



UNDERSØGELSER PÅ NOGLE ALKALIKISELSKADEDE BROER I ÅRHUS AMTSKommUNE 1992

Anders Nielsen
Laboratoriet for Bygningsmaterialer
Danmarks Tekniske Højskole

August 1993

LABORATORIET FOR BYGNINGSMATERIALER
Danmarks Tekniske Højskole

BUILDING MATERIALS LABORATORY
Technical University of Denmark



UNDERSØGELSER PÅ NOGLE
ALKALIKISELSKADEDE BROER
I ÅRHUS AMTSKommUNE 1992

Anders Nielsen
Laboratoriet for Bygningsmaterialer
Danmarks Tekniske Højskole

August 1993

Undersøgelse på nogle alkaliskeskadede
broer i Århus Amtskommune 1992.
Laboratoriet for Bygningsmaterialer
Danmarks Tekniske Højskole
Teknisk Rapport 293/93
August 1993
ISSN 0908-3871

Stikord

Betonskader, alkaliskereaktioner, fugtanalyser, overfladebehandling.

Resumé

I rapporten beskrives undersøgelser på 8 broer med symptomer på alkaliskereaktioner. De fem af broerne indgår i Vejdirektoratets forsøg med overfladebehandling iværksat i 1982-89. Her er taget fugtprofiler, som er sammenlignet med målinger fra 1983.

FORORD

De her rapporterede undersøgelser af betonbroer er blevet sat i gang af Vejdirektoratet, Århus Amtskommune v/ing. H. Juncker Hansen. Hovedopgaven har været en 10-års inspektion af de i 1982-83 overfladebehandlede broer på motorvejen Århus-Skanderborg med henblik på at vurdere overfladebehandlingens virkning.

Undersøgelserne er udført som et samarbejde mellem Århus Amt, Statens Vejlaboratorium og Laboratoriet for Bygningsmaterialer.

Lyngby, marts 1993

Anders Nielsen

INDHOLDSFORTEGNELSE	Side
Sammenfatning	4
Indledning	5
Inspektionsrunde	6
Fugtanalyse	10
De hvide pletter	16
Revnedannelsen på bro 60.0082	17
Afslutning	22
Litteratur	23

SAMMENFATNING

Rapporten beskriver iagttagelser på 8 broer med symptomer på alkalikiselreaktioner. Broerne er opført i begyndelsen af 1970'erne, hvor man har anvendt skærver som sten-tilslag og alkalireaktivt grus. Herved bliver risikoen for revnedannelse forøget, idet man kommer nærmere ved det pessimale forhold mellem alkalier og flint.

Der blev foretaget en inspektionsrunde 08.10.1992. En jernbanebro ved Løgten blev beset umiddelbart inden nedrivningen. Broens søjler illustrerer betydningen af forholdet mellem alkalier og flint: To søjler var støbt med bakkesten og revnede ikke, medens to søjler med skærver revnede.

Fem broer fra Vejdirektoratets overfladebehandlingsforsøg, som blev igangsat 1982, blev beset. Det generelle indtryk er, at malingen stadig er intakt. På flader, som ikke træffes af slagregn, kan man se en del hvide pletter af udfældet materiale. Pletterne er 1-5 mm i diameter. De forekommer også på umalede beskyttede flader ved landfæster. Desuden kan man se en del minispringere under malingen på mange flader.

Der blev taget borekærner ud til fugtanalyse til jævnførelse med 1982-undersøgelsen. Målingerne viser, at de malede broers vandmætningsgrad er konstant eller faldende. En reference har samme forhold som i starten, medens den anden reference har fået højere vandmætningsgrad. Et overraskende resultat er, at den relative luftfugtighed i betonens porer overalt er så godt som konstant omkring 96% på både malede og umalede broer.

Der er udført tyndslib gennem en af de hvide pletter. Der viser sig at være et hulrum under malingen i svummemørtellaget. Mikroskopbilledet kan klippes sammen, således at brudfladerne passer sammen, og således at malingens overflade bliver plan. Der fremsættes den hypotese, at bulens fremkomst skyldes dannelse af et osmotisk tryk i porevæsken omkring den alkalikiselreaktive partikel. Den hvide udfældning opstår, når porevæsken siver ud gennem revner i malingen.

På en bro med massive dragere, 2 m i tværmål, blev udtaget borekærner til chloridanalyse, idet det blev antaget, at chlorid kan være målemæssig substitut for alkali, idet det formodes, at stofferne følges ind udefra. Disse alkalier kunne måske have fremkaldt de iagttagne rever. Der blev imidlertid ikke fundet chlorider af nogen betydning. Revnedannelsen kunne ikke skyldes ekstra tilførsel af alkalier. Revnetidspunktet, 16 år efter støbningen, stemmer imidlertid godt med det revnetidspunkt, som kan forudsiges ud fra kvadratet på den halve tykkelse for en to meter bred bjælke, jf. fremstillingen i Dansk Beton nr. 1:1993.

INDLEDNING

Trods det store forskningsarbejde, som 1957-1964 var udført på SBI om alkalikiselreaktioner (AKR) i beton og de advarsler, der var blevet udsendt i den sammenhæng, blev der i begyndelsen af 1970'erne stadig støbt mange broer med alkalireaktivt sandtilslag. Af uransagelige årsager valgte man at lade kun det grove tilslag, stenene, være ikke-reaktivt. En sådan fremgangsmåde bevirker at de alkalier, som er til stede i betonen fra cementen bliver koncentreret om de reaktive partikler i sandet. Herved blev risikoen for revnedannelse forøget, idet man kom nærmere ved det pessimale forhold mellem alkalier og flint.

En del broer fra denne periode opviser revner og tydelige tegn på AKR. Dette var således tilfældet for et antal broer på motorvejsstrækningen Århus-Skanderborg. Vejdirektoratet tog i 1982 initiativ til et forsøg med overfladebehandling på et antal af disse broer.

Inden overfladebehandlingen blev foretaget, blev broernes fugttilstand målt, idet et af formålene med forsøget var at undersøge, hvorledes fugtforholdene ændres i malede betonkonstruktioner. Resultaterne af fugtanalysen er rapporteret i /1/.

Broerne blev malet med en såkaldt tykfilmmaling (firmanavn dengang Icosit-Elastic, i dag Sika 550). Arbejdet blev udført af Århus Amtskommune. Proceduren var følgende:

- Sandsvirpning, så cementslam og forvitret beton blev fjernet.
- Afjævning med cementbaseret svummemørtel.
- Påsprøjtning af Icosit-Elastic grunder.
- 2 gange påføring med pensel af Icosit-Elastic dækmaling.

Sika 550 har en PAM-værdi på $8(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{torr/g})$, hvilket svarer til en tykkelse af den her anvendte beton på 5 á 10 mm.

Broernes udseende er blevet fulgt og fugttilstanden målt, senest i 1987. Herefter blev der skrevet rapport /2/, hvor det blandt andet blev konkluderet:

- Der blev ikke registreret fugtophobning under overfladebeskyttelsen.
- Der er stor stigning i fugtindholdet i de ubehandlede referencer med øget risiko for frostsprængning.
- Overfladebeskyttelsen hindrer vand- og chloridindtrængning i betonen.
- Overfladebeskyttelsen har tilsyneladende bevaret sine egenskaber.
- Overfladebeskyttelsen skæmmes af små pletter af hvide udfældninger af alkalikiselgel.

I den her rapporterede undersøgelse skulle det ved en 10-års inspektion undersøges om disse konklusioner holder, og iagttagelser på nogle flere broer med AKR skulle sættes ind i et mønster.

INSPEKTIONSRUNDE

Den 08.10.1992 foretog H. Juncker Hansen (Århus Amtskommune), Ghita v. Hauen (Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium) og Anders Nielsen (Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH) en inspektion af otte broer. Fra runden skal særligt bemærkes følgende.

Bro 527-5001 overføring af jernbanen over vej 587 ved Løgten. Broen blev opført i 1977, men skulle nu rives ned, fordi den var svært skadet af AKR i bjælkepladen. Efter nedrivningen blev broen erstattet af en ny bro, bygget ved siden af, og som blev kørt ind under banelegemet på udlagte skinner. Medvirkende i skadesudviklingen var en konstruktionsfejl, idet bøjlearmeringen i pladen ikke var blevet ført rundt i hjørnet ved drypnæsen, hvorfor der blev dannet kraftige revner ind i den massive broplade udgående fra drypnæsen.

