed meget porøs. Porøsitetsmålingerne giver oplysninger om betonens samlede porøsitet, men giver ingen oplysninger om variationen i betonens

porøsitet ind gennem tværsnittet. Måling af karboniseringsdybden giver en indikation af en eventuel varierende porøsitet inden for det enkelte betonafløbsrør, men disse målinger er som omtalt i afsnit 2.1 forbundet med en betydelig usikkerhed.

Tyndslibsundersøgelserne af de betonrør, som har været udsat for svovlbrinte korrosion, viser, at nedbrydningen af betonen/cementpastaen generelt er begrænset til de yderste 1-2 mm af betonrørens godstykkelse (1A, 1B, 1C, 14A og 15A). Resten af betontværsnittet viser ingen tegn på nedbrydning. Det kan således tyde på, at svovlbrinte korrosionen kun angriber det yderste lag på betonrørene. Ved længere tids påvirkning vil den yderste del af cementpastaen selvfølgelig blive nedbrudt i et sådan omfang, at de yderste tilslag bliver løsrevet/afskaller. Derved bliver der åbnet op for videre korrosion ind i tværsnittet. Tyndslibsundersøgelserne indikerer, at en svovl

### 2.5.1 ANALYSE AF BETONSAMMENSÆTNING UD FRA TYNDSLIB

Betonsammensætningerne kan estimeres ved punkttælling på tyndslibene. Ved denne analyse bliver der i givne punkter på tyndslibene registreret, om punkter ligger i et tilslag, cementpasta eller en "luft-lomme". Ud fra disse optællinger estimeres den %-vise fordeling af tilslag, cementpasta og luft. Estimererne er for de 25 afløbsstrækninger vist i tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Estimat af betonsammensætning. De %-vise andele af tilslag, cementpasta og luft er estimeret ved hjælp af punkttælling.

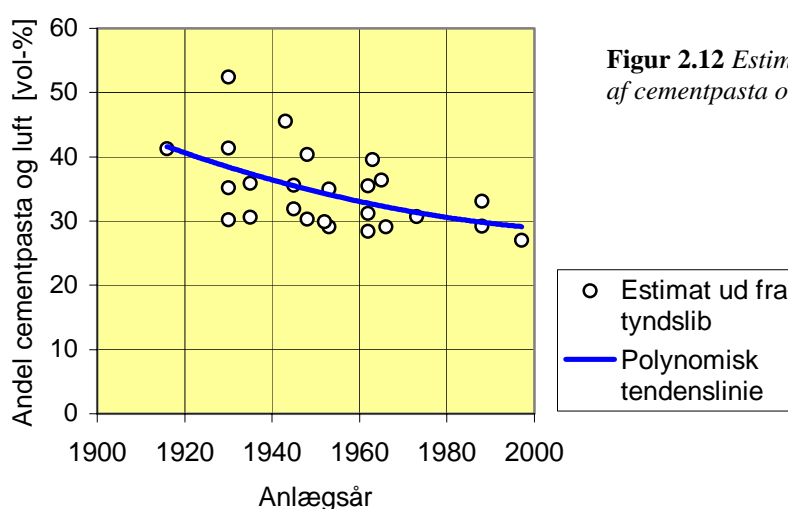
Tyndslib nr.	Anlægsår	Andel i vol. % af		
		Tilslag	Cementpasta	Luft
1A, sb3	1966	70,9	23,8	5,3
2A, sb3	1963	60,4	30,7	8,9
3A, sb3	1945	64,4	27,8	7,8
4A, sb3	1945	68,1	27,5	4,4
5A, sb3	1935	64,1	33,3	2,6
6A, mb3	1988	70,8	23,8	5,4
7A, sb3	1988	66,9	26,2	6,9
8C, st3	1953	65,0	28,3	6,7
9A, sb3	1943	54,5	40,2	5,3
10A, sb3	1948	59,6	32,5	7,9
11A, sb3	1916	58,7	29,8	11,5
12A, sb3	1965	63,6	26,2	10,2
13A, sb3	1962	71,6	25,8	2,6
14A, sb3	1962	64,5	30,2	5,3
15A, sb3	1962	68,8	28,3	2,9
16A, sb3	1948	69,7	24,6	5,7
17A, sb3	1930	47,6	37,5	14,9
18A, sb3	1953	70,9	24,1	5,0
19A, sb3	1930	58,6	25,2	16,2
20B, sb3	1952	70,1	26,0	3,9
21A, sb3	1997	73,0	22,2	4,8
22A, sb3	1935	69,4	21,9	8,7
23A, sb3	1930	69,8	23,8	6,4
24A, sb3	1973	69,3	27,7	3,0
25A, sb3	1930	64,8	25,2	10,0

Som det fremgår af tabel 2.2, varierer betonsammensætningerne en del. Variationen er, som det kan ses på figur 2.12, størst ved de ældre betonafløbsrør, hvilket er en naturlig konsekvens af mange lokale betonstøberier og mange forskellige blanderecepter. Efterhånden som antallet af betonstøberier og blanderecepter blev reduceret op gennem dette århundrede, blev betonsammensætningerne også mere ensartet. Dette historiske forløb kan ses på figur 2.12.

Set i relation til absorptions- og porøsitetmålingerne er det interessant at undersøge, hvor stor en andel af betonvolumen, som "deltager" i vandsugningen, og om denne andel har ændret sig op gennem dette århundrede. Betonens evne til at suge vand afhænger dels af cementpastaens struktur, og dels af luftporernes størrelser og fordeling, men også af tilslagets porøsitet. Ved blandingen af beton, vil tilslaget absorbere en vis mængde vand, som således ikke er til rådighed ved cementens hydratisering. Vandabsorptionen bevirker, at tilslaget enten bliver vandmættet eller er tæt på at være vandmættet. Da luftfugtigheden i afløbsledningerne er forholdsvis høj, og da betonen samtidigt er rimelig tæt, må det antages, at tilslagets vandindhold, selv efter mange år i jorden, er tilnærmelsesvis konstant. På

baggrund af det ovenstående antages det derfor i det følgende at tilslagspartiklerne i alle betonrørene er "lige vandmættet" ved opstart af forsøgene med vandabsorption.

Som beskrevet i afsnit 1.2.4 bliver prøveemnerne ved udførelse af vandabsorptionsforsøg tørret ved 105 °C i 72 timer. Ved udtørringen vil noget af tilslagets indhold af vand fordampe. Hvor stor en andel af tilslagets vandindhold som vil fordampe, afhænger dels af de enkelte tilslagspartiklers porøsitet, og dels af betonens/cementpastaens porøsitet. Det er således meget vanskeligt/umuligt at vurdere, hvor meget af det i tilslaget bundne vand som er fordampet efter 72 timer, og dermed hvor meget vand, der ved absorptionsforsøgene bliver absorberet i tilslaget. Som en forenkling af problemstillingen antages det i det følgende, at tilslagets bidrag til betonens vandabsorption er begrænset, og at betonens sug-/absorptionsevne alene tilskrives betonens andel af cementpasta og luft. Betonrørenes andel af cementpasta og luft er i figur 2.12 vist som funktion af afløbsstrækningernes anlægsår.



Som det fremgår ud fra figur 2.12, er der en klar tendens til stigende andel af cementpasta og luft med betonrørenes alder. Samtidig kan der iagttages en betydelig spredning på betonblandingerne inden for de enkelte aldersgrupper. Spredningen har tydeligvis også en tendens til at "vokse" med betonrørenes alder. Som før omtalt, skal forklaringen til forløbet vist i figur 2.12 givetvis findes i den udvikling, der har været inden for antallet af betonrørsproducenter, blanderecepter og støbetekniske muligheder op gennem dette århundrede.

Da betonsammensætningen tydeligvis afhænger af betonrørenes produktionstidspunkt/anlægsår, er det nødvendigt at sammenholde resultaterne præsenteret i figur 2.12 med vandabsorptionsmålingerne ved en vurdering af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger. Dette kan gøres ved at korrigere vandabsorptionsmålingerne med den andel af betonen, som kan "deltage" ved vandabsorptionen. Som det kan ses i figur 2.12, er der en tendens til mere "konstante" blandinger på de nyere betonrør. Det vælges derfor at skelne mellem betonrør produceret i perioden 1900-2000 og betonrør produceret efter år 2000. For betonrør produceret efter år 2000 udtrykkes andelen af cementpasta og luft i betonrørene som en konstant værdi. Ved korrektionen af vandabsorptionsmålingerne beregnes et absorptionsindeks  $I_{absorption}$ .

$$2.1) \quad I_{\text{absorption}} = \frac{\text{Vandabsorption}_{\text{målt}} [\text{vol.\%}]}{0,001087 \cdot x^2 - 4,40784x + 4494,94553} \quad , \quad 1900 < x < 2000$$
$$I_{\text{absorption}} = \frac{\text{Vandabsorption}_{\text{målt}} [\text{vol.\%}]}{27,26553} \quad , \quad 2000 < x$$

hvor  $x$  er den pågældende afløbsstræknings anlægsår.

## 2.6 KEMISK ANALYSE AF BETONSAMMENSÆTNINGEN

Resultaterne fra EPMA forsøgene er vist i bilag 11. I alt er der udført forsøg med 12 forsøgsemner fra 8 forskellige afløbsstrækninger. Resultaterne er vist i figur B11.1 til B11.12, og er i hvert målepunkt givet som den %-vise andel af silicium *Si*, calcium *Ca*, jern *Fe*, aluminium *Al* og svovl *S*. Måleresultaterne for de enkelte forsøgsemner er bearbejdet i bilag 11, og vil derfor ikke blive nærmere behandlet i dette afsnit. Derimod vil forsøgsmetodens anvendelighed ved tilstandsvurdering af betonrør blive vurderet på baggrund af erfaringer og resultater fra EPMA forsøgene.

Ved at udføre EPMA forsøg opnås der viden ikke kun om betonens/cementpastaens kemiske sammensætning men også om betonens porøsitet (figur B11.13 til B11.24). EPMA målingerne giver oplysninger om variationen i tæthed/porøsitet ind gennem betonrørens tværsnit. Ved tolkning af disse tætheds/porøsitetsmålinger er det dog vigtigt at huske på, at målingerne afspejler tilstanden i cementpastaen, og er således ikke et absolut mål for betonens tæthed/porøsitet. Målingerne af cementpastaens tæthed/porøsitet giver dog et klart billede af, hvor stor en del af betonrørens godstykkelse som er nedbrudt.

EPMA forsøgene giver ingen oplysninger om de kemiske forbindelser, disse grundstoffer indgår i. Brugen af EPMA resultaterne er derfor primært begrænset til en detektering af eventuelle nedbrydningsmekanismer.

Mod forventning blev der næsten ikke målt noget svovlindhold i de betonrør, som havde været udsat for svovlbrintekorrosion. Ved tilsvarende norske undersøgelser udført af *Sægrov* [3] blev der ved alle de undersøgte betonrør målt meget højere koncentrationer af svovl, end det har været tilfældet ved undersøgelserne præsenteret i bilag 11. Koncentrationen af svovl i betonen er et resultat af spildevandets påvirkning af betonen, og da der ikke er nogen grund til at tro, at norsk spildevand er markant anderledes end dansk spildevand, så kunne det tyde på, at de registrerede koncentrationer af svovl ikke er i overensstemmelse med betonens virkelige svovlindhold. Svovlkoncentrationerne vist i figur B11.1 til B11.12 skal derfor tages med forbehold. Efterfølgende EPMA forsøg med referenceprøver med kendte svovlkoncentrationer gav de forventede resultater. Der er derfor intet der tyder på, at de ”manglende” svovlkoncentrationer i betonprøverne skyldes en fejl ved indstillingen af EPMA måleudstyret.

Kurveforløbet for de andre grundstoffer er i overensstemmelse med de norske målinger, som dog generelt registrerer et lavere siliciumindhold eller et højere calciumindhold<sup>f</sup>, end det har været tilfældet i bilag 11. Indholdet af silicium, calcium, jern og aluminium er stærkt afhængig af den anvendte cementtype, og det er derfor ikke ualmindeligt, at der kan være forskelle mellem danske og norske målinger.

---

<sup>f</sup> Summen af de valgte grundstoffers andel af betonen bliver betragtet som 100 %. Da det er den %-vise andel af grundstofferne, som bliver registreret, så afhænger målepunkterne for f.eks. silicium ikke kun af siliciumkoncentrationen men også af koncentrationen af de øvrige grundstoffer.

Brugen af EPMA målinger ved undersøgelse af betons tilstand/kvalitet er forholdsvis dyr og tidskrævende, og det må derfor anbefales, at denne forsøgsmetode kun anvendes i tilfælde, hvor der er behov for speciel dokumentation af et betonrørs tilstand.

## 2.7 BETONRØRENE TRYKSTYRKE

Resultaterne af trykstyrkemålingerne er vist i bilag 12. Brudbelastningerne er omregnet til brudspændinger ved hjælp af de formeludtryk, som er vist i afsnit 1.2.9. Brudspændingerne er i figur 2.13 optegnet som funktion af afløbsstrækningernes anlægsår.

Som ventet brød betonrørene i top, sider og bund af rørene, hvorved rørene blev delt i 4 næsten lige store dele. Nærmere undersøgelser viste, at brudene ”løb” langs kanten af de udstøbte huller, hvilket viser, at vedhæftningen mellem den oprindelige beton og den nye beton har været forholdsvis svag. Den svage vedhæftning bevirker, at udstøbningerne kun har haft en nævneværdig effekt i de områder, hvor de udsættes for tryk. Det er derfor meget vanskeligt/umuligt at vurdere udstøbningernes effekt på resultaterne. Det er dog helt sikkert, at betonrørens bæreevne er blevet reduceret ved udboringen af prøveemnerne, og det må antages, at de målte brudlaste ligger højere, end hvis hullerne ikke havde været støbt ud, og lavere end hvis der ikke havde været boret prøveemner ud af rørene. Hvor stor en effekt, udboringen af prøveemnerne har på reduktionen af betonrørens brudlast, afhænger i høj grad af betonrørens længde, og dermed af hvor stor en del/længde af betonrørene der er berørt af udboringen. I bundløbet og i toppen af betonrørene er der udboret 6 cylindre med en diameter på 50 mm, hvilket bevirker, at 300 mm af rørens længde er boret væk i toppen og i bundløbet af rørene. I den ene side af rørene har udboringen af prøveemner fjernet 250 mm. I resten af betonrørens omkreds er betonen uberørt. Rørens længde varierede fra 800 til 1230 mm, hvorfor mellem 38 % og 24 % af rørens længde i bundløbet og i toppen af rørene er berørt af udboringerne. I siden af rørene er det mellem 31 % og 20 %, som er berørt.

I forbindelse med indsamlingen af betonrør donerede *IBF Betonvarer* i Nørresundby 4 helt nye Ø250 betonrør med en længde på 1230 mm. Idet det må forventes, at variationen i brudstyrken for helt nye betonrør er forholdsvis beskeden, blev det besluttet at undersøge udboringernes effekt på betonrørens brudstyrke ved kun at bore prøveemner ud af 2 af rørene (21A og 21B), og så sammenligne brudlasten for disse betonrør med brudlasten for de 2 hele rør (21C og 21D). Brudlasterne er vist i tabel 2.3

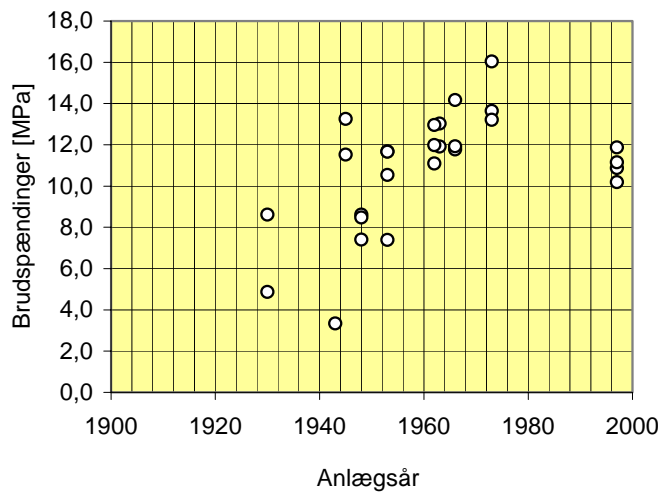
**Tabel 2.3** Brudlast målt på hhv. 2 betonrør som er uberørt af prøveudtagningen, og 2 betonrør hvor der ikke er udboret prøveemner fra top, side og bund.

Rør nr.		Brudlast [kN]	Middel-brudlast [kN]
21A	med boring	70,35	72,1
21B		73,85	
21C	uden boring	81,41	79,1
21D		76,78	

Som det kan ses i tabel 2.3, er middel-brudlasten for 21A og 21B 7 kN mindre end middel-brudlasten for 21C og 21D. De 7 kN svarer til en reduktion af brudlasten på ca. 9 %. Med kun 2 forsøgsserier à 2 betonrør er datagrundlaget for spinkelt til egentlige konklusioner omkring effekten udboringerne på betonafløbsrørens brudlast. Men resultaterne i tabel 2.3 indikerer, at betonrørene svækkes ved udboringerne.

Som det fremgår af det ovenstående, er det ikke ud fra målingerne af rørens brudlast muligt at beregne de virkelige brudspændinger. Brudspændingerne præsenteret i denne rapport skal derfor

betragtes som tilnærmede brudspændinger. Ved beregningerne reduceres rørlængden som en tilnærmelse svarende til den uberørte del af betonrørene.

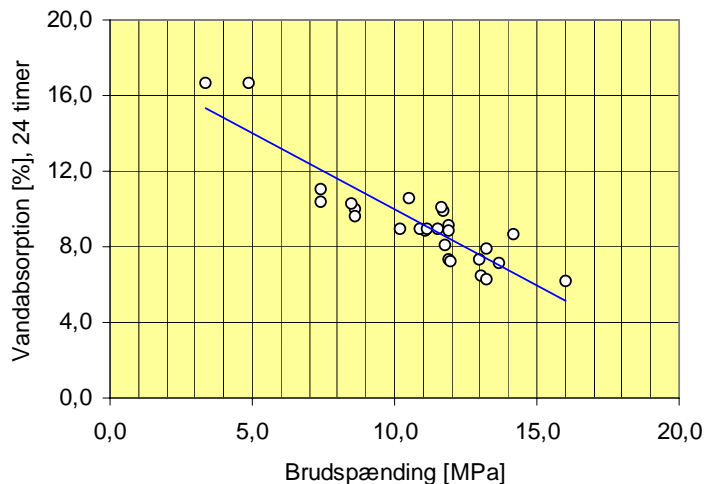


**Figur 2.13** Brudspændinger beregnet ud fra målte brudlaster. Beregningsmetoden er gennemgået i afsnit 1.2.9.

○ Resultater fra brudforsøg

For betonrørene anlagt før 1980 er der en klar tendens til lavere brudspændinger med rørenes alder, hvilket hovedsageligt er et resultat af en forbedret betonkvalitet op gennem dette århundrede. De laveste brudspændinger skyldes hovedsageligt, at betonrørene har været udsat for omfattende betonkorrosion (8C og 17A). De 4 helt nye betonrør (21A-D) havde en lavere brudspænding end forventet ud fra tendensen fra de øvrige brudspændinger, hvilket formentlig skyldes, at 21A-D endnu ikke har opnået den ekstra styrkeudvikling, som sker i årene efter støbningen. Denne ekstra styrkeudvikling er opnået af de øvrige betonrør.

Figur 2.14 viser korrelationen mellem de beregnede brudspændinger med vandabsorptionsmålingerne efter 24 timer. Korrelationskoefficienten er beregnet til  $-0,88$ , hvilket indikerer, at brudspændingerne i praksis er fuldt korreleret med vandabsorptionsmålingerne.



**Figur 2.14** Korrelationen mellem vandabsorption efter 24 timer og de beregnede brudspændinger.

○ Korrelation  
— Linjær tendenslinie

Korrelationskoefficienten indikerer, at informationen omkring betonkvaliteten opnået ved udførelse af brudbelastningsforsøg også kan opnås ved udførelse af vandabsorptionsmålinger. Beregningen af brudspændingen er forbundet med en del usikkerhed, som bl.a. skyldes, at der er boret cylindre ud af de samme betonrør, som benyttes ved måling af betonrørenes brudstyrke. Det må derfor anbefales, at kun vandabsorptionsmålingerne benyttes ved en vurdering af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger.



Med baggrund i usikkerhederne beskrevet i det ovenstående må det konkluderes, at det ikke er en brugbar metode at bore cylindre ud af de samme rør, som skal bruges ved måling af betonrørens brudstyrke.

## 2.8 SAMMENFATNING AF RESULTATERNE

Måling af karbonatiseringsdybden på betonrørens inderside og yderside viser en klar tendens til større karbonatiseringsdybder med alderen, samt stor variation på de målte karbonatiseringsdybder inden for hver aldersgruppe. Spredningen på karbonatiseringsdybderne målt på prøveemner fra samme betonrør er forholdsvis stor, både ved målinger på rørens inderside og yderside. På grund af den forholdsvis store spredning må det anbefales, at måling af karbonatiseringsdybden på ældre betonafløbsrør kun benyttes som en grov indikator på betonens kvalitet/porøsitet.

Vandabsorptionsmålingerne efter henholdsvis 10 minutter og 24 timer viser en tendens til stigende vandabsorption med voksende alder. Samtidig er der en tendens til større forskel mellem største og mindste absorptionsmåling inden for hver aldersgruppe. Undersøgelserne viser, at vandabsorptionsmålingerne efter henholdsvis 10 minutter og 24 timer er fuldt korreleret med en korrelationskoefficient på 0,97. Der er således ingen grund til at benytte vandabsorptionsmålingerne både efter 10 minutter og 24 timer ved en vurdering af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger. Med henvisning til diskussionen i afsnit 2.2 omkring de praktiske problemer ved forsøgsmetoden og den teoretiske indflydelse af prøveemnernes geometri på resultaterne må det anbefales, at vandabsorptionsmålinger efter 24 timer benyttes ved en vurdering af betonens kvalitet/porøsitet.

Som nævnt i afsnit 2.2 har forholdet mellem prøveemnernes overfladeareal og volumen betydning for absorptionsforløbet. Prøveemnerne, som er benyttet ved forsøgene i denne forsøgsrapport, havde varierende størrelser svarende til de enkelte betonrørs godstykkelse. Det var derfor ventet, at prøveemnernes geometri ville have stor indflydelse på absorptionsmålingerne efter 10 minutter, begrænset indflydelse på absorptionsmålingerne efter 24 timer og ingen indflydelse på målingerne af betonens sugesorøsitet (absorptionsmålinger efter 7 døgn). Men som det fremgår af figur 2.6 og 2.9, er absorptionsmålingerne efter 10 minutter, 24 timer og 7 døgn fuldt korrelerede, hvilket betyder, at prøveemnernes geometri ikke har haft nævneværdigt indflydelse på resultaterne.

Undersøgelse af korrelationen mellem tørdensitetsmålingerne og målingerne af vandabsorption efter 24 timer viser, at målingerne i praksis er fuldt korrelerede med en korrelationskoefficient på  $-0,94$ . Måling af betonens tørdensitet vil afhænge af tilslaget densitet, som godt kan variere uden, at det har nogen indflydelse på betonens kvalitet. Det vurderes derfor, at måling af vandabsorption efter 24 timer giver en bedre indikation af betonens kvalitet end måling af tørdensitet. Det anbefales derfor, at måling af betonens tørdensitet ikke benyttes ved en vurdering af betonens kvalitet/porøsitet.

Undersøgelserne i afsnit 2.3 viser, at både sugesorøsiteten og den totale porøsitet i praksis er fuldt korrelerede med vandabsorptionsmålingerne efter 24 timer med en korrelationskoefficient på hhv. 0,99 og 0,98. Måling af betonens sugesorøsitet og totalporøsitet er en videreførelse af vandabsorptionsmålingerne. Da der ikke umiddelbart opnås andre/bedre resultater ved at videreføre absorptionsmålingerne i ekstra 6 døgn, må det anbefales, at vandabsorptionsmålinger efter 24 timer benyttes ved en vurdering af betonens kvalitet/porøsitet.

Resultaterne fra måling af betonens makroporøsitet viser sig at være temmelig tvetydig, og det kan derfor ikke anbefales at benytte målinger af betonen makroporøsitet som en indikator på betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger. Norske undersøgelser viser, at betonens makroporøsitet skulle kunne bruges som et direkte mål for betonens luftindhold. Men som resultaterne

i afsnit 2.3 viser, er det mere end tvivlsomt, når det er ældre og i mange tilfælde korroderede betonrør, som undersøges. Det må derfor frarådes at benytte betonens makroporøsitet som mål for betonens luftindhold.

