

Kristen Johannes Rockland Aarethun

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg - og miljøteknikk

Kristen Johannes Rockland Aarethun

Alkalireaksjon i betongdammar ved Tyinosen - Metode, resultat og tiltak

Juni 2019

Alkalireaksjon i betongdammar ved Tyinosen - Metode, resultat og tiltak

**Kristen Johannes Rockland
Aarethun**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2019

Hovedveileder: Leif Lia (IBM)

Medveileder: Jan Lindgård (SINTEF)
Hans Stemland (NTNU)

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg - og miljøteknikk

Forord

Denne oppgåva er skriven som ein avslutning på eit femårig masterstudium i Bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk- naturvitenskaplige universitet, NTNU. Masteroppgåva er skriven våren 2019 ved Institutt for Bygg- og miljøteknikk i samarbeid med Hydro Energi. Den tilsvarar 30 studiepoeng.

Hovudtema i oppgåva er vurdering av alkalireaksjon i betongdammane ved Tyinosen. Mi interesse for betongkonstruksjonar og betongteknologi har vore ein viktig motivasjon, både for val av problemstilling og i utføring av arbeidet. Samspelet mellom arbeid i felt og djupdykk i litteratur og analysar har vore utfordrande, men samstundes også svært spanande.

Ei stor takk til min hovudrettleiar ved Institutt for Bygg- og miljøteknikk, professor Leif Lia, for gode faglege innspel, rettleiing og medverknad gjennom heile prosessen. Videre vil eg takke medrettleiar Jan Lindgård, seniorforskar ved SINTEF, som har bidrege med gode innspel, råd og hjelp i laboratoriearbeid. Ei takk også til medrettleiar Hans Stemland, seniorforskar ved NTNU, for diskusjonar og innspel vedkomande alkalireaksjon. Ei takk går også til seniorforskar Marit Haugen ved SINTEF, for praktisk bidrag i laboratoriet og diskusjon kring resultat.

Eg vil også retta ei takk til Hydro Energi v/Johnny Bruheim (kraftverkssjef, Hydro Energi Sogn) for økonomisk støtte og moglegheit til å nytte damanlegget i gjennomføring av oppgåva.

Eg vil takke sambuar og familie for oppmuntring og støtte gjennom arbeidet med masteroppgåva. Til slutt vil eg takke den tolmogige labradoren min Indi, for motivasjon og oppmuntring i heile oppgåveperioden.

Kristen Rockland Aarethun

Kristen Rockland Aarethun
Lærdal, juni 2019



Samandrag

Masteroppgåva tek føre seg ulike metodar for vurdering av alkalireaksjon i Tyin Dam 1, 2 og 3, med omsyn til levetid og tiltak. På nedstraumsside er dammane prega av rutemønstra oppsprekking, kalkutfellingar og lekkasjar. Største lengd har Tyin Dam 3 med sine 236 meter og vert i denne oppgåva særleg omtala.

Det er utført eit litteraturstudie som skildrar tidlegare forskning kring alkalireaksjon. Hensikta er å legge grunnlag for utveljing av metode og samanlikning av analyseresultat med teori.

Alkalireaksjon (AAR) eller alkali-silika reaksjon (ASR) i betong er ein kjemisk-fysisk reaksjon der alkali-ion i betongens sementpasta reagerer med reaktive bergartar. I reaksjonen vert det danna eit reaksjonsprodukt, ein alkaligel, som har eigenskapen at den svell ved vassopptak. Dette fører til ekspansjon, og kan i skadelege høve resultere i at sementpastaen sin strekkfastheit vert overskride og betongen sprekk opp.

Uttak av kjerneprøvar på nedstraumsside vart utført november 2018. Hausten 2018 vart det gjennomført mottakskontroll og våren 2019 vart det utført ei rad testar og analysar. Desse omfattar tynn- og planslip, SDT og trykkfastheit, PF/DCS og DRI. For fleire testar og analysar vart det også utarbeida eigne prosedyrar.

Observasjon i mottakskontroll indikerte opprissing, sprekkdanning og alkaligel. Tynn- og planslipanalyse viste omfattande rissdanning i og gjennom tilslag og ut i sementpasta, samt ettringitt i luftporer og riss. Ved SDT er ekspansjon estimert til 0,14 – 0,16% basert på ei lineær betraktning av E-modul i ekspansjonsområdet 0 – 0,15%. Testing viser at betongen si trykkfastheit er signifikant lågare i ytre del (24,5 MPa), samanlikna med indre del av kjerneprøven (35,9 MPa). Måling av kapillær vassmettingsgrad viser høgt fuktinnhald (nær 100%), særleg i området 0 – 500 mm. Samstundes er verdiane for makroporøsitet/luftinnhald og PF låge i området 0 – 250 mm. DRI-resultat viser at ytre del (0 – 150 mm) er mindre prega av alkalireaksjon, medan indre del har jamn skadegrad.

Ved å relatere observasjonar av skadebilete til resultatata frå analysane i oppgåva viser ytre del av betongen seg mest utsett for frostskeidar. SDT viser at alkalireaksjon opnar opp og gjer konstruksjonen meir mottakeleg for fukt. Samspelet mellom parametrane i PF/DCS og SDT, viser at betongen har låg frostmotstand i området 0 – 250 mm. Vidare skadeomfang må sjåast i lys av ekspansjon pga. alkalireaksjon, kritisk vassmettingsgrad, makroporøsitet og PF-verdi. Eit aukande tal frostsyklusar med store temperatursvingingar vil også gje ytterlegare bidrag til nedbryting.

I tiltak for å auke bestandigheit og levetid har oppgåva vurdert støttemur i naturstein, ny betongplate, platekledning med luftspalte og elastisk beleggsystem. Samspelet mellom økonomi, varigheit av tiltaket, levetidsauke, belastning for miljøet og omdøme har vore viktige omsyn. Den endelege tilrådinga for Tyin Dam 2 og 3 er platekledning med luftspalte, og for Tyin Dam 1 elastisk beleggsystem.



Abstract

This Master's thesis deals with various methods for assessment of alkali reaction in Tyin Dam 1, 2 and 3, regarding longevity and measures. On the downstream side, the dams are characterized by typical map cracking, calcium carbonate in cracks and leaks. The largest length has Tyin Dam 3 with its 236 meters, and is mentioned in this thesis in particular.

A literature study has been performed that shows previously research on alkali reaction. The purpose is to lay the foundation for the selection of method's and comparison of analysis results with theory.

Alkali Reactions (AAR) or Alkali-Silica Reaction (ASR) in concrete is a chemical-physical reaction where alkali ion's in the cement paste reacts with reactive aggregates. In the reaction an alkali gel is formed, which has the nature of swelling by water uptake. This leads to an increase in volume (expansion) and can, in damaging cases, lead to exceed of the tensile strength in the concrete and result in cracking.

Extraction of core samples on the downstream side was done in November 2018. In the autumn of 2018, reception control was carried out and in the spring of 2019 a series of tests and analyzes were done. These includes thin and plan polished sections, SDT and compressive strength, PF/DCS and DRI. For several tests and analyzes, separate procedures were also prepared.

Observation in reception control indicated cracking and alkali-silica gel. Analyzes of thin and plan sections showed extensive cracking formation in and through aggregates and into cement paste, as well as ettringite in air pores and cracks. By SDT, expansion is estimated to be 0,14 – 0,16% based on a linear view of the E-modulus in the expansion range 0 – 0,15%. Testing shows that the concrete's compressive strength is significantly lower in the outer part (24,5 MPa), compared to the inner part of the core samples (35.9 MPa). Capillary water suction measurement shows high moisture content (close to 100%), especially in the range of 0 - 500 mm. At the same time, the values for macro porosity/air content and PF are low in the range 0 - 250 mm. DRI results show that the outer part (0 - 150 mm) is less marked by alkali reaction, the inner part of the core has an more even degree of damage. By relating observations of the injuries, to results from the analyzes in the thesis, the outer part of the concrete shows itself most exposed to frost damage. SDT shows that alkali reaction opens and makes the structure more susceptible to moisture. The interaction between the parameters in PF/DCS and SDT shows that the concrete has low degree of frost resistance in the range 0 - 250 mm. Further extent of damage must be seen in connection with expansion due to alkali reaction, critical degree of saturation, macro porosity and PF value. An increasing number of frost cycles with large temperature fluctuations will also contribute to further deterioration.