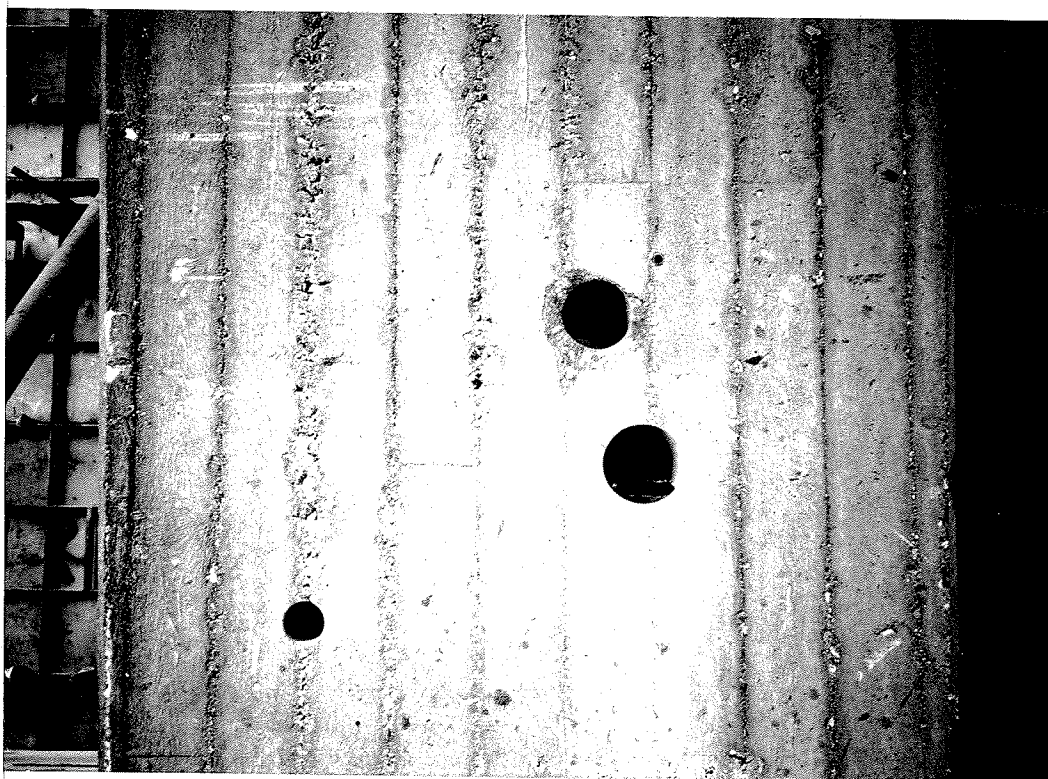
AKR's drilagtige natur blev illustreret på broens søjler, se figur 1. De sydlige søjler var blevet støbt af samme beton som den øvrige del af broen, dvs. med granitskærver og alkalireaktivt bakkesand. De havde hver to langsgående revner forårsaget af AKR. Betonen i de to nordlige søjler var ved en fejltagelse blevet leveret med bakkesten i stedet for skærver. Der forekom springere, men ingen revner. Forklaringen kan være, at de tilstedeværende alkalier er blevet fordelt på en større mængde tilslag, hvorved der ikke kan opstå tilstrækkelig ekspansionskraft til at skader opstår. De to søjler illustrerer tilsammen effekten af den i indledningsafsnittet nævnte praksis med at lade kun det grove tilslag, stenene, være ikke-reaktivt.

Bro 72-0033 overføring af Vosnæsvej over vej 15. Opført 1976. Der er anvendt alkalireaktivt bakkesand. På søjlerne var dannet et meget kraftigt netrevnemønster fra den klassiske kombination mellem termorevner og AKR. Revnerne var i 1981 så store, at man i den ene søjlerække lod dem udfylde med elastisk fugemasse. Fugemassen er nu delvis faldet ud. Vi så også steder, hvor revnen havde sluppet fugemassen og havde udvidet sig. Søjlernes dimensioner var 700 x 1200 mm. En side var blevet overfladebehandlet i oktober 1990 med Multicote. Her sås et enkelt revnegennemslag, hvilket peger på, at AKR endnu ikke er i ro.

Turens hovedformål var inspektionen af de fem motorvejsbroer, som var blevet udtaget til forsøg med overfladebehandling i 1982. De fem broer er

- Bro 60-0080, UF af Ryvej, øst	km. 155.061
- Bro 60-1080, UF af Ryvej, vest	km. 155.061
- Bro 60-0087, UF af Bjergtrupvej	km. 161.400
- Bro 60-0088, UF af Bjergtrupvej	km. 163.130
- Bro 61-0002, UF af Ryvej	km. 164.730

Det generelle indtryk af broernes tilstand var, at malingen stadig er intakt og i god stand. Den skæmmes en del af hvide pletter af alkalikiselgel 1 á 5 mm i diameter. Pletterne forekommer fortrinsvis på flader, som ikke træffes af slagregn. Dette er i overensstemmelse med konklusionerne i /2/. Der kan ses en del minispringere under malingen på mange flader. Nogle særlige iagttagelser skal nævnes.



Figur 1. Bro 527-5001 umiddelbart før nedrivningen.
Øverst en af de sydlige søjler med langsgående revner. Man har forsøgt at holde betonen sammen med strækjern.
Nederst en af de nordlige uden revner, men med springere.

Bro 61-0002 var ubehandlet referencebro i overfladebehandlingsforsøget. SV-kantbjælken havde allerede 1 år efter broens færdiggørelse et revnemønster i oversiden. Det blev på det tidspunkt malet med et gråt Ulfcarprodukt. I 1991 er broen blevet behandlet med en såkaldt betonforsegler, en gennemsigtig, gullig plastbehandling. Denne behandling har rettet lidt op på det "spættede" udseende.

Bro 60-0088. Her blev en af de hvide udsivninger undersøgt nærmere. Se figur 2. Udsivningen sad på oversiden af SV-fløj. Der sås en plet af hvidt stof, 2-3 mm i diameter. Malingen omkring pletten var hævet op, fordi der var dannet en springer under malingen. Pletten sad i kanten af springeren. Pletten er dannet af udsivende alkalikiselgel fra springerpartiklen.

Bro 60-1080. I hulrummet ved landfæstet så vi hvide pletter både på malede og på umalede overflader.

Bro 60-0080 var den anden reference i 1982-forsøget. Den er blevet malet i 1992 med undtagelse af 2 m af vestlige ende af SV-kantbjælke.

Bro 60-0082 er bygget i 1978, projekteret af firmaet B. Højlund-Rasmussen. Den var ikke med i overfladebehandlingsprojektet. Den er opført som en massiv bro med dobbelte dragere jf. tegning på figur 10. På siderne af dragerne på broen har man i nogle år kunnet se et fint revnemønster og grove enkeltrevner. Under inspektionen blev der fremsat den antagelse, at revnedannelsen kunne skyldes alkalikiselreaktioner på grund af ekstra tilførsel af alkalier fra trafikken. Der blev derfor aftalt udtagning af borekærner på dragernes sider og bund til undersøgelse af chlorid som substitut for natrium.

Under inspektionen blev det besluttet at tage **borekærner** ud. En oversigt over udtagningssteder og anvendelse er vist i tabel 1.

Tabel 1. Oversigt over borekærner

Nr.	Bronummer	1983 nr.	Bemærkninger	
1	61-0002	2.1	NØ-fløj. Reference.	Vandret
2	60-0088	88.4	Ø-kantbjælke. Malet.	Vandret
3	60-0087	87.5	NØ-fløj. Malet.	Vandret
4	60-1080	80.1	Ø-kantbjælke. Malet.	Lodret
5 (SV31)	60-1080	80.1	SØ-u.side dæk. Malet.	Lodret
6 (SV32)	60-1080	80.1	SØ-u.side dæk. Malet.	Lodret
7	60-0080	80.7	Ø-kantbjælke. Reference.	Lodret
8	60-0082		Ø-bjælke. Ø-side.	Vandret
9	60-0082		Ø-bjælke. U-side.	Lodret
10	60-0082		Ø-bjælke. V-side.	Vandret
11	60-0082		V-bjælke. Ø-side.	Vandret
12	60-0082		V-bjælke. U-side.	Lodret
13	60-0082		V-bjælke. V-side.	Vandret
Kærne 1, 2, 3, 4 og 7 (ø 10 mm) er anvendt til fugtanalyse.				
Kærne 5 og 6 (ø 50 mm) er anvendt til tyndslibsanalyse.				
Kærne 8-13 (ø 50 mm) er anvendt til chloridanalyse.				



Figur 2. Bro 60.0088. Skrå overside fra SV-fløj. Udsivning og underliggende springerdannelse.