Kapillarsugningsforsøgene viser, at der umiddelbart ikke er nogen sammenhæng mellem makroporøsiteten og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer. Af de 8 undersøgte prøveemner er der kun i et tilfælde målt en forholdsvis høj porøsitet forårsaget af kontinuerlige makroporer. Med baggrund i diskussionen i afsnit 2.3 må det dog vurderes, at det i alle tilfælde er nødvendig at undersøge, hvor meget de kontinuerlige makroporer bidrager til porøsiteten.

Resultaterne fra kapillarsugningsforsøgene viser, at 4 af de 8 beregnede modstandstal er behæftet med en forholdsvis høj usikkerhed. Usikkerheden skyldes, at prøveemnerne har været for høje, hvilket resulterer i en blød absorptionskurve, hvor det er relativt svært at bestemme overgangen mellem de to kurveforløb (se bilag 9). Ud fra de anvendte prøveemners højde må det anbefales, at prøveemnehøjden holdes under 30 mm. Forsøgsresultaterne viser, at modstandstallet er svagt korreleret med vandabsorptionsmålingerne efter 24 timer med en korrelationskoefficient på  $-0,72$ .

På baggrund af resultaterne fra kapillarsugningsforsøgene må det anbefales, at denne type forsøg bliver en del af den forsøgsserie, som skal benyttes ved undersøgelse af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger. Det anbefales, at resultaterne fra kapillarsugningsforsøgene benyttes til beregning af både modstandstallet og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer.

Tyndslibsundersøgelserne i afsnit 2.5 og EPMA forsøgene i afsnit 2.6 viser, at disse undersøgelsesmetoder er gode redskaber ved vurdering af betonstruktur og betonrør kvalitet. Forsøgsmetoderne er forholdsvis dyre og tidskrævende, hvorfor det anbefales, at brugen af dem begrænses til de tilfælde, hvor resultaterne fra de øvrige forsøgsmetoder giver tvetydige oplysninger eller, hvor der er mistanke om, at disse resultater ikke giver det rigtige billede af betonstrukturen og betonkvaliteten.

Estimeringen af den %-vise andel af tilslag, cementpasta og luft i betonrørene viser en klar tendens til stigende andel af cementpasta og luft med betonrørenes alder. Ved en vurdering af betonafløbsrørenes evne til at modstå aggressive påvirkninger ud fra vandabsorptionsmålingerne er det essentielt samtidig at være opmærksom på, at den del af betonen, som kan "deltage" ved vandabsorptionen, ikke er konstant, men stiger med rørenes alder. Ved at korrigere vandabsorptionsmålingerne med tendenskurven i figur 2.12 opnås et index  $I_{absorption}$ , som er bedre egnet ved en vurdering af betonens tilstand end de målte absorptionsværdier. Det anbefales derfor, at  $I_{absorption}$  (formel 2.1) benyttes i stedet for absorptionsmålingerne ved en vurdering af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger.

Målingerne af betonrørenes brudstyrke viser klart, at det ikke er nogen god idé at bore prøveemner ud af de samme betonrør, som skal bruges til brudforsøgene. Selv om hullerne efter prøveemnerne blev lukket med 0-8 tørbeton, var vedhæftningen mellem den nye og den gamle beton så dårlig, at brudlinierne løb uden om de nystøbte huller. Hvilken indflydelse udstøbningerne har på resultaterne, er meget svært/umuligt at sige, men det må forventes, at de målte brudstyrker ligger et sted mellem brudstyrkerne for hele rør og brudstyrkerne for rør, hvor hullerne ikke er støbt ud. På baggrund af undersøgelserne må det derfor anbefales, at eventuelle målinger af betonrørenes brudlast udføres på andre betonrør end dem, der bores prøveemner ud af.

Beregninger viser, at brudspændingerne i praksis er fuldt korrelerede med vandabsorptionsmålingerne med en korrelationskoefficient på  $-0,88$ . Da styrkemålinger generelt ikke er en entydig parameter ved holdbarhedsvurderinger, må det anbefales, at vandabsorptionsmålingerne benyttes ved en vurdering af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger.

# Kapitel 3

## VURDERING AF PRØVEUDTAGNINGSTEDERNE

Som beskrevet i kapitel 1 er der ved rørenes mufteende og spidsende udboret prøveemner fra betonrørenes bundløb, side og top. Ud fra forsøgsresultaterne fra disse prøveemner er det muligt at vurdere, hvor det er mest hensigtsmæssigt at udtage prøveemner, når resultaterne skal bruges til at vurdere betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger. Til denne vurdering benyttes vandabsorptionsmålingerne efter 24 timer.

### 3.1 FORSØGSRESULTATER FRA BETONRØRENE BUNDLØB, SIDE OG TOP

I det følgende tages der ikke hensyn til eventuelle forskelle mellem forsøgsresultater ved betonrørenes mufteende og spidsende. Alle resultaterne bliver præsenteret som forholdet mellem målingerne. Alle værdier er gennemsnitsværdier målt på prøver fra bundløb, side og top.

forskellen mindre end 5 %, og i 7 ud af 8 tilfælde er den mindre end 10 %. Målingen, som ligger mellem 0,85 og 0,90, repræsenterer værdierne fra betonrør 17A.

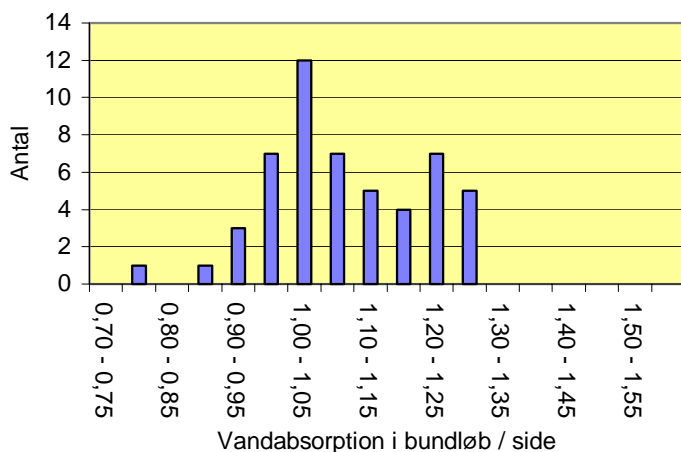
Der er ingen sammenhæng mellem de betonrør, hvor største absorptionsværdier blev målt i toppen og de betonrør, som har været udsat for svovlbrintekorrosion (1A, 1B, 1C, 13A, 14A og 15A). Af de 6 betonrør havde 1A og 15A største værdi i toppen af rørene, 1C havde største værdi i siden af røret, og 1B, 13A og 14A havde største værdi i bunden af røret.

Ved en vurdering af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger er det afgørende, at forsøgsresultaterne repræsenterer den mindst modstandsdygtige del af betonrørene. I tilfældet med vandabsorptionsmålingerne efter 24 timer er dette ensbetydende med lokalisering af den del af betonrørene, som har den højeste vandabsorption. Som det fremgår af figur 3.1 er der stor sandsynlighed for, at betonrørene er mere nedbrudte/porøse i bundløbet end i toppen af rørene.

Den endelige udvælgelse af prøveudtagningsstedet bliver foretaget i afsnit 3.1.2.

### 3.1.2 FORHOLDET MELLEM MÅLINGER I BETONRØRENE'S BUNDLØB OG SIDE

Forholdet mellem vandabsorptionsmålingerne efter 24 timer målt på prøver fra betonrørene's bundløb og side er vist i figur 3.2.



**Figur 3.2** Forsøgsresultater målt på prøver fra rørene's bundløb set i forhold til resultater målt på prøver udtaget fra siden af rørene.

I 40 ud af 52 tilfælde er der målt større absorptionsværdier på prøveemner udtaget fra betonrørene's bundløb end på prøver udtaget fra siden af betonrørene, jf. figur 3.2. I de 7 ud af 12 tilfælde, hvor den største absorptionsværdi blev målt på prøver fra siden af rørene, er forskellen mindre end 5 %, og i 10 ud af 12 tilfælde er den mindre end 10 %. Målingen, som ligger mellem 0,75 og 0,80, repræsenterer værdierne fra betonrør 17A.

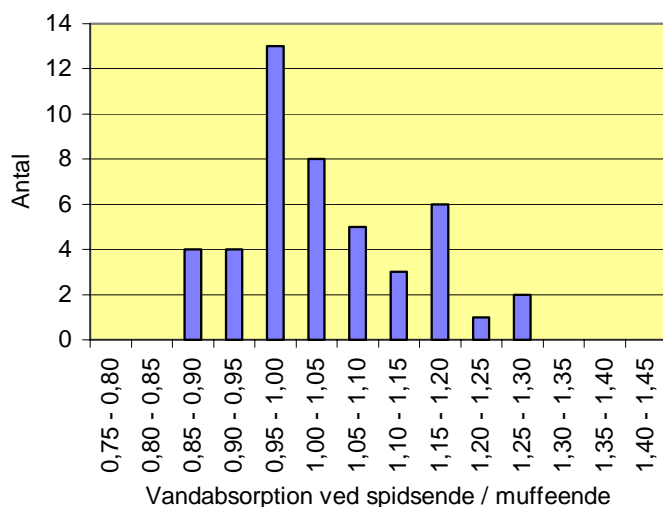
Med baggrund i resultaterne præsenteret i figur 3.1 og 3.2 anbefales det, at prøveemnerne bores ud af betonrørene's bundløb. Herved er der størst sandsynlighed for, at forsøgsresultaterne afspejler betonkvaliteten det sted på betonrøret, hvor betonen er mindst modstandsdygtig over for aggressive påvirkninger.

I enkelte tilfælde vil betonrørene være mest nedbrudt/porøse i siden eller toppen af rørene, men som det fremgår af figur 3.1 og 3.2, vil forskellen i de fleste tilfælde være mindre end 10 %. Der er således en rimelig sandsynlighed for, at betonrørene bliver vurderet korrekt, selvom vurderingen "fejlagtig" bliver gjort på baggrund af målinger på prøveemner fra rørene's bundløb.

Hvis den visuelle inspektion indikerer, at betonrørene er betydeligt mere nedbrudt i siden eller toppen af rørene, skal prøveemnerne naturligvis udtages i siden eller toppen.

### 3.2 FORSØGSRESULTATER FRA BETONRØRENE'S SPIDS- OG MUFFEENDE

Med baggrund i afsnit 3.1 vil der i det følgende kun blive set på resultaterne fra betonrørenes bundløb. Figur 3.3 viser forskellen mellem resultaterne målt på cylindre fra betonrørenes spidsende og mufteende.



**Figur 3.3** Forsøgsresultater målt på prøver fra spidsenden set i forhold til resultater målt på prøver udtaget fra mufteenden af rørene.

Som det fremgår af figur 3.3, er der næsten lige så stor sandsynlighed for, at betonafløbsrørene er mest nedbrudte og/eller porøse ved afløbsrørenes mufteende (21/46 tilfælde) som ved spidsenden (25/46 tilfælde). I de tilfælde, hvor største værdier blev målt ved mufteenden, ligger 17 ud af 21 tilfælde maksimalt 10 % over resultaterne fra rørenes spidsende, og der er ingen værdier målt ved mufteende, som er mere end 15 % større end værdierne målt ved rørenes spidsende. Der er således en rimelig sandsynlighed for, at betonrørene bliver vurderet korrekt, selvom vurderingen "fejltagtig" bliver gjort på baggrund af målinger på prøveemner fra rørenes spidsende. Det må derfor anbefales, at der udtages prøveemner fra betonrørenes spidsende. For at være sikker på, at prøveemnerne afspejler den faktiske tilstand, anbefales det, at der udtages 3 prøveemner.

### 3.3 ANTAL BETONRØR TIL PRØVEUDTAGNING PR. LEDNINGSSTRÆKNING

I forbindelse med laboratorieundersøgelserne præsenteret i denne laboratorierapport blev der fra 15 af afløbsstrækningerne indleveret 3 betonrør. På baggrund af resultaterne fra disse betonrør er det muligt at udregne variationen på resultaterne fra samme afløbsstrækning. Variationskoefficienten på resultaterne indikerer, hvor repræsentativ resultaterne fra ét betonrør er for resultaterne fra resten af afløbsstrækningen. Resultaterne er vist i tabel 3.1 sammen med variationskoefficienten for prøver udtaget fra samme betonrør. Variationskoefficienterne er udregnet på baggrund af forsøgsresultater fra måling af karbonatiseringsdybde, tørdensitet og vandabsorption efter 24 timer.

Måling af karbonatiseringsdybde, tørdensitet og vandabsorption blev foretaget på 6 prøveemner fra hvert betonrør. Udregning af variationskoefficienten for prøver udtaget fra samme rør er baseret på

resultaterne fra alle 6 prøveemner. Ved udregning af variationskoefficienten for prøver udtaget fra betonrør fra samme strækning er alle forsøgsresultaterne benyttet (3 rør x 6 prøveemner).

**Tabel 3.1** Variationskoefficienten på 6 forskellige prøver fra samme betonrør og 3 forskellige prøver fra samme afløbsstrækning. Variationskoefficient = standard afvigelse / middelværdi.

Repetérbarhed:		Variationskoefficient	
		Prøver fra samme betonrør	Prøver fra samme afløbsstrækning
Karbonatiseringsdybde	Yderside	0,551	0,623
	Inderside	0,619	0,653
Tørdensitet		0,015	0,017
Vandabsorption, 24 timer		0,092	0,101

Der er ikke stor forskel på variationskoefficienten for prøver fra samme betonrør og variationskoefficienten for prøver fra samme afløbsstrækning, jf. tabel 3.1. Resultaterne indikerer, at forsøgsresultater fra ét betonrør med rimelig sandsynlighed repræsenterer tilstanden for hele afløbsstrækningen. Der skal dog her nævnes, at ved mange af afløbsstrækningerne blev de 3 betonrør taget op lige efter hinanden, og der er derfor en rimelig sandsynlighed for, at betonrørene stammer fra samme støbning. Ved lange afløbsstrækninger er der en risiko for, at de anvendte betonrør stammer fra flere støbninger, hvorfor det må anbefales, at der udtages prøver fra ét betonrør med passende mellemrum. Det er samtidig vigtigt at være opmærksom på eventuelle variationer i de ydre påvirkninger på afløbsstrækningen f.eks. i form af påvirkning fra kulsurt jord på delstrækninger.

Tabel 3.1 viser derudover en betydelig variation ved måling af karbonatiseringsdybderne. Ikke bare for prøver udtaget fra samme afløbsstrækning, men også for prøver udtaget fra samme betonrør. Som omtalt i afsnit 2.1, viser den store variation, at måling af karbonatiseringsdybden kun kan bruges som en grov indikator på betonens kvalitet/tæthed. Variationskoefficienten på tørdensitets- og vandabsorptionsmålingerne er meget lave både for prøver fra samme betonrør og for prøver fra samme strækning. Især variationskoefficienten på tørdensitetsmålingerne er bemærkelsesværdigt lille.

### 3.4 SAMMENFATNING

På baggrund af afsnit 3.1.1 og 3.1.2 må det anbefales, at prøveemner bores ud af betonrørens bundløb. Som forsøgsresultaterne viser, er der stor sandsynlighed for, at betonrørene er mest nedbrudte i bundløbet. I de tilfælde, hvor den største nedbrydning forekommer ved betonrørens top eller side, ligger næsten alle resultaterne maksimalt 10 % over resultaterne fra betonrørens bundløb.

Som vist i afsnit 3.2, er der næsten lige så stor sandsynlighed for, at betonrørene er mest nedbrudte og/eller porøse ved rørens muffeende som ved spidsenden. Af de 21 tilfælde, hvor der måles største værdier ved rørens muffeende, er 17 tilfælde mindre end 10 % større, og alle 21 tilfælde er mindre end 15 % større. Det anbefales derfor, at prøveemnerne udtages fra betonrørens spidsende. For at være sikker på at prøveemnerne afspejler den faktiske tilstand, anbefales det, at der udtages 3 prøveemner til hver forsøgstype.

Variationskoefficienten på resultaterne på prøver udtaget fra samme afløbsstrækning er næsten af samme størrelse som variationskoefficienten på resultaterne målt på prøver udtaget fra samme betonrør, jf. tabel 3.1. Variationskoefficienterne indikerer, at forsøgsresultater fra ét betonrør er tilstrækkelig til en tilstandsvurdering af hele afløbsstrækningen. Men ved ældre afløbsstrækninger kan

der forekomme et spring i betonkvaliteten<sup>§</sup> på afløbsstrækningen. Samtidig kan der på lange afløbsstrækninger forekomme variationer i de ydre belastninger på afløbsrørene f.eks. i form af kulsurt jord på en delstrækning. For at man med rimelig sandsynlighed kan være sikker på, at forsøgsresultaterne afspejler afløbsstrækningen betonkvalitet, må det derfor anbefales, at der på afløbsstrækninger, hvor der ikke er mistanke om kvalitetsspring, udtages prøveemner fra to betonrør. De to betonrør må ikke ligge i forlængelse af hinanden, hvorfor det anbefales, at der udtages prøveemner fra ét betonrør i hver ende af afløbsstrækningen. Hvis der er mistanke om kvalitetsspring på afløbsstrækningen, anbefales det, at afløbsstrækningen deles op i to eller flere delstrækninger. På hver delstrækning udtages der prøveemner fra to betonrør.

Udtagningsstederne er vist i figur 6.2 i hovedrapporten. Hvorvidt forsøgsresultaterne afspejler beton-afløbsrørens virkelige tilstand afhænger i høj grad af prøveemnernes størrelse. Ved forsøgsserierne præsenteret i denne laboratorierapport er der med gode resultater benyttet udborede cylindre med en diameter på 50 mm. Det anbefales derfor, at de udborede prøveemner har en diameter på ikke mindre end 50 mm.

---

<sup>§</sup> Kan f.eks. skyldes, at der er leveret betonrør fra to forskellige støbninger. Som beskrevet i kapitel 2 kan betonkvaliteten på gamle betonrør sagtens variere fra støbning til støbning.





# Kapitel 4

## ANBEFALINGER

Ved en undersøgelse af betonafløbsledningers evne til at modstå aggressive påvirkninger anbefales det, at der udbøres 3 prøveemner fra bundløbet i rørenes spidsende. Hvis der ikke er mistanke om spring i betonkvaliteten på afløbsstrækningen, udbøres der prøveemner fra 2 betonrør placeret i hver sin ende af afløbsstrækningen. Hvis der er mistanke om spring i betonkvaliteten på afløbsstrækningen, udtages der prøveemner fra 2 betonrør fra hver delstrækning.

Laboratorieundersøgelserne viser, at der opnås fornuftige resultater med udborede cylindre med en diameter på 50 mm. Det anbefales derfor, at de udborede prøveemner har en diameter på ikke mindre end 50 mm.

Ud fra de udborede prøveemner kan der foretages både feltundersøgelser af betonkvaliteten og standardlaboratorieundersøgelser.

### Feltundersøgelser.

De udborede prøveemner benyttes til:

- ◆ Visuel vurdering af betonsammensætningen, betonkvaliteten og omfanget af nedbrydning. Fremgangsmåden ved den visuelle vurdering er beskrevet i afsnit 1.2.1, og nogle vurderinger er vist i bilag 5.
- ◆ Måling af betonrørenes godstykkelse, beskrevet i afsnit 1.2.1.
- ◆ Måling af karboniseringsdybden på betonrørenes inderside og yderside. Karboniseringsdybden kan synliggøres ved påstrykning med phenolphthalin. Fremgangsmåden er beskrevet i afsnit 1.2.3. Som beskrevet i afsnit 2.8, giver måling af karboniseringsdybden en grov indikation af betonkvaliteten/porøsiteten.

### Standardundersøgelse i laboratoriet.

Undersøgelserne i denne laboratorierapport viser, at følgende simple laboratorieundersøgelser giver et godt billede af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger, hvorfor det anbefales, at de benyttes ved en vurdering af betonrørenes kvalitet.

- ◆ Måling af vandabsorption efter 24 timer neddykket i vandbad. Fremgangsmåden ved udtørring og vandlagring af prøveemnerne er beskrevet i afsnit 1.2.4. Prøveemnernes volumen bestemmes ved vejning henholdsvis over og under vand. Metoden er beskrevet i afsnit 1.2.5.

Vandabsorptionsmålingerne benyttes til beregning af absorptionsindekset  $I_{absorption}$  ved hjælp af formel 2.1 i afsnit 2.5.1. Vurdering af betonens kvalitet og evne til at modstå aggressive påvirkninger sker på baggrund af absorptionsindekset.

- ◆ Bestemmelse af betonens modstandstal ved kapillarsugningsforsøg. Fremgangsmåden ved udførelse af kapillarsugningsforsøg er beskrevet i bilag 9.
- ◆ Bestemmelse af porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer. Porøsiteten findes ved udførelse af kapillarsugningsforsøg (beskrevet i bilag 9).

### **Undersøgelse af betonens mikrostruktur og kemiske sammensætning.**

I enkelte tilfælde kan der være behov for speciel dokumentation af betonrørens tilstand. Den specielle dokumentation kan opnås ved udførelse af tyndslibsundersøgelser og EPMA forsøg (Elektron Probe Mikro Analyse).

- ◆ Ved tyndslibsundersøgelserne undersøges betonstrukturen, pore- og tilslagsfordelingen, omfanget af nedbrydningen, udfældninger i revner/porer og betonens porøsitet. Undersøgelsesmetoden er beskrevet i afsnit 1.2.7 og eksempler på tyndslibsundersøgelser er vist i bilag 10.
- ◆ Ved EPMA forsøgene bestemmes variationen af forskellige grundstoffer ind gennem betonrørens godstykke. Disse målinger giver, sammen med oplysninger og den totale vægt % i hver enkelt målepunkt gennem betonrørens godstykke, et klart billede af nedbrydningens omfang. Undersøgelsesmetoden er beskrevet i afsnit 1.2.8, og eksempler på resultater fra EPMA forsøg er vist i bilag 11.

### **KILDELISTE**

- [1] DS 400.3.0, *Betonvarer, Afløbsrør, afvandringsrør og brønde, Prøvningsmetoder*, 5. udgave, August 1992.
- [2] NS461A, *Betongrør, Muffør uten armering, Rette rør*, Del 1, Norges standardiserings-forbund, Februar 1966.
- [3] Sægrov, S., *Tilstand og tilstandsændring for betongavløbsledninger*, Doktor ingeniøravhandling, Norges Tekniske Høgskole, 1992.
- [4] Sellevold, E. J. og Punkki, J., *Capillary Suction in Concrete, Effects of Drying Procedures*, Nordic Concrete Research, no. 15, 1994.
- [5] Smeplass, S. og Skjølvold, O., *Betongprøvning, Kapillær sugsevne og porøsitet*, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Kvalitetssikring af Intern forsøgsprocedure, 1996.
- [6] DS 423.22, *Betongprøvning, Hærdnet beton, Udboring og behandling af cylindre til styrkebestemmelse*, 2. udgave, 1984.
- [7] Herholdt, Aage D., Justesen, Chr. F. P., Nepper-Christensen, P. og Nielsen, A., *Beton-Bogen*, Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor, Aalborg Portland. 2 Udg., 1985.
- [8] Sellevold, E. J., *Bestemmelse av luft/makro og gel/kapillær porøsitet samt relativt bindemiddelindhold*, Rapport om hærdnet betong, Projekt nr. 01731, Norges byggforskningsinstitutt, 1986.
- [9] Rørhåndbogen udgivet af Dansk Beton Industri (DBI), Juli 1979.
- [10] Smeplass, S., *Kapillærabsorpsjon som kvalitetskriterium*, SINTEF Bygg og miljøteknikk, STF65 A88028, 1988

**BILAG 1. OPLYSNINGSSKEMA FOR INDLEVERET BETONRØR**

Rørnummer:	Opgrav. dato:	Dato:
Udarbejdet af:		
Placering: By, vejnavn, vejtype (villavej, landevej osv.)		
Afstand til brønd:		
Systemtype, alder/anlægsår:		
Opgravningsårsag:		
Skadesomfang:		
Leverandør:		
<b>Dimensioner</b>		
Oprindelig godstykkelse:		
Rørdimension:		
Ledningsfald:		
<b>Betonrørenes omgivelser</b>		
Overdækning: Afstand fra overside af rør til terræn		
Omkringfyldning:		
Fundament (støttelag og udjævningslag): Jordtype og tykkelse af fundament		
Grundvandsniveau:		
<b>Belastning på betonrørene</b>		
Statisk belastning: Anden statisk belastning på rørene end fra den overliggende jord.		
Dynamisk belastning: Trafiktype og intensitet		
Spildevandstype: Alm. husspildevand, industrispildevand osv.		
Spildevandsbelastning: (person ækvivalent)		
Er der eller har der været tilsluttet en slamudskiller/septiktank på ledningen:		
Andre bemærkninger:		

## BILAG 2. BETONRØRENE'S ALDER OG OPGRAVNINGSAARSAG

Rør nr.	Opgravningssted.	Anlægsår.	Årsag til opgravning og skadesomfang
1A, 1B, 1C	Venøvej (villavej) Nørresundby.	1966	Kloaksanering, omlægning til seperatsystem.
2A, 2B	Romdrupvej (landevej) Klarup.	1963	Indsivning.
3A	Ellidshøjvej (gammel hovedvej) Ellidshøj.	1945	Udskiftning af brønd.
4A	Ellidshøjvej (gammel hovedvej) Ellidshøj.	1945	Ledningen havde bagfald.
5A, 5B, 5C	Enghavevej (villavej) Herning.	1935	Talrige rørbrud, rodindtrængning.
6A	Niels Jernesvej (rørstrækning under en mark) Aalborg.	1988	Regnvandsledning. Omlægning pga. byggeri.
7A	Niels Jernesvej (rørstrækning under en mark) Aalborg.	1988	Regnvandsledning. Omlægning pga. byggeri.
8A, 8B, 8C	Siøvej (blandet boligområde) Herning.	1953	Fællessystem. Driftsproblemer med forskudte/åbne samlinger og lunker.
9A, 9B, 9C, 9D	Odinsgade (blandet boligområde) Herning.	1943	Fællessystem. Driftsproblemer med forskudte/åbne samlinger, rotter og lunker.
10A, 10B, 10C	H. C. Ørstedesvej (blandet boligområde) Herning.	1948	Fællessystem. Driftsproblemer med korrosion og rørbrud.
11A, 11B, 11C	Langagervej (villavej) Hjørring.	1916	Fællessystem. Ændring af kloaksystemet samt revner og utætte samlinger.
12A, 12B, 12C	Løkkenvej (landevej) Rubjerg.	1965	Ledningsstrækning ikke i brug. Etablering af fjernvarme i trace.
13A	Rødslet (villavej)	1962	Fællessystem. Ledningssystem med bagfald og korrosion
14A	Vadum.		
15A			
16A, 16B, 16C	Plantagevej (blandet boligområde) Silkeborg.	1948	Fællessystem. Omlægning til seperatsystem.
17A, 17B, 17C	Brorsonsvej (villavej) Sæby.	1930	Fællessystem. Korrosion (KO 3) og revner/brud (RB 2)
18A, 18B, 18C	Ved Godthåbsvej (åben terræn) Bjerringbro.	1953	Fællessystem. Bebyggelse på området.
19A, 19B, 19C	Åben terræn, Randers.	1930	Fællessystem. Omlægning til større dimension.
20B, 20C	Åben terræn, Randers.	1952	Fællessystem. Omlægning til større dimension.
21A, 21B	Nye rør, IBF Nørresundby	1997	-
22A, 22B, 22C	Heimdalsgade (villavej) Aalborg.	1935	Fællessystem. Generel udskiftning af stikledninger.
23A, 23B, 23C	Jyllandsgade	1930	Regnvandsstik til fællesledning.

