



Notat

Teknik- og Miljøudvalget

Status på genopretning af stenkantene ved Sørne, Indre By

Resumé

Teknik- og Miljøudvalget orienteres om status på genopretning af stenkantene ved Sørne, herunder at forvaltningen vurderer, at delprojekt 2 om punktvis renovering af kanter udgår af projektet. Betonen ved nogle af kanterne har vist sig at være i så dårlig stand, at det ikke er muligt at udføre en punktvis renovering. De afsatte midler vil derfor blive brugt til nærmere undersøgelser af, i hvilket omfang betonen skal udskiftes.

Sagsfremstilling

Ved Budget 2022 (BR 7. oktober 2021) (A, B, F, O, V, Ø, Å, Frie Grønne og Kaare Traberg Smidt) blev der afsat 21,5 mio. kr. i anlægsmidler til genopretning af stenkantene langs Sortedams Sø mod Østerbrogade og langs Skt. Jørgens Sø mod Kampmannsgade samt de resterende stenkant om De Indre Sør.

Projektet består af to delprojekter:

1. Udskiftning af søkanterne ved Østerbrogade på 180 m og renovering af søkanterne i den nordlige del af Sankt Jørgens Sø mod Kampmannsgade på 180 m (need to genopretning).
2. Punktvis renoveringer af nedfaldne granitsten, fugereparationer og bæreevnevurderinger af øvrige søkanter ved Peblinge Sø og Sortedam Sø.

Status på delprojekt 1 (18,3 mio. kr. i anlæg, i 2022 p/l)

Oprindeligt var det forventningen, at projektet ville være færdiganlagt i december 2023, men delprojekt 1 er blevet forsinket, fordi projektet er komplekst, og ekstra prøveboringer til vurdering af søkanternes tilstand har betydet, at myndighedsbehandlingen af prøvetagning i fredet anlæg har taget længere tid end forventet.

Forvaltningen forventer, at anlæg af delprojekt 1 kan gå i gang ultimo 2024 med forventet ibrugtagning sommeren 2025.

08-08-2024

Sagsnummer i F2
2024 - 11464

Dokumentnummer i F2
143312

Sagsnummer i eDoc
2024-0200884

Mobilitet, Klimatilpasning og Byvedligehold

Islands Brygge 37
2300 København S

EAN-nummer
5798009809452

Status på delprojekt 2 (3,0 mio. kr. i anlæg, i 2022 p/l)

De øvrige søkanter ved Peblinge Sø og Sortedam Sø er i dårligere stand end forventet, og det er derfor ikke muligt at gennemføre en renovering af kanterne, som forudsat i budgetnotatet til Budget 2022 (TM36 Genopretning af stenkanter ved Søerne - Østerbrogade og Kampmannsgade).

Forvaltningen har bedt rådgiver om at foretage nye betonundersøgelser af søkanterne, jf. bilag 1. Prøvegravningerne viser, at betonen bagstensætningen er i så dårlig stand, at det ikke er muligt at lave en mindre genopretning, og forvaltningen vurderer derfor, at delprojekt 2 bør tages ud af projektet om genopretning af søkanterne ved Søerne.

Det skal også bemærkes, at det ikke har været muligt at foretage de nødvendige bæreevnevurderinger som følge af betonens dårlige stand.

Primo juni er der brugt 350.000 kr. af den eksisterende bevilling på delprojekt 2, ekskl. interne udgifter til bygherreorganisation, som ikke kan udskilles, da delprojekterne er håndteret som et samlet projekt.

Videre proces for delprojekt 2

Genopretningen af søkanterne forudsætter enten en større eller mindre renovering og udskiftning af betonen, som ikke kan udføres inden for den afsatte økonomiske ramme. Forvaltningen vil derfor i stedet for at foretage en punktvist renovering af søkanterne for nedfaldne granitsten, fugereparationer og en bæreevnevurdering bruge de resterende midler til nye forundersøgelser med 8-10 prøvegravninger, jf. bilag 2. Forvaltningen vurderer, at prisen på forundersøgelser vil udgøre ca. 350.000 kr., som kan dækkes af den eksisterende bevilling.

Med forundersøgelserne udtages dybere boreprøver med andre metoder, og resultaterne af borerne forventes derfor at ville være repræsentative for alle søkanterne. Formålet er at kortlægge, om det er nødvendigt med en større eller mindre udskiftning af betonen, som kan danne grundlag for et nyt selvstændigt genopretningsprojekt.

Der er estimeret 3 mio. kr. (2022 p/l) til delprojekt 2. Midlerne indstilles omdisponeret ved "Anden sag om bevillingsmæssige ændringer 2024" (på samme møde som denne sag), til en analyse af genopretningsbehovet på de resterende stenkanter samt akut afhjælpning. Hvis der er overskydende midler efter analyse og evt. akut afhjælpning, vil midlerne blive ført tilbage til kassen.

Omkostningerne til et selvstændigt nyt genopretningsprojekt vil først kunne estimeres, når undersøgelserne er foretaget. Forvaltningen forventer at kunne fremlægge et budgetnotat om finansiering af den resterende genopretning af søkanterne til forhandlingerne om Overførelsessagen 2024-2025 eller Budget 2026.

Politisk handlerum

Et eller flere udvalgsmedlemmer kan hæve sagen til en beslutningssag, så den behandles på et kommende møde i Teknik- og Miljøudvalget.

Videre proces

Når Teknik- og Miljøudvalget er orienteret, vil forvaltningen foretage nye forundersøgelser af søkanterne.

Peter Højer
Vicedirektør

TM36 Genopretning af kanter ved de Indre Søer



Baggrund

De Indre Søer besøges dagligt af mange københavnere og turister og har ikonisk status i byen. Stenkanterne langs søerne er flere steder eroderede, og der ses nedfaldne sten. Særligt stenkanten langs Sortedams Sø mod Østerbrogade og stenkanten langs Skt. Jørgens Sø ved Kampmannsgade er i dårlig stand. Ved Kampmannsgade er der opsat afspærring af sikkerhedshensyn, mens behovet for afspærring ved Østerbrogade løbende vurderes. Der er derfor behov for genopretning af stenkanterne for at undgå yderligere nedbrud og udskridning af søkanter og bagved liggende arealer med fordyrelse af genopretningen til følge.

Need to renovating

Stenkanterne langs Sortedams Sø mod Østerbrogade og langs Skt. Jørgens Sø mod Kampmannsgade er i kritisk tilstand, og der er behov for genopretning. Særligt inden for det seneste år til halvandet har der været perioder med lav vandstand i de Indre Søer, som har været med til at blotte trækonstruktionen ved Østerbrogade, hvilket øger risikoen for nedbrydning og erosion med udskridning af søkanter og bagved liggende materiale. Hvis ikke der afsættes midler, vil det medføre en øget risiko for afspærringer ved Østerbrogade og en fortsat afspærring ved Kampmannsgade. Desuden vil det medføre stigende udgifter til genopretning, da nedbruddet og erosionen af kanterne på disse strækninger er betydelig og løbende forværres.

Indhold

Budgetnotatet beskriver to initiativer; Initiativ 1 er en genopretning af stenkanterne ved Østerbrogade og ved Kampmannsgade (need to). Initiativ 2 er en genopretning af de resterende kanter.

Stenkanterne er løbende blevet gennemgået af eksterne konsulenter. Kanten langs Sortedams Sø mod Østerbrogade blev undersøgt ultimo 2020, og med udgangspunkt i den dårlige tilstand af kanten er der ligeledes foretaget en nærmere undersøgelse af de resterende kanter i første halvår af 2021. Der foreligger således en opdateret, konkret beskrivelse af genopretningsbehovet vedrørende stenkanten mod Østerbrogade og en konkret og opdateret beskrivelse af genopretningsbehovet af kanten ved Kampmannsgade og de øvrige kanter.

Forvaltningen arbejder på en model for grøn genopretning, hvor elementer og bygværker i parker og grønne områder på sigt vil indgå i en langsigtet vedligeholdelsesplan. Da tilstanden af stenkanterne ved Østerbrogade og



Kampmannsgade er kritiske, og der er behov for genopretning heraf nu, kan disse ikke afvente den samlede model og plan for grøn genopretning, hvorfor disse rejses som need to.

Initiativ 1. Need to: Genopretning af stenkant og bærende trækonstruktion langs Østerbrogade og stenkant langt Kampmannsgade (18,3 mio. kr. i anlæg)

Stenkanterne og øvrige anlæg omkring de indre søer er tilset af ekstern konsulent i 2014, hvor der bl.a. blev konstateret et genopretningsbehov for stenkanten langs Østerbrogade. Stenkanten langs Østerbrogade er en konstruktion, der er båret af træstolper, som ved normale forhold står under vand. Forvaltningen vurderede i 2020, at tilstanden af kanten var så ringe, at afspærring kunne blive nødvendig og fik derfor gennemført et supplerende tilsyn ved ekstern rådgiver, ultimo 2020 af denne strækning. Dette tilsyn viste, at den bærende trækonstruktion ved denne strækning er meget medtaget og delvist nedbrudt. Den lave vandstand i søerne den senere tid – særligt i 2020 - har blottet trækonstruktionen, hvilket øger tempoet for nedbrydningen af konstruktionen. Den eksterne konsulent anbefaler, at der iværksættes udbedringer inden for et år, og ellers skal kanten mod Østerbrogade undersøges igen i forhold til holdbarhed/sikkerhed. Det er dog ikke muligt at forudsæ, hvornår nedbrydningen vil være så fremskreden, at der er behov for afspærring. Kommer der perioder, hvor træværket iltes på grund af lav vandstand, vil nedbrydningen blive forværret. Forvaltningen foretager tilsyn med strækningen oven vande på ugentlig basis, så der hurtigt kan iværksættes afspærring, hvis der er tegn på nedsynkning/ udskridning af søkanter og bagvedliggende arealer eller andre forhold, der kan være til risiko for forbigående.

Stenkanten langs Kampmannsgade ved Skt. Jørgens Sø er ligeledes i meget dårlig stand, og har hen over vinteren 2020-2021 har fået mange skader på grund af det kolde vejr. Isen på søerne har forårsaget, at mange sten er faldet i vandet eller har løsnet sig på en strækning, hvor søen er forholdsvis dyb. Stenkanten ved Kampmannsgade er på nuværende tidspunkt afspærret for at sikre mod personskade, og sekundært for at sikre at skaden ikke forværres af færdsel. Denne strækning blev undersøgt af ekstern konsulent i foråret 2021 og økonomien baseres derfor herpå.

Initiativ 2. Genopretning af de resterende stenkantar om de Indre Søer - tilvalg (3,0 mio. kr. i anlæg)

De øvrige kanter vurderes ikke at være lige så nedbrudte som kanten langs Sortedams Sø ved Østerbrogade og kanten i Skt. Jørgens Sø ved Kampmannsgade. De løbende tilsyn via ekstern konsulent har dog vist et behov for renovering af de øvrige kanter. Renoveringen vil være med til at sikre kanterne imod yderligere nedbrydning, flere akutte genopretningsbehov og en fordyrelse af det samlede renoveringsbehov fremadrettet. Endvidere vurderes der at kunne opnå en mindre synergieffekt ved fælles udbud og delt byggeplads ved også at gennemføre dette initiativ i sammenhæng med initiativ 1.