FUGTANALYSE

De udborede kærner 1-4 og 7 blev anvendt til en fugtanalyse. Kærnerne var udtaget ved siden af kærner fra 1983 undersøgelsen. Ved fugtanalysen blev målt vandtørstofferforhold (u), kapillær vandmætningsgrad (S) og den relative luftfugtighed i betonens porer (RF).

u og S blev målt på Vejlaboratoriet gravimetrisk efter samme metode som beskrevet i /1/.

RF blev målt på LBM i Rotronik Hygroskop DT målekamre ved 25 °C. Hygroskopet var kalibreret umiddelbart før målingerne blev gennemført.

Resultaterne ses på figur 3, 4, 5, 6 og 7. Som sammenligningsgrundlag er medtaget fugtanalyseresultaterne fra 1983, som de er rapporteret i /1/. De er vist med punkteret linie.

Referencen, kærne 1, figur 3, er taget på en NØ-fløj. Det ses, at u og S er uforandrede, hvilket stemmer med, at væggen er uskadet og har været i fugtligevægt, da første prøve blev udtaget. RF derimod ses at være steget til et konstant niveau omkring 96 %RF.

Referencen, kærne 7, figur 7, er taget lodret ned i en kantbjælke. Det ses, at u og S begge er steget markant. Også RF er steget meget, også her til ca. 96 %RF.

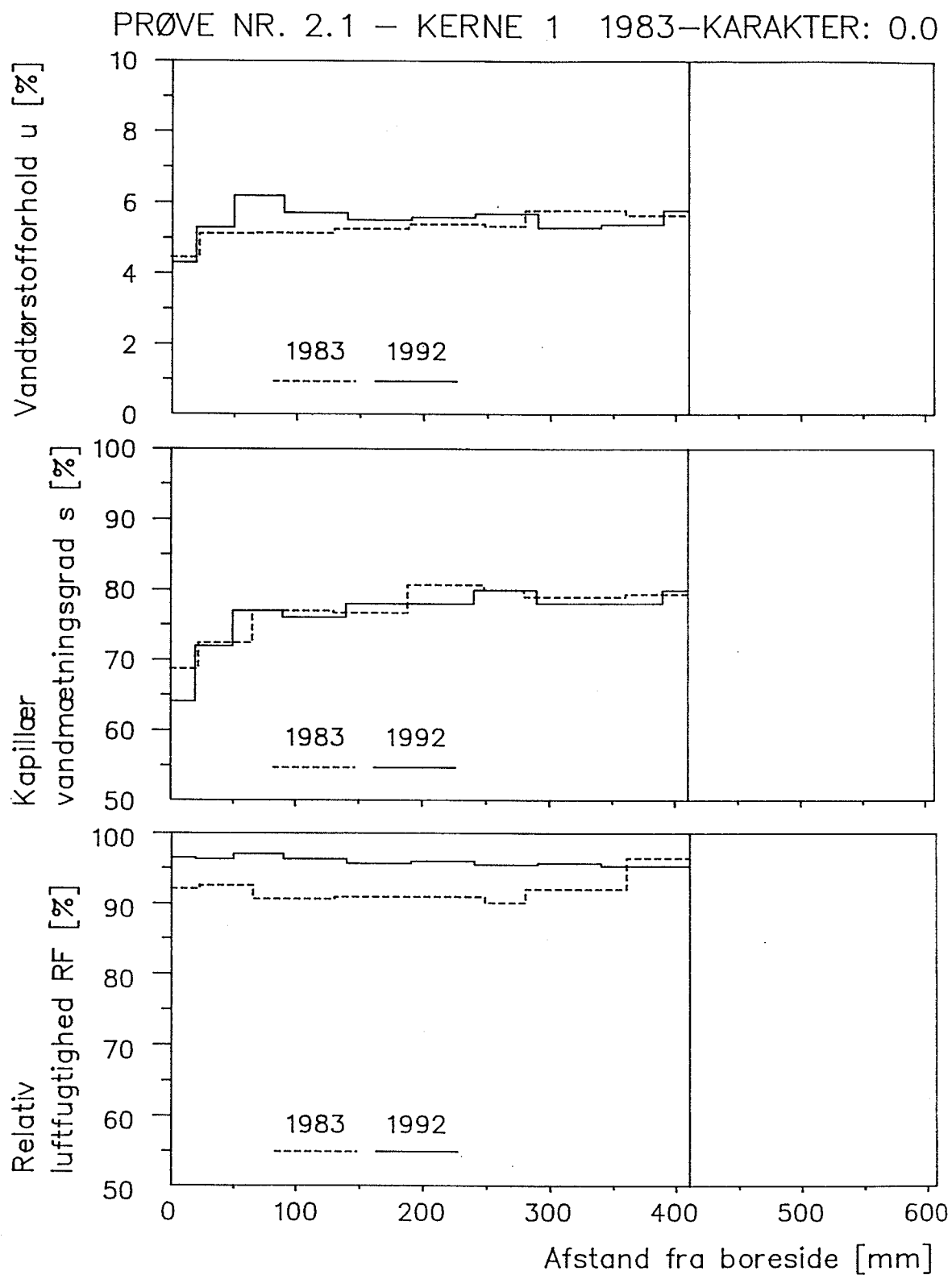
Kærne 2, figur 4 er taget vandret ind i en malet kantbjælke. u- og S-profilerne er ændret siden 1983, således, at man kan se at der er foregået en udtørring. RF-profilen er derimod jævnet ud og værdierne er næsten alle over 90 %RF.

Kærne 3, figur 5, er taget vandret ind i en malet fløj. u- og S-profilerne viser udtørring, medens RF viser en svag stigning. Laveste værdi er 92 %RF, middelværdien er 94 %RF.

Kærne 4, figur 6, er taget lodret ned i en malet kantbjælke, som i 1983 var meget revnet. u- og S-profilerne viser en svag udtørring. RF har ligget konstant fra 1983 til 1992 på 96 %RF.

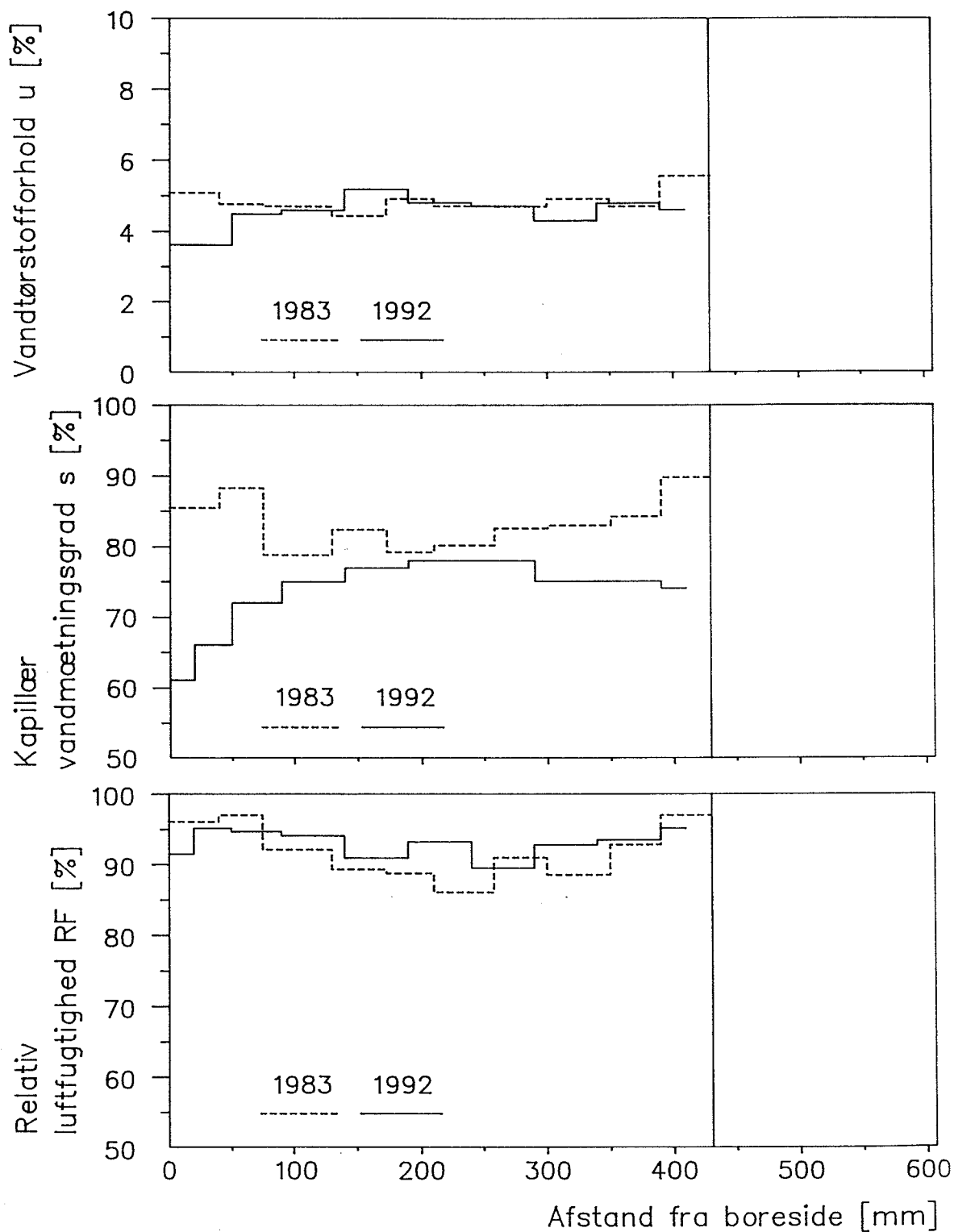
Fugtanalysen viser, at malingen fungerer efter hensigten, dvs. at forhindre vand udefra i at blive suget ind i betonen. Det mest overraskende resultat er, at RF overalt er så godt som konstant omkring 96 % i både umalede og malede brodele. Resultatet er så markant, at det ikke kan tilskrives målefejl.