Rør nr.	Opgravningssted.	Anlægsår.	Årsag til opgravning og skadesomfang
	(hovedfærdselsåre) Aalborg.		Omlægning af hovedledning.
24A, 24B, 24C	Heimdalsgade (villavej) Aalborg.	1973	Stikledning. Placering af skelbrønd.
25A	Heimdalsgade (villavej) Aalborg.	1930	Rotterede.

### BILAG 3. BETONRØRENE'S DIMENSION OG OMGIVELSER

Rør nr.	Dimension	Ledningsfald [‰]	Overdækning [m]	Omkringfyldning	Grundvands- niveau
1A, 1B, 1C	Ø200	2,3	1,1	Sand	I lægningsniveau
2A, 2B	Ø700	4,2	2,6 – 3,2	-	I lægningsniveau
3A	Ø250	2,8	3,0	Kridt og flint- holdigt sand	Under rør.
4A	Ø300	3,0	3,0	Kridt og flint- holdigt sand	Under rør.
5A, 5B, 5C	Ø230/Ø250	5,0	1,3	Leret, siltet sand	Under rør.
6A	Ø250	20,0	0,9	Sand/råjord	Under rør.
7A	Ø300	20,0	0,9	Sand/råjord	Under rør.
8A, 8B, 8C	Ø250	0 – 10,0	2,2	Ler, sand, sten	Under rør.
9A, 9B, 9C, 9D	Ø230	15,0	1,8	Ler, sand	Under rør.
10A, 10B, 10C	Ø230	7,0	1,6	Ler, sand	Under rør.
11A, 11B, 11C	Ø230	23,9	2,0	Sand, grus	Under rør.
12A, 12B, 12C	Ø150	-	1,0	Ler, sand, sten	Under rør.
13A	Ø250	-	1,0	Sand	Under rør.
14A					
15A					
16A, 16B, 16C	Ø200	10,7	2,8	Sand	Under rør.
17A, 17B, 17C	Ø250/Ø300	10,0	1,2	Marint sand	Under rør.
18A, 18B, 18C	Ø450	6,0	2,0	Sand	0 – 0,5 m over rør.
19A, 19B, 19C	Ø500 spidsbundet	10,0	2,0	Sand	Under rør.
20B, 20C	Ø1000	6,0	1,5	Sand	Under rør.
21A, 21B	Ø250	-	-	-	-
22A, 22B, 22C	Ø150	20,0	2,2	Ler, sand	Under rør.
23A, 23B, 23C	Ø100	-	1,5	Sand	Under rør.
24A, 24B, 24C	Ø200	20,0	1,5	-	Under rør.
25A	Ø400	30,0	2,5	Muldjord	Under rør

**BILAG 4. BELASTNING PÅ BETONRØRENE**

Rør nr.	Dynamisk belastning	Spildevands-type	Spildevands-belastning (person ækvivalent)	Tilkoblet slamudskiller eller septiktanke
1A, 1B, 1C	Svag	Husspildevand	12	Alle havde septiktank indtil 1987.
2A, 2B	-	Husspildevand	-	Nej.
3A	Svær	Husspildevand	50 – 100	Tidligere septiktanke på enkelte ejendomme.
4A	Svær	Husspildevand	150 – 200	Tidligere septiktanke på enkelte ejendomme.
5A, 5B, 5C	Svag	Husspildevand	20 – 50	Nej.
6A	Svag	Regnvand	-	Nej.
7A	Ingen	Regnvand	-	Nej.
8A, 8B, 8C	Svag	Husspildevand	Ca. 40	Vides ikke.
9A, 9B, 9C, 9D	Svag	Husspildevand	Ca. 50	Vides ikke.
10A, 10B, 10C	O. middel	Husspildevand	-	Vides ikke.
11A, 11B, 11C	Svag	Husspildevand	-	Vides ikke.
12A, 12B, 12C	Ingen	Regnvand	-	Nej.
13A	Svag	Husspildevand	10 – 45	Slamudskiller indtil 1973-74.
14A				
15A				
16A, 16B, 16C	Svag	Husspildevand	-	Nej.
17A, 17B, 17C	U. middel	Husspildevand	Ca. 25	Tidligere septiktanke på enkelte ejendomme.
18A, 18B, 18C	Ingen	Husspildevand	Ca. 100	Septiktanke på samtlige ejendomme indtil 1974. 50% har stadig septiktanke.
19A, 19B, 19C	Ingen	Industri- og husspildevand	Ca. 10000	Nej.
20B, 20C	Ingen	Industri- og husspildevand	Ca. 10000	Nej.
21A, 21B	-	-	-	-
22A, 22B, 22C	Svag	Vejvand	-	Sandfang
23A, 23B, 23C	Ingen (under fortov)	Regnvand	-	Nej.
24A, 24B, 24C	Svag	Husspildevand	20 – 30	Vides ikke.
25A	Svag	Ingen (topbrønd uden stik)	-	Nej

## Trafik belastning:

- Svag : Personbiler, alm. intensitet.  
 U. middel : Personbiler, enkelte busser/lastbiler, lav intensitet.  
 O. middel : Personbiler, enkelte busser/lastbiler, høj intensitet.  
 Svær : Personbiler, mange busser/lastbiler, alm. intensitet.

## **BILAG 5. VISUEL VURDERING AF BETONRØRENE**

**Rør nr. 1** (1A, 1B og 1C fra 1966). Betonrørene er fine på ydersiden. De har været samlet med cementmørtel. På indersiden er der tydelige tegn på korrosion over vandspejlet (svovlbrinte). Tilslaget er blotlagt, men korrosionen er kun på få millimeter. Spids- og muffeenderne er hele på alle rørene.

Der er revner i 1C. Alle tre rør bærer præg af utilstrækkelig/dårlig komprimering. Især 1A og 1C har mange "luftlommer".

**Rør nr. 2** (2A og 2B fra 1963). Armeringen i muffeenderne er enkelte steder blotlagt. Armeringen har overfladerust. Begge rør viser tegn på utilstrækkelig/dårlig komprimering med mange "luftlommer", men ellers er overfladen meget fin.

Indvendig er ligeledes mange luftlommer (mest udpræget ved 2B). Ellers er der ingen tegn på slid. Både spids- og muffeenderne har taget lidt skade ved optagningen. Der er ingen spor efter samlingsmetoden.

**Rør nr. 3** (3A fra 1945). Både indvendigt og udvendigt er røret meget fint. Der er ingen tegn på slid eller korrosion. Spids- og muffeende har taget meget lidt skade af optagningen. Der er ingen tegn efter samlingsmetoden.

**Rør nr. 4** (4A fra 1945). Både indvendigt og udvendigt er røret meget fint. Der er en del sand og sten i røret (stammer muligvis fra optagningen). Spids- og muffeende er hele, og der er ingen spor efter samlingsmetoden.

**Rør nr. 5** (5A, 5B og 5C fra 1935). På 5A og 5C er der på ydersiden tydelige tegn på korrosion, som har blotlagt tilslaget. Ydersiden på 5B viser ingen tegn på korrosion. 5A er et helt rør (dog med delvist ødelagt muffe), mens 5B og 5C er rørstykker. Umiddelbart er der ingen tilslag større end 6-8 mm.

Indvendigt er der hverken tegn på slid eller korrosion. Der er dog en del sand aflejret i rørene.

**Rør nr. 6** (6A fra 1988). Røret er et rørstykke. Røret er meget fin, og viser ingen tegn på slid eller korrosion.

**Rør nr. 7** (7A fra 1988). Røret er et rørstykke (spidsende af et rør). Røret er meget fin, og viser ingen tegn på slid eller korrosion.

**Rør nr. 8** (8A, 8B og 8C fra 1953). 8C er et helt rør, mens 8A og 8B er rørstykker. 8A og 8B har tydelige revner, som bærer tegn på vandgennemtrængning (okkerfarvet overflade). Bortset fra revnerne viser overfladerne på 8A og 8B kun få tegn på slid. I den vandførende del af rørene er der rustrøde aflejringer. 8C viser på ydersiden tydelige tegn på korrosion. Tilslaget er blotlagt og cementpastaen er smuldrende. 8C har også rustrøde aflejringer i den vandførende del af røret.

Indvendigt er der ingen tegn på korrosion. Der er dog tydelige tegn på slid ved muffeenden af 8C. Rørene har været samlet med cementmørtel.



**Rør nr. 9** (9A, 9B, 9C og 9D fra 1943). På ydersiden har rørene en tendens til at smuldre, og især 9D har blotlagt tilslag. Rørene er hele, men viser tegn på beskadigelse ved muffe- og spidsenderne, hvilket sandsynligvis er et resultat af optagningen. 9D har fået påhugget en stikledning.

Indvendig er rørene fine. Der er en del sandaflejringer inde i rørene. Der er ingen spor efter samlingsmetoden. Den påhuggede stikledning på 9D er sat fast med cementmørtel.

**Rør nr. 10** (10A, 10B og 10C fra 1948). Alle rørene er rørstykker. Udvendigt er der tydelige tegn på korrosion. Cementpastaen er smuldrende og tilslaget blotlagt. 10A har tydelige revner ved muffeenden.

Indvendigt er rørene fine, og viser ingen tegn på slid eller korrosion. Rørene har været samlet med cementmørtel.

**Rør nr. 11** (11A, 11B og 11C fra 1916). 11A er et helt rør, men 11B og 11C er rørstykker. På ydersiden af rørene er der tydelige tegn på korrosion. Cementpastaen er smuldrende og tilslaget er blotlagt.

Indvendigt er der kun ganske lidt tegn på slid og ingen korrosion. Der er en del sand aflejret i rørene. Bunden af rørene dækket af en sort hinde.

**Rør nr. 12** (12A, 12B og 12C fra 1965). Rørene er både udvendig og indvendig meget fine. Der er ingen tegn på slid eller korrosion. Der er ingen spor efter samlingsmetoden.

**Rør nr. 13, 14 og 15** (13A, 14A og 15A fra 1962). Alle rørene er hele. Udvendig er alle rørene fine. Indvendigt på 14A og 15A er der tydelig tegn på korrosion over vandspejlet, mens der ikke er tegn på korrosion på 13A. Der er en del sand aflejret i alle rørene. Der er ingen spor efter samlingsmetoden.

**Rør nr. 16** (16A, 16B og 16C fra 1948). Alle rørene er hele, men dog med få optagningsskader ved spids- og muffeenderne. Både udvendig og indvendig er rørene fine, dog med en del sandaflejring. Der er ingen spor efter samlingsmetoden.

**Rør nr. 17** (17A, 17B og 17C fra 1930). 17A er et helt rør, mens 17B og 17C er rørstykker. Både indvendig og udvendig er der en skal af sort materiale (kunne eventuelt være en slags coating). 17A har en enkelt revne, mens 17B og 17C har flere revner. Nogle af revnerne bærer præg af vandgennemtrængning.

Indvendigt er der tegn på slid (men ikke korrosion) i den vandførende del af rørene. Der er en del sand aflejret i rørene. Der er ingen spor efter samlingsmetoden.

**Rør nr. 18** (18A, 18B og 18C fra 1953). Alle rørene er hele. Både udvendig og indvendig er rørene meget fine. Der er en del sand aflejret i rørene (mest i 18C). Samlingsmetoden har været pakgarn og tjære/asfalt.

**Rør nr. 19** (19A, 19B og 19C fra 1930). På nær nogle skader ved spids- og muffeenderne er rørene hele. Brudfladerne ser friske ud, så det er sandsynligvis et resultat af optagningen. Både udvendig og indvendig er rørene fine. Rørene har været samlet med cementmørtel.

**Rør nr. 20** (20B og 20C fra 1952). Rørene er hele. Både udvendig og indvendig er rørene meget fine rør (ser ud som nye). Der er lidt okkerfarve ved enderne, som kunne tyde på at samlingerne ikke har været helt tætte. Der er ingen spor efter samlingsmetoden.

**Rør nr. 21** (21A og 21B). Rørene er helt nye.

**Rør nr. 22** (22A, 22B og 22C fra 1935). Rørene er næsten hele. Rørene har fungeret som stikledninger, hvorfor spidsenderne er blevet rettet til, så de ikke rager ind i hovedledningen. Udvendigt er der tydelige tegn på korrosion på rørene, dog mest ved 22A og 22C.

Indvendigt er der ved 22B og 22C tegn på slid og korrosion på den vandførende del af rørene. 22A har en sort hinde i bundløbet, men viser ingen tegn på slid eller korrosion. Der er ingen spor efter samlingsmetoden.

**Rør nr. 23** (23A, 23B og 23C fra 1930). Alle rørene er hele. Udvendigt er rørene meget fine. Det har ikke været muligt at vurdere rørene indvendigt, da de var fyldt op med slam og skummørtel. Det meste blev fjernet ved rengøringen af rørene, men det var ikke muligt at fjerne en skal af skummørtel på rørenes inderside. Der er tydelige spor efter rodindtrængning i rørene. Rørene har været samlet med cementmørtel.

**Rør nr. 24** (24A, 24B og 24C fra 1973). Alle rørene er hele. Både udvendig og indvendig er rørene fine. Der er ingen tegn på slid eller korrosion. Rørene har været samlet med gummiringe (rulle-ringe).

**Rør nr. 25** (25A fra 1930). Røret er helt. Både udvendig og indvendig et fint rør. Der er svage tegn på slid, men ingen tegn på korrosion. Der er ingen spor efter samlingsmetoden.

**BILAG 6. OPMÅLING AF BETONRØRENE**

Alle værdierne i skemaet er gennemsnitsværdier udregnet fra 4 målinger. Placeringen af målepunkter er i henhold til DS 400.3.0.

Rør nr.	Indvendig diameter [mm]	Godstykkelse [mm]	Længde af betonrør [mm]	Muffedybde [mm]
1A	246,6	34,0	997	53
1B	246,5	33,9	1002	55
1C	247,2	34,2	994	53
2A	697,1	75,4	981	65
2B	697,0	74,2	979	66
3A	246,5	34,4	795	51
4A	297,4	36,5	798	51
5A	247,8	34,8	783	46
5B	233,9	26,7	Stykke af rør	-
5C	233,9	26,3	Stykke af rør	-
6A	251,5	45,2	Stykke af rør	-
7A	301,1	47,2	Stykke af rør	-
8A	249,9	35,4	Stykke af rør	-
8B	250,7	33,3	Stykke af rør	47
8C	246,9	32,7	784	43
9A	233,3	25,8	795	36
9B	232,5	25,3	795	37
9C	234,3	25,5	795	40
9D	232,7	26,2	795	30
10A	233,4	22,2	Stykke af rør	-
10B	232,8	22,6	Stykke af rør	37
10C	234,3	22,7	Stykke af rør	36
11A	233,2	27,3	798	35
11B	234,2	25,3	Stykke af rør	34
11C	232,9	26,5	Stykke af rør	36
12A	148,2	26,0	621	35
12B	147,6	25,6	619	37
12C	148,5	25,4	616	36
13A	247,7	34,8	996	46
14A	248,1	34,7	996	48
15A	248,2	34,2	985	45
16A	197,4	31,9	985	43
16B	196,7	31,1	985	44
16C	197,4	31,4	983	44

*Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid*

Rør nr.	Indvendig diameter [mm]	Godstykkelse [mm]	Længde af betonrør [mm]	Muffedybde [mm]
17A	251,2	28,5	795	45
17B	253,9	32,6	Stykke af rør	-
17C	301,9	35,2	Stykke af rør	-
18A	449,5	44,4	1003	58
18B	449,3	44,9	1010	58
18C	449,0	45,4	1009	57
19A	Spidsbundet	-	796	55
19B	Spidsbundet	-	797	55
19C	Spidsbundet	-	797	54
20B	1000,9	135,9	2008	111
20C	999,5	134,6	2002	111
21A	250,1	45,4	1232	80
21B	250,4	45,0	1233	80
22A	148,0	25,7	595	43
22B	148,1	25,5	591	43
22C	148,7	24,5	587	41
23A	Ikke målt	21,2	791	52
23B	Ikke målt	24,5	791	51
23C	Ikke målt	22,0	789	48
24A	201,1	32,7	983	69
24B	201,7	32,6	994	68
24C	201,9	32,4	997	68
25A	398,5	41,1	812	59

**BILAG 7. MÅLING AF KARBONATISERINGSDYBDE**

Alle værdierne i skemaet er gennemsnitsværdier udregnet fra 4 målinger. Målepunkter er forsat 90 ° fra hinanden.

Rør nr.	Cylinder nr.	Karbonatiseringsdybde (gennemsnit af 4 målinger)			
		Yderside [mm]	Middel [mm]	Inderside [mm]	Middel [mm]
1A	mt1	0,55	0,84	3,55	3,70
	st1	0,00		3,90	
	ms1	0,80		3,45	
	ss1	0,28		4,80	
	mb1	0,75		3,45	
	sb1	1,80		3,03	
1B	mt1	0,23	0,66	4,98	3,17
	st1	0,60		3,33	
	ms1	0,08		3,85	
	ss1	0,15		3,60	
	mb1	0,18		2,18	
	sb1	2,70		1,08	
1C	mt1	0,75	1,22	4,23	3,74
	st1	0,10		5,48	
	ms1	0,83		4,03	
	ss1	0,53		4,30	
	mb1	2,23		1,68	
	sb1	2,90		2,73	
2A	mt1	0,18	0,53	0,15	0,28
	st1	0,18		0,15	
	ms1	0,58		0,48	
	ss1	0,33		0,08	
	mb1	0,23		0,43	
	sb1	1,70		0,40	
2B	mt1	3,10	1,82	0,30	0,32
	st1	0,53		0,38	
	ms1	2,05		0,35	
	ss1	0,40		0,18	
	mb1	1,28		0,30	
	sb1	3,58		0,40	
3A	mt1	2,68	3,11	0,38	1,24
	st1	1,88		0,20	
	ms1	0,25		0,48	
	ss1	4,70		1,45	
	mb1	3,13		2,58	
	sb1	6,03		2,35	
4A	mt1	1,60	2,52	0,30	0,76
	st1	0,98		0,53	
	ms1	0,43		0,60	
	ss1	3,15		0,28	
	mb1	4,10		2,55	
	sb1	4,83		0,30	

Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid

Rør nr.	Cylinder nr.	Karbonatiseringsdybde (gennemsnit af 4 målinger)			
		Yderside [mm]	Middel [mm]	Inderside [mm]	Middel [mm]
5A	mt1	3,35	4,61	1,48	1,62
	st1	2,90		1,63	
	ms1	5,15		1,55	
	ss1	4,68		1,85	
	mb1	5,90		1,28	
	sb1	5,65		1,90	
5B	mt1	3,18	5,64	2,58	2,73
	st1	-		-	
	ms1	7,60		1,83	
	ss1	-		-	
	mb1	6,15		3,78	
	sb1	-		-	
5C	mt1	3,68	5,74	1,40	1,26
	st1	2,70		1,25	
	ms1	8,83		1,70	
	ss1	6,50		1,60	
	mb1	5,68		1,18	
	sb1	7,05		0,45	
6A	mt1	5,10	1,22	0,28	0,33
	st1	1,23		0,18	
	ms1	0,20		0,38	
	ss1	0,13		0,28	
	mb1	0,30		0,35	
	sb1	0,35		0,53	
7A	mt1	0,50	1,48	0,15	0,18
	st1	1,95		0,33	
	ms1	1,35		0,20	
	ss1	2,35		0,10	
	mb1	1,90		0,27	
	sb1	0,80		0,00	
8A	mt1	-	4,47	-	1,28
	st1	5,48		0,30	
	ms1	-		-	
	ss1	5,18		1,30	
	mb1	-		-	
	sb1	2,75		2,23	
8B	mt1	4,10	3,68	0,13	0,49
	st1	-		-	
	ms1	5,70		0,20	
	ss1	-		-	
	mb1	1,25		1,15	
	sb1	-		-	
8C	mt1	4,45	5,20	0,30	0,97
	st1	0,48		0,50	
	ms1	5,53		0,43	
	ss1	3,48		0,53	
	mb1	9,43		2,53	
	sb1	7,83		1,50	
9A	mt1	4,30		1,45	
	st1	2,38		1,58	
	ms1	5,38		1,38	

Rør nr.	Cylinder nr.	Karbonatiseringsdybde (gennemsnit af 4 målinger)			
		Yderside [mm]	Middel [mm]	Inderside [mm]	Middel [mm]
9A	ss1	2,63	4,31	1,35	2,24
	mb1	5,50		1,70	
	sb1	5,65		5,98	
9B	mt1	4,83	3,71	1,50	2,12
	st1	3,45		2,43	
	ms1	3,10		1,33	
	ss1	5,70		1,53	
	mb1	3,53		3,45	
	sb1	3,65		2,45	
9C	mt1	2,73	3,22	0,15	0,84
	st1	2,18		0,53	
	ms1	3,35		1,43	
	ss1	4,20		0,23	
	mb1	2,53		1,28	
	sb1	4,30		1,43	
9D	mt1	4,48	4,13	1,58	1,32
	st1	3,80		0,23	
	ms1	5,08		1,50	
	ss1	5,05		1,50	
	mb1	4,80		1,40	
	sb1	1,55		1,70	
10A	mt1	-	6,42	-	4,52
	st1	6,60		3,30	
	ms1	-		-	
	ss1	3,20		2,88	
	mb1	9,45		7,38	
	sb1	-		-	
10B	mt1	3,43	3,46	1,48	1,84
	st1	-		-	
	ms1	3,63		1,55	
	ss1	-		-	
	mb1	3,33		2,48	
	sb1	-		-	
10C	mt1	4,28	5,09	2,93	2,90
	st1	-		-	
	ms1	4,60		2,93	
	ss1	-		-	
	mb1	6,38		2,85	
	sb1	-		-	
11A	mt1	3,53	4,47	3,78	3,15
	st1	3,58		1,53	
	ms1	5,35		1,30	
	ss1	4,95		3,08	
	mb1	4,45		3,50	
	sb1	4,95		5,68	
11B	mt1	4,38	4,90	0,45	1,18
	st1	-		-	
	ms1	3,68		0,60	
	ss1	-		-	
	mb1	6,65		2,48	
	sb1	-		-	

Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid

Rør nr.	Cylinder nr.	Karbonatiseringsdybde (gennemsnit af 4 målinger)			
		Yderside [mm]	Middel [mm]	Inderside [mm]	Middel [mm]
11C	mt1	5,40	6,12	2,58	2,85
	st1	-		-	
	ms1	6,83		2,40	
	ss1	-		-	
	mb1	6,13		3,58	
	sb1	-		-	
12A	mt1	2,35	2,35	1,13	1,18
	st1	2,68		0,85	
	ms1	2,50		2,68	
	ss1	2,40		1,63	
	mb1	2,45		0,33	
	sb1	1,70		0,43	
12B	mt1	2,58	3,38	0,30	2,27
	st1	3,68		2,58	
	ms1	3,53		2,55	
	ss1	4,80		4,65	
	mb1	1,98		2,18	
	sb1	3,68		1,35	
12C	mt1	2,48	2,95	1,40	1,12
	st1	2,30		1,30	
	ms1	2,68		0,38	
	ss1	2,60		0,38	
	mb1	3,18		1,70	
	sb1	4,48		1,53	
13A	mt1	1,40	1,53	0,70	1,51
	st1	0,63		1,33	
	ms1	0,90		0,88	
	ss1	1,13		1,90	
	mb1	1,78		2,55	
	sb1	3,35		1,70	
14A	mt1	1,30	2,90	0,10	1,63
	st1	1,40		0,25	
	ms1	2,08		1,68	
	ss1	4,60		2,65	
	mb1	3,70		2,25	
	sb1	4,33		2,83	
15A	mt1	2,68	3,38	2,43	2,09
	st1	2,90		2,10	
	ms1	1,70		2,40	
	ss1	3,05		3,38	
	mb1	5,05		1,38	
	sb1	4,90		0,83	
16A	mt1	0,40	2,21	0,13	1,67
	st1	3,48		0,50	
	ms1	0,35		1,43	
	ss1	3,50		1,38	
	mb1	0,48		5,03	
	sb1	5,05		1,53	
16B	mt1	3,33		0,45	
	st1	4,23		2,28	
	ms1	1,55		0,33	



Rør nr.	Cylinder nr.	Karbonatiseringsdybde (gennemsnit af 4 målinger)			
		Yderside [mm]	Middel [mm]	Inderside [mm]	Middel [mm]
16B	ss1	3,28	2,73	0,35	1,17
	mb1	0,30		1,53	
	sb1	3,68		2,10	
16C	mt1	0,28	2,39	0,10	1,37
	st1	2,10		0,37	
	ms1	0,25		0,55	
	ss1	4,55		0,55	
	mb1	1,80		3,33	
	sb1	5,33		3,33	
17A	mt1	4,53	6,12	3,60	6,63
	st1	6,25		4,98	
	ms1	2,48		6,70	
	ss1	3,50		2,73	
	mb1	5,40		7,80	
	sb1	14,58		13,98	
17B	mt1	4,50	5,97	1,45	6,18
	st1	8,35		9,65	
	ms1	3,38		5,50	
	ss1	11,25		12,73	
	mb1	4,48		5,33	
	sb1	3,88		2,43	
17C	mt1	-	9,38	-	7,45
	st1	12,28		10,85	
	ms1	9,65		6,95	
	ss1	8,68		6,70	
	mb1	9,70		7,05	
	sb1	6,60		5,70	
18A	mt1	3,20	2,34	1,83	1,97
	st1	3,53		1,38	
	ms1	1,23		1,08	
	ss1	1,55		0,28	
	mb1	4,20		3,95	
	sb1	0,30		3,28	
18B	mt1	2,95	2,22	0,55	1,83
	st1	0,78		0,18	
	ms1	3,23		1,20	
	ss1	1,30		0,10	
	mb1	4,45		4,70	
	sb1	0,58		4,25	
18C	mt1	2,15	2,05	0,65	2,37
	st1	1,50		0,28	
	ms1	3,23		0,58	
	ss1	1,63		0,30	
	mb1	3,40		6,63	
	sb1	0,40		5,80	
19A	mt1	3,53	3,05	1,13	2,53
	st1	2,43		1,10	
	ms1	4,45		2,00	
	ss1	3,15		0,20	
	mb1	2,28		4,63	
	sb1	2,45		6,13	

Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid

Rør nr.	Cylinder nr.	Karbonatiseringsdybde (gennemsnit af 4 målinger)			
		Yderside [mm]	Middel [mm]	Inderside [mm]	Middel [mm]
19B	mt1	5,23	4,11	2,50	3,54
	st1	0,80		2,90	
	ms1	3,13		1,38	
	ss1	3,55		2,45	
	mb1	5,75		6,40	
	sb1	6,20		5,58	
19C	mt1	5,35	3,12	2,53	3,85
	st1	1,53		3,40	
	ms1	2,90		2,10	
	ss1	2,18		1,48	
	mb1	2,30		5,18	
	sb1	4,48		8,38	
20B	mt1	0,13	0,36	1,50	0,95
	st1	0,48		0,33	
	ms1	0,20		0,35	
	ss1	0,38		0,45	
	mb1	0,55		1,50	
	sb1	0,40		1,58	
20C	mt1	0,35	0,31	0,53	0,42
	st1	0,15		0,23	
	ms1	0,40		0,45	
	ss1	0,48		0,50	
	mb1	0,25		0,50	
	sb1	0,20		0,33	
21A	mt1	0,08	0,12	0,13	0,18
	st1	0,15		0,13	
	ms1	0,15		0,38	
	ss1	0,13		0,15	
	mb1	0,13		0,15	
	sb1	0,05		0,15	
21B	mt1	0,23	0,23	0,13	0,17
	st1	0,23		0,15	
	ms1	0,08		0,05	
	ss1	0,13		0,00	
	mb1	0,38		0,43	
	sb1	0,30		0,28	
22A	mt1	6,30	5,80	1,25	2,46
	st1	5,45		2,48	
	ms1	5,60		2,55	
	ss1	7,55		2,45	
	mb1	6,15		2,53	
	sb1	3,73		3,48	
22B	mt1	1,83	4,16	0,35	2,35
	st1	1,70		1,58	
	ms1	4,33		0,33	
	ss1	6,78		2,38	
	mb1	4,43		4,33	
	sb1	5,88		5,15	
22C	mt1	3,65		0,40	
	st1	1,50		2,53	
	ms1	3,65		1,55	

Rør nr.	Cylinder nr.	Karbonatiseringsdybde (gennemsnit af 4 målinger)			
		Yderside [mm]	Middel [mm]	Inderside [mm]	Middel [mm]
22C	ss1	2,40	3,14	1,98	1,64
	mb1	3,73		1,90	
	sb1	3,95		1,50	
23A	mt1	0,28	0,76	0,45	0,72
	st1	0,40		0,58	
	ms1	0,23		0,33	
	ss1	0,45		0,18	
	mb1	0,28		2,50	
	sb1	2,90		0,28	
23B	mt1	0,30	1,01	0,20	0,45
	st1	0,40		0,38	
	ms1	0,25		0,48	
	ss1	1,43		0,30	
	mb1	0,40		1,15	
	sb1	3,30		0,20	
23C	mt1	0,33	1,67	1,40	2,13
	st1	1,70		1,38	
	ms1	0,43		1,20	
	ss1	3,90		4,40	
	mb1	3,40		2,73	
	sb1	0,25		1,65	
24A	mt1	0,48	0,88	0,45	0,34
	st1	0,95		0,45	
	ms1	2,63		0,20	
	ss1	0,30		0,25	
	mb1	0,43		0,33	
	sb1	0,48		0,38	
24B	mt1	0,50	0,47	0,18	0,29
	st1	0,48		0,18	
	ms1	0,60		0,15	
	ss1	0,28		0,50	
	mb1	0,48		0,43	
	sb1	0,50		0,28	
24C	mt1	0,38	0,36	0,23	0,27
	st1	0,45		0,30	
	ms1	0,35		0,43	
	ss1	0,20		0,15	
	mb1	0,30		0,35	
	sb1	0,45		0,13	
25A	mt1	2,88	3,62	1,83	2,01
	st1	0,98		1,63	
	ms1	4,28		2,53	
	ss1	2,13		2,53	
	mb1	4,90		1,43	
	sb1	6,53		2,08	

## BILAG 8. VANDABSORPTIONS – OG PORØSITETSMÅLINGER

Rør nr.	Cylinder nr.	Tørvægt [g]	Vandabsorption i vol. % efter			Porøsitet i tryk-tank [vol. %]
			10 min.	24 timer	7 døgn	
1A	st2	189,55	5,54	9,53	12,72	0,70
	mt2	151,46	4,39	8,20	11,26	0,43
	ss2	141,96	4,53	8,48	10,65	0,85
	ms2	128,78	4,15	8,09	10,49	0,97
	sb2	156,29	6,83	9,04	10,34	1,12
	mb2	158,57	4,28	8,36	9,92	1,01
1B	st2	-	-	-	-	-
	mt2	-	-	-	-	-
	ss2	157,40	4,11	8,21	10,81	0,62
	ms2	149,71	4,18	7,92	10,84	0,90
	sb2	159,28	4,01	8,05	9,61	0,94
	mb2	156,27	3,80	8,16	9,51	1,31
1C	st2	172,63	5,17	9,39	12,02	0,79
	mt2	163,36	4,75	8,65	11,91	0,44
	ss2	148,02	5,41	9,36	11,62	0,69
	ms2	145,04	5,24	9,25	11,21	0,94
	sb2	-	-	-	-	-
	mb2	142,53	5,11	9,13	10,57	1,13
2A	st2	336,33	2,59	6,17	7,87	2,01
	mt2	312,00	2,82	6,51	8,26	2,79
	ss2	355,12	2,84	5,79	7,25	2,12
	ms2	337,01	2,81	7,26	9,23	3,53
	sb2	339,97	3,16	6,52	7,95	2,30
	mb2	345,02	2,79	6,48	7,74	2,48
2B	st2	357,80	2,79	7,03	8,50	3,14
	mt2	363,78	2,65	6,19	7,62	2,85
	ss2	313,71	2,88	7,17	8,71	2,93
	ms2	294,61	3,16	7,93	9,87	3,37
	sb2	325,61	3,40	7,58	8,96	3,57
	mb2	320,07	4,25	8,15	8,93	3,13
3A	st2	152,46	3,01	7,74	9,52	3,14
	mt2	158,99	3,03	7,64	9,64	3,28
	ss2	147,83	4,72	10,00	11,83	2,67
	ms2	155,74	2,88	7,56	9,55	3,20
	sb2	138,73	5,99	11,52	13,44	2,47
	mb2	143,44	4,22	9,08	10,61	2,55
4A	st2	169,99	2,89	7,44	8,55	2,76
	mt2	173,67	2,86	7,26	8,98	3,17
	ss2	167,47	3,33	8,14	10,21	2,44
	ms2	162,87	2,95	7,13	9,10	2,55
	sb2	164,30	4,56	9,63	11,69	2,14
	mb2	176,74	3,59	8,07	9,89	2,67

Rør nr.	Cylinder nr.	Tørvægt [g]	Vandabsorption i vol. % efter			Porøsitet i tryk-tank [vol. %]
			10 min.	24 timer	7 døgn	
5A	st2	122,23	7,56	12,87	14,91	1,45
	mt2	121,83	8,24	13,23	15,51	1,50
	ss2	103,94	11,17	16,41	20,24	0,33
	ms2	106,16	11,84	16,77	20,01	0,65
	sb2	94,67	11,06	15,74	19,23	0,61
	mb2	110,00	9,22	13,91	16,11	1,61
5B	st2	-	-	-	-	-
	mt2	116,31	7,34	12,80	14,88	1,65
	ss2	-	-	-	-	-
	ms2	121,48	8,50	14,25	16,39	1,46
	sb2	-	-	-	-	-
	mb2	105,58	12,60	17,92	21,37	0,59
5C	st2	141,55	4,98	9,07	10,70	1,48
	mt2	131,59	7,10	11,81	12,18	1,24
	ss2	142,88	6,09	10,20	12,50	1,10
	ms2	141,80	5,71	9,76	11,94	1,32
	sb2	145,14	6,26	9,97	12,77	0,73
	mb2	147,89	5,18	9,05	10,78	1,63
6A	st2	198,37	4,39	9,04	10,47	1,23
	mt2	195,01	4,42	8,97	10,45	1,20
	ss2	199,19	4,44	9,20	10,62	1,38
	ms2	194,85	4,15	9,14	10,55	1,20
	sb2	206,99	4,77	9,57	11,07	1,31
	mb2	204,03	4,87	9,29	10,92	1,16
7A	st2	213,05	5,25	9,28	10,54	1,38
	mt2	212,85	4,45	8,76	10,07	1,15
	ss2	221,79	5,46	9,31	10,51	1,39
	ms2	226,60	5,36	9,19	10,47	1,39
	sb2	215,30	5,36	9,31	10,54	1,40
	mb2	214,90	4,81	9,18	10,45	1,40
8A	st2	154,51	5,32	10,56	12,00	1,63
	mt2	-	-	-	-	-
	ss2	152,82	5,88	11,24	12,87	1,25
	ms2	-	-	-	-	-
	sb2	143,41	6,03	11,82	13,56	0,98
	mb2	-	-	-	-	-
8B	st2	-	-	-	-	-
	mt2	162,25	5,31	9,85	11,17	1,65
	ss2	-	-	-	-	-
	ms2	153,55	5,72	10,85	12,65	1,22
	sb2	-	-	-	-	-
	mb2	-	-	-	-	-
8C	st2	152,58	5,04	9,45	11,12	1,31
	mt2	128,81	5,27	9,57	11,80	0,87
	ss2	150,55	3,97	9,76	12,16	0,94
	ms2	151,26	5,01	9,27	11,13	1,39

Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid

Rør nr.	Cylinder nr.	Tørvægt [g]	Vandabsorption i vol. % efter			Porøsitet i tryk- tank [vol. %]
			10 min.	24 timer	7 døgn	
	sb2	120,41	8,64	12,51	14,98	0,02
	mb2	139,44	7,50	11,67	13,44	0,77
9A	st2	106,10	10,13	16,50	18,61	1,23
	mt2	101,02	9,89	16,51	18,79	1,11
	ss2	102,58	10,07	16,65	19,60	0,64
	ms2	104,03	10,80	17,03	19,46	0,79
	sb2	-	-	-	-	-
	mb2	-	-	-	-	-
9B	st2	113,91	7,79	15,91	17,92	1,62
	mt2	104,50	8,84	16,88	18,80	1,29
	ss2	103,48	11,06	20,56	22,94	1,42
	ms2	103,57	9,85	17,92	19,87	1,15
	sb2	81,50	13,85	21,23	23,50	1,04
	mb2	80,93	13,83	21,39	23,80	0,87
9C	st2	110,62	7,13	15,25	17,22	1,59
	mt2	104,53	8,67	16,79	18,80	1,81
	ss2	106,61	10,25	17,17	19,40	1,20
	ms2	118,40	9,32	17,02	19,19	1,62
	sb2	88,76	14,81	22,10	24,95	0,63
	mb2	84,36	14,53	21,58	24,17	0,81
9D	st2	110,23	7,61	15,45	17,49	1,57
	mt2	105,53	8,66	15,98	17,90	1,47
	ss2	103,63	10,94	17,69	20,64	0,63
	ms2	108,28	10,05	18,00	20,59	1,06
	sb2	87,04	14,37	20,92	23,66	0,37
	mb2	83,64	14,77	21,94	24,28	0,81
10A	st2	96,36	10,99	18,71	21,43	2,20
	mt2	-	-	-	-	-
	ss2	82,79	12,75	20,72	23,44	2,00
	ms2	81,65	8,98	14,97	17,38	1,84
	sb2	94,08	11,74	19,35	21,95	2,77
	mb2	-	-	-	-	-
	st2	-	-	-	-	-
	mt2	79,08	9,46	15,58	17,81	2,01
	ss2	-	-	-	-	-
	ms2	-	-	-	-	-

Rør nr.	Cylinder nr.	Tørvægt [g]	Vandabsorption i vol. % efter			Porøsitet i tryk-tank [vol. %]
			10 min.	24 timer	7 døgn	
11A	ss2	87,36	16,51	23,39	26,63	1,18
	ms2	-	-	-	-	-
	sb2	87,22	18,29	25,47	30,14	1,23
	mb2	88,72	18,40	25,57	27,99	1,61
11B	st2	-	-	-	-	-
	mt2	99,52	15,15	22,09	26,77	2,49
	ss2	-	-	-	-	-
	ms2	92,26	15,10	24,17	26,30	2,46
	sb2	-	-	-	-	-
	mb2	79,63	21,31	29,24	32,03	1,88
11C	st2	-	-	-	-	-
	mt2	95,55	11,95	19,93	22,92	12,46
	ss2	-	-	-	-	-
	ms2	-	-	-	-	-
	sb2	-	-	-	-	-
	mb2	102,95	15,29	23,35	26,35	1,24
12A	st2	102,89	6,28	13,56	15,11	3,56
	mt2	102,07	6,56	13,56	15,04	3,44
	ss2	106,32	6,58	12,79	13,96	4,23
	ms2	110,24	7,40	14,03	15,32	3,48
	sb2	102,14	7,03	12,70	14,10	4,03
	mb2	100,22	7,59	14,15	15,50	3,69
12B	st2	101,00	6,79	13,27	15,06	3,21
	mt2	101,55	6,66	13,52	15,04	3,41
	ss2	105,04	7,17	13,66	14,97	3,51
	ms2	105,99	7,46	14,37	15,81	3,17
	sb2	107,15	6,85	13,12	14,58	3,39
	mb2	101,26	6,80	13,41	14,84	3,53
12C	st2	107,34	6,22	12,70	14,08	3,46
	mt2	100,65	6,06	12,13	13,58	3,26
	ss2	104,48	7,14	14,10	15,45	3,64
	ms2	110,12	6,39	12,64	13,91	3,48
	sb2	96,92	6,63	12,90	14,55	3,47
	mb2	107,47	6,63	12,38	13,86	2,93
13A	st2	165,83	2,94	6,61	8,81	1,41
	mt2	175,31	3,03	6,73	8,86	1,63
	ss2	143,85	3,43	7,16	9,80	1,18
	ms2	160,69	2,55	5,31	7,98	0,75
	sb2	153,11	3,59	7,46	9,57	1,29
	mb2	140,39	3,72	7,89	10,16	1,42
14A	st2	158,16	3,25	7,34	9,43	1,66
	mt2	159,66	2,69	6,09	8,52	1,40
	ss2	161,38	3,69	7,57	9,51	1,31
	ms2	148,94	3,20	7,24	9,38	1,27
	sb2	151,84	3,52	7,32	8,79	1,49
	mb2	147,37	3,58	7,74	9,49	1,63

Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid

Rør nr.	Cylinder nr.	Tørvægt [g]	Vandabsorption i vol. % efter			Porøsitet i tryk-tank [vol. %]
			10 min.	24 timer	7 døgn	
15A	st2	169,81	3,72	7,65	10,67	2,25
	mt2	159,25	3,48	7,72	11,72	1,10
	ss2	153,52	3,06	6,67	10,09	0,75
	ms2	130,77	3,77	7,65	11,64	0,44
	sb2	154,31	3,47	7,22	8,95	1,43
	mb2	142,60	3,39	7,28	9,04	1,37
16A	st2	142,00	3,82	8,80	9,94	2,62
	mt2	121,63	4,82	9,46	10,36	2,83
	ss2	139,66	4,62	9,33	10,42	2,60
	ms2	147,13	4,61	9,65	10,68	2,53
	sb2	128,19	5,50	11,77	13,24	2,54
	mb2	121,45	4,86	10,89	12,22	2,88
16B	st2	131,07	4,63	10,03	11,29	2,93
	mt2	129,96	4,48	9,64	10,66	3,02
	ss2	145,10	4,87	10,53	11,94	2,33
	ms2	157,03	4,34	10,19	11,56	2,44
	sb2	125,51	6,79	13,33	14,54	2,28
	mb2	116,42	5,69	12,83	14,29	1,51
16C	st2	135,22	4,31	9,12	10,13	2,53
	mt2	124,86	4,08	8,83	9,85	2,30
	ss2	-	-	-	-	-
	ms2	139,54	4,53	9,68	11,01	1,76
	sb2	135,42	6,44	12,00	13,58	1,45
	mb2	121,27	5,48	12,01	13,64	1,05
17A	st2	127,38	11,68	17,90	20,35	3,04
	mt2	133,40	5,67	15,70	18,12	2,88
	ss2	99,22	11,64	20,59	23,56	3,92
	ms2	117,39	9,95	16,72	19,36	4,27
	sb2	120,59	5,48	14,04	18,81	4,56
	mb2	127,93	6,10	14,73	22,40	1,21
17B	st2	123,67	5,52	13,45	22,26	2,73
	mt2	119,98	6,91	15,51	19,61	3,14
	ss2	116,99	12,36	18,38	25,81	0,29
	ms2	120,00	4,29	11,92	16,85	4,92
	sb2	120,67	12,35	18,59	22,30	2,45
	mb2	148,68	8,19	15,91	18,09	4,20
17C	st2	139,87	5,53	11,40	14,36	7,91
	mt2	-	-	-	-	-
	ss2	141,65	10,81	16,02	18,96	4,50
	ms2	151,17	6,85	13,26	16,00	6,52
	sb2	136,86	9,41	14,93	17,05	5,54
	mb2	132,77	11,25	16,80	20,12	4,56
18A	st2	197,15	5,02	10,36	11,97	1,80
	mt2	197,76	4,83	10,29	11,49	1,88
	ss2	198,34	4,97	10,14	11,49	1,85
	ms2	208,27	4,69	9,89	11,26	1,83



Rør nr.	Cylinder nr.	Tørvægt [g]	Vandabsorption i vol. % efter			Porøsitet i tryk-tank [vol. %]
			10 min.	24 timer	7 døgn	
	sb2	189,58	5,54	10,73	12,52	1,50
	mb2	189,60	6,78	12,07	13,69	1,67
18B	st2	-	-	-	-	-
	mt2	-	-	-	-	-
	ss2	199,22	3,96	9,86	11,39	2,22
	ms2	-	-	-	-	-
	sb2	-	-	-	-	-
	mb2	-	-	-	-	-
18C	st2	198,18	5,38	10,22	11,42	2,06
	mt2	197,77	4,63	9,71	11,13	1,67
	ss2	205,49	4,18	9,29	10,66	2,06
	ms2	198,63	4,73	10,17	11,19	2,52
	sb2	200,37	5,25	10,56	11,80	2,11
	mb2	195,87	5,88	10,87	12,53	1,29
19A	st2	313,64	7,69	14,36	16,80	3,50
	mt2	313,33	7,01	14,34	16,47	3,99
	ss2	271,22	6,85	14,97	17,01	4,06
	ms2	267,73	6,96	15,53	17,56	3,92
	sb2	506,82	7,77	16,62	18,56	4,25
	mb2	508,98	6,50	15,15	17,11	3,75
19B	st2	308,92	7,09	15,24	17,29	3,84
	mt2	332,51	5,70	13,36	15,27	3,63
	ss2	272,67	7,95	16,03	18,19	3,81
	ms2	266,28	8,11	15,67	17,83	3,43
	sb2	509,50	6,97	15,62	17,31	3,81
	mb2	511,31	6,56	14,84	16,55	3,75
19C	st2	318,41	6,30	14,06	16,05	3,24
	mt2	313,65	6,50	15,20	17,27	3,25
	ss2	286,86	6,58	14,85	16,98	3,07
	ms2	287,19	7,09	15,91	18,00	3,04
	sb2	515,59	6,77	15,89	17,81	3,54
	mb2	509,49	7,40	15,93	17,90	3,08
20B	st2	617,67	2,50	6,89	8,94	1,45
	mt2	634,50	3,47	7,41	9,30	1,32
	ss2	-	-	-	-	-
	ms2	635,61	3,70	7,61	9,25	1,50
	sb2	601,23	3,03	7,03	9,13	1,61
	mb2	599,92	4,04	7,86	9,62	1,44
20C	st2	614,98	2,70	7,18	9,03	2,00
	mt2	-	-	-	-	-
	ss2	621,06	2,57	7,03	8,91	1,53
	ms2	612,47	2,89	7,39	8,98	1,59
	sb2	613,26	2,54	7,03	8,84	1,41
	mb2	607,49	2,86	7,43	9,14	1,45
	st2	190,97	4,19	9,16	10,01	3,16
	mt2	201,70	4,40	8,86	9,64	2,54

Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid

Rør nr.	Cylinder nr.	Tørvægt [g]	Vandabsorption i vol. % efter			Porøsitet i tryk-tank [vol. %]
			10 min.	24 timer	7 døgn	
21A	ss2	197,35	4,15	8,84	9,62	2,73
	ms2	208,23	4,18	9,11	10,02	2,52
	sb2	206,42	4,06	8,90	9,76	2,58
	mb2	206,78	3,78	8,79	9,76	2,34
21B	st2	202,14	4,07	8,68	9,72	2,31
	mt2	200,02	4,23	8,73	9,69	2,34
	ss2	192,66	3,94	9,14	10,13	2,48
	ms2	209,26	3,70	8,54	9,49	1,94
	sb2	197,97	4,39	9,29	10,09	2,34
	mb2	207,69	4,00	9,20	10,28	2,17
22A	st2	108,21	4,68	10,43	12,29	3,57
	mt2	113,17	5,25	11,07	13,13	3,76
	ss2	115,37	5,74	11,13	12,85	3,23
	ms2	114,93	6,13	11,44	13,27	3,57
	sb2	86,37	10,35	15,45	18,14	2,18
	mb2	94,48	8,85	13,55	15,74	3,01
22B	st2	105,49	4,73	11,47	13,28	3,44
	mt2	103,92	4,28	10,45	12,25	3,48
	ss2	109,75	5,92	12,17	14,15	3,05
	ms2	111,57	4,29	10,81	12,52	2,83
	sb2	100,99	10,37	15,81	20,69	1,75
	mb2	116,02	7,46	12,32	17,19	1,27
22C	st2	108,15	4,18	10,61	12,52	2,68
	mt2	102,49	4,18	10,95	12,73	3,30
	ss2	117,30	4,82	11,30	13,10	3,80
	ms2	116,99	4,28	11,16	12,97	3,28
	sb2	82,96	7,54	14,62	16,60	3,16
	mb2	100,18	5,65	12,45	14,46	2,76
23A	st2	96,31	2,37	7,48	9,50	2,71
	mt2	99,79	2,92	7,29	9,69	2,35
	ss2	106,36	4,03	9,54	11,52	2,49
	ms2	93,80	3,90	8,80	11,16	2,14
	sb2	91,33	6,96	12,41	15,20	1,00
	mb2	88,69	5,23	10,45	12,59	1,88
23B	st2	103,61	3,17	8,17	10,65	2,04
	mt2	109,97	3,08	8,33	10,61	2,62
	ss2	109,92	4,93	10,42	13,19	1,52
	ms2	112,97	4,35	9,77	13,09	1,87
	sb2	90,34	6,65	12,32	14,34	1,09
	mb2	85,76	4,94	10,62	13,15	1,55
23C	st2	97,09	4,65	9,96	11,84	1,78
	mt2	98,82	4,24	9,50	11,53	2,17
	ss2	85,27	6,74	13,05	15,65	1,24
	ms2	83,10	5,58	11,02	13,10	1,89
	sb2	85,04	7,88	13,22	15,93	0,81
	mb2	85,68	5,31	10,96	13,30	1,37

Rør nr.	Cylinder nr.	Tørvægt [g]	Vandabsorption i vol. % efter			Porøsitet i tryk-tank [vol. %]
			10 min.	24 timer	7 døgn	
24A	st2	157,52	2,72	6,69	8,81	1,11
	mt2	166,69	3,13	7,29	9,42	1,51
	ss2	153,28	2,81	6,74	8,76	1,39
	ms2	156,07	3,27	7,21	9,25	1,36
	sb2	151,58	3,29	7,32	9,49	1,16
	mb2	162,92	3,36	7,61	9,69	1,67
24B	st2	142,64	2,34	6,16	7,97	1,98
	mt2	159,67	2,31	6,31	8,20	1,63
	ss2	151,14	2,40	6,07	7,81	1,99
	ms2	164,99	2,38	6,06	8,04	1,86
	sb2	162,91	2,58	6,27	8,46	1,63
	mb2	168,61	2,68	6,45	8,60	1,06
24C	st2	146,15	2,79	6,38	8,00	1,18
	mt2	164,44	2,33	6,11	7,90	1,25
	ss2	155,84	2,42	6,15	8,12	2,24
	ms2	163,50	2,37	5,99	7,78	1,24
	sb2	159,83	2,58	6,48	8,57	1,07
	mb2	160,52	3,12	6,81	8,98	1,68
25A	st2	174,06	2,83	8,72	10,69	2,59
	mt2	181,49	2,79	8,66	10,78	2,48
	ss2	180,99	3,04	9,33	11,34	2,54
	ms2	189,89	3,33	9,25	11,44	2,30
	sb2	176,81	5,24	11,91	13,89	2,04
	mb2	173,63	3,97	10,10	12,51	2,07

## BILAG 9. KAPILLARSUGFORSØG, METODEBESKRIVELSE

Metoden beskrevet i dette bilag er en gengivelse af metoden beskrevet af *Smeplass m. fl.* [5]. Prøvning af tildannede prøveemner<sup>h</sup> udføres efter følgende procedure:

- ◆ Eventuel maling af prøveemnernes sideflader for at hindre kapillarsugning langs sidefladerne.
- ◆ Tørring i et ventileret tørreskab ved 105 °C indtil vægttabet er mindre end 0,01 % pr. time, (eventuel i 7 døgn hvis konstant tørretid er mere hensigtsmæssigt), og derefter i minimum 2 timers afkøling i rumluft tildækket med plastpolie, vejning  $m_{tør, kapillar}$  (kg).
- ◆ 4 døgn sugning fra vandspejl (vær opmærksom på at hele fladen skal være i kontakt med vandspejlet, uden at vandspejlet står mere end 1-2 mm op af sidefladerne – kassen skal være tildækket), vejning efter 10 og 30 minutter, 1, 2, 3, 4 og 6 timer, 1, 2, 3 og 4 døgn  $m_{4 døgn}$  (kg).
- ◆ 3 døgn helt neddykket i vand før aftørring med fugtig klud og vejning i luft  $m_{7 døgn, luft}$  (kg) og i vand  $m_{7 døgn, vand}$  (kg).
- ◆ Minimum 1 døgn neddykket i vand i tryktank ved 50 atm tryk. Ved optagningen af prøveemnerne aftørres de med en fugtig klud og vejes i luft  $m_{tryk}$  (kg).

Når flere prøvesæt undersøges samtidig, må det totale antal prøveemner normalt ikke være større end 20, hvis det skal være muligt at gennemføre forsøgsproceduren for hvert prøveemne uden afvigelse fra de opgivne prøvningstidspunkter. Ved vejning skal følgende procedure følges for hvert prøveemne:

- ◆ Prøveemnet tages op fra risten (pas på ikke at dryppe på de andre prøveemner)
- ◆ Prøveemnet tørres forsigtigt med en fugtig klud og vejes
- ◆ Prøveemnet lægges tilbage på risten.

Ud fra målingerne beregnes prøveemnernes volumen, tørdensitet, sugeporøsitet  $p_S$ , makroporøsitet  $p_M$ , totalporøsitet  $p_T$  og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer  $p_{KM}$ :

$$V_{prøveemne} = \frac{(m_{7 døgn, luft} - m_{7 døgn, vand})}{\rho_{vand}} \quad (\text{m}^3)$$

$$\rho_{beton, tør} = \frac{m_{tør, kapillar}}{V_{prøveemne}} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$p_S = \frac{(m_{7 døgn, luft} - m_{tør, kapillar}) / \rho_{vand}}{V_{prøveemne}} \quad (\text{vol. \%})$$

---

<sup>h</sup> Norske undersøgelser udført af *Smeplass* [10] viser, at med en højde på prøveemnerne på 20 mm, vil fugtfronten erfaringsmæssigt bruge fra 2 til 20 timer på at nå oversiden af prøveemnerne. Disse erfaringstal er knyttet til forsøg med prøver af almindelig beton. Der er ikke refereret til forsøg med tørbeton. *Sellevold* har i [8] benyttet prøveemner af almindelig beton med en højde på 40 mm med fornuftige resultater. På baggrund af disse forsøg må det vurderes, at der opnås rimelige resultater, hvis prøveemnernes højde ikke overskrider 40 mm.

$$p_M = \frac{(m_{\text{tryk}} - m_{7 \text{ d\o{g}n, luft}}) / \rho_{\text{vand}}}{V_{\text{pr\o{v}eemne}}} \quad (\text{vol. \%})$$

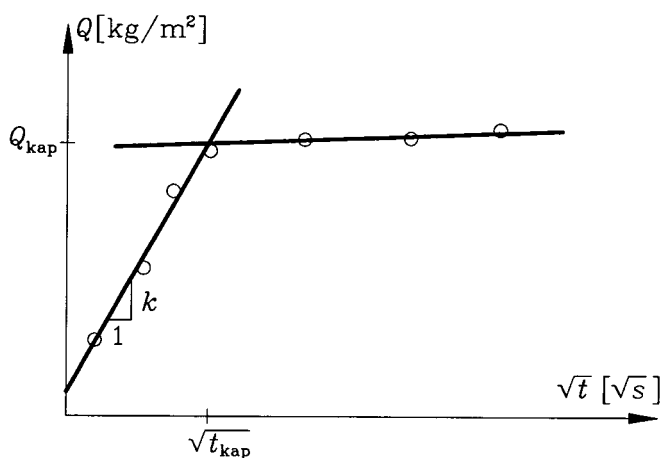
$$p_T = p_S + p_M \quad (\text{vol. \%})$$

$$p_{KM} = \frac{(m_{7 \text{ d\o{g}n, luft}} - m_{4 \text{ d\o{g}n}}) / \rho_{\text{vand}}}{V_{\text{pr\o{v}eemne}}} \quad (\text{vol. \%})$$

Derudover bruges de målte absorptionsværdier (udtrykt som vandmængde pr. arealenhed ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )) ved de angivne tidspunkter til at bestemme  $t_{\text{kap}}$  og en tilhørende absorptionsværdi  $Q_{\text{kap}}$ . Værdierne svarer til, at vandfronten netop har nået topfladen af prøveemnet, dvs. en stighøjde  $h$ . En forklaring på  $t_{\text{kap}}$  og  $Q_{\text{kap}}$  er givet i figur B9.1. Ud fra  $t_{\text{kap}}$  og  $Q_{\text{kap}}$  kan betonens modstandstal bestemmes:

$$\text{modstandstal} = \frac{t_{\text{kap}}}{h^2} \quad (\text{s} / \text{m}^2)$$

Skæringspunktet for de to kurvedele ( $t_{\text{kap}}$ ,  $Q_{\text{kap}}$ ) kan enten bestemmes grafisk eller ved hjælp af lineær regressionsanalyse.



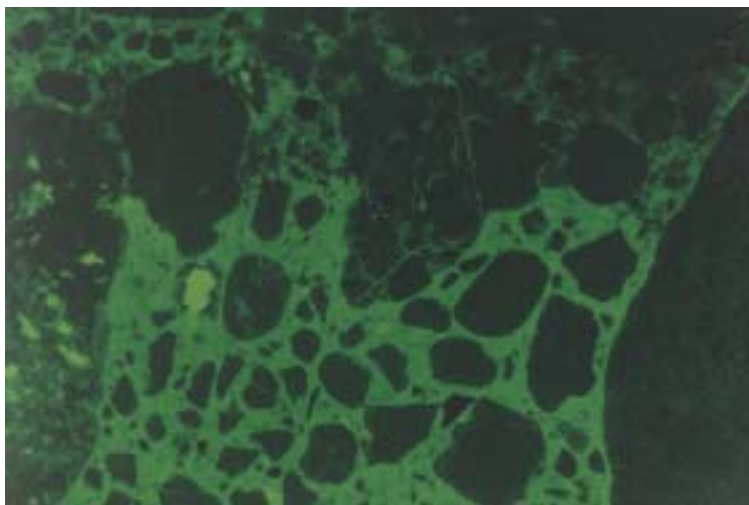
**Figur B9.1** Optegning af absorptionsværdierne og beregning af betonens modstandstal.

Pålideligheden af resultatet afhænger bla. af kvaliteten af regressionsanalysen. Lokalisering af skæringspunktet mellem kurvedelene, og dermed modstandstallet, afhænger af, at måleværdierne placeres i den rigtige kurvedel. Korrelationskoefficienten kan bruges som kriterium for placering af målepunkterne. Den bedste konfiguration giver normalt den største korrelationskoefficient. Der bør lægges større vægt på at opnå en høj korrelationskoefficient for den stejle kurvedel. Målepunkter nær skæringspunktet kan eventuel udelades.

Generelt bør korrelationskoefficienterne ikke være mindre end 0,95 for den stejle kurvedel og ikke mindre end 0,90 for den horisontale kurvedel. Ved afvigelse forkastes beregning af modstandstallet, og resultaterne præsenteres bare i grafisk form. Ved grafisk bestemmelse af skæringspunktet må kvaliteten på bestemmelse af modstandstallet vurderes skønsmæssigt.

## BILAG 10. UNDERSØGELSE AF TYNDSLIB

**1A top** Ved indersidens overflade er der en højere porøsitet end i resten af tværsnittet. Ellers en tæt og velgraderet beton. I enkelte porer er der tegn på ettringit/thaumasit- og gipsdannelser. Som omtalt i hovedrapportens afsnit 4.2.4 kan ettringit- og gipsudfældningerne være et tegn på indtrængning af sulfatholdigt vand i porerne. I figur B10.2 og B10.3 er vist eksempler på udfældning af ettringit/thaumasit. Figur B10.1 viser det porøse område ved indersidens overflade ved 25x forstørrelse. Tyndslibet er belyst med ultraviolet lys. De lysegrønne områder har høj porøsitet, og de mørkegrønne områder er tæt cementpasta. Den porøse zone har en dybde på 2-3 mm.



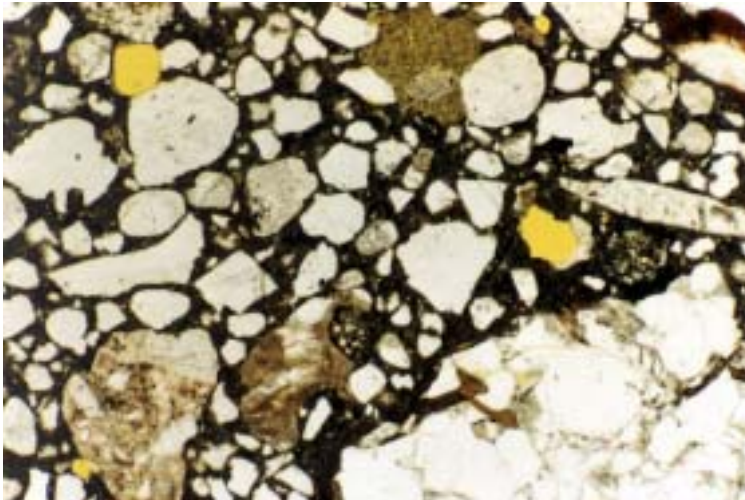
**Figur B10.1** Tyndslib af 1A top belyst med ultraviolet lys og ved 25x forstørrelse.

**1A bund** Ved indersidens overflade er der en højere porøsitet end i resten af tværsnittet. I enkelte porer er der tegn på ettringit/thaumasit- og gipsdannelser. Kun få revner. Ved overfladen er der en rødlig aflejring, som sandsynligvis er organiske aflejringer fra spildevandet. Den porøse zone har en dybde på ca. 2 mm.

**3A bund** Ved indersidens overflade er der tegn på udludning og dermed en højere porøsitet end i resten af tværsnittet. Ellers en velgraderet og tæt beton, dog med et tilsyneladende højt luftindhold. Der er ettringit/thaumasit dannelser i nogle af porerne. Figur B10.2 viser en pore med ettringit/thaumasit dannelser ved 63x forstørrelse. Tyndslibet er belyst med ikke-polariseret lys, og porerne fremstår derfor som gule områder. Ettringit/thaumasit krystallerne har en karakteristisk aflang struktur placeret på kryds og tværs af hinanden.

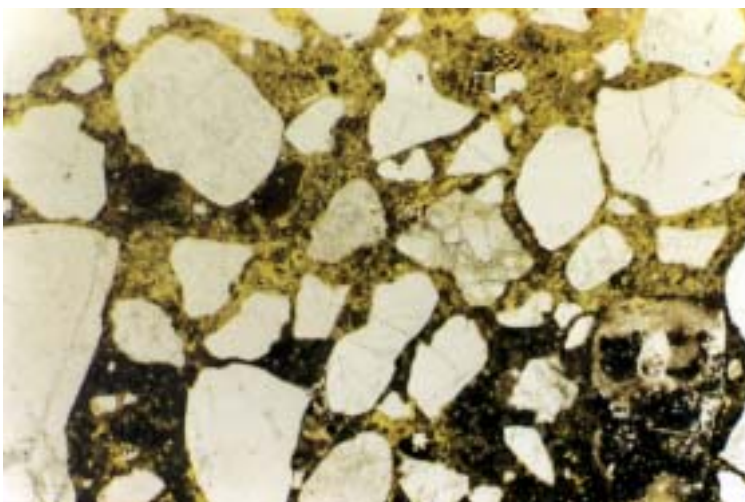
- 4A bund** Meget fin, velgraderet og tæt beton med overvejende små luftporer og kun tegn på udludning i en 0,5-1 mm dyb zone ved rørets inderside. Udludningen giver en højere porøsitet ved indersidens overflade. Ganske få svindrevner og enkelte udfældninger af ettringit/thaumasit i porerne.
- 5A top** Meget porøs ved ydersiden og mindre porøs ved indersiden, men generelt meget porøs. Tydelige tegn på udludning. Forholdsvis stor andel pasta i forhold til tilslag og en stor andel af små tilslagspartikler. Kun få revner i pasta og tilslag. Ganske lidt udfældning af krystaller i porerne.
- 5A bund** Stor andel af små tilslagspartikler. Meget porøs i en 5-8 mm dyb zone ved inderside og yderside af betonrøret, men mindre porøs i midten af tværsnittet. Organiske aflejringer ved indersidens overflade, sandsynligvis fra spildevandet. Ettringit/thaumasit dannelser i enkelte porer. Figur B10.3 viser en pore

- 6A bund** Velgraderet tæt beton med et lavt luftporeindhold. Kun få revner i pasta og tilslag. Generelt en lav porøsitet. Begrænset krystaludfældning i porerne. Figur B10.4 viser den tætte struktur ved 25x forstørrelse. Tyndslibet er belyst med ikke-polariseret lys.



**Figur B10.4** Tyndslib af 6A bund belyst med ikke-polariseret lys og ved 25x forstørrelse

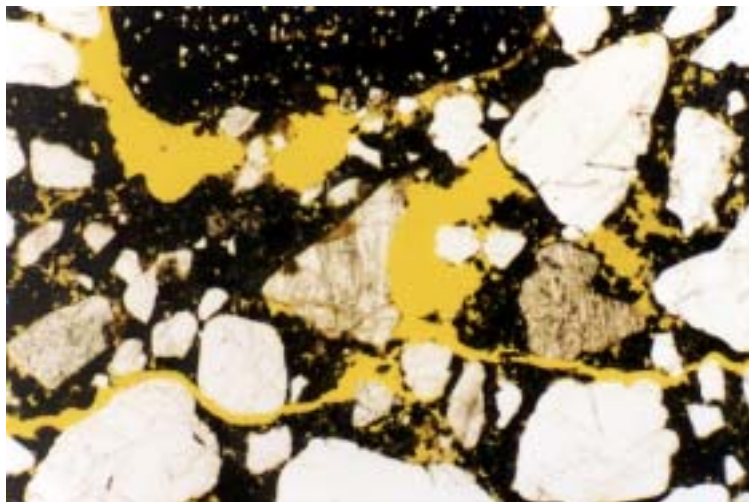
- 8C top** Meget porøs i en zone på 4-6 mm ved både inderside og yderside af betonrøret. I den øvrige del af tværsnittet er betonen rimelig velgraderet og tæt/mindre porøs. Der er tydelige tegn på udludning i områderne nær overfladerne. I områder ved rørets yderside er der udfældninger af ettringit/thaumasit i porerne.
- 8C bund** Meget porøs i en 5-7 mm dyb zone ved ydersiden pga. udludning. Få revner i pasta og tilslag. Ettringit/thaumasit dannelser i porerne. Højt luftindhold i nærheden af de store tilslagspartikler, hvilket tyder på dårlig vibrering og/eller komprimering.
- 9A top** Beton med en meget høj andel af små tilslagspartikler. Meget porøs ved ydersiden pga. udludning. Smal porøs zone (1-2 mm) ved betonrørets inderside. Omfattende udfældninger med ettringit/thaumasit i porerne, specielt udtalt nær betonrørets yderside. Overgangen mellem den meget porøse zone ved rørets yderside og det mindre porøse område længere inde i tværsnittet er vist i figur B10.5. Tyndslibet er belyst med ikke-polariseret lys og 25x forstørrelse.



**Figur B10.5** Tyndslib af 9A top belyst med ikke-polariseret lys ved 25x forstørrelse.

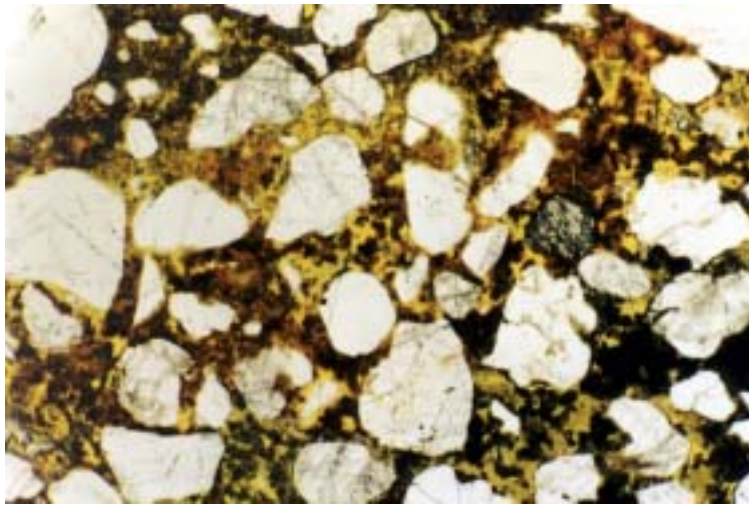


Tyndslibet viste områder med grove og sammenhængende porer, hvilket indikerer en høj porøsitet pga. kontinuerlige makroporer. Figur B10.6 viser et af disse områder. Tyndslibet er belyst med ikke-polariseret lys og 25x forstørrelse.



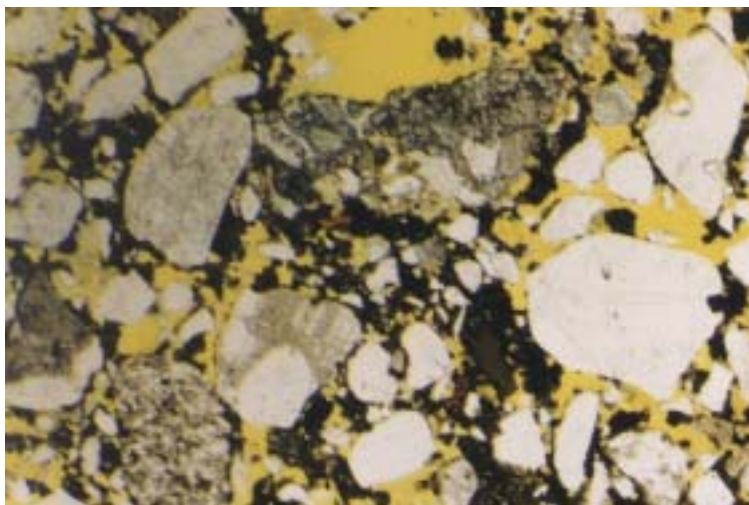
**Figur B10.6** Tyndslib af 9A top belyst med ikke-polariseret lys ved 25x forstørrelse.

- 9A bund** Generelt en porøs beton med en høj andel af små tilslagspartikler. Der er tydelige tegn på udludning, især ved ydersiden af betonrøret hvor en zone på 4-6 mm er meget porøs med ganske lidt bindemiddel mellem tilslagspartiklerne. Omfattende ettringit/thaumasit dannelser i porerne.
- 10A top** En porøs beton med en høj andel af små tilslagspartikler og et højt luft indhold. Betonen er især meget porøs ved ydersiden af betonrøret. Generel en dårlig graderet og porøs beton. Der er en del luftporer i midten af tværsnittet med udfældninger af ettringit/thaumasit.
- 10A bund** En porøs beton med en høj andel af små tilslagspartikler og med tydelige tegn på udludning dels ved betonrørets yderside, hvor betonen er meget porøs, og dels i midten af tværsnittet fra gennemsvivende vand hvor betonen er mere porøs end observeret ved 10A top. Ettringit/thaumasit udfældninger i porerne, især i midten af tværsnittet. Organiske aflejringer ved overfladen på betonrørets inderside. Figur B10.7 viser betonens porøse struktur ved 25x forstørrelse og i ikke-polariseret lys.