Kanterne er opbygget forskelligt rundt langs søernes kanter, og skadesudviklingen er meget forskellig. Derfor er prisforskellen for genopretning meget svingende for de forskellige strækninger. På baggrund af den eksterne undersøgelse i foråret 2021 estimeres den samlede udgift til genopretning af de resterende kanter at være 3,0 mio. kr.

Overordnede målsætninger og effekter

Genopretning af stenkanten langs de Indre Søer vil være med til at sikre byens værdier og understøtte københavnernes brug af byens rum.



Økonomi

Initiativ 1 (need to) har estimerede anlægsudgifter på i alt ca. 18,3 mio. kr. i perioden 2021 til 2023 til renovering af kanten i Sortedams Sø langs Østerbrogade og stenkanten langt Kampmannsgade.

Initiativ 2 (tilvalg) har estimerede anlægsudgifter fra 2022 til 2023 på ca. 3,0 mio. kr.

Der har ikke før været afsat et vedligeholdelsesbudget til stenkanterne. Når renoveringen af alle søkanter er gennemført, anbefaler forvaltningen, at der tilføres afledte serviceudgifter på 0,3 mio. kr. fra 2024 og frem til vedligeholdelse som blandt andet omfatter løbende fornyelse af fuger, regelmæssige eksterne tilsyn og periodiske genopretningsopgaver.

Ved at afsætte et vedligeholdelsesbudget på 0,3 mio. kr. årligt imødegås risikoen for, at der igen opstår behov for større og / eller akutte genopretningsindsatser vedr. stenkanterne.

Projektet forventes ibrugtaget december 2023.

Tabel 1. Oversigt over aktiviteter på alle styringsområder

Aktiviteter i forslaget (1.000 kr. - 2022 p/l)	Styrings-område	2021	2022	2023	2024	2025	I alt
<i>Initiativ 1. Genopretning af stenkant langs Østerbrogade og Kampmannsgade ved Skt. Jørgens Sø (need to)</i>							
- Anlæg	Anlæg	170	4.457	13.674			18.301
-Afledt vedligeholdelse	Service				50	50	100
Initiativ 1 i alt		170	4.457	13.674	50	50	18.401
<i>Initiativ 2. De resterende stenkanter om de Indre Søer (tilvalg)</i>							
- Anlæg	Anlæg		170	2.839			3.009
-Afledt vedligeholdelse	Service				200	200	400
Initiativ 2 i alt			170	2.839	200	200	3.409
Udgifter i alt		170	4.627	16.513	250	250	21.810

Risikovurdering

Den overordnede risikovurdering er, at anlægsprojektet er kompliceret, og der er derfor afsat 15 % af anlægsomkostningerne til uforudsete udgifter.

Risikovurderingen er baseret på, at stenkanterne er delvist vanddækkede, og at nogle af konstruktionsdelene stikker flere meter ind i terrænet og er vanskeligt tilgængelige, hvilket indebærer en vis usikkerhed i vurderingen af tilstanden, og dermed af udgiften til genopretning. Desuden vil der ved nogle af kanterne, bl.a. søkanten ved Østerbrogade, skulle foretages en udskiftning, hvor gammel spuns skal trækkes op af søbunden og udskiftes med ny konstruktion. Her er der risiko for både sammenstyrtning af overbygningen eller skred af det bagvedliggende materiale.



Bevillingstekniske oplysninger

Tabel 2. Udgifter på alle styringsområder

Anlæg (1.000 kr. – 2022 p/l)	Bevilling	2021	2022	2023	2024	2025	I alt	*
<i>Anlægsudgifter</i>								
- Projektering (ekstern), initiativ 1	2000	150	1.374	1.383			2.907	2.907*
- Udførsel (ekstern), initiativ 1	2000		2.567	10.707			13.274	13.274*
Udgifter til bygherreorganisation, initiativ 1	2000	20	516	1.584			2.120	*
- Projektering (ekstern), initiativ 2	2000		150	328			478	478*
- Udførsel (ekstern), initiativ 2	2000			2.182			2.182	2.182*
Udgifter til bygherreorganisation, initiativ 2	2000		20	329			348	
Anlægsudgifter i alt		170	4.627	16.513			21.309	18.841*
<i>Afledte serviceudgifter</i>								
- Initiativ 1. Afledte vedligeholdelsesudgifter					50	50	100	
Initiativ 2. Afledte vedligeholdelsesudgifter					200	200	400	
Afledte serviceudgifter i alt					250	250	500	

Øvrige tekniske oplysninger

Bydel

Bydækkende							
Bispebjerg		Indre by	x	Vesterbro/Kgs. Enghave		Valby	Amager Øst
Nørrebro	X	Østerbro	x	Brønshøj/Husum		Vanløse	Amager Vest

Høring

Har budgetnotatet været i høring?	Ja	Nej
Ejendomsfaglig høring i TEo/ByK/KEID		X
IT-projekt (KIT)		X

Tidligere afsatte midler

I Overførselssagen 2019-20 blev der afsat 2,9 mio. kr. til genopretning af de over hundrede år gamle anlæg med svanehalse ved Dronning Louises Bro, samt et



vedligeholdelsesbudget til disse. Der er ikke tidligere afsat midler til genopretning af stenkanten ved de Indre Søer.

<i>(1.000 kr., løbende p/l)</i>	2020
Overførelssagen 2019-2020	2.900
Afsatte midler i alt	2.900

Betonundersøgelser af betonvægge langs Sortedams Sø (nordlig og sydlig del) og Peblinge Sø i København

Makroskopisk og mikroskopisk analyse af beton

Københavns Ejendomme og Indkøb

Udarbejdet af: Sara E. Hoffritz
Kontrolleret af: Casper Vesterskov
Godkendt af: Nikolaj Skafte Koch
Dato: 08.05.2024
Version: 002
Projekt nr.: 1018523

Artelia A/S
Buddingevej 272
DK-2860 Søborg
+45 4457 6000
CVR: 64 04 56 28
www.arteliagroup.dk

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion	4
2	Sammenfatning og vurdering.....	4
2.1	Betontyper observeret og deres originale kvalitet.....	5
2.1.1	Prøve 1 udtaget ved punkt U1	5
2.1.2	Prøve 2 udtaget ved punkt U2	5
2.1.3	Prøve 3 udtaget ved punkt U3	5
2.1.4	Prøve 4 udtaget ved punkt U4	5
2.2	Nuværende tilstand af betoner – Revner, fugtpåvirkning og karbonatisering.....	6
2.2.1	Prøve 1 udtaget ved punkt U1	6
2.2.2	Prøve 2 udtaget ved punkt U2	6
2.2.3	Prøve 3 udtaget ved punkt U3	6
2.2.4	Prøve 4 udtaget ved punkt U4	6
3	Makroskopisk analyse	7
3.1	Prøve 1 – Udgravning U1 – Nordlig del af Sortedams Sø, vestside – Makroskopisk beskrivelse.....	8
3.2	Prøve 2 – Udgravning U2 – Nordlig del af Sortedams Sø, østside – Makroskopisk beskrivelse.....	9
3.3	Prøve 3 – Udgravning U3 – Sydlig del af Sortedams Sø – Makroskopisk beskrivelse.....	10
3.4	Prøve 4 – Udgravning U4 – Peblinge Sø – Makroskopisk beskrivelse.....	11
4	Tyndslibsanalyser	12
4.1	Prøve 1 – Udgravning U1 – Nordlig del af Sortedams Sø, vestside - Tyndslibsanalyse	13
4.2	Prøve 2 – Udgravning U2 – Nordlig del af Sortedams Sø, østside - Tyndslibsanalyse.....	14
4.3	Prøve 3 – Udgravning U3 – Sydlig del af Sortedams Sø - Tyndslibsanalyse.....	15
4.4	Prøve 4 – Udgravning U4 – Peblinge Sø – Tyndslibsanalyse.....	16
5	Fotodokumentation	17

1 Introduktion

I forbindelse med mulig istandsættelse og/eller understøtning af væggene langs Sortedams Sø (nordlig og sydlig del) og Peblinge Sø i København ønskes der en vurdering af betonens tilstand.

Indeværende rapport indeholder en vurderingen af betonens originale kvalitet og nuværende tilstand. Denne vurdering er foretaget på baggrund af makroskopiske og mikroskopiske analyser af borekerner udboret fra terræn og lodret ned igennem væggen på 4 forskellige lokaliteter.

Der er udboret hhv. 2 stk. borekerner ved den nordlige Sortedams Sø og hhv. 1 stk. borekerne ved den sydlige Sortedams Sø og 1 stk. borekerne ved Peblinge Sø.

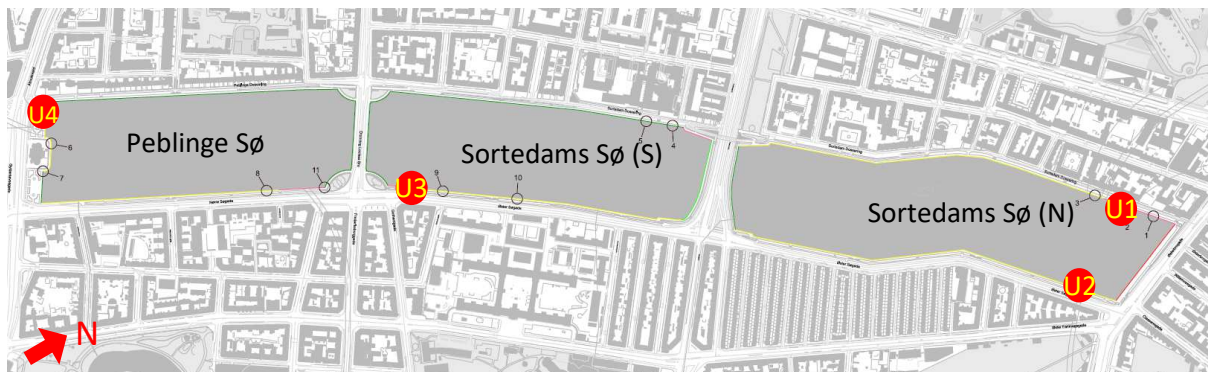
Borekernerne var planlagt udtaget i udgravninger på sti-siden langs væggene. Sådan en udgravning blev forsøgt ved vestsiden af den nordlige Sortedams Sø (benævnt U1), men med det resultat at gravehullet hurtigt blev fyldt med vand fra selve søen, da væggen fremstod utæt.

Derfor er alle borekerner udtaget fra betonvæggens overside i terræn og lodret ned igennem, så langt ned det var muligt. Dybden af udboringen var påvirket af hvor fragmenteret betonen fremstod.

Der er udført makroskopiske og mikroskopiske analyser (tyndslibsanalyser) af alle 4 borekerner.