In measures to increase durability and longevity, the task has considered a supporting wall in natural stone, new concrete slab, plating with air gap and elastic coating system. The interaction between economy, duration of action, lifetime increase, environmental strain and reputation have been important considerations. The final recommendation is for Tyin Dam 2 and 3 plating with air gap and for Tyin Dam 1 elastic coating system.

Innholdsliste

FORORD	II
SAMANDRAG	IV
ABSTRACT	VI
1 INNLEIING	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 MÅL MED OPPGÅVA	1
1.3 OPPBYGGING AV RAPPORTEN	2
2 ALKALIREAKSJON	3
2.1 BETONG SOM MATERIALE	3
2.2 KVA ER ALKALIREAKSJON	4
2.3 FØRESETNADER FOR ALKALIREAKSJON	7
2.4 SKADAR KNYTT TIL ALKALIREAKSJON.....	12
2.5 KONSTRUKSJONSMESSIGE PÅVERKNADER KNYTT TIL ALKALIREAKSJON	14
2.6 ESTIMERING AV RESTLEVETID FOR BETONGKONSTRUKSJONAR PÅVERKA AV ALKALIREAKSJON .	20
2.7 DIAGNOSTISERING AV BETONG PÅVERKA AV ALKALIREAKSJON	22
2.8 UTBETRING OG TILTAK	31
3 CASE TYIN DAM 3	37
3.1 BAKGRUNN	37
3.2 PLANLEGGING OG UTFØRING AV PRØVETAKING I TYIN DAM 3	41
4 LABORATORIEARBEID	45
4.1 INNLEIING	45
4.2 MOTTAK AV PRØVAR VED SINTEF	46
4.3 TYNN- OG PLANSLIP	46
4.4 FORBEREDANDE ARBEID MEKANISK TESTING.....	47
4.5 PROSEDYRE FOR, OG PREPARERING AV PRØVESTYKKE TIL SDT, F_c OG PF/DCS	48
4.6 EKSPANSJONSMÅLING AV REFERANSESYLINDRAR OG ESTIMERING AV EKSPANSJON	49
4.7 TRYKKFASTHEIT	52
4.8 SDT	53
4.9 ARBEIDSDIAGRAM	56
4.10 KAPILLÆR VASSMETTINGSGRAD, PF-VERDI OG SUG- OG MAKROPORØSITETVED PF/DCS.....	58
4.11 DRI	60
5 RESULTAT	63
5.1 RESULTAT FRÅ MOTTAKSKONTROLL.....	63
5.2 TYNN- OG PLANSLIP	65
5.3 EKSPANSJONSMÅLING AV REFERANSESYLINDRAR	70
5.4 SDT OG TRYKKFASTHEIT	72
5.5 ESTIMERING AV EKSPANSJON TYIN DAM 3	76
5.6 PF/DCS	88
5.7 DRI	92
5.8 SJKT 0 – 300 MM TYIN DAM 3.....	93
5.9 SJKT 470 –670 MM TYIN DAM 3	95
5.10 SAMANLIKNING AV SJKT 0 – 300 MM OG 470 – 670 MM	97

6	DISKUSJON – METODE OG PÅLITELEGHEIT (VALIDITET) AV RESULTAT	99
6.1	UTTAK OG VURDERING AV PRØVEMATERIELL FRÅ TYIN DAM 3	99
6.2	TYNNSLIP OG PLANSLIP	99
6.3	SDT OG ESTIMERING AV EKSPANSJON	99
6.4	PF/DCS-FORSØK	100
6.5	DAMAGE RATING INDEX (DRI).....	100
6.6	METODAR FOR KARAKTERISERING AV ALKALIPÅVERKA BETONG.....	101
7	AKTUELLE TILTAK OG TILRÅDING.....	103
7.1	TYIN DAM 3	103
7.2	TYIN DAM 1	108
7.3	TILRÅDING.....	109
8	KONKLUSJON	111
9	VIDARE ARBEID	113
10	REFERANSAR.....	115
10.1	HOVUDREFERANSAR.....	115
10.2	ANDRE REFERANSAR.....	117
11	VEDLEGG	119
	VEDLEGG 1 – BYGGESKISSE TYIN DAM 2 OG 3	I
	VEDLEGG 2 – BYGGESKISSE TYIN DAM 1.....	III
	VEDLEGG 3 – TIDLEGARE UTFØRT BORING TYIN DAM 1, 2 OG 3	V
	VEDLEGG 4 – PROSEDYRE FOR UTBORING, PAKKING, MERKING OG SENDING AV BORKJERNAR	VII
	VEDLEGG 5 – RISIKOREGISTER FOR KJERNEBORING TYIN DAM 3	IX
	VEDLEGG 6 – BETONGRESEPT REFERANSESYLINDRAR	XI
	VEDLEGG 7 – MOTTAKSKONTROLL SINTEF	XIII
	VEDLEGG 8 – OVERSIKT OVER BORKJERNAR.....	XVII
	VEDLEGG 9 – PLAN FOR UTNYTTING AV KJERNEPRØVAR OG MÅL PÅ TILVERKA PRØVAR.....	XIX
	VEDLEGG 10 – PROSEDYRE EKSPANSJONSMÅLING REFERANSESYLINDRAR.....	XXIII
	VEDLEGG 11 – EKSPANSJONSMÅLINGAR REFERANSESYLINDRAR.....	XXV
	VEDLEGG 12 – VEKTAUKE I REFERANSESYLINDRAR 1-10	XXVII
	VEDLEGG 13 – PROSEDYRE FOR PRØVESTYKKE TIL SDT, E_c , F_c OG VASSINNHOLD	XXIX
	VEDLEGG 14 – SDT RESULTAT SINTEF.....	XXXI
	VEDLEGG 15 – RESULTAT SDT KJERNAR TYIN DAM 3	XXXIII
	VEDLEGG 16 – EKSPANSJON FRÅ SDT TYIN DAM 3	XXXVII
	VEDLEGG 17 – PROSEDYRE IN-SITU VASSINNHOLD, KAPILLÆR SUGEEVNE OG PORØSITET	XXXIX
	VEDLEGG 18 – IN-SITU VASSINNHOLD, KAPILLÆR SUGEEVNE OG PORØSITET TYIN DAM.....	XLI
	VEDLEGG 19 – DRI-RAPPORT	XLIII
	VEDLEGG 20 – RAPPORT TYNN- OG PLANSLIP SINTEF	LXVII
	VEDLEGG 21 – EKSPANSJONSMÅLINGAR OG SDT REFERANSESYLINDRAR	LXXV
	VEDLEGG 22 – ARBEIDSDIAGRAM	LXXVII