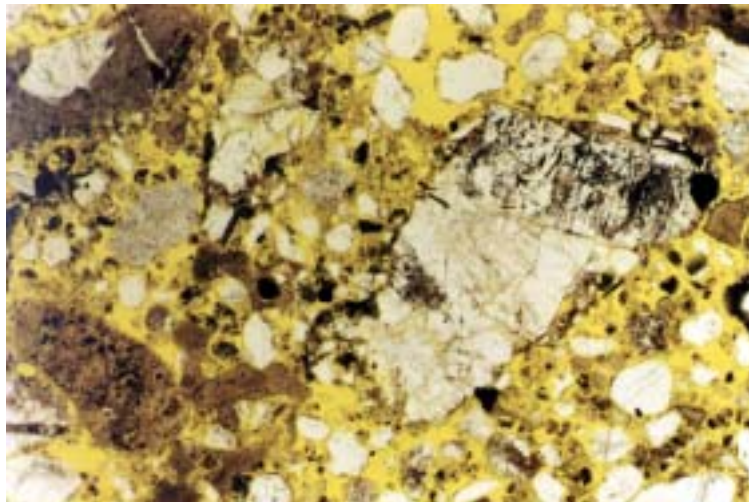
**Figur B10.7** Tyndslib af 10A bund belyst med ikke-polariseret lys ved 25x forstørrelse.

**11A top** Meget porøs struktur, med tydelige tegn på udludning nær betonrørets yderside. Høj andel af små tilslagspartikler og tilsyneladende et højt luftindhold. En del luftporer ved tilslagene, hvilket tyder på dårlig vibrering og/eller komprimering. Ettringit/thaumasit udfældninger i porerne i midten af tværsnittet og ved betonrørets inderside. Figur B10.8 viser betonens porøse struktur ved 25x forstørrelse og i ikke-polariseret lys.



**Figur B10.8** Tyndslib af 11A top belyst med ikke-polariseret lys ved 25x forstørrelse.

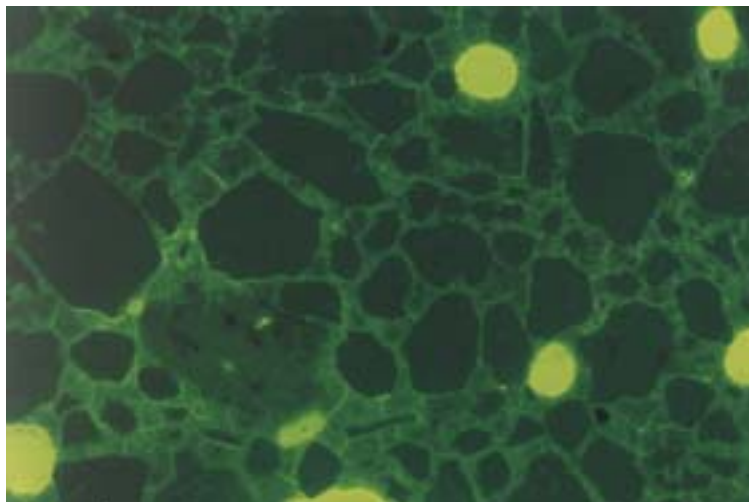
**11A bund** Meget porøs struktur med tydelige tegn på udludning i hele tværsnittet, hvilket skyldes gennemsivende vand. Høj andel af små tilslagspartikler. Organiske aflejringer på betonrørets indvendige overflade. Kun ganske få udfældninger i porerne. Den meget porøse struktur er vist i figur B10.9 ved 25x forstørrelse og i ikke-polariseret lys.



**Figur B10.9** Tyndslib af 11A top belyst med ikke-polariseret lys ved 25x forstørrelse.

**14A top** Tæt og velgraderet beton. På indersiden af betonrøret er der en 1-2 mm porøs zone, som skyldes svovlbrintekorrosion. En ca. 0,5 mm udludet zone ved betonrørets yderside. Der er en del svindrevner i betonen. Begrænset udfældning af ettringit/thaumasit i porerne. Generelt en god beton.

**14A bund** Struktur som 14A top. Smal porøs zone ved inderside og yderside af betonrøret pga. udludning. Der er en del svindrevner i betonen. Organisk aflejring på indvendige overflade sandsynligvis fra spildevandet. Figur B10.10 viser et udsnit i midten af tværsnittet med en del svindrevner. Tyndslibet er belyst med ultraviolet lys, så svindrevnerne fremstår som lysegrønne streger. Billedet er taget ved 25x forstørrelse.

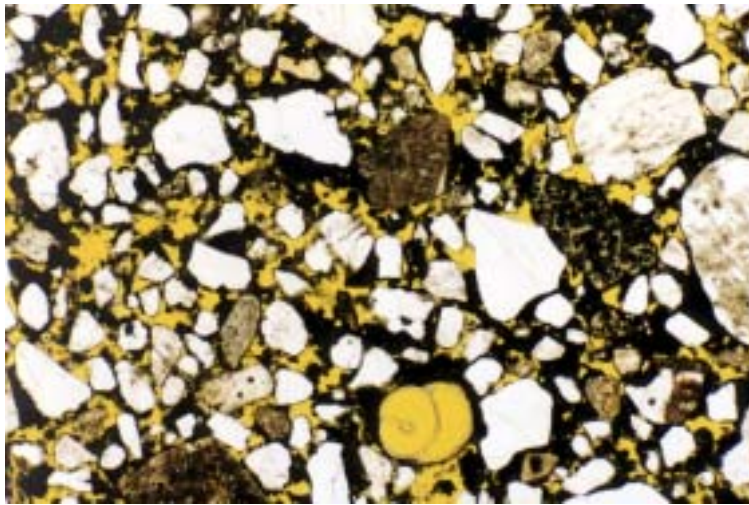


**Figur B10.10** Tyndslib af 14A bund belyst med ultraviolet lys ved 25x forstørrelse.

**17A top** Meget porøs struktur med en meget høj andel af små tilslagspartikler. Betonens høje porøsitet tyder på udludning pga. gennemsivende vand. Dette kan dog ikke passe, da prøveemnet er udtaget fra betonrørets top, og oplysninger fra Sæby kommune viser, at grundvandsspejlet ligger 3-3,5 m under betonrøret. Den høje porøsitet må derfor skyldes en utrolig dårlig betonblanding med utilstrækkelig vibrering og/eller komprimering. Der er kun få ettringit/thaumasit udfældninger i porerne. Der er en del calciumcarbonat



udfældninger i porerne. Figur B10.11 viser den meget porøse struktur ved 25x forstørrelse og i ikke-polariseret lys.

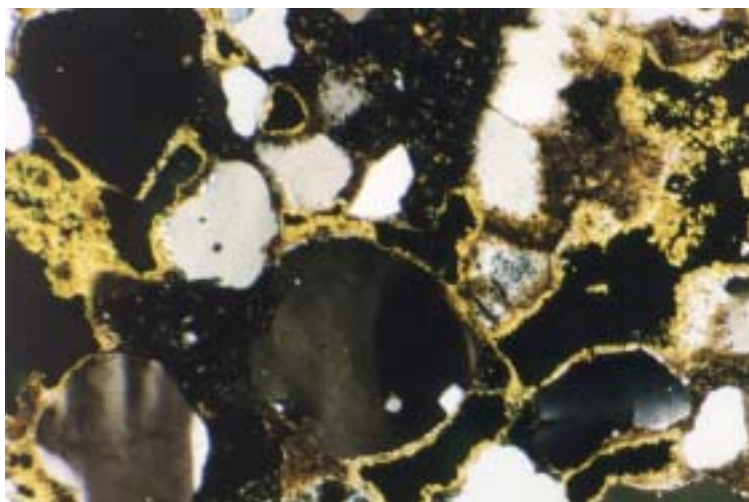


**Figur B10.11** Tyndslib af 17A top belyst med ikke-polariseret lys ved 25x forstørrelse.

**17A bund** Samme struktur som 17A top. Ved indersiden af betonrøret er der organiske aflejringer sandsynligvis fra spildevandet.

**21A bund** Tæt og velgraderet beton. Samme lave porøsitet i hele tværsnittet og kun få svindrevner. Næsten ingen ettringit/thaumasit udfældninger i porerne. En meget sund beton, hvilket også kunne forventes, da 21A er et helt nyt betonrør.

**22A top** Porøs struktur med høj andel af små tilslagspartikler. Tydelig tegn på udludning ved yderside af betonrøret. Der er næsten ingen ettringit/thaumasit udfældninger i porerne, men en del udfældninger af calciumhydroxid og calciumcarbonat i porerne. Tilstedeværelsen af calciumhydroxid og calciumcarbonat kan iagttages ved at belyse tyndslibet med polariseret lys. Herved fremstår calciumhydroxid og calciumcarbonat som gule områder. Figur B10.12 viser udfældninger af calciumhydroxid og calciumcarbonat ved 63x forstørrelse.



**Figur B10.12** Tyndslib af 22A top belyst med polariseret lys ved 63x forstørrelse.

- 22A bund** Samme struktur som 22A top. Betonen er meget udludet nær ydersiden af betonrøret. Der er ettringit/thaumasit udfældninger i porerne i midten af tværsnittet. Omfattende calciumcarbonat udfældninger i områderne ved indersiden og ydersiden af betonrøret.
- 24A bund** Tæt og velgraderet beton. Højere porøsitet ved inderside af betonrøret og i mindre grad ved ydersiden. Fine revner parallel med indersiden af røret. Calciumhydroxid og calciumcarbonat udfældninger i porerne i midten af tværsnittet. Generelt en god beton.
- 25A bund** Porøs struktur med en forholdsvis høj andel af små tilslagspartikler, dog ikke nær så udtalt som observeret ved eksempelvis 17A top. En del luftporer som følge af dårlig vibrering og/eller komprimering. Betonen er udludet i en 1-2 mm zone langs ydersiden af røret. Der er en del svindrevner i betonen. Næsten ingen ettringit/thaumasit udfældninger i porerne, men en del calciumhydroxid og calciumcarbonat udfældninger. På trods af den porøse struktur er betonen forholdsvis sund.

## BILAG 11. RESULTATER FRA EPMA FORSØGENE

Der er udført EPMA forsøg på prøver fra de afløbsstrækninger, hvor der enten er synlig korrosion eller en speciel interessant betonoverflade/coatning (afløbsstrækning 17).

Rør nr.	Anlægsår	Cylinder nr.	Startside	Korrosionsform
1C	1966	st3 og sb3	Inderside	Svovlbrinte korrosion
8C	1953	mb3	Yderside	Udvendig korrosion, udludning
9D	1943	sb3	Yderside	Udvendig korrosion, udludning
10B	1948	mb3	Yderside	Udvendig korrosion, udludning
11A	1916	mt3 og sb3	Yderside	Udvendig korrosion, udludning
14A	1962	mt3 og mb3	Inderside	Svovlbrinte korrosion
17B	1930	st3	Inderside	Speciel betonoverflade, coating
22C	1935	st3 og sb3	Yderside	Udvendig korrosion, udludning

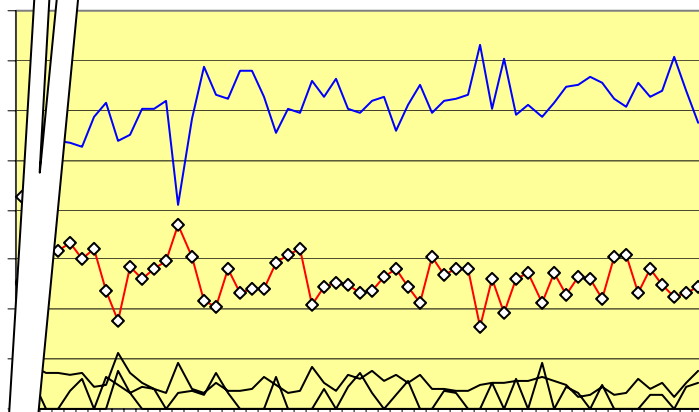
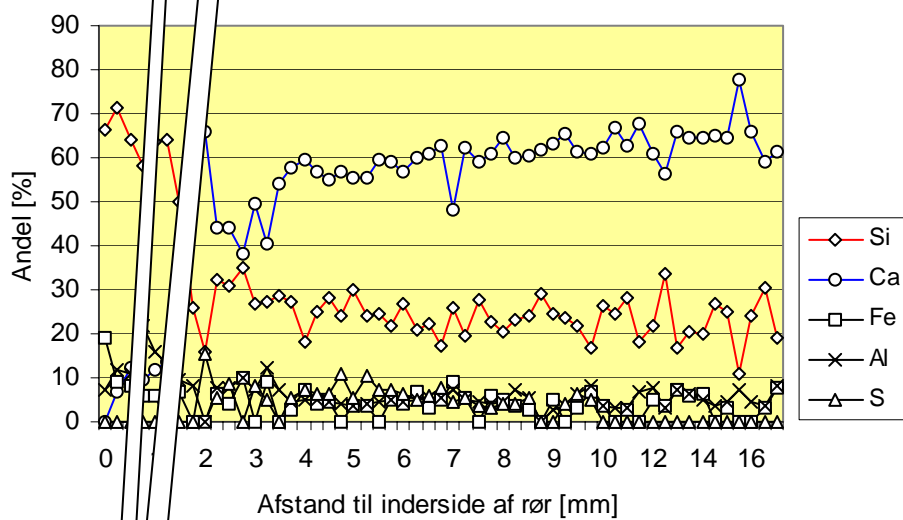
Resultaterne er givet som den %-vise andel<sup>i</sup> af grundstofferne silicium *Si*, calcium *Ca*, jern *Fe*, aluminium *Al* og svovl *S*. Figur B11.1 til B11.12 viser resultaterne for de enkelte prøveemner. Generelt var betonrørens godstykkelser større end den maksimale prøvestørrelse, og derfor var det ikke muligt at få hele tværsnittet undersøgt. Det blev derfor valgt at starte målingerne fra den side, som var korroderet. Målingerne blev foretaget så langt ind i tværsnittet, som prøvestørrelsen tillod.

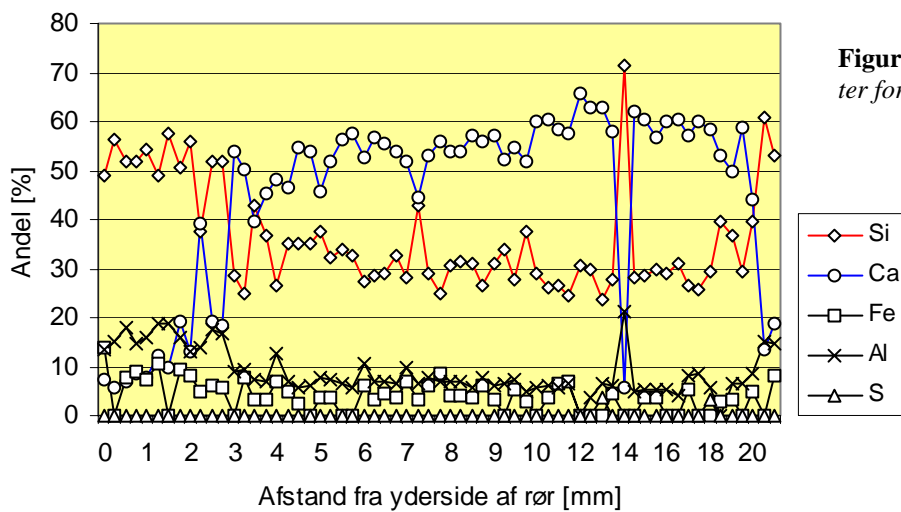
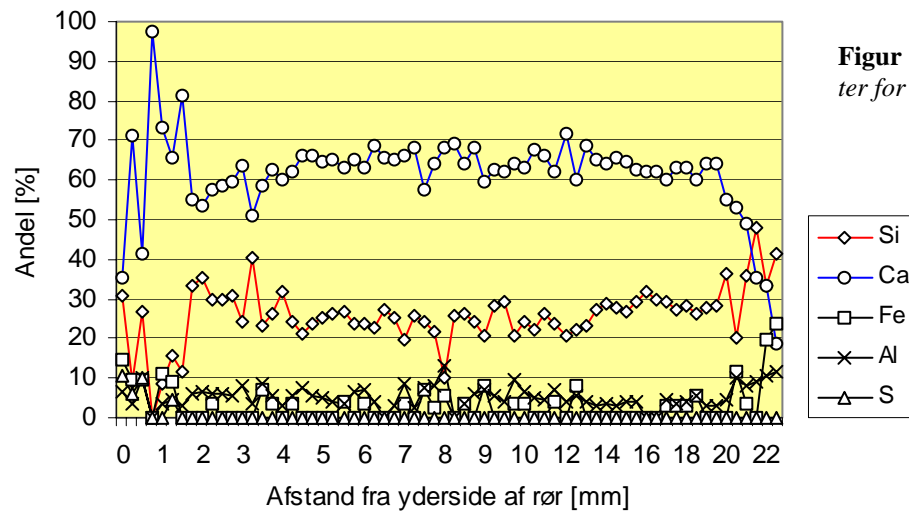
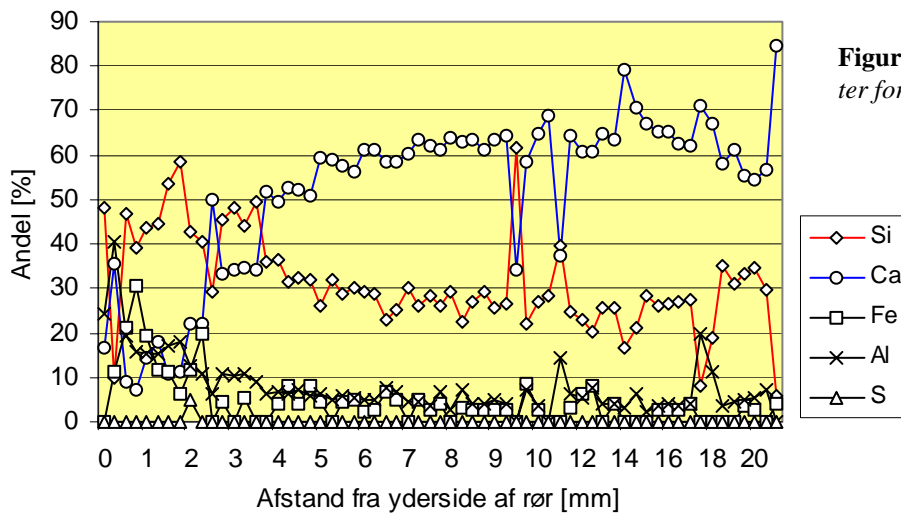
Generelt bærer prøverne præg af udludning af calcium fra betonrørens overflader. Denne udludning er specielt udtalt ved betonrørene, som har været udsat for udvendig korrosion. For 8C og 9D er calcium udludet i de yderste 5-8 mm af prøven (figur B11.3 og B11.4). For 11A har udludningen af calcium påvirket de yderste 2-4 mm (figur B11.6 og B11.7), mens det for 10B og 22C kun drejer sig om de yderste 1-2 mm (figur B11.5, B11.11 og B11.12). Ved de øvrige betonrør er udludningen af calcium målt fra betonrørens inderside. Ved bundløbet af 14A blev der målt calciumudludning fra de inderste 5-7 mm (figur B11.9). Fra toppen af 1C blev udludningen målt til 3-5 mm (figur B11.1), mens den for bundløbet af 1C, toppen af 14C og for 17B blev målt til 2-3 mm (figur B11.2, B11.8 og B11.10). For de betonrør, som har været udsat for svovlbrintekorrosion, er der således ikke noget der tyder på at betonrørene er mere nedbrudt i toppen, hvor de har været udsat for svovlsyre end i rørens bundløb. I betragtning af betonrørens alder, og at denne undersøgelse kun omfatter de mest korroderede betonrør, må det vurderes, at udludnings hastigheden har været forholdsvis lav.

Ved alle prøverne er der en tendens til at siliciums, jerns og aluminiums %-vise andel stiger, når den %-vise andel af calcium falder. Dette indikerer, at udludningen/nedbrydningen af cementpastaen hovedsagelig er begrænset til fjernelse af calcium. Da der tilsyneladende ikke samtidig fjernes silicium, jern og aluminium er der grund til at tro, at en stor del af den faldende calciumkoncentration skyldes udludning af calciumhydroxid og calciumcarbonat.

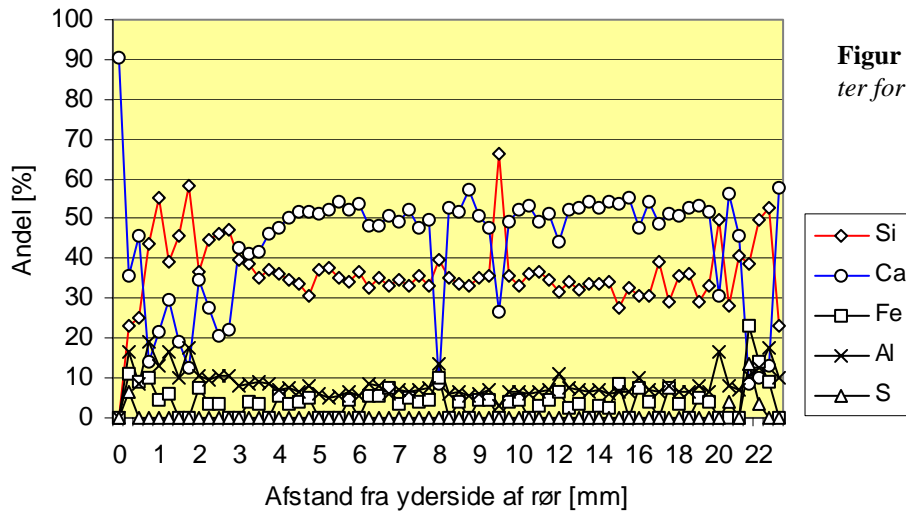
For alle betonrørene er svovlkoncentrationen meget lav, hvilket især er overraskende for de betonrør, som har været udsat for svovlbrintekorrosion. Ved tilsvarende norske undersøgelser blev der ved de betonrør, som havde været udsat for svovlbrintekorrosion, målt en betydelig højere koncentration af svovl i den del af betonværsnittet, hvor cementpastaen var nedbrudt. Det var derfor ventet, at svovlkoncentrationen ville være højere for 1C og 14A.

<sup>i</sup> Betonens indhold af f.eks. silicium *Si* bliver registreret som den %-vise andel, set i forhold til betonens samlede indhold af de grundstoffer, der skannes for.