Da ingen af kernerne har været mulige at få udboret tilstrækkelig sammenhængende har det ikke været muligt at udføre trykprøvning på betonkernerne. Der foreligger derfor ingen analyseret trykstyrke af betonen.

Der er ikke konstateret armering i nogen af borekernerne og der er derfor heller ikke udført chlorid-analyser af betonen.



Figur 1. Placering af prøvetagningssteder

2 Sammenfatning og vurdering

Ud fra de udførte analyser er der observeret 4 forskellige betoner, som alle er af forskellige original kvalitet, men som alle nu fremstår i dårlig tilstand og under nedbrydning. Årsagen til skaderne varierer lidt imellem de forskellige betoner, dog bærer skaderne overvejende præg af at være dannet som resultat af alkaliselreaktioner og gennemsvivende fugt i betonerne samt til dels frostskafer og sulfatangreb.

Da der optræder omfattende skader i samtlige betoner, som er analyseret i nærværende undersøgelse, må problemet betragtes som det generelle billede i betonvæggene langs de pågældende søer. Dertil bør dog nævnes, at det kun er den øverste del, op til 420 mm af betonvæggen, der er undersøgt. Den øverste del af betonvæggen vil naturligvis være mere udsat for varierende vandstand i søen, nedbør, eventuel nærliggende tørsaltning, frost-tø-cykluser, dyre-ekskremitter mv.

Det kan være tilfældet, at betonen fremstår i bedre tilstand under vandspejlet i søen og dermed længere nede på væggen, men dette har ikke været muligt at undersøge med nuværende høje vandspejl, da der ikke kan udføres udgravninger uden at der passerer søvand igennem væggen til udgravning.

Generelt for alle betonerne kan nævnes, at på trods af muligvis rimelige kvaliteter af betonerne ved støbning, så kan ingen af betonerne karakteriseres som værende udført i hverken aggressiv eller ekstra aggressiv miljøklasse efter gældende normer, og dermed er alle fire betontyper uegnet til den pågældende eksponering ved søerne.

Generelt for alle betonerne bør yderligere bemærkes, at ingen af betonerne fremstår længere beskyttet mod frost i og med eventuelle luftporesystemer er blevet blokeret af sekundære udfældninger dannet ved fugtgennemsvivning.

Sidst, men ikke mindst, bærer flere af betonerne præg af at revnerne, uanset om de er dannet tidligt efter udstøbning af væggen eller først efter en årrække, fortsat er aktive og at der altså er bevægelse i væggene, der forårsager mere revnedannelse.

2.1 Betontyper observeret og deres originale kvalitet

2.1.1 Prøve 1 udtaget ved punkt U1 (Sortedams Sø, nordlig del)

Dette er den ældste beton observeret imellem de udtagne prøver. Betonen vurderes at være udstøbt omkring 1930 +/- 20 år.

Betonen er sammensat med tilslag af store flintesten og et sandtilslag med et højt indhold af porøs flint, som er alkalireaktivt og frostfarligt. Cementpastaen fremstår på nuværende tidspunkt meget udvasket, men har været af grovkornet portlandcement. Derudover har betonen et varierende, men generelt lavt indhold af luft og kan ikke karakteriseres som luftindblandet.

Ved udboring af prøven optræder der i 300 mm dybde en revne, som kunne repræsentere et støbeskel i væggen.

2.1.2 Prøve 2 udtaget ved punkt U2 (Sortedams Sø, nordlig del)

Denne beton vurderes at være relativt moderne, udstøbt omkring 2000 +/- 10 år.

Betonen er sammensat med tilslag af flint, granit og kalksten samt et sandtilslag med et moderat indhold af porøs flint, som er alkalireaktivt og frostfarligt. Cementpastaen består af en høj mængde grovkornet portlandcement tilsat flyveaske og muligvis mikrosilica med et overvejende lavt vand/cementforhold. Betonen er luftindblandet med omkring 7 vol%.

2.1.3 Prøve 3 udtaget ved punkt U3 (Sortedams Sø, sydlig del)

Alderen på denne beton er svær at vurdere pga. markant udvaskning af cementpastaen. Umiddelbart vurderes betonen at være udstøbt omkring 1950 +/- 20 år.

Betonen er sammensat af granit, sandsten, flint og lidt kalksten samt sandtilslag med et lavt indhold af porøs flint. Cementpastaen fremstår på nuværende tidspunkt meget udvasket, men optræder som en grovkornet portlandcement. Betonen har et luftindhold på 4-5 vol% og er muligvis luftindblandet. Komprimeringen af betonen har været mangelfuld, da der i bunden af prøven optræder stenreder.

2.1.4 Prøve 4 udtaget ved punkt U4 (Peblinge Sø)

Denne beton vurderes at være udstøbt omkring 1950 +/- 20 år. Det kan ikke udelukkes at det er samme beton, som anvendt ved punkt U3, men det fine tilslag (sandet) fremstår forskelligt.

Betonen er sammensat af granit, flint, kalksten og sandsten samt et sandtilslag med et højt indhold af porøs flint, som er alkalireaktivt og frostfarligt. Cementpastaen består af en høj mængde grovkornet portlandcement. Betonens har et luftindhold på omkring 2 vol% og er ikke luftindblandet.

2.2 Nuværende tilstand af betoner – Revner, fugtpåvirkning og karbonatisering

2.2.1 Prøve 1 udtaget ved punkt U1 (Sortedams Sø, nordlig del)

Betonen er præget af en del alkaliskelreaktioner, som har forårsaget grove revner i betonen. Der optræder også en del revner, som er dannet tidligt, hvilket kan være under, eller kort tid efter, støbning af væggen.

I revnerne optræder der stedvist sekundære udfældninger, som dannes når betonen er under sulfatangreb. Der kan være forskellige kilder til disse sulfater: grundvand, spildevand, tøsaltning og endelig kan sulfaterne også stamme fra søvandet, evt. som resultat af fugle-ekskremitter opløst i vandet eller andre svovlholdige bakterier.

Derudover er, det i forvejen, lille luftindhold blevet begrænset af sekundære udfældninger fra gennemsvivende fugt og bindemidlet er ligeledes under omdannelse. Betonens er ikke frostsikker.

Revnen i 300 mm afstand til overside af betonvæg vurderes at kunne være et gammelt, utæt støbeskel, hvorigennem der passerer vand og luft alt afhængig af vandspejlets niveau i søen.

Betonens kan beskrives som værende under kraftig nedbrydning.

2.2.2 Prøve 2 udtaget ved punkt U2 (Sortedams Sø, nordlig del)

Betonens er, på trods af sin unge alder, stærkt præget af revnedannende alkaliskelreaktioner, samt kraftig fugtgennemsvivning og fortsat aktive revner. Nogle revner bærer præg af at være dannet som resultat af støbning i vinterperioden med frostpåvirkning af relativt frisk beton.

Betonens kan beskrives som værende under kraftig nedbrydning og med fortsat aktive (bevægende) revner.

2.2.3 Prøve 3 udtaget ved punkt U3 (Sortedams Sø, sydlig del)

Betonens har en høj mængde revner, som tyder på at være dannet tidligt efter betonens støbning, muligvis som resultat af frost, men de kan også være resultat af sulfatangreb. Revnerne bærer præg af at være fortsat aktive (bevægende). Cementpastaen fremstår meget porøs og udvasket og styrken må forventes påvirket deraf.

I revnerne optræder der stedvist sekundære udfældninger, som dannes når betonen er under sulfatangreb. Der kan være forskellige kilder til disse sulfater: grundvand, spildevand, tøsaltning og endelig kan sulfaterne også stamme fra søvandet, evt. som resultat af fugle-ekskremitter opløst i vandet eller andre svovlholdige bakterier.

Betonens kan beskrives som værende under kraftig nedbrydning.

2.2.4 Prøve 4 udtaget ved punkt U4 (Peblinge Sø)

Der optræder en høj mængde af alkaliskelreaktioner i denne beton, som har forårsaget grove revner især i den øverste del af betonen. Betonens er ikke luftindblandet og der optræder en høj mængde sekundære udfældninger i luftporerne, med det resultat at betonen slet ikke er frostsikker.

Betonens kan beskrives som værende under kraftig nedbrydning.

3 Makroskopisk analyse

De makroskopiske analyser er udført på de udtagne borekerner og er baseret på visuelle observationer.

Borekernerne er beskrevet ved deres bestanddele som mørtel, beton, overfladebehandling og diverse andre lag.

Revner

Ved forekomsten af revner er følgende revneviddebenævnelser anvendt i teksten:

- >0,1 mm: Grove revner
- 0,01-0,1 mm: Fine revner
- <0,01 mm: Mikrorevner.

Karbonatiseringsdybde

For en vurdering af betonernes karbonatiseringsdybde er borekernerne påført pH-indikator.

Foto

Foto af borekernerne fremgår af fotodokumentationen (afsnit 5).

Videre analyse

Ud fra den makroskopiske analyse er alle borekerner udvalgt til videre mikroskopanalyse (tyndslibs-analyse).

3.1 Prøve 1 – Udgravning U1 – Nordlig del af Sortedams Sø, vestside – Makroskopisk beskrivelse

Prøvebeskrivelse	Borekerne af beton. Kernen er brudt i mange brudstykker ved udboring.
Prøvedimensioner	Længde: omkring 420 mm, diameter: Ø90 mm.
Prøve orientering	Borekernen er udboret lodret igennem væggen fra terræn og ned.
Beton	<i>Blandingsforhold:</i> Beton med umiddelbart et moderat indhold af velfordelte stentilslag. Blandingsforholdet er svært at vurdere pga. kernens fragmenterede tilstand. <i>Tilslag:</i> Stentilslag bestående af overvejende afrundede, op til 40 mm store flint (tæt) og enkelte granit. <i>Cementpasta:</i> Grå, dog lysegrå i de nederste 70 mm. De nederste 70 mm fremstår lettere porøse. <i>Karbonatisering:</i> Yderste omkring 10 mm samt omkring støbeskel/revne omkring 300 mm dybde med omkring 10 mm afstand til revne. <i>Komprimeringsgrad:</i> Umiddelbart velkomprimeret med kun enkelte luftindkapslinger. Komprimeringsgraden er svær at vurdere pga. kernens fragmenterede tilstand.
Revner og andre defekter	I de fragmenter, der optræder fra kernen med sammenhængende beton ses der en del revner, som både passerer igennem og udenom tilslag og som stedvist indeholder hvide udfældninger.
Overflader	<i>Ydre endeflade:</i> Ujævn, ru og brunligt misfarvet. <i>Indre endeflade:</i> Brudflade med aftryk fra sten.
Armering	Ingen.
Øvrige observationer	I omkring 300 mm dybde fra terræn optræder der en gammel revne (muligvis støbeskel) med 2-3 mm tykke, hvide udfældninger af kalk.
Øvrige analyser	Der er placeret et tyndslib over brudflade med kalkudfældninger i en afstand af 280-325 mm fra terræn.