Den konstante RF-værdi skal muligvis tilskrives, at der dannes alkalikiselgel i porene. Denne gels kemiske sammensætning kan bestemme RF, på samme måde som RF over en bestemt mættet saltopløsning er en given konstant værdi.



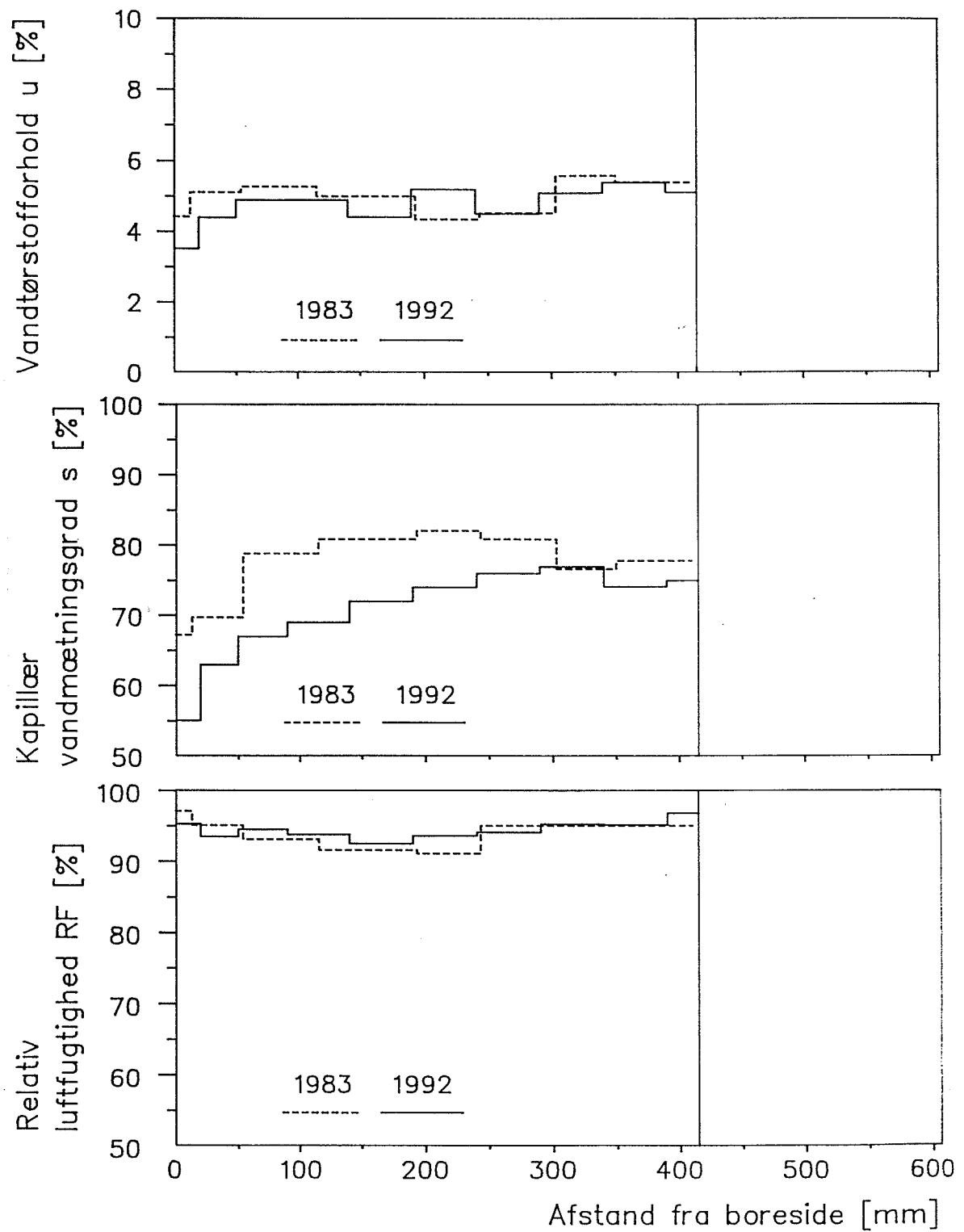
Figur 3. Bro 61-0002. NØ-fløj. Vandret udboring. Reference.

PRØVE NR. 88.4 — KERNE 2 1983—KARAKTER: 0.0



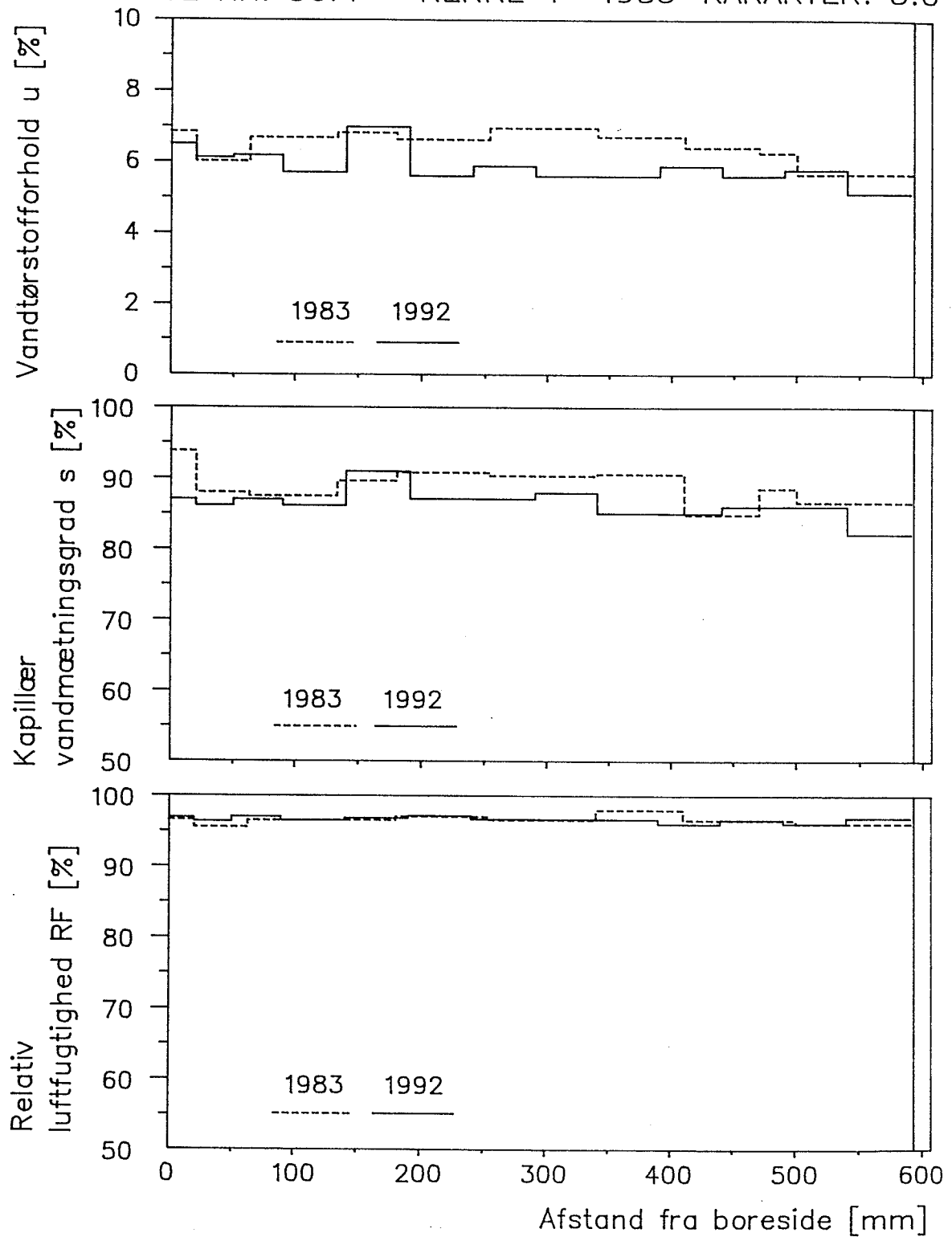
Figur 4. Bro 60-0088. Ø-kantbjælke. Vandret udboring.