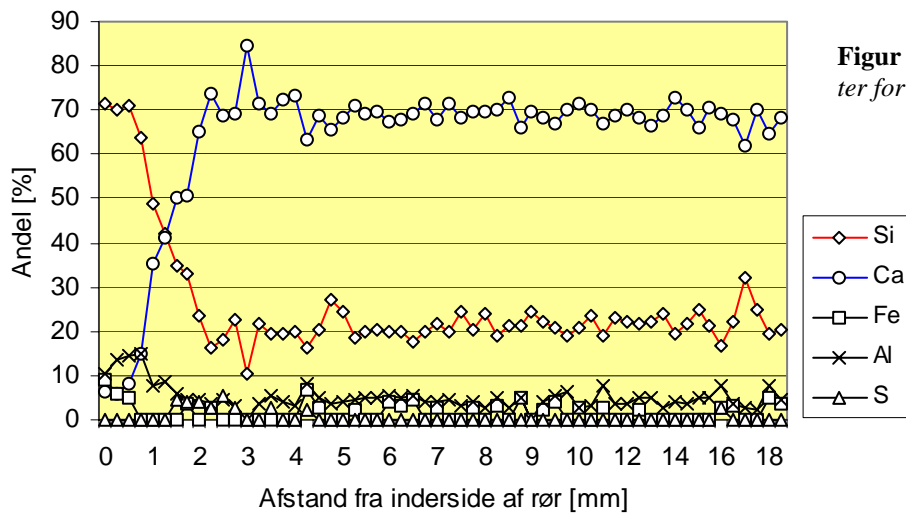




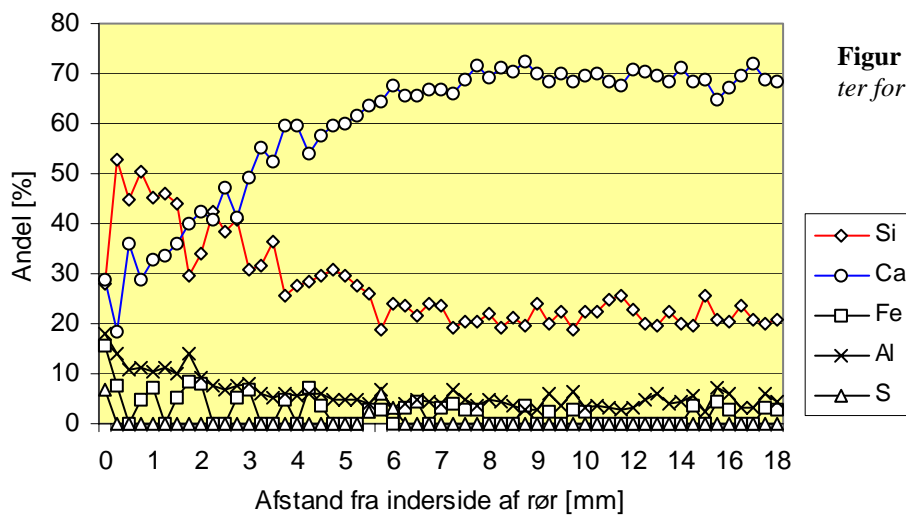




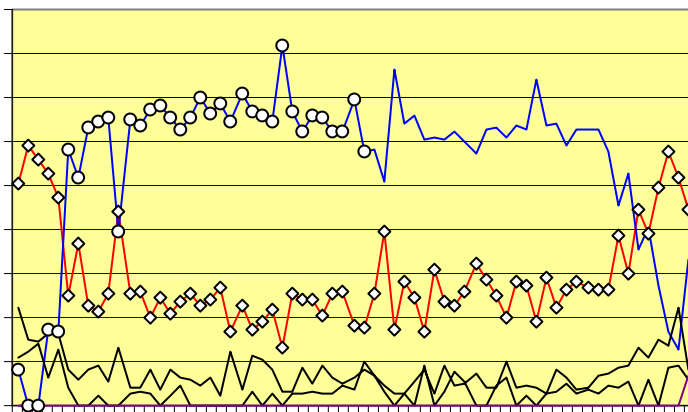
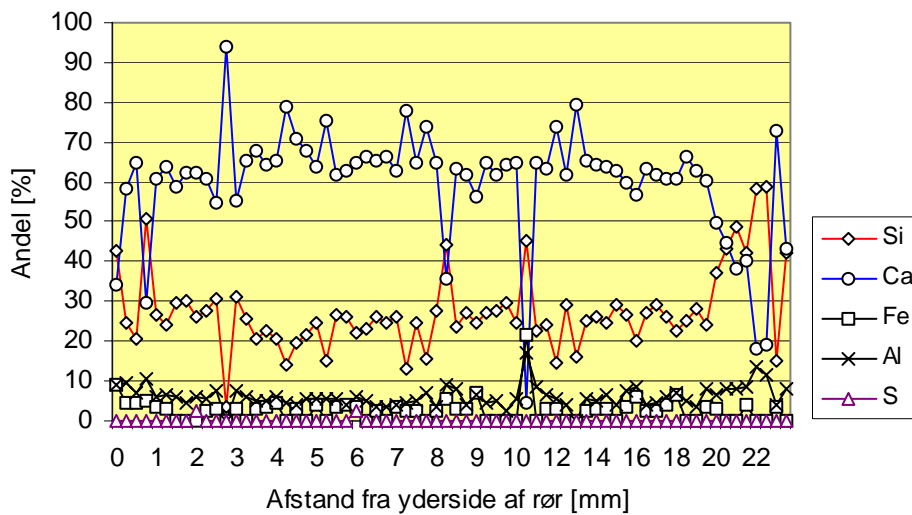
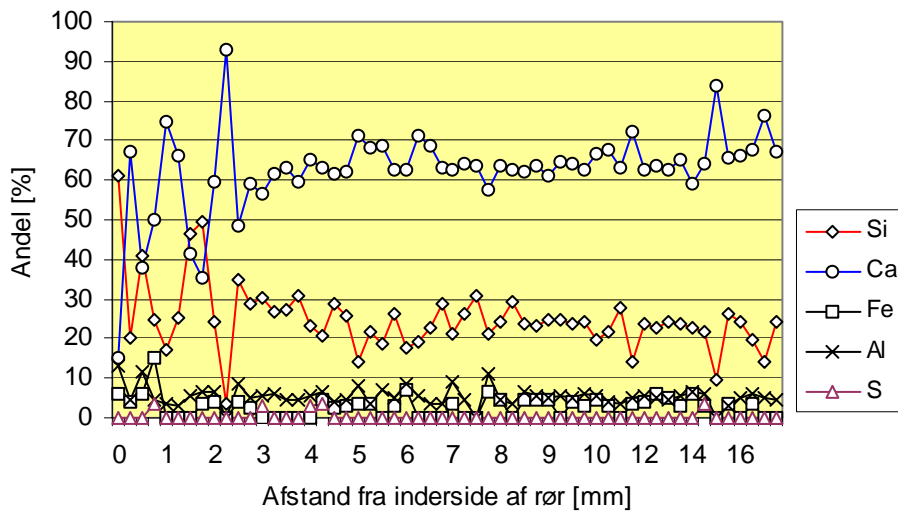
**Figur B11.7** EPMA resultater for 11A, sb3.



**Figur B11.8** EPMA resultater for 14A, mt3.

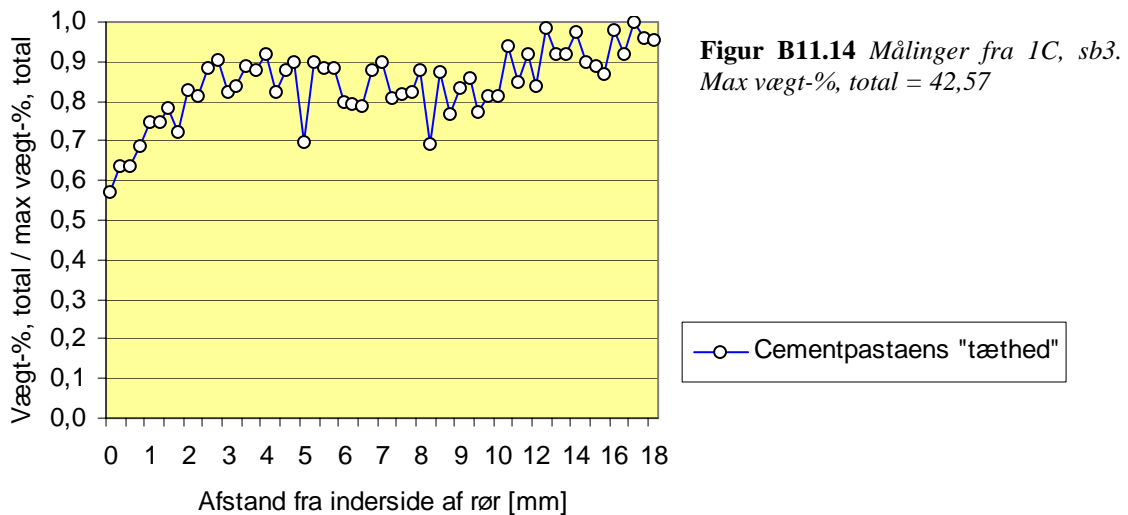
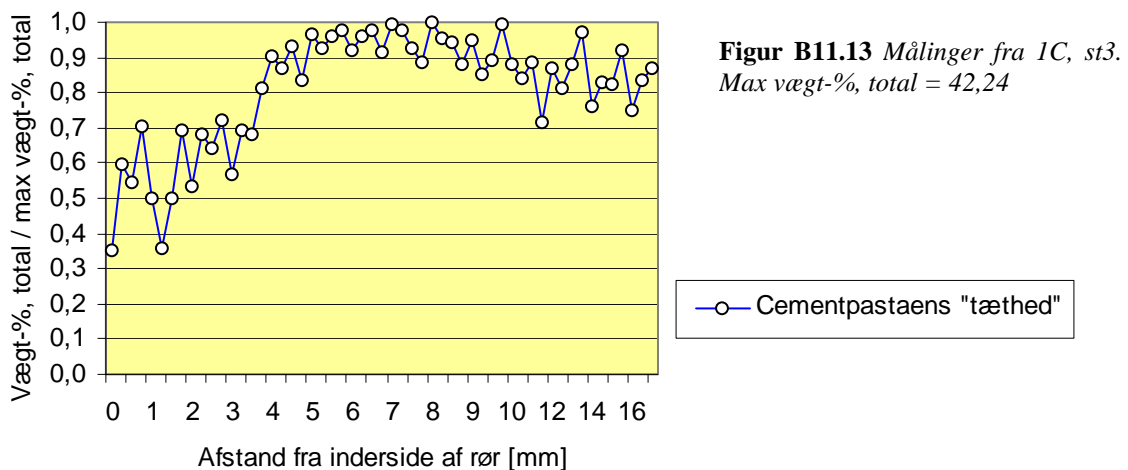


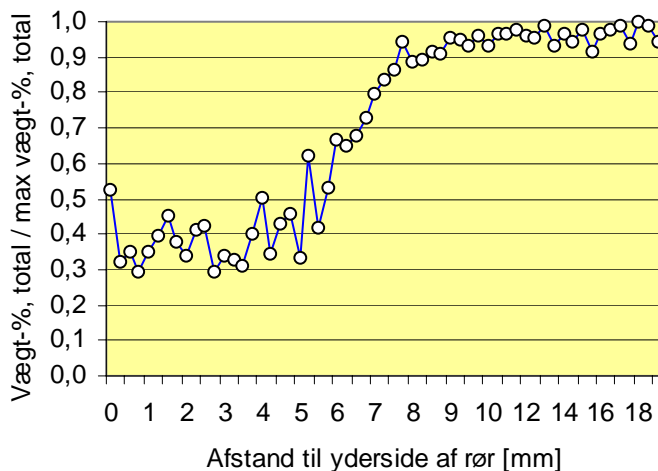
**Figur B11.9** EPMA resultater for 14A, mb3.



Resultaterne fra EPMA målingerne bliver registreret som vægt-%. Ved at summere de enkelte grundstoffers vægt-% får man den totale vægt-% i hvert målepunkt. Den totale vægt-% kan bruges som et mål for tætheden af den analyserede cementpasta. Ved at dividere den total vægt-% med den største totale vægt-% registreret i betontværsnittet, er det muligt at optegne, hvorledes cementpastaens/betonens "tæthed"/porøsitet varierer ind gennem tværsnittet. Denne variation er for de enkelte prøver vist i figur B11.13 til B11.24.

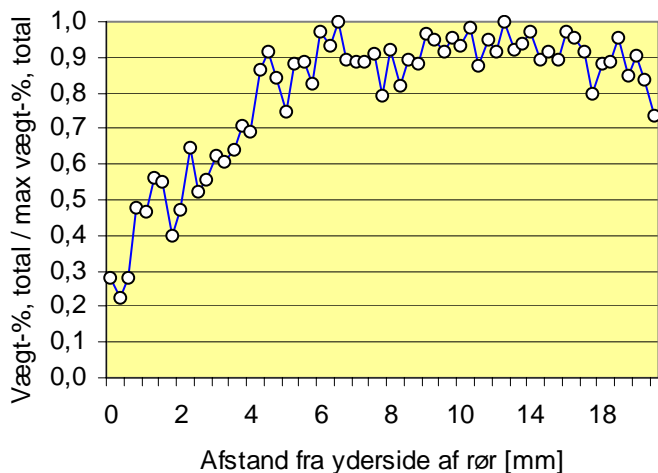
Ved aflæsning fra figurerne skal man være opmærksom på, at x-aksen ændrer inddeling ved 10 mm. Denne ændring skyldes, at afstanden mellem målepunkterne efter 10 mm fordobles (se afsnit 1.2.8).





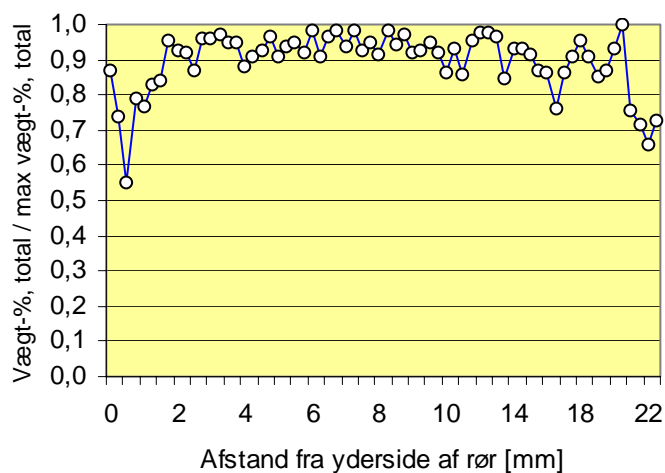
**Figur B11.15** Målinger fra 8C, mb3.  
Max vægt-%, total = 45,99

○ Cementpastaens "tæthed"



**Figur B11.16** Målinger fra 9D, sb3.  
Max vægt-%, total = 45,88

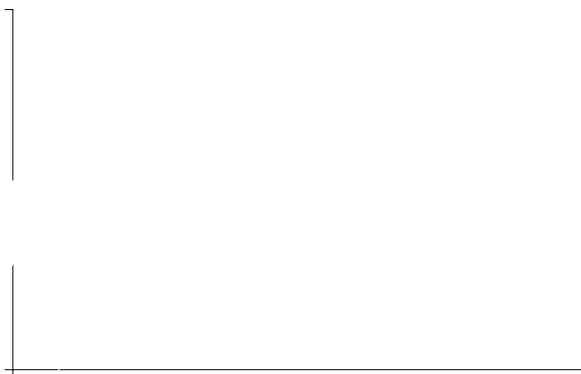
○ Cementpastaens "tæthed"

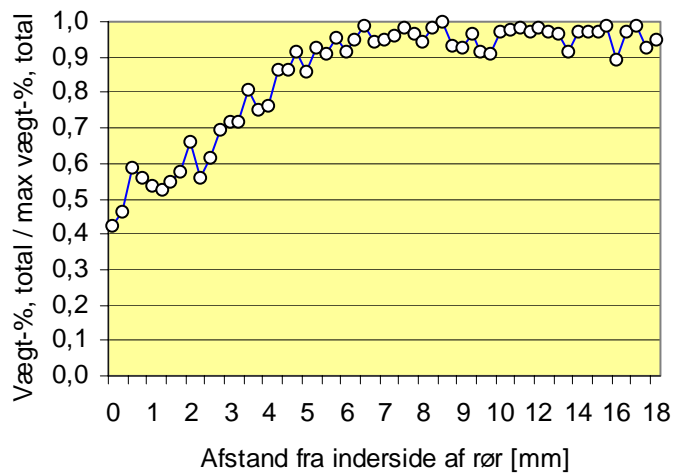


**Figur B11.17** Målinger fra 10B, mb3.  
Max vægt-%, total = 42,78

○ Cementpastaens "tæthed"

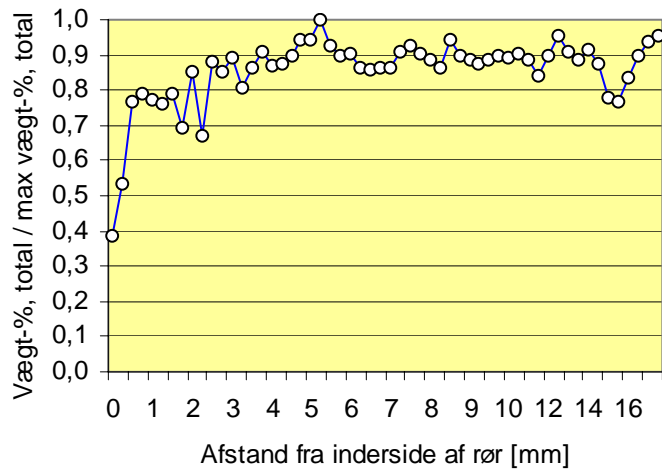
—





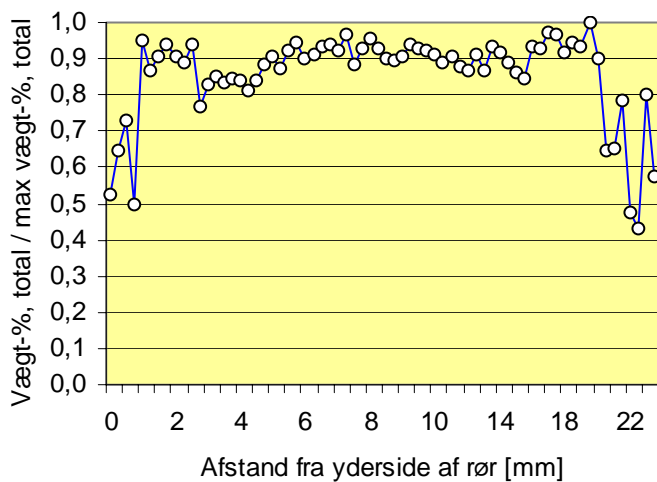
**Figur B11.21** Målinger fra 14A, mb3.  
Max vægt-%, total = 45,30

—○— Cementpastaens "tæthed"



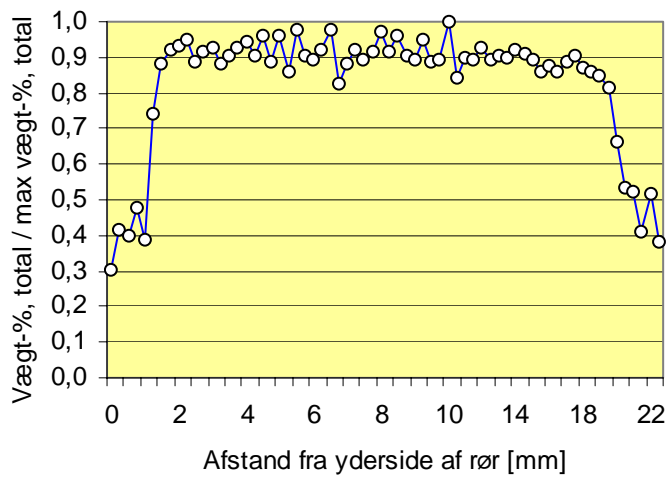
**Figur B11.22** Målinger fra 17B, st3.  
Max vægt-%, total = 46,58

—○— Cementpastaens "tæthed"



**Figur B11.23** Målinger fra 1C, st3.  
Max vægt-%, total = 46,37

—○— Cementpastaens "tæthed"



**Figur B11.24** Målinger fra 22C, sb3.  
 Max vægt-%, total = 46,98

—○— Cementpastaens "tæthed"

## BILAG 12. MÅLING AF BETONRØRENE'S BRUDBELASTNINGER

Rør nr.	Diameter [mm]	Længde af rør [mm]	Målt brudstyrke [kN]	Beregnet brudspænding <sup>j</sup> [MPa]
1A	250	1000	43,27	14,17
1B	250	1000	35,98	11,78
1C	250	1000	36,52	11,93
2A	700	1000	67,76	13,03
2B	700	1000	59,75	11,92
3A	250	800	25,51	11,53
4A	300	800	27,89	13,25
8C	250	800	14,43	7,40
9A	230	800	4,37	3,34
13A	250	1000	35,10	11,09
14A	250	1000	37,72	11,99
15A	250	1000	39,06	12,96
16A	200	1000	27,83	8,62
16B	200	1000	22,84	7,41
16C	200	1000	26,50	8,48
17A	250	800	7,29	4,88
18A	450	1000	30,81	10,53
18B	450	1000	35,37	11,68
18C	450	1000	36,06	11,66
19A	500 (spidsbundet)	800	35,91	-
19B	500 (spidsbundet)	800	35,69	-
19C	500 (spidsbundet)	800	36,54	-
21A	250	1230	70,35	10,19
21B	250	1230	73,85	10,87
21C	250	1230	81,41	11,88
21D	250	1230	76,78	11,15
24A	200	1000	45,40	13,64
24B	200	1000	53,87	16,04
24C	200	1000	43,97	13,22
25A	400	800	17,66	8,62

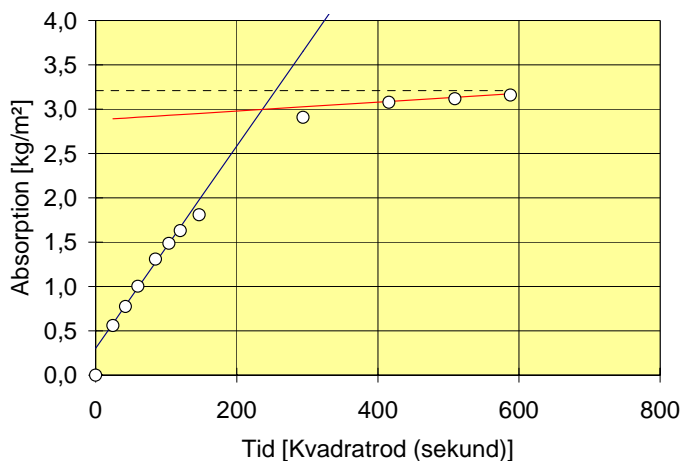
<sup>j</sup> Ved beregning af brudspændingerne er der benyttet en reduceret rørlængde, svarende til den virkelige rørlængde minus den del af rørene, hvor prøveemnerne er boret ud (0,3 m). Betonens rumvægt er tilnærmelsesvis sat til 24 kN/m<sup>3</sup>.



## BILAG 13. RESULTATER FRA KAPILLARSUGNINGSFORSØG

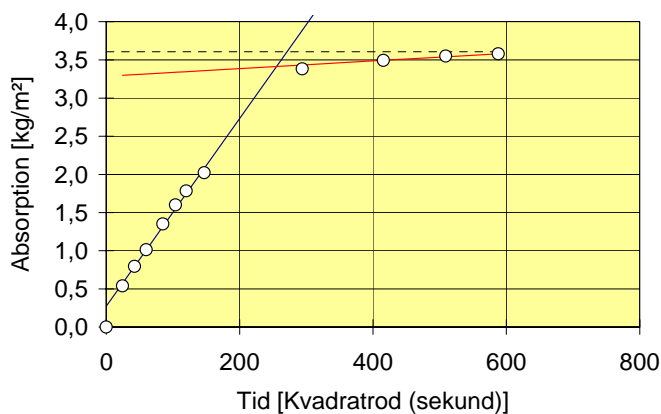
Der er udført kapillarsugningsforsøg på 8 prøveemner. 6 af prøveemnerne (1B, 5A, 11A, 13A, 15A og 24C) er valgt fordi de har en lav makroporøsitet, mens de sidste 2 prøveemner (3A og 16A) er valgt, fordi de har en forholdsvis høj makroporøsitet.

Prøveemnernes vandabsorption er målt efter fastlagte tidsintervaller (se bilag 9), og resultaterne er vist i figur B13.1 – B13.8.



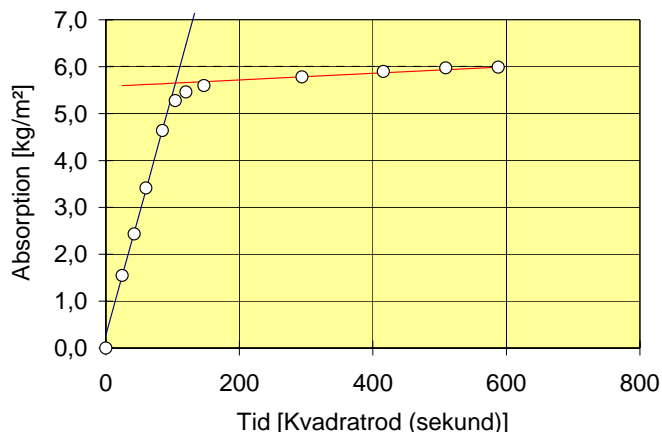
**Figur B13.1** Absorptionsmålinger for 1B, mb3. Korrelationskoefficienten er henholdsvis 0,998 for den stejle kurvedel og 0,999 for den anden kurvedel.

På baggrund af forsøgsresultaterne kan modstandstallet for 1B, mb3 udregnes til  $4,89 \cdot 10^7$  s/m<sup>2</sup>, og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer kan udregnes til 0,151 vol. %.



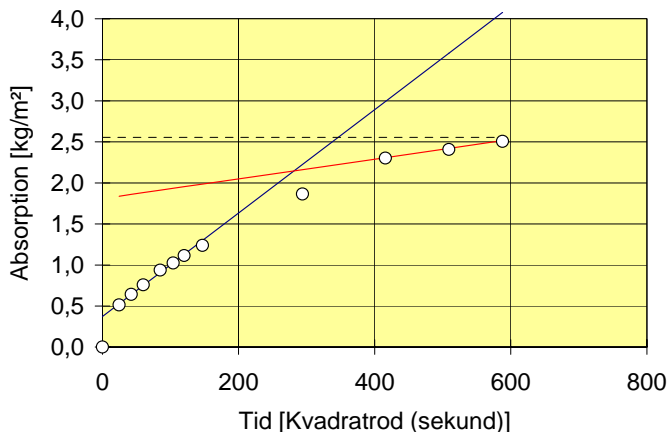
**Figur B13.2** Absorptionsmålinger for 5A, mb3. Korrelationskoefficienten er henholdsvis 0,997 for den stejle kurvedel og 0,993 for den anden kurvedel.

Ud fra forsøgsresultaterne præsenteret i figur B13.2 kan modstandstallet for 5A, mb3 udregnes til  $5,67 \cdot 10^7$  s/m<sup>2</sup>, og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer kan udregnes til 0,075 vol. %.