3.2 Prøve 2 – Udgravning U2 – Nordlig del af Sortedams Sø, østside – Makroskopisk beskrivelse

Prøvebeskrivelse	Borekerne af beton med et 10 mm lag asfalt på oversiden. Kernen er brudt i flere brudstykker ved udboring.
Prøvedimensioner	Længde: omkring 200 mm, diameter: Ø90 mm.
Prøve orientering	Borekernen er udboret lodret igennem væggen fra terræn og ned.
Beton	<i>Blandingsforhold:</i> Beton med et moderat indhold af let uensartet fordelte stentilslag. <i>Tilslag:</i> Stentilslag bestående af kantrundede til afrundede, op til 20 mm store flint (tæt), granit og kalksten. Sandet har et højt indhold af hvide overkorn. <i>Cementpasta:</i> Grå. <i>Karbonatisering:</i> 7-10 mm fra overside af betonvæg. <i>Komprimeringsgrad:</i> Overvejende velkomprimeret med kun med enkelte luftindkapslinger.
Revner og andre defekter	Der er mange revner både vinkelret og parallelt med overfladen. Revnerne optræder i flere dybder, men overvejende med en afstand til terræn af 15 mm, 25 mm, 35 mm og helt ned til 105 mm dybde. Revnerne passerer igennem tilslag og en del indeholder hvide udfældninger.
Overflader	<i>Ydre endeflade:</i> Asfaltbelægning. <i>Indre endeflade:</i> Brudflade med aftryk fra sten.
Armering	Ingen.
Øvrige observationer	Ingen.
Øvrige analyser	Der er placeret et tyndslib i overfladen af betonen; fra 0-45 mm dybde under asfalt.

3.3 Prøve 3 – Udgravning U3 – Sydlig del af Sortedams Sø – Makroskopisk beskrivelse

Prøvebeskrivelse	Borekerne af beton med et 20 mm afretningslag (mørtel) på oversiden. Kernen er brudt i flere brudstykker ved udboring.
Prøvedimensioner	Længde: 270 mm, diameter: Ø90 mm.
Prøve orientering	Borekernen er udboret lodret igennem væggen fra terræn og ned.
Beton	<p><i>Blandingsforhold:</i> Beton med et moderat indhold af nogenlunde velfordelte stentilslag.</p> <p><i>Tilslag:</i> Stentilslag bestående af kantrundede til afrundede, op til 32 mm store granit, sandsten, flint (tæt) og enkelte kalksten. Sandet har et moderat indhold af hvide overkorn.</p> <p><i>Cementpasta:</i> Grå, dog brunlig i de nederste 20 mm. Bindemidlet fremstår tæt.</p> <p><i>Karbonatisering:</i> 1-5 mm fra overside af betonvæg.</p> <p><i>Komprimeringsgrad:</i> Moderat komprimeret med en del mindre luftindkapslinger.</p>
Revner og andre defekter	Der er en del overfladeparallelle revner samt enkelte diagonale og enkelte lodrette revner. De overfladeparallelle revner optræder overvejende i dybden mellem 100-220 mm fra betonens overside. Revnerne passerer igennem tilslagene.
Overflader	<p><i>Ydre endeflade:</i> Let ujævn, ru med mørtel.</p> <p><i>Indre endeflade:</i> Brudflade med aftryk fra sten.</p>
Armering	Ingen.
Øvrige observationer	Imellem afretningslaget af mørtel og betonen optræder kalkaflejringer. Der optræder stenreder i bunden af betonen, stedvist med udfældninger af kalk.
Øvrige analyser	Der er placeret et tyndslib i en dybde af 120-165 mm fra betonens overside.

3.4 Prøve 4 – Udgravning U4 – Peblinge Sø – Makroskopisk beskrivelse

Prøvebeskrivelse	Borekerne af beton. Kernen er brudt i fire brudstykker ved udboring.
Prøvedimensioner	Længde: 420 mm, diameter: Ø90 mm.
Prøve orientering	Borekernen er udboret lodret igennem væggen fra terræn og ned.
Beton	<i>Blandingsforhold:</i> Beton med et moderat indhold af nogenlunde velfordelte stentilslag. <i>Tilslag:</i> Stentilslag bestående af kantrundede til afrundede, op til 25 mm store granit, sandsten, flint (tæt) og enkelte kalksten. Sandet har et moderat indhold af hvide overkorn. <i>Cementpasta:</i> Lysegrå. Bindemidlet fremstår tæt. <i>Karbonatisering:</i> 5-10 mm fra overside af betonvæg. <i>Komprimeringsgrad:</i> Moderat komprimeret med nogle mellem til store luftindkapslinger og ansamling af stenreder i de nederste 100 mm af borekernen.
Revner og andre defekter	Mange overfladeparallelle revner og diagonale revner, som optræder fra betonens overside og hele borekernens længde. Revnerne passerer igennem tilslag.
Overflader	<i>Ydre endeflade:</i> Ujævn, ru. <i>Indre endeflade:</i> Brudflade med aftryk fra sten.
Armering	Ingen.
Øvrige observationer	Ingen.
Øvrige analyser	Der er placeret et tyndslib i en dybde af 75-125 mm fra betonens overside.

4 Tyndslibsanalyser

Der er produceret i alt 4 stk. tyndslib, hhv. et tyndslib af hver prøve.

Hvert tyndslib er 0,02 mm tykke og 30x45 mm i størrelse.

Den nøjagtige placering af tyndslibene fremgår af fotodokumentationen (afsnit 5).

Ved produktion af tyndslibene er prøverne blevet imprægneret med fluorescerende epoxy, som fremstår gul på foto.

Tyndslibene er analyseret i polarisationsmikroskop, hvor følgende er registreret:

- Betonsammensætning herunder:
 - Cementtype, pastahomogenitet og ækvivalent vand/cement-forhold
 - Tilslag
 - Luftindhold

- Omdannelses- og nedbrydningstegn herunder:
 - Karbonatisering
 - Fugtpåvirkning
 - Alkalikiselreaktioner
 - Revner

4.1 Prøve 1 – Udgravning U1 – Nordlig del af Sortedams Sø, vestside - Tyndslibsanalyse

Bestanddele i beton

Stentilslag	Flint (tæt og porøs)
Sandtilslag	Kvarts, feldspat, flint (porøs og tæt), kalksten, granit og gnejs
Bindemiddel	Højt indhold af grovkornet portlandcement, som er fuldt hydratiseret og som generelt fremstår meget udvasket.
Tilsætninger (puzzolaner m.m.)	Ingen flyveaske eller synlig mikrosilica.
Luftindhold (skønnet)	Lavt i den yderste del; 1 vol%. Højt i den inderste del; 8 vol% med irregulære luftporer. Betonen vurderes ikke luftblandet.
Kapillarporøsitet (ækvivalent v/c-forhold)	0,45-0,60 – generelt højt.

Indre mikrostruktur

Pastahomogenitet	Uensartet.
Vedhæftning mellem bindemiddel og tilslag	Generelt fin.
Mikrorevner	Der er en del mikrorevner i tætte områder.
Portlandit (calciumhydroxid)	Der er større portlandit krystaller i enkelte revner.

Tegn på nedbrydning, skader eller omdannelse

Fine og grove revner	Der er mange revner, som passerer både igennem og udenom tilslag. Revnerne bærer præg af at være dannet efter færdighærdning af betonen (formegentlig over en årrække) og indeholder ofte sekundære udfældninger af alkalikisel-gel samt sulfatminerallerne ettringit og thaumasit.
Alkalikiselreaktive tilslag	Højt indhold af porøs flint; mest af alt i sandfraktionen.
Igangværende alkalikiselreaktioner (AKR)	Der optræder en del tegn på igangværende alkalikiselreaktioner i form af revner og udfældninger af gel.
Tegn på fugtpåvirkning	Der ses et meget højt indhold af sekundære udfældninger som sulfatminerallerne ettringit og thaumasit i revner.
Karbonatisering	Over revnen er cementpastaen karbonatiseret til en afstand af 0,6 mm.
Øvrige observationer	Der optræder udfældninger af kalk i revner.

4.2 Prøve 2 – Udgravning U2 – Nordlig del af Sortedams Sø, østside - Tyndslibsanalyse

Bestanddele i beton

Stentilslag	Flint (tæt og porøs) og enkelte kalksten.
Sandtilslag	Kvarts, feldspat, flint (porøs og tæt), kalksten og granit
Bindemiddel	Højt indhold af grovkornet portlandcement, som er fuldt hydratiseret.
Tilsætninger (puzzolaner m.m.)	Flyveaske er tilsat og muligvis mikrosilica.
Luftindhold (skønnet)	Moderat; 7-8 vol%. Luftporene er sfæriske (kugleformede). Betonen vurderes luftblandet.
Kapillarporøsitet (ækvivalent v/c-forhold)	0,45-0,50 – generelt ret lavt.

Indre mikrostruktur

Pastahomogenitet	Relativt ensartet.
Vedhæftning mellem bindemiddel og tilslag	Fin.
Mikrorevner	Ingen.
Portlandit (calciumhydroxid)	Ingen.

Tegn på nedbrydning, skader eller omdannelse

Fine og grove revner	Der optræder mange revner både igennem og udenom tilslagskorn. Nogle af revnerne bærer præg af at være dannet tidligt, eventuelt som resultat af frost. Andre revner er dannet senere hen, efter at betonen er færdighærdnet. Revnerne indeholder sekundære udfældninger af overvejende sulfat-mineralet ettringit, og kalk samt lidt alkalikiselgel.
Alkalikiselreaktive tilslag	Højt indhold af porøs flint.
Igangværende alkalikiselreaktioner (AKR)	Der optræder grove revner som resultat af alkalikisel reaktioner, men kun ved enkelte tilslagskorn. Der er observeret lidt udfældninger af alkalikiselgel.
Tegn på fugtpåvirkning	Der er en del ettringit i luftporer, men overvejende fra en afstand af 15 mm til overfladen og nedefter.
Karbonatisering	Op til 7 mm afstand fra betonens overflade.
Øvrige observationer	Der optræder kalk i revner. På overfladen af betonen optræder der asfalt.

4.3 Prøve 3 – Udgravning U3 – Sydlig del af Sortedams Sø - Tyndslibsanalyse

Bestanddele i beton

Stentilslag	Granit, granodiorit, flint (tæt og porøs) og gnejs
Sandtilslag	Kvarts, feldspat, kalksten, sandsten, granit og flint (tæt og porøs)
Bindemiddel	Højt indhold af grovkornet portlandcement, som fremstår meget udvasket.
Tilsætninger (puzzolaner m.m.)	Ingen flyveaske eller synlig mikrosilica.
Luftindhold (skønnet)	Moderat; 4-5 vol%. Luftporene er oftest sfæriske (kugleformede) i form. Betonen er muligvis luftblandet.
Kapillarporøsitet (ækvivalent v/c-forhold)	0,50-0,65 – generelt ret højt.

Indre mikrostruktur

Pastahomogenitet	Meget uensartet.
Vedhæftning mellem bindemiddel og tilslag	Fin.
Mikrorevner	Ingen.
Portlandit (calciumhydroxid)	Der optræder enkelte krystaller i luftporer.