PRØVE NR. 87.5 — KERNE 3 1983—KARAKTER: 0.5



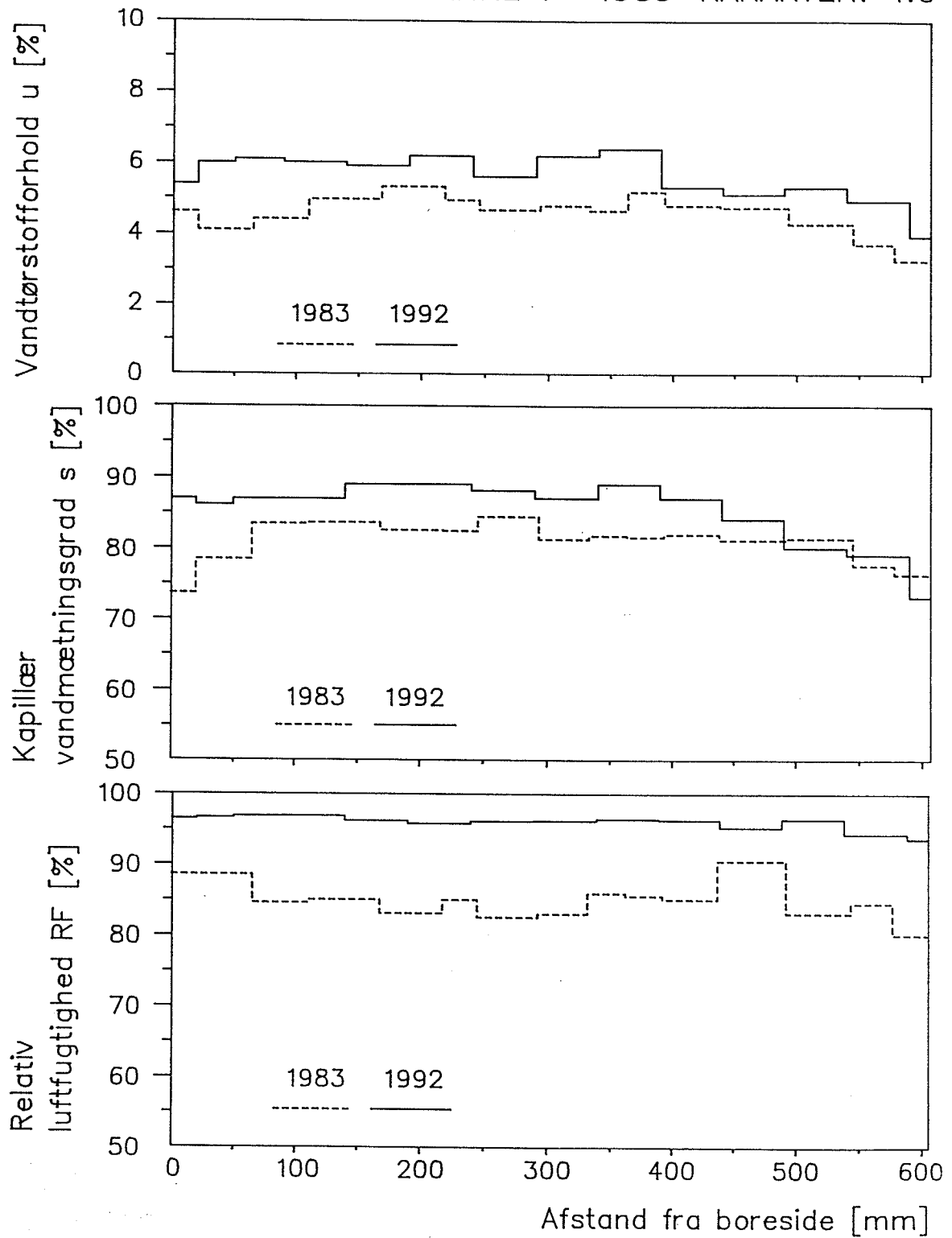
Figur 5. Bro 60-0087. NØ-fløj. Vandret udboring.

PRØVE NR. 80.1 – KERNE 4 1983–KARAKTER: 3.0



Figur 6. 60-1080. Ø-kanthjælke. Lodret udboring.

PRØVE NR. 80.7 – KERNE 7 1983–KARAKTER: 1.0



Figur 7. Bro 60-0080. Ø-kantbjælke. Lodret udboring. Reference.

DE HVIDE PLETTER

Der er udført tyndslib af kærne 5 og 6 fra bro 60-1080. Slibningen og mikroskoperingen er foretaget på Vejlaboratoriet. Slibene er lagt således, at der er forsøgt snittet gennem en overfladeblære uden på hvilken der ses hvide udfældninger. På slibet fra kærne 6 er man kommet nærmest på. Figur 8 viser snittet gennem en blære i to forskellige belysninger.

Det ses på figur 8, at malingen er skubbet væk fra betonen. Bevægelsen er illustreret på figur 9, som øverst viser konturerne af de brudstykker, som mørtelen er opdelt i, og nederst viser, hvorledes brudstykkerne kan sættes sammen som puslespilsbrikker. Overensstemmelsen mellem stykkerne er tilfredsstillende. Malingens overside ses at komme i niveau. Det ses, at malingen har strakt sig cirka 50 % lineært, der hvor den er blevet tynd.

Den mekanisme, som kan få dannet hulrummet kan enten være en springer, som ikke er synlig i slibet, eller et hydraulisk tryk, Sidstnævnte skal behandles nærmere.

Trykket kan være osmotisk tryk. Malingen, som er diffusionsåben over for vand, antages at virke som semipermeabel membran. Vandet udefra trænger igennem membranen for at fortynde alkalikiselgelen. Herved opstår et hydraulisk tryk, det osmotiske tryk, i porerne i mørtelen lige under malingen. I følge /4/ kan størrelsen af dette osmotiske tryk ligge omkring 0,5-1 MPa. Dette vil være tilstrækkeligt stort til at den ikke særligt stærke svummemørtel revner parallelt med overfladen. Det hydrauliske tryk, p_h , påvirker stadigt og skyder malingslaget med den fastsiddende svummemørtel ud fra overfladen, og boblen er dannet. Det kan vises, at trækket i malingslaget vil være omtrentligt

$$\sigma = p_h \cdot \frac{r}{2t}$$

hvor r er boblens radius og t er malingslagets tykkelse. Med $p_h = 1$ MPa, $r = 2$ mm og $t = 0,5$ mm, fås $\sigma = 2$ MPa. Antages elasticitetsmodulen for malingen at være af størrelsesordenen 2 MPa, ses det at tøjningerne bliver ca. 100%. Ovenfor er tøjningen på slibet vurderet til 50%, hvilket er af samme størrelsesorden

Der vil stadig være alkalikiselgel inde i boblen, som vil forsøge at fortynde sig, med et vedvarende osmotisk tryk til følge. Er der et mikroskopisk hul i malingen vil den fortyndede gelvæske trænge ud gennem det. Udenfor på overfladen vil noget af vandet fordampe, og der vil ske en karbonatisering af gelen, hvorefter man har en hvid plet.

Desværre må man nok konstatere, at det vil tage meget lang tid (årevis) før geludsivningen vil ophøre. Den er betinget af, at der er alkalier til stede. Efterhånden som der forsvinder alkalier ud på overfladen vil der formodentligt diffundere nye ind fra resten af betonen. (Den høje RF peger på, at porevæsken overalt er den samme, dvs. indeholder alkalier.) Tiden til, hvornår udsivningen stopper, bestemmes da af, hvornår den reaktive partikel er helt opløst. Det kan tage lang tid. Den på Figur 2 viste springer er stor og kan afgive materiale i lang tid endnu. På den anden side må det fremhæves, at dette er

et æstetisk fænomen uden betydning for konstruktionens bæreevne.