Figurliste

FIGUR 2-1: BETONG OG SAMANSETTING	3
FIGUR 2-2: VASSINNHOLD I ULIKE TYPAR GEL SETT I SAMANHENG MED REALTIV FUKTIGHEIT (RF).....	5
FIGUR 2-3: UTVIKLING AV ALKALIREAKSJON	6
FIGUR 2-4: KRAKELERINGSMØNSTER/RISSDANNING	6
FIGUR 2-5: FØRESETNADER FOR ALKALIREAKSJON	7
FIGUR 2-6: REAKSJONSKURVE OG EKSPANSJONSKURVE	7
FIGUR 2-7: SKJEMATISK FIGUR SOM VISER ALKALI-INNHOLD MOT EKSPANSJON.....	8
FIGUR 2-8: RELATIV FUKTIGHEIT OG ALKALIREAKTIVITET (LINDGÅRD, 2013).....	9
FIGUR 2-9: ALKALI-SILIKA GEL.	9
FIGUR 2-10: ALKALI-SILIKA-GEL I SPREKK MELLOM KATAKLISTISKE PARTIKLAR	11
FIGUR 2-11: RELASJON MELLOM LUFTINNHOLD OG EKSPANSJON I BETONG	12
FIGUR 2-12: GENERELL LEVETIDSMODELL FOR BETONGKONSTRUKSJONAR.....	13
FIGUR 2-13: SAMANHENG MELLOM EKSPANSJON OG ARMERING I ASR PÅVERKA BETONG	15
FIGUR 2-14: ARMERING OG ALKALIREAKSJON.	16
FIGUR 2-15: LINEÆRT ELASTISK MATERIALE.....	17
FIGUR 2-16: SENTRISK ARMERT PRISME.....	17
FIGUR 2-17: LASTVERKNAD FRÅ ALKALIREAKSJON PÅ EINSIDIG ARMERT BJELKE	18
FIGUR 2-18: TØYINGSTILSTAND FRÅ EIGENVEKT	18
FIGUR 2-19: FIKTIV TØYINGSTILSTAND FRÅ EIGENVEKT + ALKALIREAKSJON	18
FIGUR 2-20: RESULTERANDE TØYINGSTILSTAND FRÅ EIGENVEKT + ALKALIREAKSJON.....	19
FIGUR 2-21: KRAFTOPPBYGGING I FASTHALDEN BJELKE	19
FIGUR 2-22: KRAFTOPPBYGGING I BJELKE MED RISS.....	20
FIGUR 2-23: SPENNINGAR KNYTT TIL AUKE I EKSPANSJON	20
FIGUR 2-24: GODKJEND BROTFORM ETTER NS-EN 12390-3	22
FIGUR 2-25: SYKLISK LASTING FRAMSTILT FRÅ SDT-TEST	23
FIGUR 2-26: FARGEPLOTT DRI	25
FIGUR 2-27: DRI-SONER GRAFISK FRAMSTILLING	25
FIGUR 2-28: BILETE AV KJERNEPRØVE	27
FIGUR 2-29: PLANSLIP I VANLEG LYS	27
FIGUR 2-30: PLANSLIP I UV-LYS	28
FIGUR 2-31: EKSEMPEL PÅ TYNNSLIP I BETONG MED ALKALIGEL-FYLT RISS.....	28
FIGUR 2-32: RESULTAT FRÅ SEM-ANALYSE.....	29
FIGUR 2-33: ORI (OVERFLATE RISS INDEKS)	30
FIGUR 2-34: PRINSIPPSKISSE FOR OVERFLATEBEHANDLING	31
FIGUR 2-35: OVERFLATEBEHANDLING – PÅVERKNAD PÅ PORER I BETONG	32
FIGUR 3-1: KART SOM VISER TYIN DAM 1, 2 OG 3	37
FIGUR 3-2: BYGGESKISSE TYIN DAM 2 OG 3	37
FIGUR 3-3: KRAKELERINGSMØNSTER GRUNNA ALKALIREAKSJON	38
FIGUR 3-4: OPPSTRAUMSSIDE TYIN DAM 3	38
FIGUR 3-5: TYNNSLIP FRÅ TYIN DAM 1	40
FIGUR 3-6: TYNNSLIP FRÅ TYIN DAM 3	40
FIGUR 3-7: OMRÅDER FOR PRØVEUTTAK.....	42
FIGUR 3-8: KJERNEPRØVAR 1-5	43
FIGUR 3-9: OPPSETT AV BORERIGG.....	43
FIGUR 3-10: PAKKESTASJON FOR KJERNEPRØVAR	44
FIGUR 3-11: KJERNEPRØVE FERDIG PAKKA OG MERKA	44
FIGUR 4-1: POLARISASJONSMIKROSKOP.....	47
FIGUR 4-2: BILETE FRÅ «PLAN FOR TESTING I LABORATORIET» (VEDLEGG 9)	48

FIGUR 4-3: PRØVESTYKKE KLART FOR PLANSLIPING	49
FIGUR 4-4: PRØVESTYKKE SOM VERT PLANSLIPT.....	49
FIGUR 4-5: KJERNE MED LIMT KNAST FOR EKSPANSJONSMÅLING.	50
FIGUR 4-6: KJERNER KLARGJORT FOR EKSPANSJONSMÅLING.....	51
FIGUR 4-7: KALIBRERING AV MITUTOYO-MIKROMETER	51
FIGUR 4-8: MITUTOYO-MIKROMETER FOR MÅLING AV EKSPANSJON	51
FIGUR 4-9: KJERNER I NB32-CONTAINER.....	52
FIGUR 4-10: PRØVESTYKKE KLART FOR PÅFØRING AV TRYKKLAST I FORMTEST ALPHA 4/B-62.....	52
FIGUR 4-11: KJERNEPRØVE KLARGJORT FOR MÅLING AV VEKT I VATN	53
FIGUR 4-12: PLANSLIPT PRØVESTYKKE MED GIVARAR MONTERT	54
FIGUR 4-13: PRØVESTYKKE SATT INN I FORMTEST ALPHA 4/B-62.....	54
FIGUR 4-14: SYKLISK LASTING FRAMSTILT FRÅ SDT	55
FIGUR 4-15. PRØVESTYKKE MED GIVARAR I LOSENHAUSEN 5000 kN TRYKKPRESSE.....	57
FIGUR 4-16: PRØVESTYKKE GÅTT TIL BRUDD.	57
FIGUR 4-17: LOSENHAUSEN 5000 kN. OPPSETT FOR ARBEIDSDIAGRAM	57
FIGUR 4-18: SINTEF-MASKIN FOR SPLITTING AV KJERNEDELER.....	58
FIGUR 4-19: SKIVE MED ALKALIGEL I TILSLAGSOVERFLATE OG I PORE	58
FIGUR 4-20: MERKING AV TILDANNA BROTSSTYKKER TIL PF/DCS.....	59
FIGUR 4-21. OVERSIKT OVER PRØVESTYKKE TIL IN-SITU VASSINNHOLD OG DCS.	59
FIGUR 4-22: KJERNEDELER I KAR.....	59
FIGUR 4-23: VÅTSLIPEMASKIN NYTTA FOR POLERING AV DRI PRØVAR	60
FIGUR 4-24: EKSEMPEL PÅ DRI PRØVE MED 1x1 CM RUTENETT.....	61
FIGUR 4-25: ORGINALT DRI-VERDI OG UTJAMNA DRI-VERDI	62
FIGUR 5-1: BROTT I PRØVE NR. 8.....	63
FIGUR 5-2: RISS I RANDSONE AV TILSLAG I PRØVE NR. 2	63
FIGUR 5-3: RISS GJENNOM TILSLAG, PRØVE NR. 3	64
FIGUR 5-4: TYDELEG KVIT UTFELLING I BROTTFLATE, PRØVE NR. 6	64
FIGUR 5-5: PLANSLIP 0-300 MM	66
FIGUR 5-6: PLANSLIP FOTOGRAFERT I UV-LYS.....	66
FIGUR 5-7: PLANSLIP I DJUPN 470-770 MM.....	66
FIGUR 5-8: PLANSLIP I DJUPN 470-770 MM FOTOGRAFERT I UV-LYS	66
FIGUR 5-9: UTSNITT AV TYNNSLIP FOTOGRAFERT I MIKROSKOP.	67
FIGUR 5-10: UTSNITT AV TYNNSLIP FOTOGRAFERT I MIKROSKOP.	68
FIGUR 5-11: UTSNITT FRÅ TYNNSLIP FOTOGRAFERT I FLUORESCERENDE LYS.	68
FIGUR 5-12: UTSNITT FRÅ TYNNSLIP FOTOGRAFERT I FLUORESCERENDE LYS.....	69
FIGUR 5-13: UTSNITT AV TYNNSLIP FOTOGRAFERT I MIKROSKOP.	69
FIGUR 5-14: EKSPANSJONSUTVIKLING I LABORATORIESYLINDRAR	71
FIGUR 5-15: GJENNOMSNIITT OG STANDARDAVVIK FOR EKSPANSJON.	71
FIGUR 5-16: TRYKKFASTHEIT SOM GRUNNLAG FOR MAKS LASTPÅFØRING VED SDT	72
FIGUR 5-17: SDT MED PÅLASTING LIK 40% AV TRYKKFASTHEIT.	74
FIGUR 5-18: SDT MED PÅLASTING LIK 20% AV TRYKKFASTHEIT	74
FIGUR 5-19: SDT MED PÅLASTING LIK 60% AV TRYKKFASTHEIT	75
FIGUR 5-20: LOGARITMISK BETRAKTNING EC.....	76
FIGUR 5-21: LINEÆR BETRAKTNING EC.....	77
FIGUR 5-22: ESTIMERT EKSPANSJON FRÅ E-MODUL	78
FIGUR 5-23: LOGARITMISK BETRAKTNING SDI.....	78
FIGUR 5-24: LINEÆR BETRAKTNING SDI.....	79
FIGUR 5-25: ESTIMERT EKSPANSJON SDI.....	80
FIGUR 5-26: LOGARITMISK BETRAKTNING SDI _{ALT}	80