Tegn på nedbrydning, skader eller omdannelse

Fine og grove revner	Der optræder mange vandrette revner, hvoraf nogen bærer præg af at være dannet tidligt, før betonen er færdighærdnet, mens en stor del af revnerne bærer præg af at være dannet eller udviklet senere, efter betonen er færdighærdnet. Revnerne indeholder krystaller af ettringit og stedvist kunne det ligne udfældninger af gips.
Alkalikiselreaktive tilslag	Moderat indhold af porøs flint.
Igangværende alkalikiselreaktioner (AKR)	Ingen.
Tegn på fugtpåvirkning	Der er områder med store mængder ettringit i luftporer.
Karbonatisering	Ingen.
Øvrige observationer	-

4.4 Prøve 4 – Udgravning U4 – Peblinge Sø – Tyndslibsanalyse

Bestanddele i beton

Stentilslag	Flint (porøs), granit og siltsten.
Sandtilslag	Kvarts, feldspat, granit, kalksten, flint og silten.
Bindemiddel	Højt indhold af grovkornet portlandcement, som er overvejende fuldt hydratiseret.
Tilsætninger (puzzolaner m.m.)	Ingen flyveaske eller synlig mikrosilica.
Luftindhold (skønnet)	Lavt; 1-2 vol%. Betonen vurderes ikke luftblandet.
Kapillarporøsitet (ækvivalent v/c-forhold)	0,40-0,60.

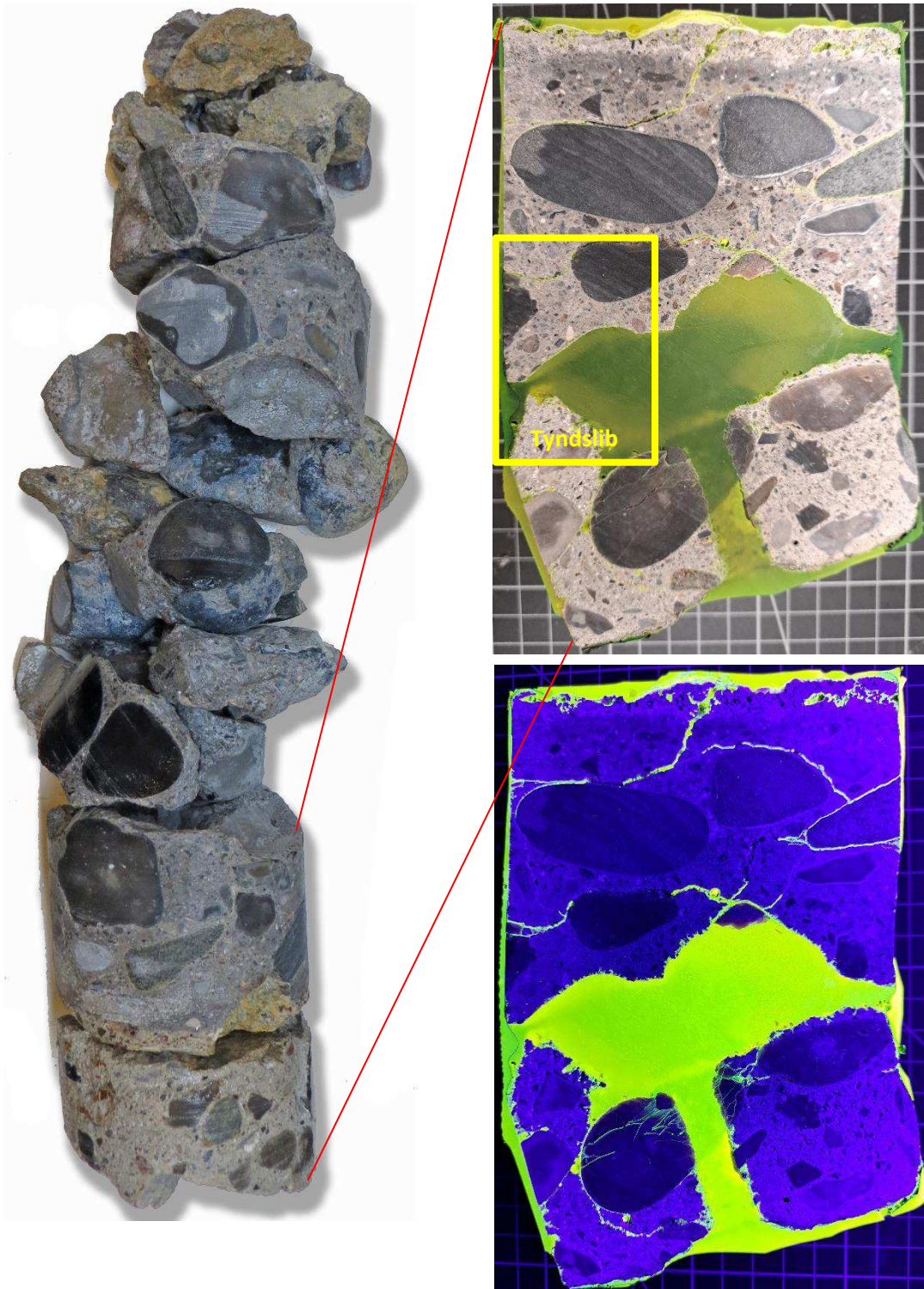
Indre mikrostruktur

Pastahomogenitet	Uensartet.
Vedhæftning mellem bindemiddel og tilslag	Fin.
Mikrorevner	Lavt indhold.
Portlandit (calciumhydroxid)	Der optræder en del krystaller i revner.

Tegn på nedbrydning, skader eller omdannelse

Fine og grove revner	Der optræder en del revner, hvoraf nogen er tidligt dannet og andre bærer præg af, at være dannet ved alkalikiselreaktioner. Revnerne indeholder krystaller af calciumhydroxid, sulfatmineralet ettringit og alkalikiselgel.
Alkalikiselreaktive tilslag	Højt indhold af porøs flint.
Igangværende alkalikiselreaktioner (AKR)	Der optræder grove revner som resultat af alkalikisel reaktioner. Derudover også massive udfældninger af gel i luftporer og revner. Der er observeret et højt indhold af reagerede korn.
Tegn på fugtpåvirkning	Der ses et højt indhold af sulfatmineralet ettringit udfældet i luftporer og revner.
Karbonatisering	Ingen.
Øvrige observationer	-

5 Fotodokumentation

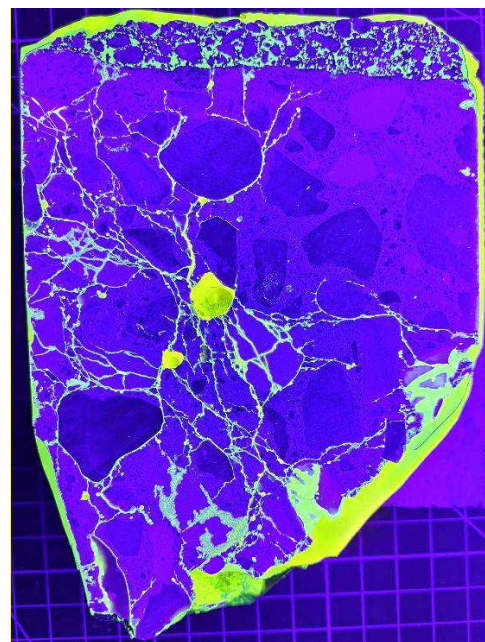
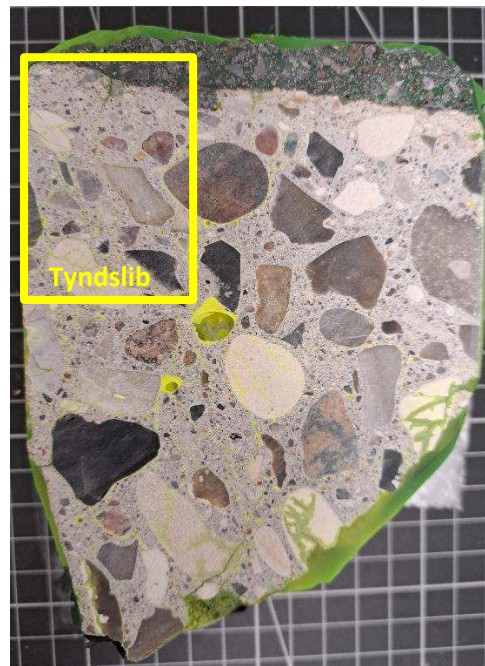


Figur 1. Prøve 1 - Foto af borekernen med boresiden orienteret op. De to nederste brudstykker af borekernen er imprægneret med epoxy og gennemskåret aksialt.

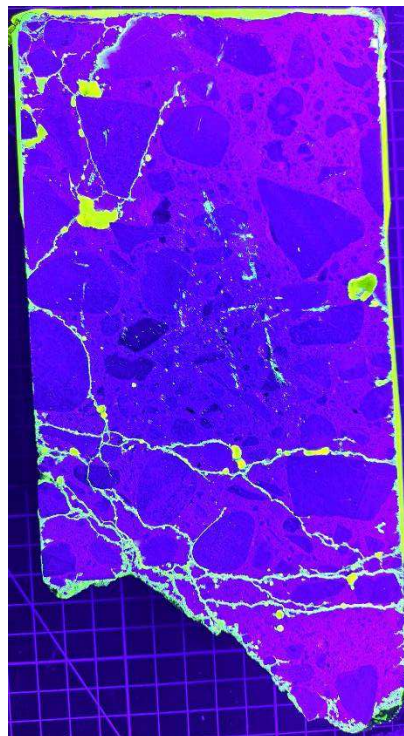
Figur 2. Prøve 1 - Foto af gennemskåret kerne, som er imprægneret med fluorescerende epoxy og vist under normal belysning øverst og UV-belysning nederst.



Figur 3. Prøve 2 - Foto af borekernen med boresiden orienteret op. Størstedelen af kernen er imprægneret med epoxy og gennemskåret aksialt.



Figur 4. Prøve 2 - Foto af gennemskåret kerne, som er imprægneret med fluorescerende epoxy og vist under normal belysning øverst og UV-belysning nederst.