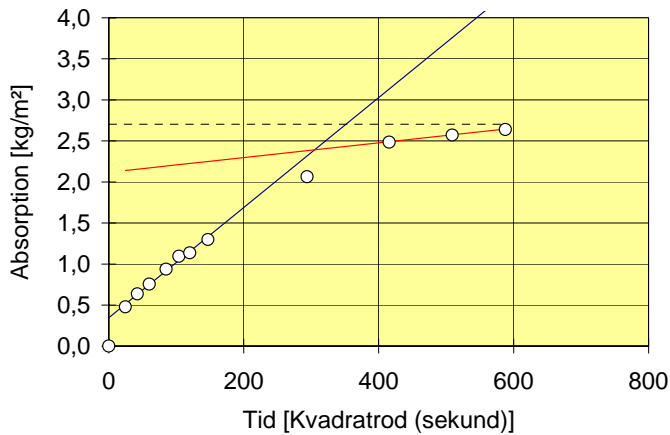
**Figur B13.3** Absorptionsmålinger for 11A, ms3. Korrelationskoefficienten er henholdsvis 1,000 for den stejle kurvedel og 0,976 for den anden kurvedel.

Resultaterne i figur B13.3 giver et modstandstal for 11A, ms3 på  $2,40 \cdot 10^7$  s/m<sup>2</sup>, og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer udregnes til 0,072 vol. %.



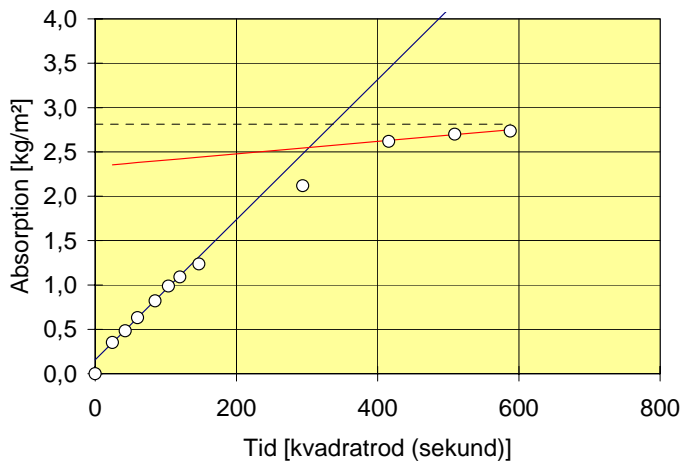
**Figur B13.4** Absorptionsmålinger for 13A, mb3. Korrelationskoefficienten er henholdsvis 0,998 for den stejle kurvedel og 1,000 for den anden kurvedel.

Ud fra forsøgsresultaterne præsenteret i figur B13.4 kan modstandstallet for 13A, mb3 udregnes til  $8,52 \cdot 10^7$  s/m<sup>2</sup>, og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer kan udregnes til 0,167 vol. %.



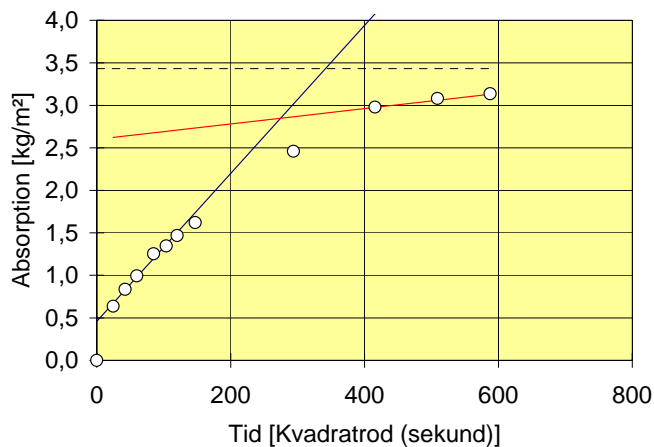
**Figur B13.5** Absorptionsmålinger for 15A, mb3. Korrelationskoefficienten er henholdsvis 0,995 for den stejle kurvedel og 1,000 for den anden kurvedel.

På baggrund af forsøgsresultaterne i figur B13.5 kan modstandstallet for 15A, mb3 udregnes til  $10,04 \cdot 10^7$  s/m<sup>2</sup>, og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer kan udregnes til 0,217 vol. %.



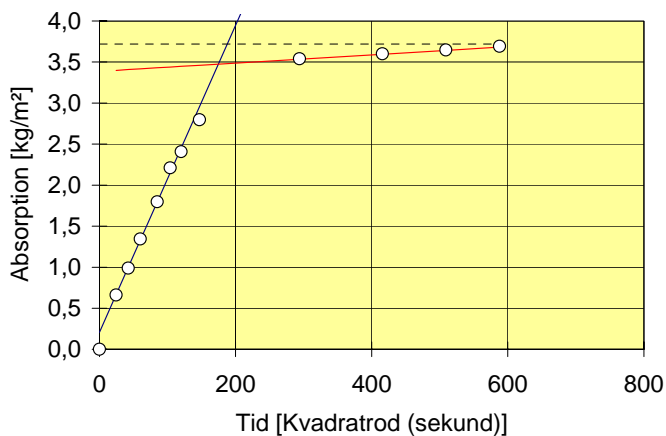
**Figur B13.6** Absorptionsmålinger for 24C, sb3. Korrelationskoefficienten er henholdsvis 1,000 for den stejle kurvedel og 0,985 for den anden kurvedel.

Resultaterne i figur B13.6 giver et modstandstal for 24C, sb3 på  $8,06 \cdot 10^7$  s/m<sup>2</sup>, og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer udregnes til 0,226 vol. %.



**Figur B13.7** Absorptionsmålinger for 3A, mb3. Korrelationskoefficienten er henholdsvis 0,994 for den stejle kurvedel og 0,993 for den anden kurvedel.

Ud fra forsøgsresultaterne præsenteret i figur B13.7 kan modstandstallet for 3A, mb3 udregnes til  $5,08 \cdot 10^7 \text{ s/m}^2$ , og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer kan udregnes til 0,917 vol. %.



**Figur B13.8** Absorptionsmålinger for 16A, mb3. Korrelationskoefficienten er 0,999 for begge kurvedele.

På baggrund af forsøgsresultaterne i figur B13.8 kan modstandstallet for 16A, mb3 udregnes til  $4,10 \cdot 10^7 \text{ s/m}^2$ , og porøsiteten forårsaget af kontinuerlige makroporer kan udregnes til 0,093 vol. %.

## BILAG 14. PRÆPARERING AF PLANSLIB TIL EPMA FORSØG

Følgende fremgangsmåde blev benyttet ved præpareringen af de planslib, som blev brugt ved EPMA forsøgene. Præpareringen blev foretaget hos *Slip-Laboratoriet* ved *Institut for Geologi og Bergteknikk* ved *NTNU* i Trondheim, Norge.

- ◆ Belægning /overflade imprægnering med EPOTEK 301 under vakuum.
- ◆ Hærdning af epoxy i varmeskab i 1 døgn ved 40 °C.
- ◆ Savning og tilpasning af prøver til 32 mm støbeforme.
- ◆ Slibning af prøveoverflade på 25 µm diamantskive. Ultralydsrens (kort tid). Tørring natten over ved 40 °C.
- ◆ Prøverne støbes/imprægneres under vakuum i *bakelitt* støbeforme. Epoxy hærdes i varmeskab natten over ved 40 °C.
- ◆ Prøveoverfladen slibes i plansliber. Derefter håndslibning på 30 µm diamantskive. Ultralydsrens og tørring natten over i varmeskab ved 40 °C.
- ◆ Prøveoverfladen imprægneres under vakuum. Porelukning med EPOTEK 301. Ny hærdning natten over ved 40 °C.
- ◆ Fjerning af overflødig epoxy. Slibning på 25 µm diamantskive ned til samme niveau som før imprægneringen. Derefter trinvis slibning på 15 og 9 µm diamantskive. Til slut slibning på glasskive med 4-7 µm diamanter. Afsluttende rengøring i ultralydsbad før polering.
- ◆ Trinvis polering med 6, 3, 1 og 0,25 µm diamanter.
- ◆ Rengøring af prøverne.

## BILAG 15. RESULTATER FRA MÅLING AF CYLINDERTRYKSTYRKE

Cylinderne er udboret og klargjort i henhold til DS 423.22 [6]. Alle cylinderne har en diameter på ca. 50 mm, mens cylinderhøjden afhænger af betonrørens godstykkelse. 3 døgn før prøvningen blev cylinderne lagt i et vandbad ved ca. 18 °C. Før trykprøvningen er cylindernes densitet bestemt.

Trykmaskinen *Schenck TREBEL* blev indstillet, så belastningen blev påført med 2 kN/sekund. For at neutralisere eventuelle små ujævnheder på cylindernes trykflader blev der lagt én 3 mm papskive mellem cylinderen og henholdsvis trykhoved og understøtning.

Resultaterne er vist i det følgende. Enkelte af betonrørene havde en godstykkelse, som var så lille, at det ikke var muligt at tildanne trykfladerne så de blev plan-parallele

Rør nr.	Cylinder nr.	Diameter [mm]	Højde [mm]	Trykstyrke [kN]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
1A	st1	50,8	28,3	190,0	2441,7
	mt1	50,8	25,9	192,0	2430,7
	ss1	50,8	24,5	190,0	2443,2
	ms1	50,8	20,5	231,3	2434,1
	sb1	50,8	29,4	160,5	2428,1
	mb1	50,8	27,2	193,0	2435,5
1B	st1	50,7	26,1	189,0	2457,7
	mt1	50,8	24,7	224,5	2438,0
	ss1	50,8	28,5	168,5	2430,1
	ms1	50,8	26,5	193,5	2423,9
	sb1	50,8	27,2	187,8	2459,5
	mb1	50,8	29,6	180,0	2442,3
1C	st1	50,8	29,2	171,8	2443,6
	mt1	50,7	26,0	173,5	2430,2
	ss1	50,7	27,7	158,0	2437,3
	ms1	50,8	26,2	177,5	2424,0
	sb1	50,8	24,1	175,0	2439,3
	mb1	50,8	24,8	173,0	2414,3
2A	st1	50,5	65,8	135,0	2368,3
	mt1	50,5	50,0	127,5	2405,4
	ss1	50,5	72,2	129,0	2349,5
	ms1	50,5	70,1	122,3	2374,9
	sb1	50,5	64,3	120,8	2373,9
	mb1	50,5	48,1	138,5	2401,4
2B	st1	50,7	68,1	115,3	2269,4
	mt1	50,6	70,3	97,5	2283,6
	ss1	50,6	61,0	103,0	2319,1
	ms1	50,5	61,6	85,0	2386,3
	sb1	50,5	70,5	94,0	2292,5
	mb1	50,6	68,3	106,5	2302,5
3A	st1	50,3	24,3	180,0	2380,8
	mt1	50,3	31,1	163,0	2392,2
	ss1	50,4	25,4	166,5	2374,7
	ms1	50,3	29,0	191,0	2386,7

Rør nr.	Cylinder nr.	Diameter [mm]	Højde [mm]	Trykstyrke [kN]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
3A	sb1	50,3	22,6	159,8	2368,2
	mb1	50,4	27,7	144,3	2380,5
4A	st1	50,8	31,0	174,5	2380,9
	mt1	50,8	32,4	174,5	2398,1
	ss1	50,8	29,3	180,0	2380,8
	ms1	50,8	29,7	149,5	2401,7
	sb1	50,8	27,4	168,5	2376,1
	mb1	50,8	30,1	164,3	2398,3
5A	st1	50,8	17,6	180,5	2352,1
	mt1	50,8	19,6	156,5	2328,8
	ss1	-	-	-	-
	ms1	-	-	-	-
	sb1	-	-	-	-
	mb1	-	-	-	-
5B	st1	-	-	-	-
	mt1	50,8	19,4	165,0	2331,2
	ss1	-	-	-	-
	ms1	50,8	18,0	178,5	2344,9
	sb1	-	-	-	-
	mb1	50,8	26,4	196,0	2302,9
5C	st1	50,8	26,8	162,0	2371,4
	mt1	50,8	22,6	222,3	2434,7
	ss1	50,8	25,0	156,0	2383,2
	ms1	50,8	22,2	232,5	2431,5
	sb1	50,8	25,9	124,0	2344,3
	mb1	50,8	16,7	89,5	2429,3
6A	st1	50,3	37,1	161,5	2430,8
	mt1	50,2	37,4	160,3	2423,0
	ss1	50,2	37,4	167,5	2421,1
	ms1	50,2	32,9	170,5	2421,2
	sb1	50,2	40,9	150,3	2417,2
	mb1	50,3	37,5	161,0	2412,1
7A	st1	50,8	39,2	176,3	2454,7
	mt1	50,8	41,1	158,0	2425,5
	ss1	50,7	43,8	176,0	2453,9
	ms1	50,8	44,6	160,5	2432,2
	sb1	50,7	40,0	175,3	2454,3
	mb1	50,7	43,2	130,3	2417,6
8A	st1	50,3	28,1	139,0	2385,4
	mt1	-	-	-	-
	ss1	50,3	24,5	155,0	2392,7
	ms1	-	-	-	-
	sb1	50,4	26,6	149,3	2388,0
	mb1	-	-	-	-
8B	st1	-	-	-	-
	mt1	50,4	30,1	168,5	2412,9
	ss1	-	-	-	-
	ms1	50,4	30,1	151,8	2406,4
	sb1	-	-	-	-
	mb1	50,4	22,9	192,5	2426,2
8C	st1	50,4	28,2	135,0	2395,8
	mt1	50,4	23,3	200,0	2419,5

Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid

Rør nr.	Cylinder nr.	Diameter [mm]	Højde [mm]	Trykstyrke [kN]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
8C	ssl	50,3	27,0	142,5	2397,8
	msl	50,4	28,5	181,5	2413,0
	sbl	-	-	-	-
	mb1	50,4	24,0	157,5	2404,4
9A	st1	50,2	18,5	156,8	2308,5
	mt1	50,3	20,5	180,5	2335,4
	ssl	50,3	20,6	137,5	2287,5
	msl	50,3	16,9	189,0	2351,0
	sbl	-	-	-	-
	mb1	-	-	-	-
9B	st1	50,2	17,1	141,8	2295,5
	mt1	50,4	18,5	196,3	2348,0
	ssl	50,3	16,6	162,0	2305,4
	msl	50,3	19,7	155,0	2325,9
	sbl	50,4	16,2	168,5	2270,7
	mb1	-	-	-	-
9C	st1	50,2	19,6	127,5	2254,8
	mt1	50,2	20,1	178,5	2326,7
	ssl	50,4	17,4	186,0	2325,9
	msl	50,2	24,6	126,5	2287,1
	sbl	50,2	16,4	151,3	2267,8
	mb1	-	-	-	-
10A	st1	-	-	-	-
	mt1	-	-	-	-
	ssl	50,8	18,0	84,0	2203,3
	msl	-	-	-	-
	sbl	-	-	-	-
	mb1	-	-	-	-
11A	st1	50,3	15,1	106,0	2243,0
	mt1	-	-	-	-
	ssl	50,2	16,3	112,8	2226,2
	msl	-	-	-	-
	sbl	50,2	16,2	107,0	2207,6
	mb1	-	-	-	-
11B	st1	-	-	-	-
	mt1	50,0	16,7	83,5	2172,9
	ssl	-	-	-	-
	msl	50,3	22,5	64,8	2171,9
	sbl	-	-	-	-
	mb1	-	-	-	-
11C	st1	-	-	-	-
	mt1	50,1	19,1	83,0	2218,2
	ssl	-	-	-	-
	msl	-	-	-	-
	sbl	-	-	-	-
	mb1	-	-	-	-
12A	st1	50,2	17,4	155,5	2277,7
	mt1	50,3	17,8	158,0	2309,8
	ssl	50,2	18,8	135,5	2275,7
	msl	50,2	19,5	120,0	2300,6
	sbl	50,1	18,7	128,0	2262,1
	mb1	50,1	16,3	158,0	2313,4



Rør nr.	Cylinder nr.	Diameter [mm]	Højde [mm]	Trykstyrke [kN]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
12B	st1	50,1	18,8	112,3	2254,1
	mt1	50,2	18,0	158,5	2309,1
	ssl	50,0	16,4	131,3	2285,7
	ms1	50,0	17,0	147,3	2314,9
	sb1	-	-	-	-
	mb1	-	-	-	-
12C	st1	50,1	17,7	131,8	2285,8
	mt1	50,0	15,2	191,8	2354,9
	ssl	50,1	17,6	121,0	2260,7
	ms1	50,2	15,8	178,3	2333,0
	sb1	50,1	18,8	105,0	2260,3
	mb1	50,2	18,5	167,3	2343,9
13A	st1	50,8	27,8	165,0	2453,8
	mt1	50,8	17,9	221,5	2415,0
	ssl	50,8	24,3	193,5	2482,3
	ms1	50,8	28,5	213,5	2461,2
	sb1	50,8	24,8	190,0	2421,3
	mb1	50,8	24,7	216,0	2454,0
14A	st1	50,8	28,0	152,5	2402,7
	mt1	50,8	28,4	223,3	2456,1
	ssl	50,8	29,3	152,5	2458,1
	ms1	50,8	27,1	197,5	2427,8
	sb1	50,8	27,2	136,0	2437,6
	mb1	50,8	23,3	238,0	2443,0
15A	st1	50,8	30,7	193,5	2388,0
	mt1	50,8	26,9	189,0	2392,4
	ssl	50,8	27,8	174,8	2374,1
	ms1	50,8	19,1	257,5	2418,9
	sb1	50,8	27,0	180,5	2454,1
	mb1	50,8	22,4	237,0	2451,7
16A	st1	50,4	27,0	107,3	2367,3
	mt1	50,3	22,1	146,5	2379,5
	ssl	50,3	22,6	128,0	2392,0
	ms1	50,4	16,6	132,3	2379,3
	sb1	50,4	20,4	141,5	2363,4
	mb1	50,3	18,9	161,0	2372,9
16B	st1	50,4	22,0	118,5	2356,6
	mt1	50,3	24,1	119,0	2375,4
	ssl	50,3	16,0	126,0	2386,8
	ms1	50,4	29,6	119,0	2384,0
	sb1	50,3	19,6	130,3	2344,4
	mb1	50,4	21,6	135,5	2365,4
16C	st1	50,4	20,8	152,0	2366,2
	mt1	50,3	22,8	152,5	2393,3
	ssl	50,4	27,1	135,5	2397,0
	ms1	50,4	26,6	133,8	2418,3
	sb1	50,4	25,8	110,5	2384,1
	mb1	50,4	19,5	163,3	2340,9
17A	st1	50,4	24,1	118,0	2181,7
	mt1	50,4	25,3	135,0	2272,3
	ssl	-	-	-	-
	ms1	50,4	20,5	143,3	2265,6

Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid

Rør nr.	Cylinder nr.	Diameter [mm]	Højde [mm]	Trykstyrke [kN]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
17A	sb1	50,4	17,1	84,0	2223,1
	mb1	50,4	21,5	137,3	2263,5
17B	st1	50,4	19,7	120,0	2187,5
	mt1	-	-	-	-
	ss1	50,4	19,9	119,5	2178,1
	ms1	50,4	22,6	145,0	2261,9
	sb1	50,4	22,7	75,75	2147,2
	mb1	50,4	30,0	94,0	2209,4
17C	st1	50,4	27,9	114,5	2222,4
	mt1	-	-	-	-
	ss1	50,4	27,8	90,3	2215,0
	ms1	50,4	31,5	101,5	2203,3
	sb1	50,4	25,1	103,0	2211,1
	mb1	50,4	18,2	82,5	2168,2
18A	st1	50,5	40,8	134,5	2361,5
	mt1	50,4	40,1	137,5	2342,4
	ss1	50,5	37,0	117,5	2392,5
	ms1	50,5	42,4	124,0	2349,8
	sb1	50,4	37,7	111,5	2403,2
	mb1	50,6	34,9	139,0	2343,3
	18B	st1	50,6	37,3	117,5
mt1		50,6	41,6	132,5	2352,7
ss1		50,7	40,8	136,5	2383,9
ms1		50,6	40,2	127,0	2335,9
sb1		50,7	35,9	142,8	2375,2
mb1		50,7	31,2	142,3	2344,8
18C	st1	50,7	40,9	112,3	2355,2
	mt1	50,6	38,6	147,8	2357,9
	ss1	50,7	41,8	104,0	2354,5
	ms1	50,7	42,3	111,0	2333,1
	sb1	50,7	36,3	140,0	2383,4
	mb1	50,8	34,2	137,8	2340,1
19A	st1	50,1	65,0	72,0	2209,4
	mt1	50,6	66,9	84,5	2236,6
	ss1	50,3	61,7	81,3	2217,1
	ms1	50,2	59,6	72,8	2220,7
	sb1	50,2	101,2	71,3	2211,0
	mb1	50,2	92,8	84,3	2225,0
19B	st1	50,5	68,8	63,5	2184,3
	mt1	50,2	69,9	85	2245,9
	ss1	50,5	62,9	74,5	2240,7
	ms1	50,5	57,9	72,5	2230,5
	sb1	50,5	95,3	68,0	2220,8
	mb1	50,4	87,7	89,0	2246,8
19C	st1	50,4	67,5	88,8	2259,9
	mt1	50,5	68,8	85,5	2262,4
	ss1	50,5	61,0	83,8	2247,9
	ms1	50,4	64,8	75,5	2233,5
	sb1	50,4	103,5	93,0	2282,4
	mb1	50,5	99,3	63,3	2236,6
20B	st1	50,7	99,0	141,0	2374,5
	mt1	50,5	107,4	103,0	2366,9

Rør nr.	Cylinder nr.	Diameter [mm]	Højde [mm]	Trykstyrke [kN]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
20B	ss1	50,6	103,2	138,0	2365,1
	ms1	50,5	102,7	113,0	2386,9
	sb1	50,6	94,1	145,25	2375,4
	mb1	50,6	95,2	145,0	2386,4
20C	st1	-	-	-	-
	mt1	50,5	104,0	149,0	2393,1
	ss1	50,5	91,3	138,0	2369,9
	ms1	50,6	97,8	122,5	2389,2
	sb1	50,7	93,0	150,5	2367,5
	mb1	50,5	92,5	137,5	2377,3
21A	st1	50,8	37,4	115,5	2376,4
	mt1	50,8	39,6	124,3	2373,7
	ss1	50,8	36,8	119,0	2386,1
	ms1	50,8	38,6	130,5	2401,3
	sb1	50,8	38,3	117,5	2379,0
	mb1	50,8	38,4	136,5	2399,2
21B	st1	50,8	39,8	133,5	2397,8
	mt1	50,8	38,3	101,5	2378,7
	ss1	50,8	37,3	102,0	2340,1
	ms1	50,8	42,6	122,0	2384,1
	sb1	50,8	39,0	109,5	2361,6
	mb1	50,8	37,9	126,0	2397,5
22A	st1	50,2	20,1	153,0	2314,6
	mt1	50,2	18,2	170,0	2343,4
	ss1	50,2	20,6	142,0	2310,5
	ms1	50,1	20,2	154,0	2346,2
	sb1	-	-	-	-
	mb1	-	-	-	-
22B	st1	50,0	18,6	165,3	2336,7
	mt1	50,0	19,2	189,5	2368,2
	ss1	50,2	18,2	156,8	2321,9
	ms1	50,2	21,5	194,5	2372,8
	sb1	-	-	-	-
	mb1	50,3	18,8	175,3	2346,7
22C	st1	50,3	20,5	158,5	2324,9
	mt1	-	-	-	-
	ss1	50,3	21,0	154,5	2312,5
	ms1	50,3	19,9	171,0	2330,1
	sb1	-	-	-	-
	mb1	-	-	-	-
24A	st1	50,7	29,2	191,3	2429,7
	mt1	50,7	28,9	209,5	2434,0
	ss1	50,7	17,8	261,5	2454,9
	ms1	50,7	26,8	193,0	2434,0
	sb1	50,7	26,2	240,0	2467,8
	mb1	50,7	26,2	221,0	2444,7
24B	st1	50,7	24,0	177,3	2430,4
	mt1	50,7	29,4	186,0	2430,0
	ss1	50,7	28,0	206,3	2446,3
	ms1	50,7	28,2	184,0	2434,8
	sb1	50,7	30,8	219,3	2464,8
	mb1	50,7	30,6	190,5	2440,5

*Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid*

---

Rør nr.	Cylinder nr.	Diameter [mm]	Højde [mm]	Trykstyrke [kN]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
24C	st1	50,7	26,1	196,0	2441,5
	mt1	-	-	-	-
	ssl	50,7	26,9	198,0	2452,3
	ms1	50,7	27,6	161,8	2438,6
	sb1	50,7	28,5	196,8	2481,9
	mb1	50,7	25,7	221,5	2541,8
25A	st1	50,7	33,6	144,0	2357,9
	mt1	50,7	32,5	156,5	2376,9
	ssl	50,7	35,0	142,5	2372,2
	ms1	50,7	34,7	145,0	2383,7
	sb1	50,6	34,1	120,0	2371,7
	mb1	50,7	33,2	144,0	2381,3