FIGUR 5-27: LINEÆR BETRAKTNING SDI_{ALT}	81
FIGUR 5-28: LOGARITMISK BETRAKTNING PDI	82
FIGUR 5-29: LINEÆR BETRAKTNING PDI	83
FIGUR 5-30: ESTIMERT EKSPANSJON FRÅ PDI.....	84
FIGUR 5-31: LINEÆR BETRAKTNING NLI	84
FIGUR 5-32: LINEÆR BETRAKTNING TRYKKFASTHEIT (F_c)	85
FIGUR 5-33: ARBEIDSDIAGRAM FOR KJERNEPRØVAR.....	87
FIGUR 5-34: KAPILLÆR VASSMETTINGSGRAD TYIN DAM 3.....	89
FIGUR 5-35: SUGPORØSITET TYIN DAM 3	89
FIGUR 5-36: MAKROPORØSITET TYIN DAM 3	90
FIGUR 5-37: PF-FAKTOR TYIN DAM 3	90
FIGUR 5-38: PLANSLIPT OVERFLATE AV SJIKT 0 – 300 MM	93
FIGUR 5-39: ORIGINALT DRI SKADEGRADSKART 0 – 300 MM.....	93
FIGUR 5-40: UTJAMNA DRI SKADEGRADSKART 0 – 300 MM.....	93
FIGUR 5-41: SKADEPROFIL FRÅ 0 – 300 MM I TYIN DAM 3	94
FIGUR 5-42: DETALJERT DRI RESULTAT FOR 0 – 300 MM.....	94
FIGUR 5-43: MIKROSKOPISK BILETE AV PLANSLIPT BETONG 0- 300 MM.....	95
FIGUR 5-44: PLANSLIPT OVERFLATE AV SJIKT 470 – 670 MM	95
FIGUR 5-45: ORIGINALT DRI SKADEGRADSKART 470 – 670 MM	95
FIGUR 5-46: UTJAMNA DRI SKADEGRADSKART 470 – 670 MM	95
FIGUR 5-47: SKADEPROFIL FRÅ 470 – 770 I TYIN DAM 3	96
FIGUR 5-48: DETALJERT DRI RESULTAT FOR 0 – 300 MM.....	96
FIGUR 5-49: MIKROSKOPISK BILETE AV PLANSLIPT BETONG 0- 300 MM.....	97
FIGUR 5-50: SUMMERT DRI-TAL FOR DEI TO PRØVANE FRÅ TYIN DAM 3	97
FIGUR 5-51: SAMANLIKNING AV DETALJERT DRI RESULTAT	97
FIGUR 5-52: SAMANLIKNING AV UTJAMNA DRI SKADEPROFIL	98
FIGUR 5-53: SKADEPROFIL DRI	98
FIGUR 7-1: OVERSIKTSBILETE AV TYIN DAM 3	103
FIGUR 7-2: NEDSTRAUMSSIDE AV TYIN DAM 3	104
FIGUR 7-3: OPPSTRAUMSSIDE AV TYIN DAM 3	104
FIGUR 7-4: EKSEMPEL PÅ PLASTRING, NEDSTRAUMSSIDE	105
FIGUR 7-5: LEVETIDSMODELL FOR BETONGKONSTRUKSJONAR	107
FIGUR 7-6: OPPVARMA ISOLASJONSVEGG I TREVERK.....	107
FIGUR 7-7: OVERSIKTSBILETE AV TYIN DAM 1	108



Tabelliste

TABELL 2-1: KLASSIFISERING AV ALKALI-REAKTIVITET I NORSKE BERGARTAR.....	10
TABELL 2-2: PETROGRAFISKE PARAMETER KARTLAGT I DRI.....	24
TABELL 2-3: VEKTINGSFAKTORAR FOR DRI	24
TABELL 2-4: KLASSIFISERING AV SKADEGRAD KNYTT TIL ALKALIREAKSJON	24
TABELL 2-5: DRI-TAL OG SKADEGRAD.....	25
TABELL 2-6: ANALYSEMETODAR OG INFORMASJON	26
TABELL 2-7: VURDERINGSKRITERIER ALKALIREAKSJON	30
TABELL 2-8: STOFF NYTTA SOM OVERFLATEBEHANDLING	32
TABELL 3-1: KJERNEBROT TYIN DAMMANE.....	39
TABELL 3-2: TRYKKFASTHEIT I KJERNEPRØVANE	41
TABELL 4-1: PETROGRAFISKE EIGENSKAPAR KARTLAGT I DRI	61
TABELL 4-2: VEKTINGSPARAMETER FOR DRI.....	61
TABELL 4-3: DRI-TAL OG SKADEGRAD.....	62
TABELL 5-1: OBSERVASJONAR I PLANSLIP, DJUPN 0-300 MM	65
TABELL 5-2: OBSERVASJONAR I PLANSLIP, DJUPN 470-770 MM.....	65
TABELL 5-3: OBSERVASJONAR I TYNNSLIP.....	67
TABELL 5-4: RESULTAT SDT TYIN DAM 3.....	75
TABELL 5-5: ESTIMERT EKSPANSJON FRÅ EC.....	77
TABELL 5-6: ESTIMERT EKSPANSJON FRÅ SDI	79
TABELL 5-7: ESTIMERT EKSPANSJON FRÅ SDI _{ALT}	81
TABELL 5-8: ESTIMERT EKSPANSJON FRÅ PDI	83
TABELL 5-9: ESTIMERT EKSPANSJON NLI.....	85
TABELL 5-10: SAMANLIKNING AV LINEÆR ESTIMERT EKSPANSJON TYIN DAM 3.....	86
TABELL 5-11: TRYKKFASTHEIT TYIN DAM 3.....	88
TABELL 5-12: DRI-TAL OG SKADEGRAD	92
TABELL 5-13: DRI-VERDI OG SKADEGRAD	92
TABELL 5-14: VEKTINGSPARAMETER FOR DRI.....	92



1 Innleiing

1.1 Bakgrunn

Alkalireaksjon i Noreg

Heilt fram til 1980-talet var det lite fokus på nedbryting av betong og årsaker til dette. Som konsekvens vart konstruksjonar for dårleg prosjektert med tanke på bestandigheit. Fleire av desse har dei siste åra vist teikn til auka skadeomfang med behov for etterberekning, tilsyn og vedlikehald.

Alkalireaksjon som skademekanisme har vore kjent i Noreg sidan 1940-talet. Reaksjonen er avhengig av både sement og tilslag, i tillegg til at hastigheita vert påverka av fuktinnhald og temperatur. Slik reaksjon påverkar også dei mekaniske eigenskapane i betong, når reaksjonsproduktet (alkaligel) tek opp vatn og ekspanderer. Dette resulterer i eit tilleggsbidrag i betongen sitt spenningsbilete. Elastisitetsmodulen blir svekka, noko som gjev meir tøyeleg betong og ein mistar strekk- og trykkstyrke over tid. I Noreg var det ikkje før på 1980-talet at skadar på grunn av alkalireaksjon vart synlege i betongkonstruksjonar. I 1996 vart det innført reguleringstiltak knytt til alkali-innhald i sement ved etablering av nye konstruksjonar, og betongkonstruksjonar oppført tidlegare 1996 vil difor kunne utvikle skadar.