Man kunne frygte, at malingen efterhånden vil blive perforeret, der hvor de hvide pletter optræder. Dette kan ikke afvises, men åbenbart kommer der vand ud af og ikke ind gennem perforeringerne, siden de hvide pletter bliver dannet.

REVNE-DANNELSEN PÅ BRO 60-0082

Der blev udført chloridanalyse af overfladerne i bro 60-0082. Hensigten var at vurdere saltbelastningen i betonen, ud fra en antagelse om, at revnedannelsen skyldes ekstra alkalitilførsel fra vejsalt sprøjtet op af trafikken.

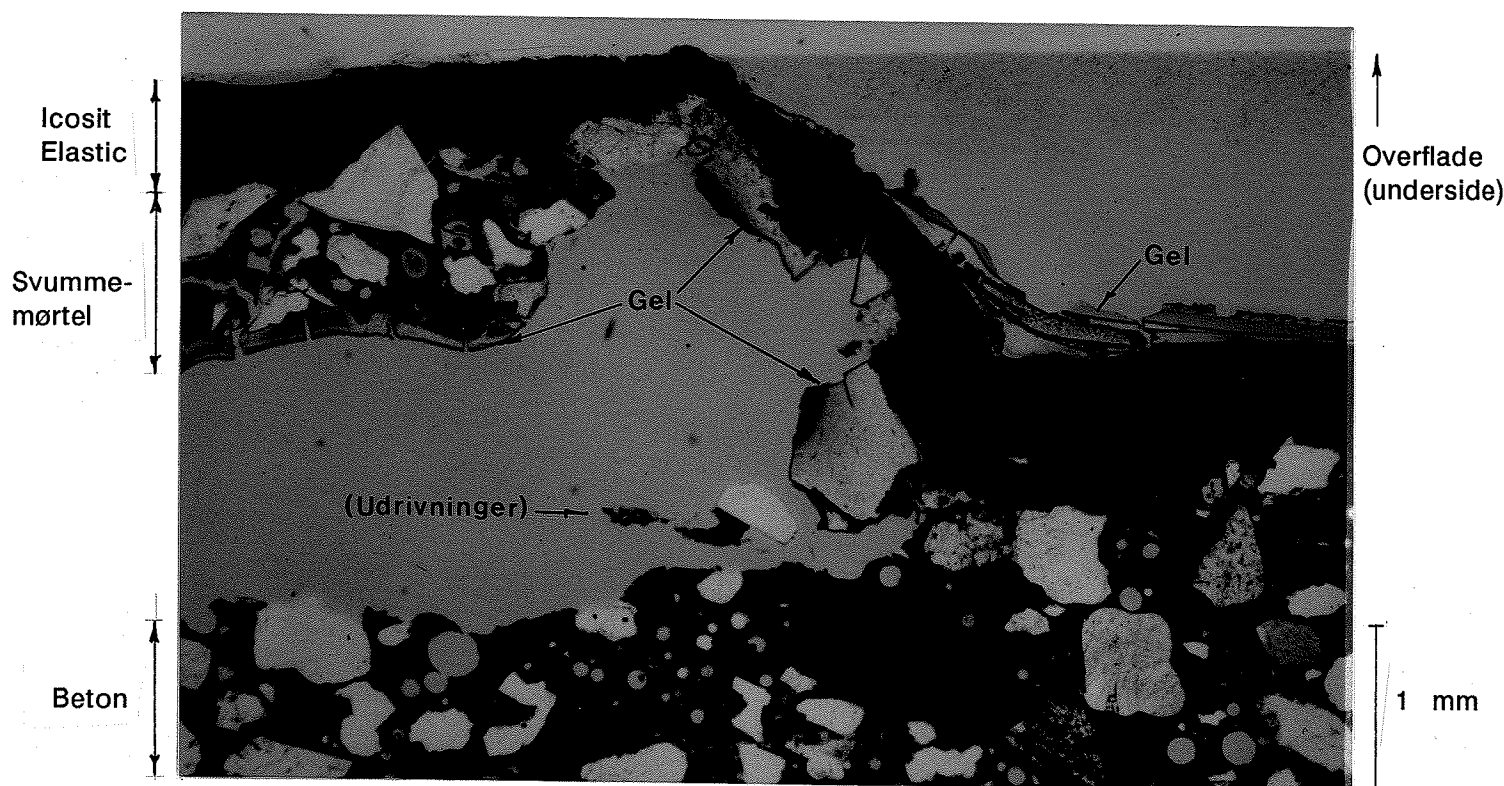
Resultatet af chloridanalysen ses på figur 10, som viser, at chloridindholdet er højest på de sider, som vender mod kørselsretningen og højest i den drager, der vender mod kørselsretningen. Tilførslen af chlorider er dog meget lav, så lav at den samtidige tilførsel af ekstra alkalier ikke kan have haft nogen betydning for dannelse af revnerne.

Broen er imidlertid udført med massive dragere. Denne omstændighed bevirker, at eventuel revnedannelse på grund af AKR vil være længe om at udvikle sig, fordi vandet skal have tid til at trænge ind i det inderste af dragerne. Vurderingen af revnetidspunktet kan ske med en metode, beskrevet i /3/. Her fremgår det, at det tidspunkt, revnerne i en konstruktionsdel viser sig på, er proportionalt med kvadratet på konstruktionsdelens karakteristiske dimension, jf. figur 11.

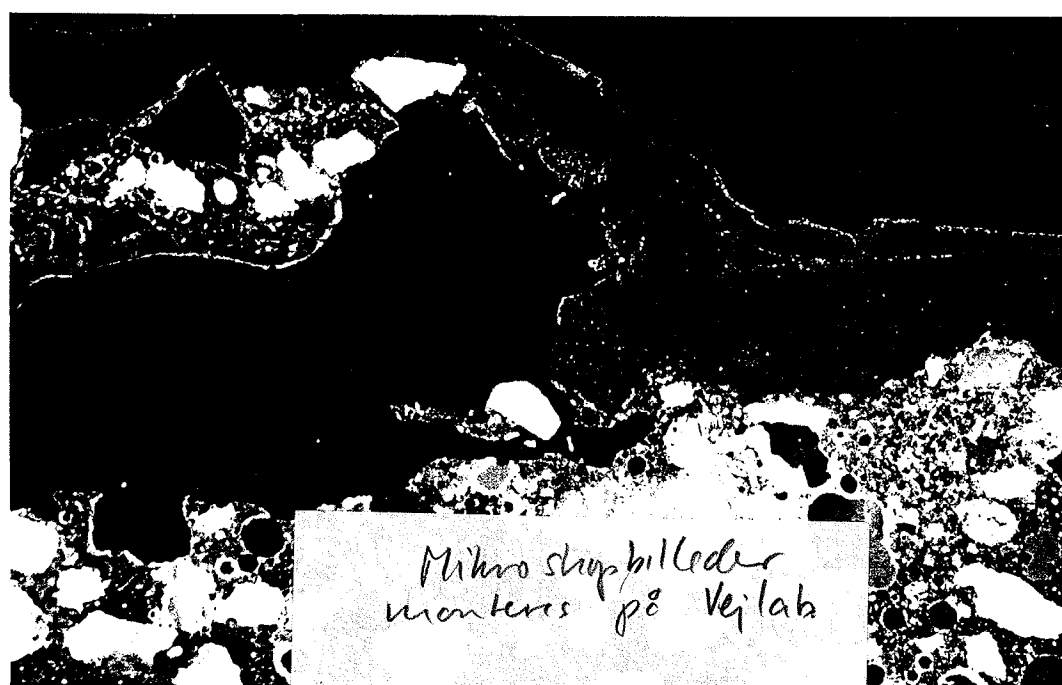
Den karakteristiske dimension, for dragerne i bro 60-0082 er 1 m.

Revnerne er set første gang i 1992, dvs. at da konstruktionen er støbt i 1976, bliver tiden til revnedannelse $t_1 = 1992 - 1976 = 16$ år.