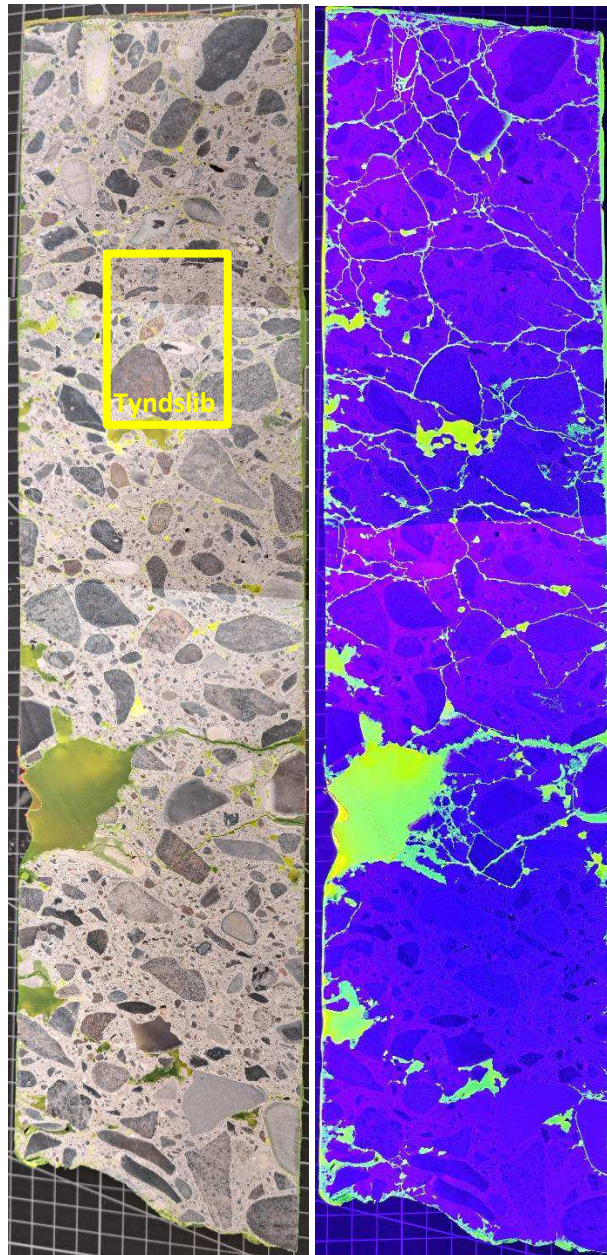


Figur 5. Prøve 3 - Foto af borekernen med boresiden orienteret op. Det store brudstykke af borekernen er imprægneret med epoxy og gennemskåret aksialt.

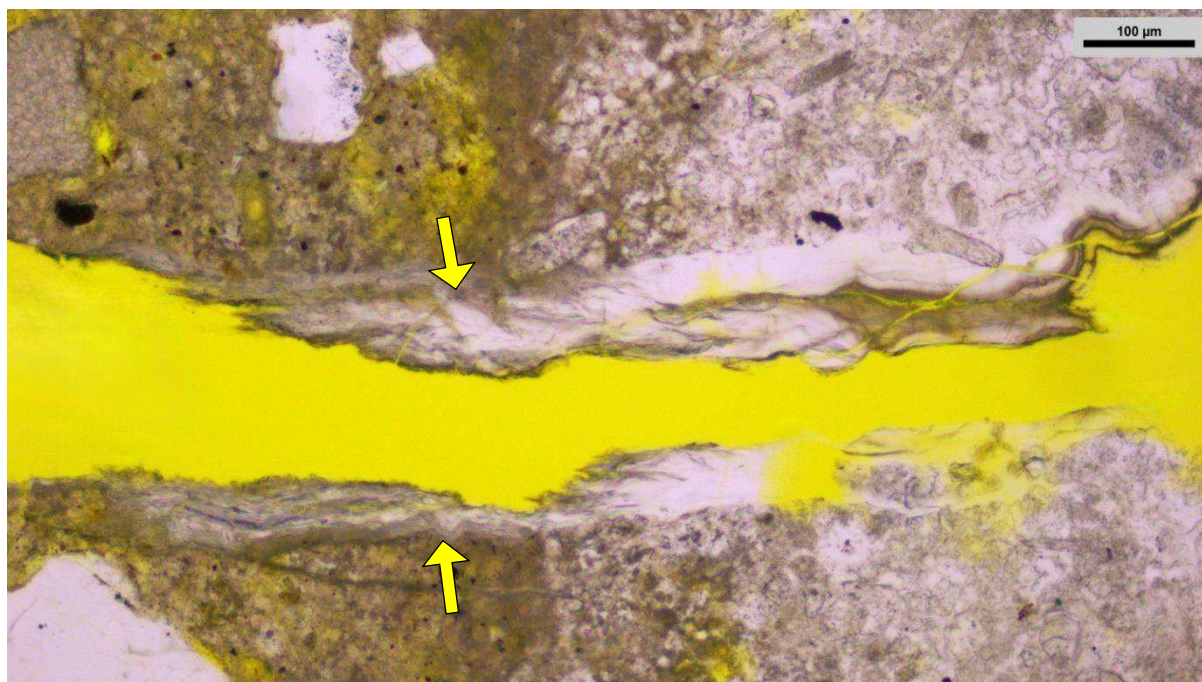
Figur 6. Prøve 3 - Foto af gennemskåret kerne, som er imprægneret med fluorescerende epoxy



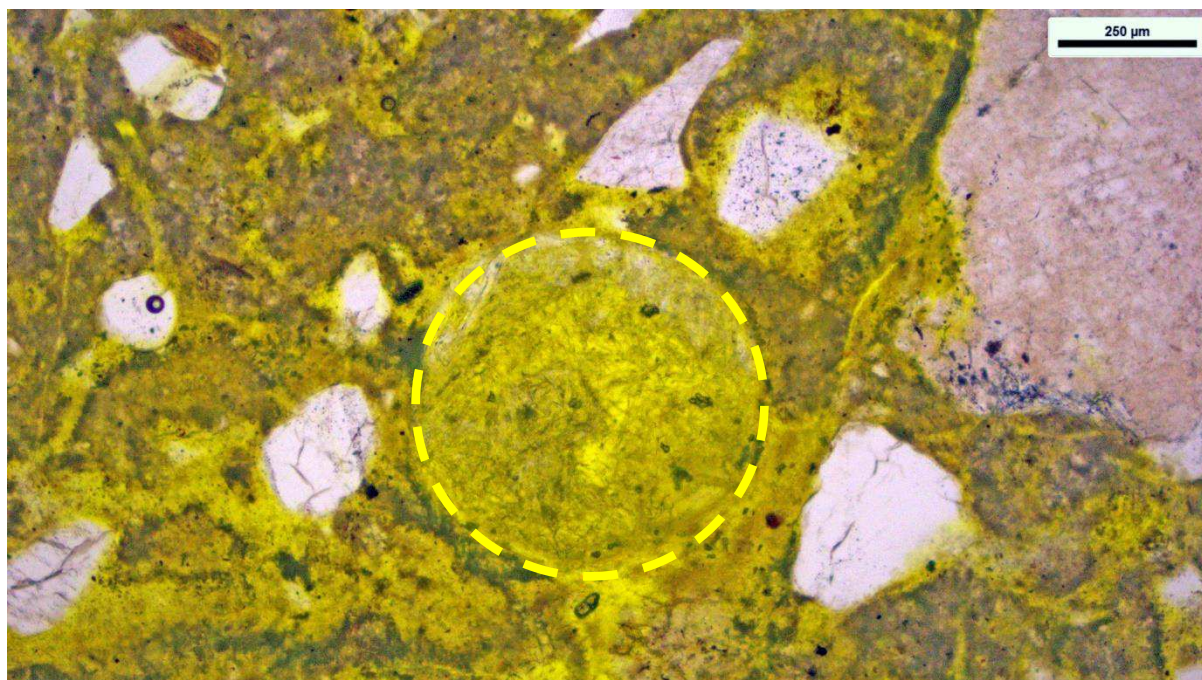
Figur 7. Prøve 4 - Foto af borekernen med boresiden orienteret op. Størstedelen af borekernen er imprægneret med epoxy og gennemskåret aksialt.



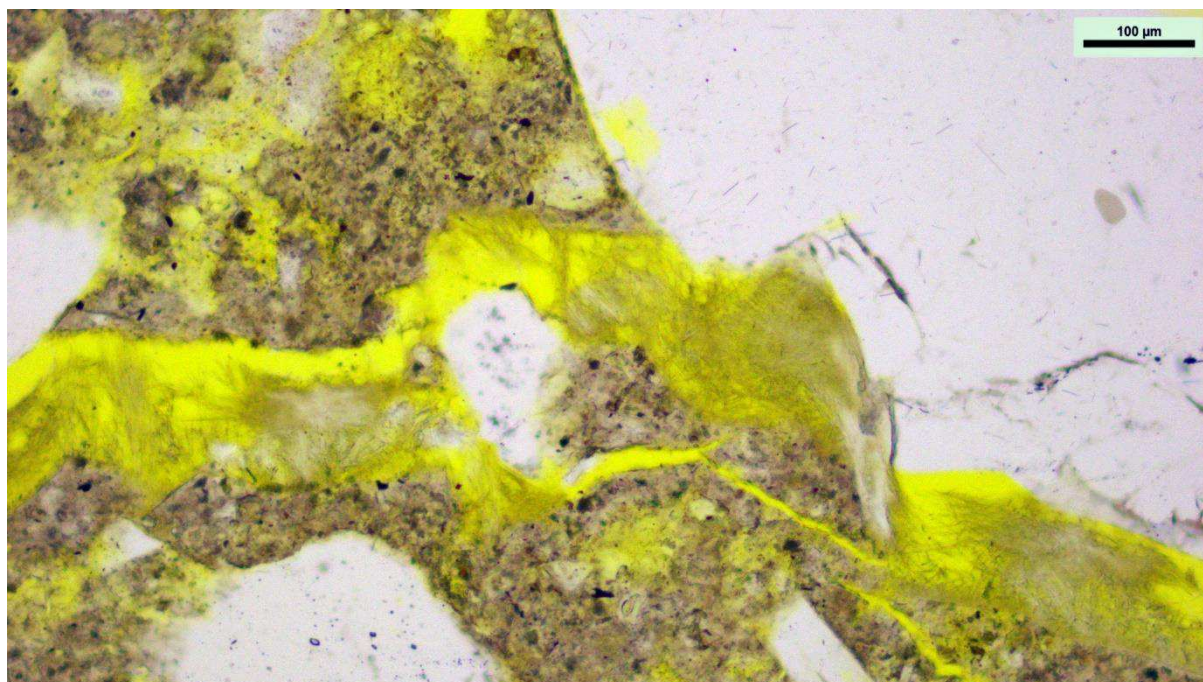
Figur 8. Prøve 4 - Foto af gennemskåret kerne, som er imprægneret med fluorescerende epoxy