Som eit resultat av tidlegare mangel på kunnskap om faktorar som påverkar betong sin bestandigheit, er det no tydelege teikn til at mange av dei eldre damkonstruksjonane i Noreg er påført skade. Særleg ser ein det i massive betongkonstruksjonar som er fasthalde, med lite armering og låge spenningar. Ekspansjon kan i desse medføre høg spenning i armeringa med påfølgjande skadepotensiale. Eksempel på dette er eit karakteristisk rissmønster som opnar opp konstruksjonen for andre nedbrytingsmekanismar, til dømes frost. Samstundes er desse konstruksjonane kjenneteikna ved at dei har gamle armeringsteikningar og reduserte materialeigenskapar. Komplekse lastverkander gjev også eit endra spenningsbilete, noko som har mykje å sei for betongen si åtferd. Med omsyn til dette er det i dag svært vanskeleg å analysere dei konstruktive konsekvensane av slike skadar. Fokuset ligg heller på å avgrense og vedlikehalde konstruksjonar som er påverka av alkalireaksjon for å gje dei auka levetid. I den samanheng er det særleg viktig å kunne seie noko om skadeverknad. Her vert testar og analysar som tynn- og planslip, SDT og trykktesting, DRI og PF/DCS, vurdert som relevante metodar for å avdekke påverka betongparametrar og estimere ekspansjon.

1.2 Mål med oppgåva

Mål for masteroppgåva er å velje ut og drøfte metodar for estimering av endringar i materialparametrar og ekspansjon i alkalipåverka betong. Den tek føre seg nedbrytingsmekanismar som synergieffekt av alkalireaksjon og tiltak med mål om auke bestandigheit og levetid. I praktisk tilnærming til val og drøftingar i oppgåva, er det teke utgangspunkt i tilstand, levetid og tiltak for Tyin Dam 1, 2 og 3. Det er utført eit litteraturstudium med fokus på nasjonal og internasjonale erfaringar kring temaet, og hensikta er å samanlikne dette med resultat i oppgåva.

1.3 Oppbygging av rapporten

Kapittel 2 presenterar teori og erfaringar frå innhenta litteratur kring temaet alkalireaksjon, skademekanismar og konstruksjonsmessige påverknader. Meininga med kapitlet er å gje eit innblikk i alkalireaksjonens verkemåte og skademessige utfordringar reaksjonen fører med seg. Vidare vert aktuelle metodar for diagnostisering av alkalipåverka betong presentert. Erfaringar kring levetid og nødvendige tiltak vert til slutt gjennomgått. Kapitlet er meint som bakgrunn og forståing for alkalireaksjon og korleis den påverkar betongkonstruksjonar.

Kapittel 3 gjev ei presentasjon av Tyin Dam 3 knytt til tidlegare arbeid, analysar og resultat. Vidare tek kapitlet for seg planlegging og utføring av nytt kjerneprøveuttak i Tyin Dam 3.

Kapittel 4 er ein gjennomgang av metodar og analysar nytta i vurdering av nye kjerneprøvar. Fyrste del av kapitlet omhandlar mottakskontroll av prøvar. Vidare vert utføring av tynn- og planslip presentert som metode. For å utnytte kjerneprøvane i mekanisk testing vert det vidare presentert prosedyre og plan for dette, samt metode nytta i preparering. Siste del av kapitlet tek for seg ekspansjonsmålingar av referansesyndrar og mekanisk testing ved SDT for estimering ekspansjon. Vidare vert det gjort greie for PF/DCS-forsøk med mål om å finne vassinnhald, PF-faktor og sug- og makroporøsitet.

Kapittel 5 presenterer resultat med fortløpande diskusjon kring analysane utført i kapittel 4.

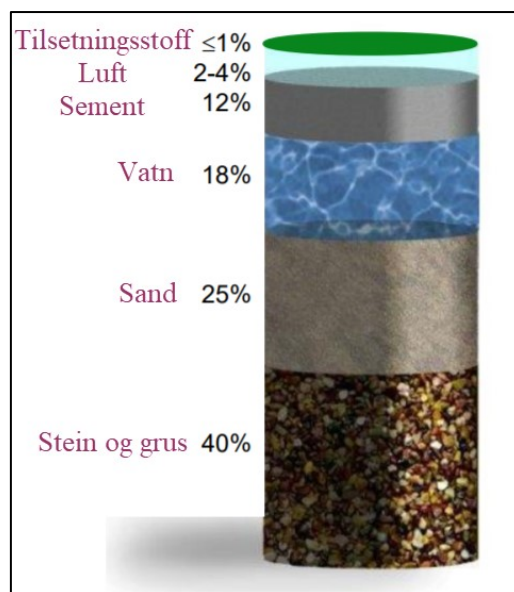
Kapittel 6 drøftar pålitelegheit av resultat og gyldigheit til metodane nytta for vurdering av betongkonstruksjonar påverka av alkalireaksjon.

I kapittel 7 vert det presentert fleire konstruksjonsmessige tiltak, med vekt på å auke bestandigheit og levetid. Rapporten vert avslutta med ein konklusjon og forslag til vidare arbeid.

2 Alkalireaksjon

2.1 Betong som materiale

Betong består av sementpasta, tilslag, tilsetningsstoff, pozzolan og luft. Tilslaget inneheld sand og pukk og utgjør ca. 70% av blandinga. Sement og vatn blir kalla sementpasta og utgjør ca. 30% av totalt volum. Figur 2-1 viser skjematisk samansetning av betong. Masseforholdet mellom vatn og sement er beskrive som v/c-talet i betongen, noko som i stor grad avgjer eigenskapar og bestandigheit.



Figur 2-1: Betong og samansetting (Maage, 2015)

Pozzolan som blir nytta i Noreg er gjerne flygeaske eller silisiumstøv. Dette er biprodukt som kjem frå kolfyrte kraftverk og produksjon av silisium. Flygeaske og silisiumstøv blir brukt som erstatning for sement i betongresepten av ulike grunnar. Dette kan for eksempel vere for å få ned temperaturen i store kontinuerlege støypar, eller for å produsere ein betong som er lettare å pumpe over ein lenger avstand. Silisiumstøv kan utgjere 10% av totalt volum i ein betongresept. Tilsetningsstoff utgjør ein mindre del av resepten og mengda er gjerne mindre enn 5% av totalt volum. Bruk av tilsetningsstoff kan gje betongen fordelaktige eigenskapar, som for eksempel utvida eller akselerert herdetid. Dei kan også påverke viskositet og frostmotstand ved bruk av dispergerande stoff (Maage, 2015).

Permeabilitet

Betongkonstruksjonar sin tettleik omfattar motstandsdyktigheit mot væsker, gassar og ion. Desse tre elementa er viktige med tanke på funksjon og bestandigheit for konstruksjonar i betong. Med funksjon tenkjer ein fyrst og fremst at konstruksjonen skal vere tett. Bestandigheit er i stor grad avhengig av at aggressive væsker og gassar ikkje kjem inn i betongens indre porestruktur. I tillegg til transport av væske og gass går det også føre seg ein transport av ion i stillestående porevatn. Denne transportmekanismen vert kalla diffusjon (Jacobsen et al., 1996).

Vidare seier Jacobsen et al. (1996) at tettleik i eit porøst materiale er avhengig av det totale porevolumet, porene sin storleiksfordeling og kor godt porene i materialet heng saman. Porene i betong har ulik størrelse, frå nanometer (gelporer) til millimeter (kapillærporer). Gelporer heng saman, men sidan dei er små er mykje av vatnet fysisk bunde til overflata. Om desse turkar ut, vil dei trekke vatn ved kapillærsug om betongen kjem i kontakt med vatn. I kapillærporene ser ein likevel at dette bidraget til væske- og gasstransport ikkje er særleg stort. Med omsyn til dette vil gelporene i liten grad fungere som transportveg for væsker og gass. Det er fyrst og fremst kapillærporene, og nettverket mellom desse, som styrer den omtala transporten gjennom betongen.

For betong er desse viktige transportmekanismer:

- Permeabilitet som følgje av trykkforskjell på to sider av betongen, eller at betongen vert utsett for ein-sidedig vasstrykk (for eksempel i ein damkonstruksjon).
- Kapillærsug som følgje av overflatekrefter i væska, for eksempel i eit damfundament som står halvveges under vatn.