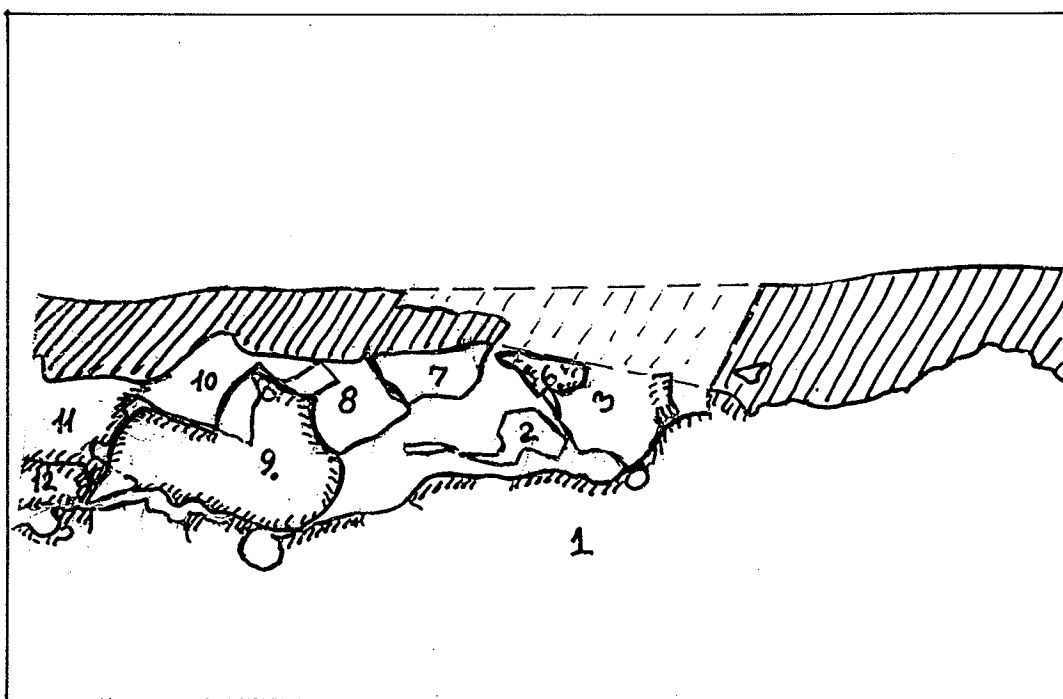
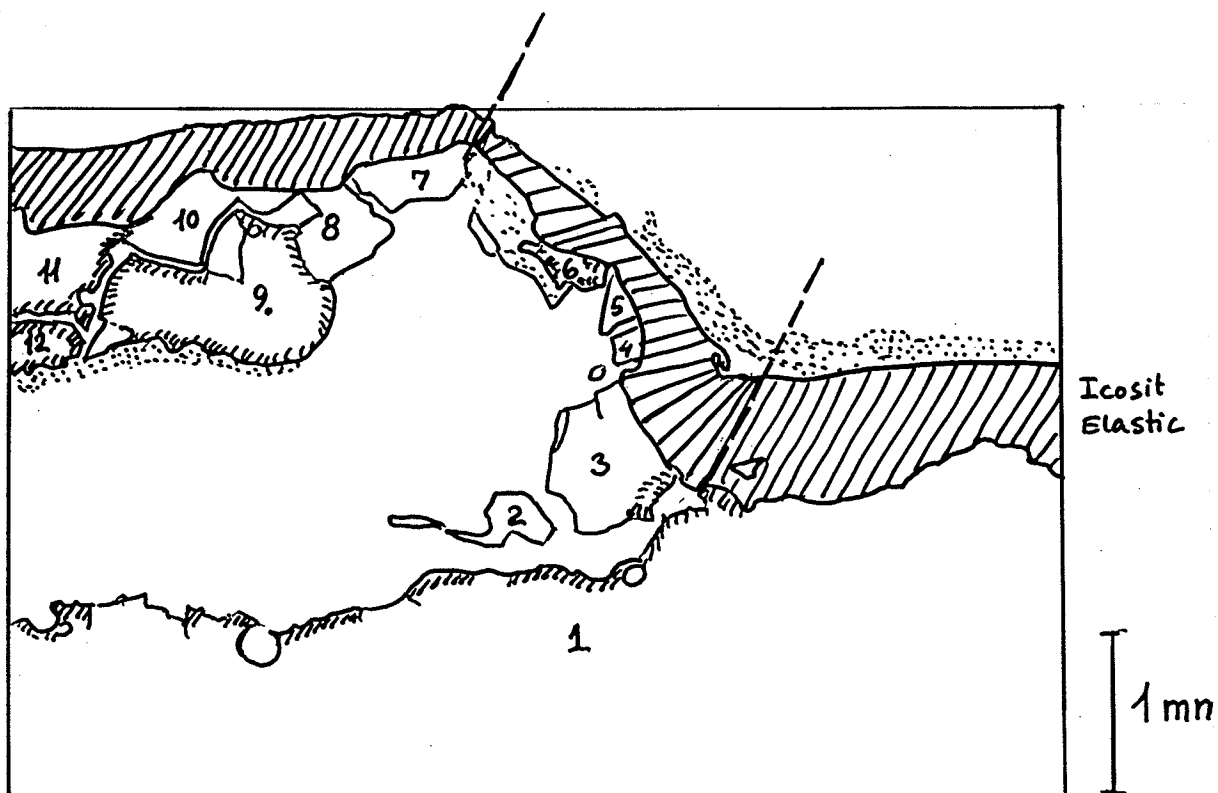
Punktet $(1, t_1) = (1 \text{ m}, 16 \text{ år})$ plottes i diagrammet figur 11. Det ses at denne iagttagelse stemmer fint ind med den punktskare, som udgøres af tidligere danske erfaringer med motorvejsbroer, jf. /3/.



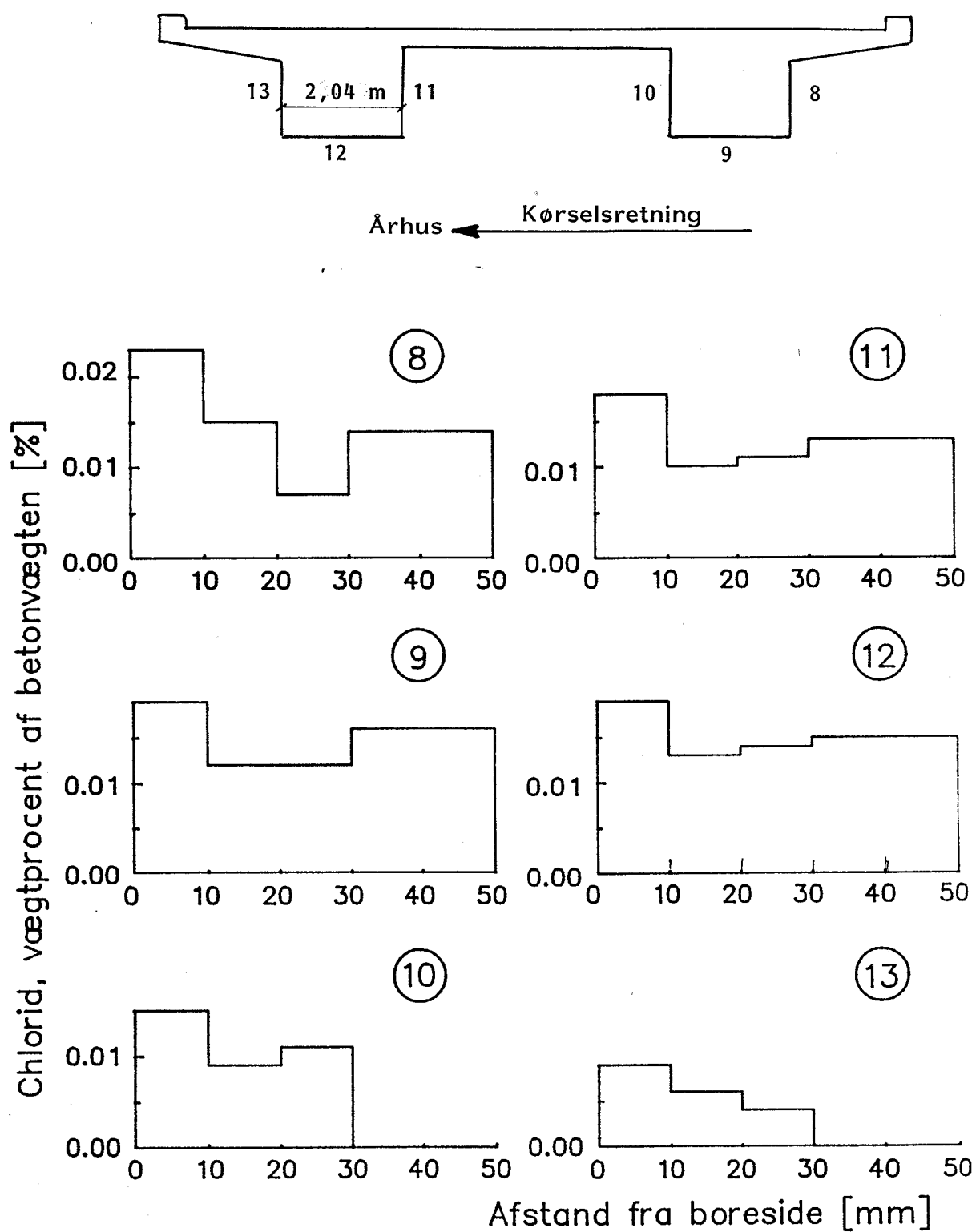
Figur 8. Bro 60-1080. Kærne 6. Snit gennem boble med udvendig udfældning.
 Øverst: Parallelle polarisatorer. Porerne er gule.
 Nederst: Krydsede polarisatorer. Porerne er rødbrune.