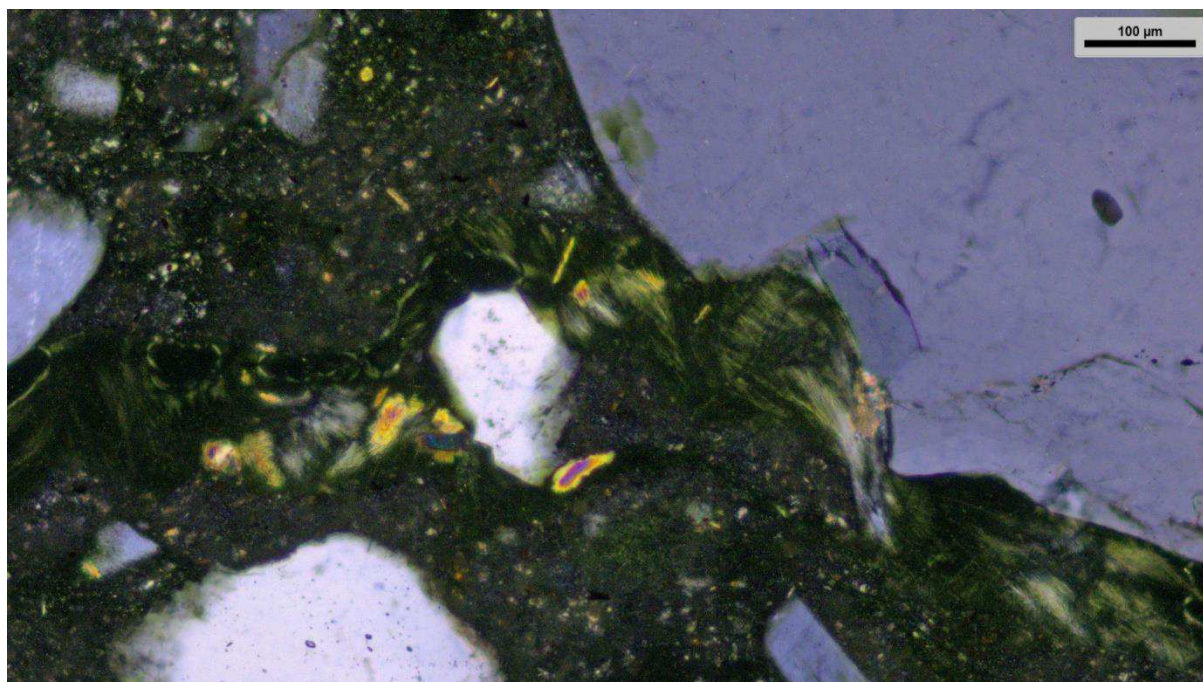
Figur 9. Prøve 1 – Mikrofoto af sten af flint som er under alkaliskselreaktion og har skabt en stor revne og ekstruderet en masse alkaliskselgel (gule pile) ud i revnen. Gule områder indikerer porøsiteter, som er blevet udfyldt med epoxy (foto taget ved planpolariseret belysning).



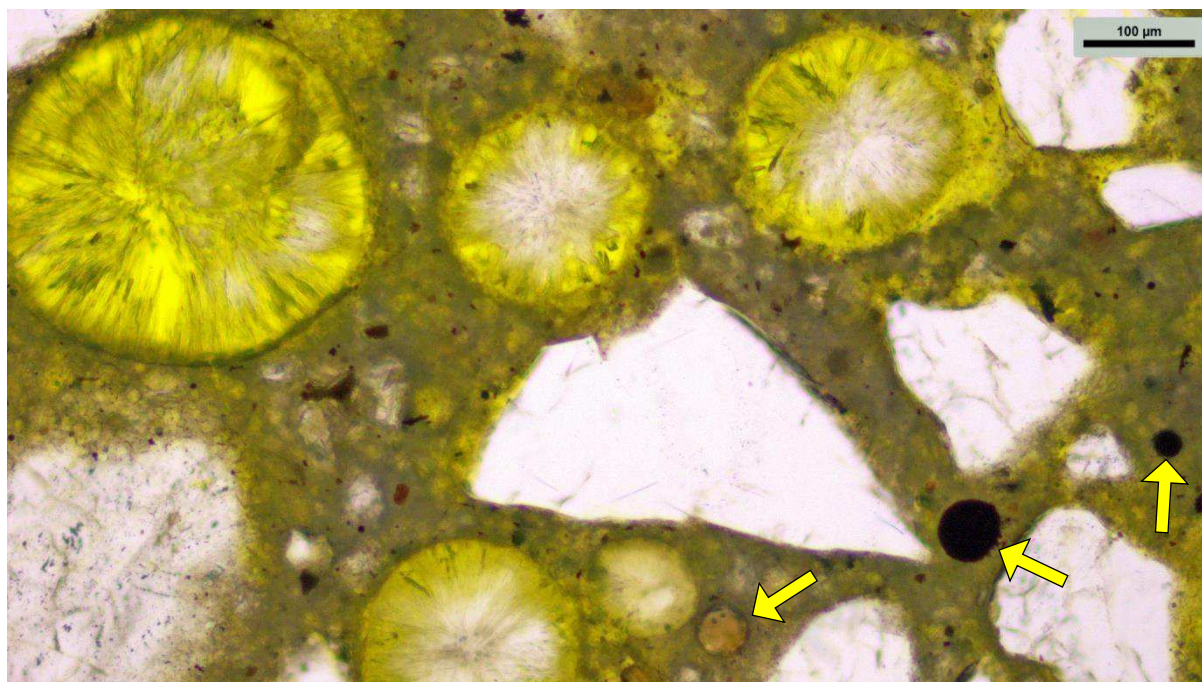
Figur 10. Prøve 1 – Mikrofoto af luftpore (gul cirkel), som er blevet komplet udfyldt med nåleformede krystaller af sulfatmineralet ettringit (foto taget ved planpolariseret belysning).



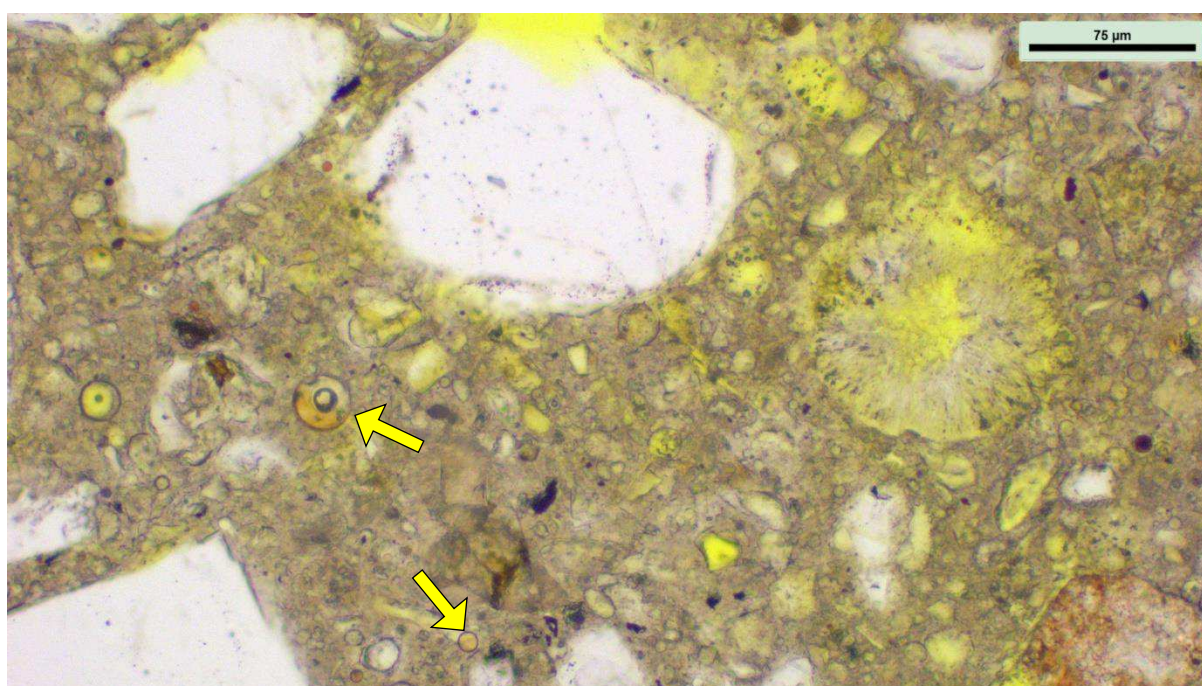
Figur 11. Prøve 1 – Mikrofoto af revne, som bærer præg af at være dannet tidligt, men som indeholder udfældninger af sulfatminerale ettringit og thaumasit, samt enkelte krystaller af calciumhydroxid mineralet portlandit (foto taget ved planpolariseret belysning).



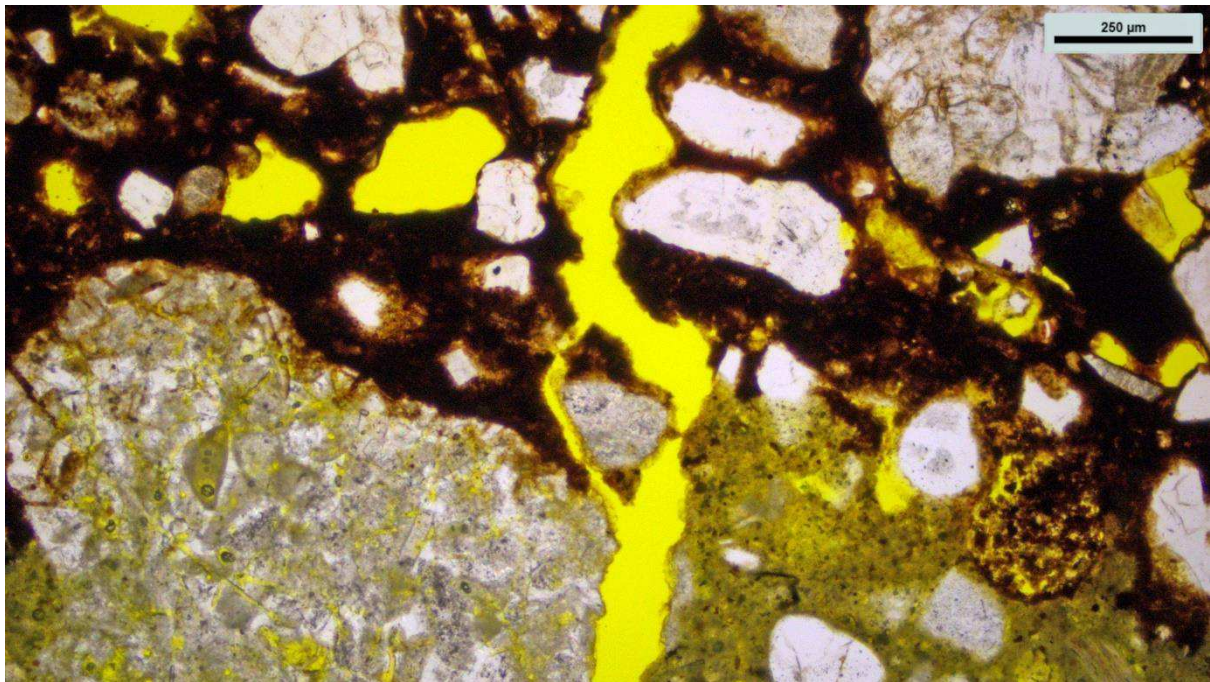
Figur 12. Prøve 1 – Samme mikrofoto som figur 11, men under anden belysning (foto taget ved krydspolariseret belysning).



Figur 13. Prøve 2 – Mikrofoto af flere luftporer, som er komplet udfyldt med nåleformede krystaller af sulfatmineralet ettringit. Der ses adskillige flyveaskepartikler (gule pile) (foto taget ved planpolariseret belysning).



Figur 14. Prøve 2 – Mikrofoto af mikrostrukturen i betonen med cementkorn, hvoraf størstedelen er fuldt hydratiseret og flyveaskepartikler (gule pile) (foto taget ved planpolariseret belysning).