Permeabiliteten i betong vert fyrst og fremst påverka av masseforhold, sementtype og tilsetningsmaterial. Den vil også vere avhengig av kor godt betongen er komprimert og eventuelle skadar i form av riss og sprekker. Dette kan igjen relaterast til konstruktiv utforming, armering, utføring og pågåande nedbrytingsmekanismer.

Bestandigheit

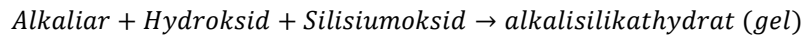
Betongens bestandigheit seier noko om i kva grad betongen har motstand mot dei ulike formene for nedbryting som den vert utsett for. Ein kan oppnå god bestandigheit ved å kombinere ein gjennomtenkt konstruksjon, bruke riktige material samt å utføre arbeidet i henhold til krav. I åra fram til 1980 var oppfatninga at betong var eit materiale som ikkje hadde særleg stort behov for oppfølging og utbetringar. Dette har i etterkant vist seg å vere feil, då det viser seg at ulike typar betongkonstruksjonar rundt om i Noreg har betydelege skadar i dag (Maage, 2015).

2.2 Kva er alkalireaksjon

Alkalireaksjon (AAR) eller alkali-silika reaksjonar (ASR) i betong er ein kjemisk-fysisk reaksjon der alkali-ion i betongens sementpasta reagerer med reaktive bergartar. I reaksjonen blir det danna eit reaksjonsprodukt, ein alkaligel, som har den eigenskapen at den svell ved vassopptak. Dette fører til volumauke, og kan i skadelege tilfelle resultere i at sementpastaen sin strekkfastheit vert overskride og betongen sprekk opp. På bakgrunn av dette vert det hevda at alkalireaksjon i fyrste omgang er ein kjemisk prosess, etterfølgd av ein fysisk prosess der reaksjonsproduktet (alkaligel) tek opp vatn (ICOLD, 1991).

Kjemisk prosess

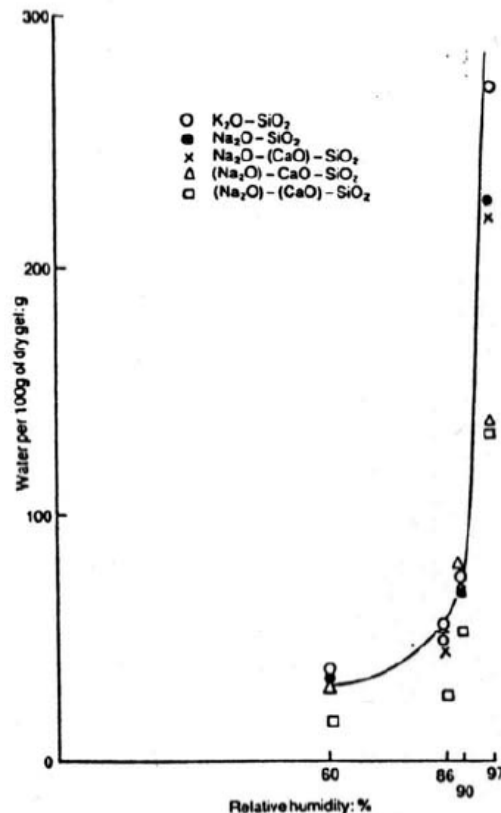
Alkalireaksjon førekjem vanlegvis i betong med høgt fuktinnhald, og vil fyrst oppstå om betongen inneheld ei viss mengd alkalireaktive bergartar og alkaliar i sementen (meir om dette i kapittel 2.3). Eit høgt innhald av alkaliar i betongen vil samstundes sei, at det også er stor konsentrasjon av hydroksidion (OH^-). Dette medfører at porevassløysinga i betongen får ein pH verdi på ca. 13,5. Ved pH lik 13,5 vil komplekse silisiumoksidion frå tilslaget silikatmineral lettare løyse seg opp, noko som betyr at desse vert tilgjengelege for danning av gel. Reaksjonsforløpet kan framstillast slik:



I den forenkla reaksjonslikninga kjem alkalier og hydroksid frå betongen si porevæske, mens silisiumoksid kjem frå tilslaget (Rodum et al., 2004).

Fysisk prosess

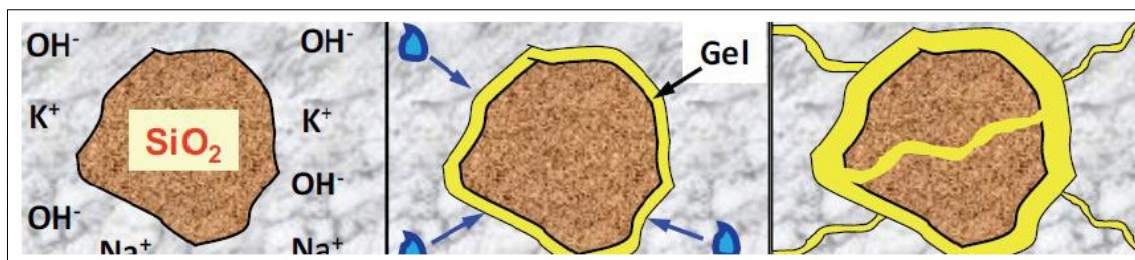
Vidare seier Rodum et al. (2004) at alkalisilikathydrat (gel eller alkaligel) har den eigenskapen at den tek opp vatn. Ved vassabsorpsjon vil gelen svulle og påføre betongen trykk. Figur 2-2 er henta frå Diamond et al. (1981) og viser samanhengen mellom fleire typar syntetisk gel og relativ fuktigheit (RF).



Figur 2-2: Vassinnhald i ulike typar gel sett i samheng med relativ fuktigheit (RF) (Diamond et al., 1981)

I følgje Diamond et al. (1981) er det viktig å merke seg at grafen i figur 2-2 er eksponentiell. Dette medfører at ved RF større enn ca. 80% vil tilgangen på vatn vere stor, og volumauken grunna alkalireaksjon kan verte skadeleg for betongen.

I uarmert betong vil ekspansjonen grunna volumauke vere uniform i alle retningar, medan ein i armert betong ser at ekspansjonen vil kunne vere anisotropisk. Armeringa blir spent opp og yter motstand mot ekspansjon, dermed vil det bli størst ekspansjon der det er minst armering. For sjølve betongmaterialet sine eigenskapar betyr alkalireaksjon endringar i trykkfastheit, strekkfastheit, elastisitetsmodul (E-modul) og permeabilitet. Figur 2-3 viser skjematisk forlaup av alkalireaksjonen i betong (FHW, 2011)



Figur 2-3: Utvikling av alkalireaksjon (FHW, 2011)

På overflata fører dette til synlege sprekker/krakeleringsmønster med ein karakteristisk utsjånad (bikubemønster), slik som i figur 2-4.



**Figur 2-4:
Krkeleringsmønster/rissdanning
(Rodum et al., 2018)**

I følgje ICOLD (1991) og Gran (1996), er det i hovudsak tre ulike typar alkalireaksjon ein skil mellom.

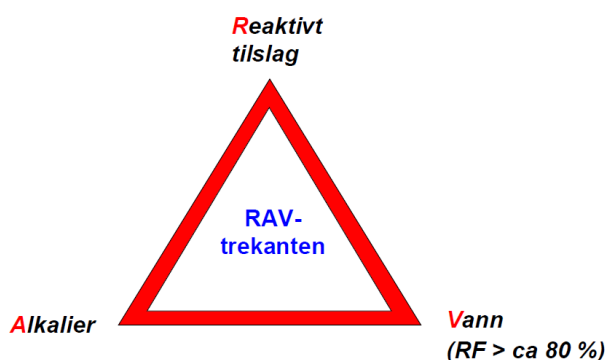
1. **Alkali-silika reaksjon** eller alkalikiselreaksjon er reaksjon mellom alkali og reaktive ustabile (metastabile) silika-mineral (kvarts, tridymitt) i tilslaget.
2. **Alkali karbonat reaksjon** er reaksjon mellom alkali og finkorna magnesiumholdig kalksteintilslag (dolomitisk kalkstein). Reaksjonen er ein kombinasjon av dedolomitisering (kalsitt går over til dolomitt) og svelling av leirmineral.
3. **Alkali silikat reaksjon** er reaksjon mellom alkali og silikatar (ureine silisiumoksid bindingar, dvs. med innhald av metall som kalium, natrium, magnesium og kalsium). Tilslaget er typisk leir-siltstein og fylitt.