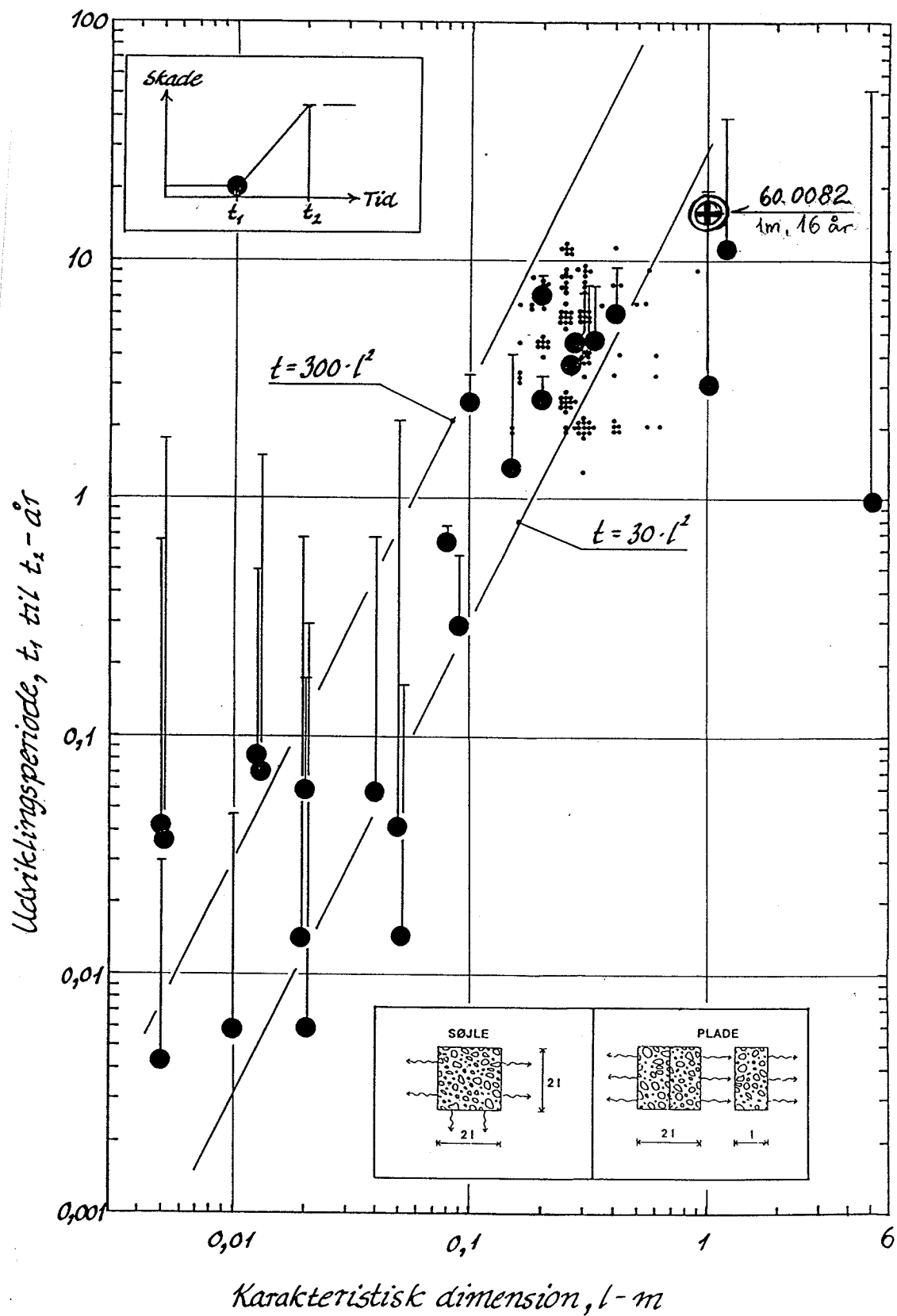
Figur 8. Bro 60-1080. Kærne 6. Snit gennem boble med udvendig udfældning.
 Øverst: Parallelle polarisatorer. Porerne er gule.
 Nederst: Krydsede polarisatorer. Porerne er rødbrune.



Figur 9. Forsøg på rekonstruktion af betonoverfladen før boblen er dannet og geludtrængning er indtrådt.



Figur 10. Bro 60-0082. Chloridanalyse.



Figur 11. Bro 60-0082. Vurdering af tidspunkt for synlig revnedannelse.
De små punkter gælder for danske motorvejsbroer [3/].

AFSLUTNING

Undersøgelsen illustrerer de drilagtigt mange forskellige måder, som alkalikiselreaktioner kan ytre sig på.

- Tilsyneladende identiske konstruktionsdele kan være revnede eller urevnede. Årsagen til dette kan være forskellen i tilstedeværelsen af initielle termorevner /3/.
- Der er identiske konstruktionsdele (søjlerne på bro 527-5001), som revner, hvor der er anvendt granitskærver, men ikke revner, hvor der er anvendt bakkesten. Til gengæld får søjlerne med bakkesten springere.
- På de malede broer dannes udsivninger af gel, som er synlige på beskyttede flader, men som vaskes væk i slagregn.
- En enkelt iagttagelse de ubehandlede broer synes at pege på, at revnedannelsen kan fortsætte i lang tid efter at det første revnemønster har vist sig. Dette er i modsætning til den måde problemet fremstilles i /3/, hvor det antages at revnedannelsen sker over en kort tidsperiode. Det kan dog ikke udelukkes, at der er en samvirken med frosten.

Som konklusion på rapporten kan følgende konstateres.

Iagttagelserne bekræfter konklusionerne i /2/, gengivet i indledningsafsnittet.

De malede broers ekspansion p.g.a. AKR er åbenbart stoppet. Der er kun iagttaget få revnegennemslag. Dette skal dog ikke tilskrives malingens vandstandsende effekt, men den omstændighed, at malingen er blevet påført efter tiden t_1 for de pågældende konstruktionsdele, jf. figur 11. Malingens virkning på nuværende tidspunkt er at hindre videre nedbrydning p.g.a. frost og udludninger og at give et pænt udseende.

De malede konstruktionsdeles vandindhold er synkende, men det er desuden fundet, at RF i betonens porer stræber mod en konstant værdi på 96 %RF, uanset hvad betonens vandindhold er.

De hvide pletter på malingen skyldes alkalikisegel, som presses ud fra underliggende gelfyldte porer. Processen er ikke farlig for konstruktionen, men udgør et æstetisk problem. Der er så meget reaktivt materiale tilbage under malingen, at udsvedningen sandsynligvis vil foregå i mange år fremover. Fænomenet har ikke betydning for broernes bæreevne.

Revnetidspunktet for bro 60-0082, 16 år efter støbningen skyldes, at svære konstruktioner revner sent. Revnetidspunktet stemmer med andre iagttagelser af sen revnedannelse på svære konstruktioner.

LITTERATUR

- /1/ Nielsen, Anders: Fugt i betonbroer, fugtforholdene i udvalgte betonbroer, januar 1983. Byggeteknik, Teknologisk Institut. September 1983. A4. 50 sider + bilag.
- /2/ Overfladebeskyttelse af revnede brokonstruktioner på motorvejsstrækninger M60 og M61 Skanderborg-Århus. Vejdirektoratet, Broområdet v/Århus Amtskommune. Vejkontoret. December 1991.
- /3/ Nielsen, Anders: Skadesforløb i konstruktioner med alkalikiselreaktioner. Dansk Beton 1:1993, side 34-37.
- /4/ Verbeck, G.J. & Gramlich, C: Osmotic Studies and Hypothesis Concerning Alkali-Aggregate Reaction. Portl.Cem.Ass. Res.Dep. Bull.57, Chicago. 1956.