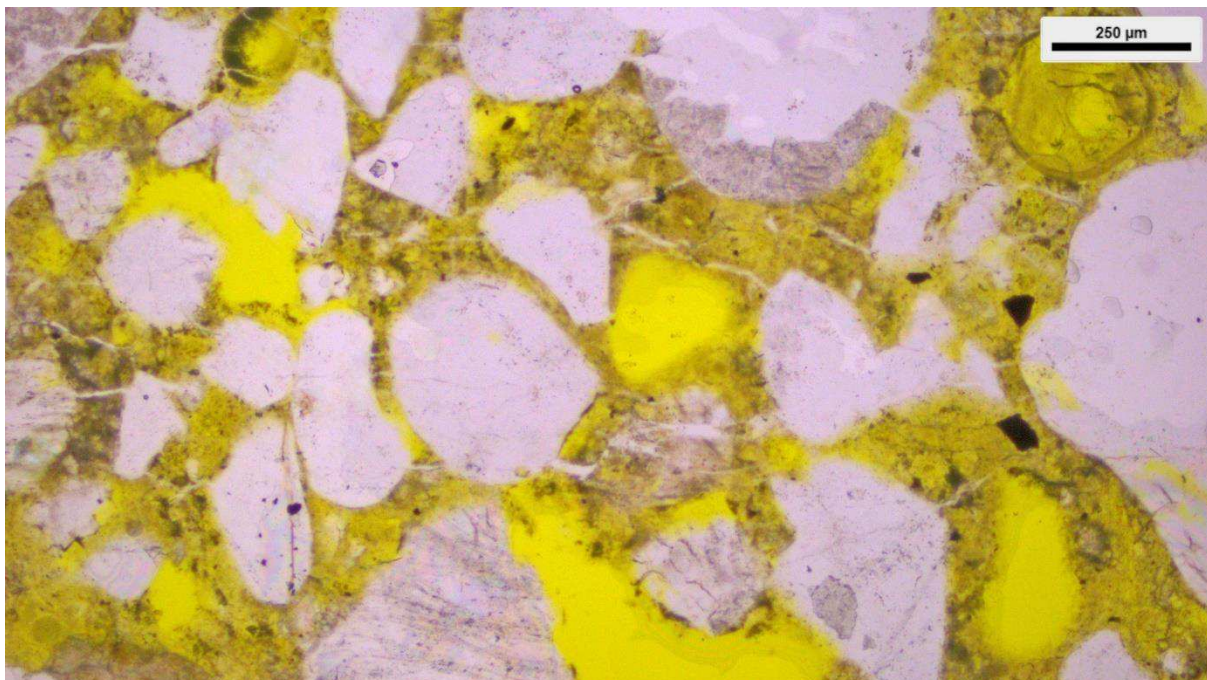
Figur 15. Prøve 2 – Mikrofoto af revne som passerer både igennem betonen nederst og asfalten øverst, og tyder på fortsat at være aktiv (*foto taget ved planpolariseret belysning*).



Figur 16. Prøve 2 – Mikrofoto af revne som passerer igennem en luftpore, hvor der i forvejen er udfældet sulfatmineralet ettringit, hvilket tyder på en senere dannet revne (*foto taget ved planpolariseret belysning*).



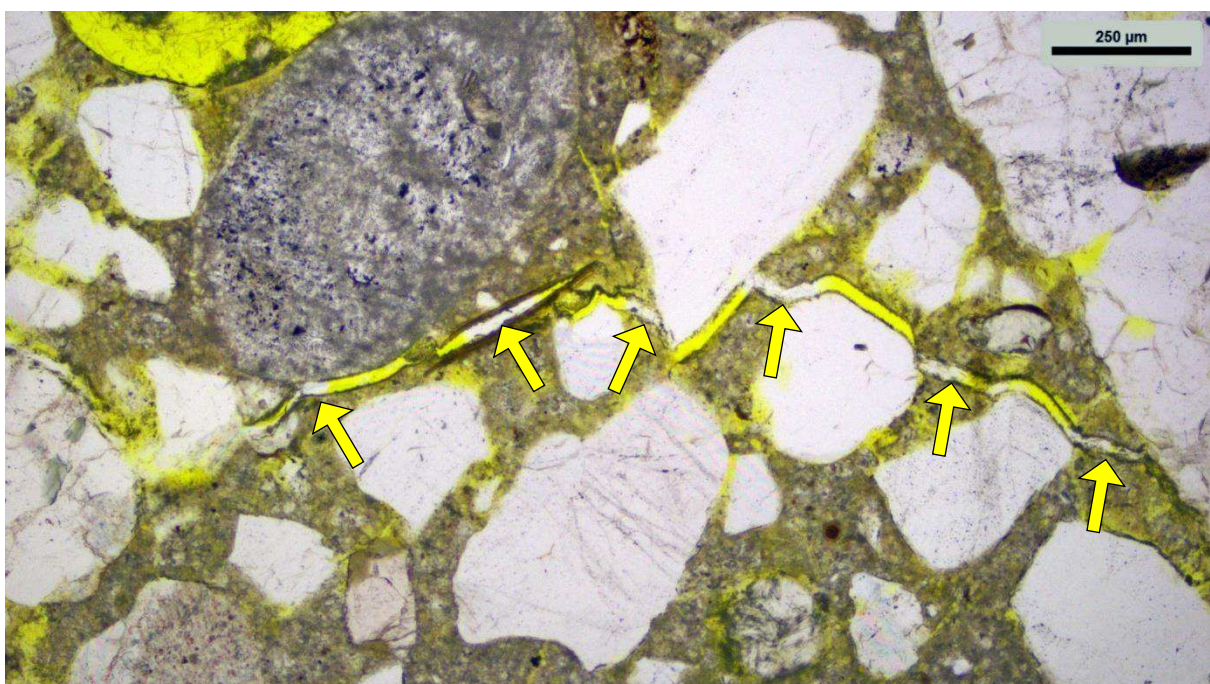
Figur 17. Prøve 3 – Mikrofoto af revnesystem, som bærer præg af at være dannet tidligt efter støbning af betonen, men som ligeledes bærer præg af at fortsat at være aktiv da der optræder luftpore med udfældninger af ettringit som er revet fra hinanden (gul pil) (foto taget ved planpolariseret belysning).



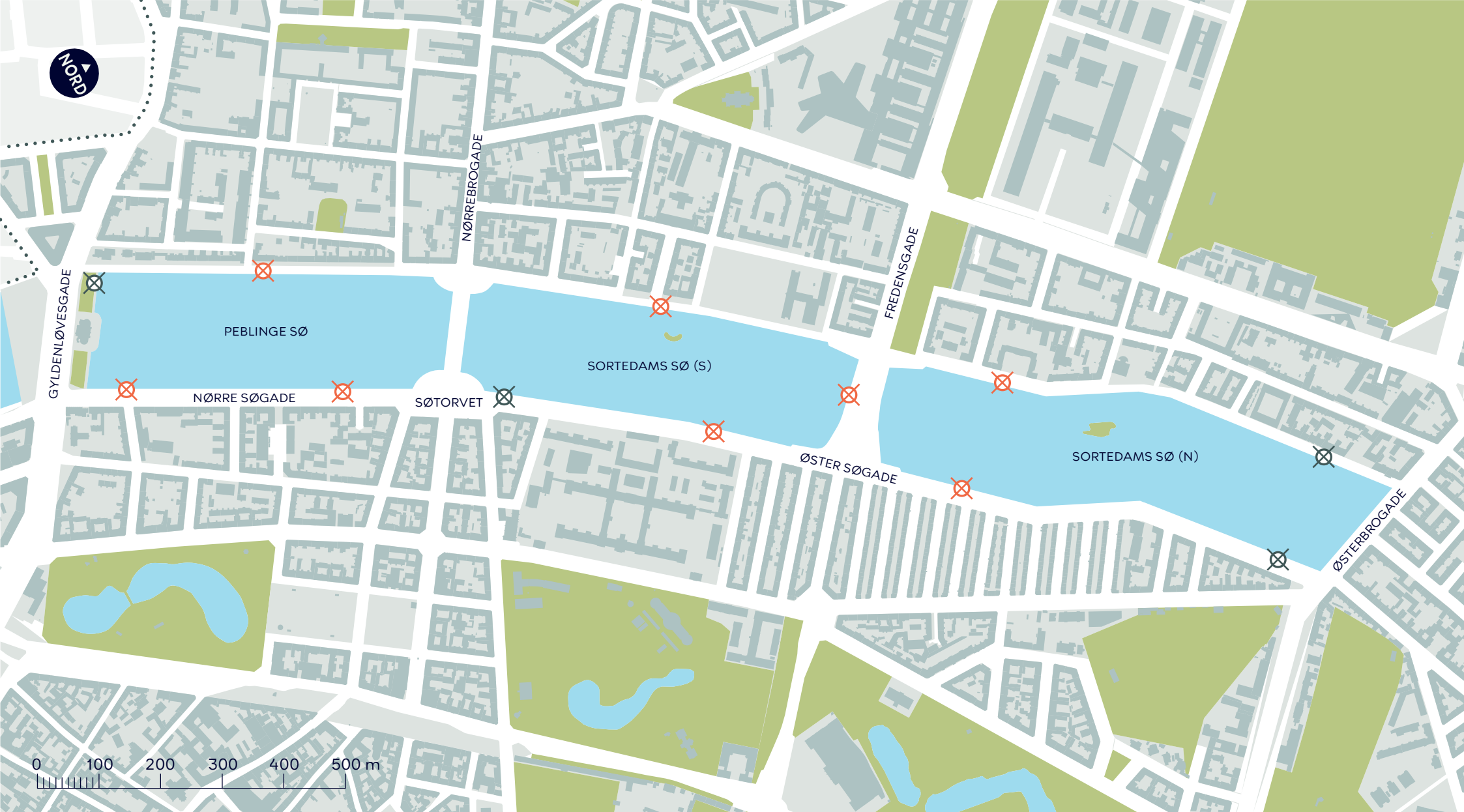
Figur 18. Prøve 3 – Mikrofoto af revnesystem af talrige, fine, overfladeparallele revner, som indeholder sulfatmineralet gips. Revnerne kunne tyde på gipsdannelse ved et eventuelt syreangreb i betonen (foto taget ved planpolariseret belysning).



Figur 19. Prøve 4 – Mikrofoto af sandkorn af opalflint, som har været under alkalikiselreaktion og udfyldt en luftpore med alkalikiselgel (gul cirkel) (foto taget ved planpolariseret belysning).



Figur 20. Prøve 4 – Mikrofoto af tidligt dannet revne i betonen, som indeholder flere større krystaller af calciumhydroxid-mineralet portlandit (gule pile) (foto taget ved planpolariseret belysning).



- Kommunegrænse
- ⊗ Udførte prøveboringer
- ⊗ Forventede nye prøveboringer

GENOPRETNING AF KANTER VED DE INDRE SØER

Flere bydele
 Prøveboringer

BILAG 2