De er generell semje om to former for alkalireaksjon. *Alkali-silika reaksjon* (vanlegaste type) og *alkali karbonat reaksjon* der dolomitt er den reaktive bergarten. Ut i frå litteratur samla av Rodum et al. (2004) er denne reaksjonen berre observert i Canada og Kina. Alkali-silika reaksjonen kan ein vidare dele inn i to undergrupper der grupperinga er avhengig av kva type bergart som har reagert i betongen:

- Langsamtreagerande bergartar (for eksempel kvartsholdige bergartar i Noreg)
- Hurtigreagerande bergartar (for eksempel porøs flint eller opal i Danmark)

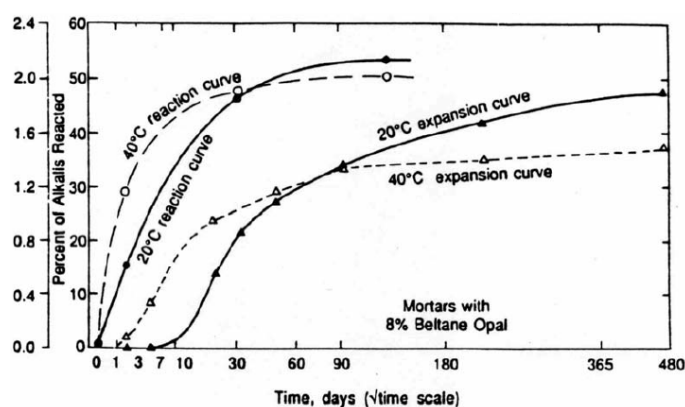
2.3 Føresetnader for alkalireaksjon

For at ein alkalireaksjon skal førekome lyt tre føresetnader vere oppfylt samstundes. Eit høgt innhald av tilgjengelege alkaliar, vatn og reaktive bergartar i ein gitt konsentrasjon. Dersom ein av desse føresetnadene blir tatt vekk, vil alkalireaksjon ikkje kunne førekome i betongen. Det er vanleg å illustrere dette ved bruk av ein RAV-trekant (**R**eaktivt tilslag, **A**lkaliar og **V**atn) slik som i figur 2-5.



Figur 2-5: Føresetnader for alkalireaksjon (Rodum, 2010)

Alkalireaksjonen er temperaturavhengig. I følgje Nebdal Svendsen og Torblaa (1989) betyr det at ved høge temperaturar vil reaksjonshastigheita auke og det blir danna meir gelprodukt. Eit vanleg estimat er at reaksjonshastigheita doblar seg ved ein auke i temperatur på 10°C. Gelen som blir danna er også avhengig av temperatur. Høg temperatur vil føre til at gelen får lågare viskositet og gir eit mindre svelletrykk i betongen. Motsett er det om temperaturen er låg, då vil gelen få høgare viskositet og gje eit større svelletrykk. Forsøk over tid utført av Diamond et al. (1981) med omsyn til ekspansjon i betong ved låg og høg temperatur, er slik som vist i figur 2-6.



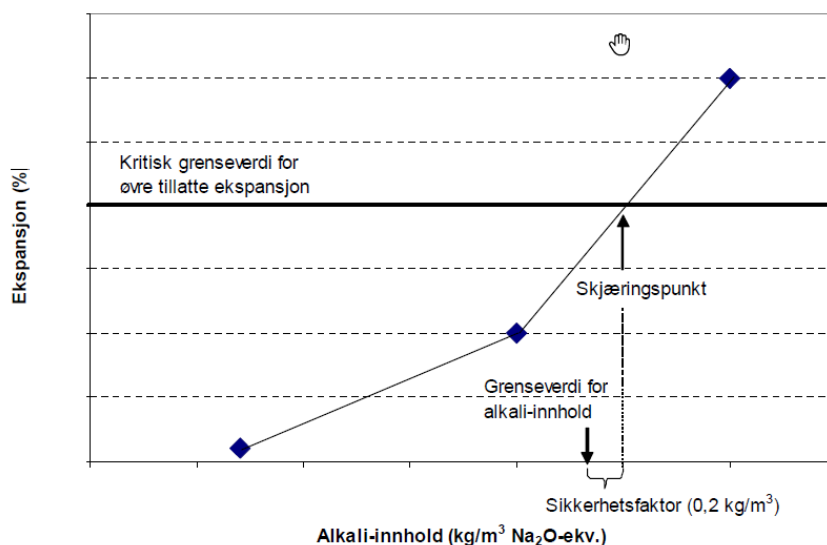
Figur 2-6: Reaksjonskurve og ekspansjonskurve for betong eksponert ved 20°C og 40°C (Diamond et al., 1981)

I figur 2-6 er det spesielt viktig å merke seg at ekspansjonskurva over tid ligg høgare for 20°C enn for 40°C. Dette kan forklare omfattande skadar knytt til alkalireaksjonar i norske damkonstruksjonar, sjølv om desse står i høg fjellet og til dels i alpint landskap. Lågare temperatur gjev lågare reaksjonsrate og større ekspansjon over tid. Samstundes viser figuren også at reaksjonen stoppar opp ved ein temperatur under 0°C (Rodum et al., 2004).

2.3.1 Alkalier

Fellesnemninga alkalier kjem frå det periodiske system. Alkalier, eller rettare sagt alkalimetall, er ei gruppe grunnstoff i dette systemet. I denne gruppa inngår hydrogen (H), natrium (Na), kalium (K), rubidium (Rb) og cesium (Ce). Av desse grunnstoffa er det kalium og natrium som har betydning i alkalireaksjon i betong. I det periodiske system er kalium og natrium naboar, noko som vil sei at dei har nokså like kjemiske eigenskapar. Det er vanlegvis sementen sitt innhald av alkalier som har størst betydning for konsentrasjonen av tilgjengelege alkalier i betongen. I tillegg ser ein også at alkalier frå tilsetningsstoff og tilslagsmaterial, samt inntrenging av alkalier frå ytre omgjevnader, kan vere av stor betydning. Eit høgt nivå av alkalier i betongen vil oppretthalde den kjemiske prosessen over lengre tid.

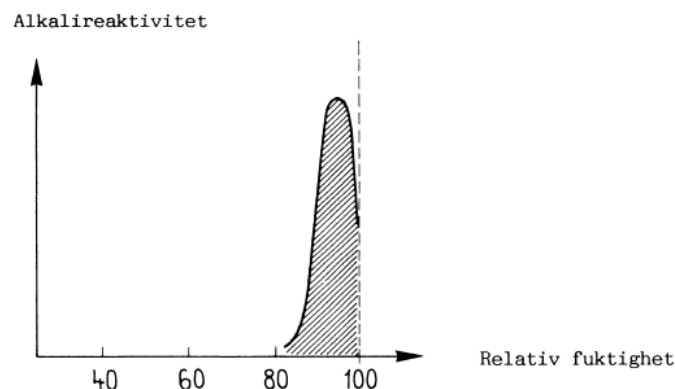
I følgje Pedersen (2017) viser erfaringar at lågalkalisement med eit alkaliinnhald på under 0,6 vekt % Na_2O ekvivalent (Natriumekvivalent er vekt % Na_2O + vekt % K_2O), gjev ein rimeleg sikkerheit for at alkalireaksjon i betong ikkje skal førekomme. I Norsk betong var det fram til 2018 ikkje lovleg med høgare innhald av alkalier enn 3 kg/m^3 Na_2O -ekvivalentar, dersom tilslaget er reaktivt (figur 2-7). I den reviderte utgåva av «Bestendig betong med alkalireaktivt tilslag» frå 2017 kjem det fram at grenseverdien for alkaliinnhald er redusert frå 3,0 kg/m^3 til 2,5 kg/m^3 ved bruk av CEM I. Dette som eit tiltak for å lage betong sikra mot skadelege alkalierreaksjonar produsert med alle typar norsk tilslag. Alkaligrensa er fortsatt 3 kg/m^3 om prøving med mørtelmetoden gjev lågt nok resultat (NB21, 2017).



Figur 2-7: Skjematisk figur som viser alkali-innhald mot ekspansjon (NB21, 2017)

2.3.2 Vatn

Betong er eit hygroskopisk materiale, noko som vil sei at det sug til seg fukt frå lufta rundt og søkjer ein likevektstilstand. Som eit resultat av laboratorie- og feltforsøk har det vist seg at alkalireaksjon ikkje førekjem i stor grad om RF er under 80%. Dette kan illustrerast slik som i figur 2-8.



Figur 2-8: Relativ fuktighet og alkalireaktivitet (Lindgård, 2013)

Likevel er det uenighet knytt til grenseverdien for RF, då Contecvet (2001) set opp RF lik 90% som nedre grense. Det det er meir semje om, er at aukande fuktinnhald gir auka skadeomfang. I følgje Rodum et al. (2004) ser ein at erfaringar knytt til betongkonstruksjonar i Noreg og internasjonalt peikar i retning av størst skadeomfang ved god tilgang på vatn. Når det gjeld betongkonstruksjonar, og spesielt dammar, vil desse konstruksjonane ofte stå i miljø med høg relativ fuktigheit og lett tilgjengelegheit på vatn i form av regn, snø eller vasstrykk. For betongkonstruksjonar som enten er vassmetta eller dykka er det likevel slik at skadeutviklinga er noko mindre enn ved 80-90% RF. Dette kjem av at alkaligelen under slike tilhøve vert mindre viskøs, meir lettflytande, og penetrerer sementpastaen utan å føre til ekspansjon eller «pop-outs» (Lindgård, 2013).

Vatn har også ein annan viktig funksjon i alkalireaksjon. Gelen som blir produsert tek opp vatn som kjem inn i betongen, svell opp og fører til ekspansjon. Figur 2-9 (Lindgård (2013) til venstre) viser korleis slik ekspandert gel ser ut.



Figur 2-9: Alkali-silika gel. Til venstre: Alkali-Silika gel i luftboble og ved reagert steinpartikkel. Til høgre: Kvit utfelling (gel) i kjerneprøve

2.3.3 Reaktivt tilslag

I følgje Schouenborg et al. (2010) er det i dag ei lang liste med bergartar som reagerar i betong. I Noreg er det fyrst og fremst langsamt reagerande alkalireaktive bergartar som gjennom åra er blitt omtala. Fyrst seint på 80-talet kom det fram at norske bergartar nytta i betong også var alkalireaktive og potensielt skadelege for konstruksjonar. Frå

1990 til 1996 gjennomførte SINTEF, i samarbeid med Norges Geologiske Undersøkelse (NGU), to forskingsprosjekt med mål om å kartleggje alkalireaktive bergartar i Noreg. Som ein del av dette arbeidet vart det også utvikla testmetodar som seier noko om bergarten er reaktiv eller ikkje. Denne metoden vert kalla petrografisk analyse. Metoden vert nærare beskrive i kapittel 2.7.4. Byggforsk har i rapport 520.063 samla resultatata frå forskingsprosjekta. Tabell 2-1 viser klassifisering av norske bergartars alkalireaktivitet og er basert på arbeid utført av Wigum (1999).

Reaktivitet	Bergart
Alkalireaktive bergartar: Typiske kvartskorn – størrelse < 60 µm	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentære bergartar: sandstein, siltstein, leirstein, metamergel, gråvakke - Deformasjonsbergartar: mylonitt, kataklasitt, mylonittgneis - Sure vulkanske bergartar: ryolitt, kvartskeratofyr - Kvartsitt, mikrokrySTALLIN/kvartsskifer - Fyllitt
Tvilstilfelle Typiske kvartskorn størrelse < 130 µm	<ul style="list-style-type: none"> - Kvartsitt/kvartsskifer - Kvartsrik bergart (kvartsinnhald > 20%) - Kalkstein med ureinheiter (finkorna kvarts) - Hornfels - Lyse mylonittar (1-5% kvarts)
Ikkje reaktive bergartar: Typiske kvartskorn – størrelse > 130 µm eller kvarts ikkje til stades	<ul style="list-style-type: none"> - Mørke bergartar: basalt, grønstein, gabbro, amfibolitt - Kvartsholdige bergartar: granitt/gneis, kvartsitt-skifer, glimmerskifer - Feltspatiske bergartar - Anna/uidentifisert: rein kalkstein og marmor, frikorn, porfyrar, kvartfrie mylonittar

Tabell 2-1: Klassifisering av alkali-reaktivitet i norske bergartar (Dahl et al., 1996)

Konklusjonen til Wigum er at alle bergartar som inneheld kvartsmineral potensielt er alkali-reaktive. Haugen og Lindgård (2005) seier også at reaktiviteten avheng av partikkelstørrelse, deformasjonsgrad og mikrostruktur. Reaksjonane frå Noreg er prega av mikrokrySTALLINSK kvarts, samt noko feltspat som har bidrege med alkaliion, direkte eller indirekte i reaksjonen. For dei tette krystallinske bergartane er det ikkje eintydig at alkali- og hydroksid-ion skal trenge heilt inn i bergarten via overflata. Bakgrunnen for denne påstanden er at bergartane er lite permeable og at reaksjonsmønsteret ser ut til å vere avgrensa til riss i sjølve tilslaget. Likevel er det ved hjelp av tynnslipanalyser verifisert at randsona i tette bergartar kan reagere med sementpastaen og føre til skade i betongens indre struktur (Haugen og Lindgård, 2005). Lindgård (2013) har illustrert riss med alkali-silika-gel i kataklasitt ved hjelp av mikroskop. Figur 2-10 viser bilete av stort riss gjennom tilslag og ut i sementpasta. Risset er i sin heilheit fylt med gel.



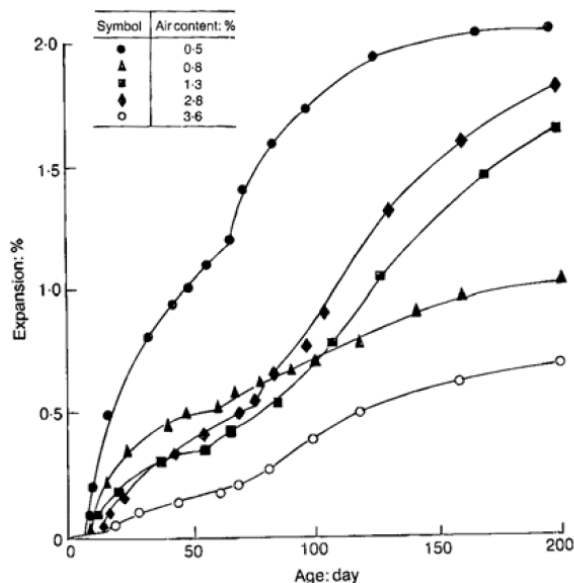
Figur 2-10: Alkali-silika-gel i sprekk mellom kataklistiske partiklar (Lindgård, 2013)

I følge Rodum et al. (2004) er det rapportert tilsvarende reaksjonsmønster frå fleire land, blant anna Canada, Australia, England og Sør-Afrika. Dette er land som har same type langsamtreagerande bergartar som i Noreg.

For nye betongkonstruksjonar bygd i Noreg i dag, er det krav til dokumentasjon kring mengd alkaliar i tilslaget. I følge Lindgård et al. (2007) er godkjent tilslag dokumentert ikkje-alkalireaktivt, noko som vil sei at det inneheld under 20% risikobergartar. Norsk regelverk tek i dag omsyn til dette kravet (NB21, 2017).

2.3.4 Luftinnhald, pasta porøsitet og v/c-tal

Det er allmenn kjent at betong som vert nytta i land med sannsyn for fryse/tine problematikk, inneheld ei mengd jamt distribuerte små luftbobler. Luftboblene gjer betongen motstandsdyktig mot frost ved at vatn som frys aukar i volum og får ekspandere fritt inn i luftbobla (Maage, 2015). Alkalireaksjon baserar seg på same prinsipp. Sjølve reaksjonen er uavhengig av luftinnhaldet, men skadeomfanget er avhengig av mengda luft i betongen. Ei jamn mengd godt distribuerte luftbobler vil verke fordelaktig då gelen frå alkalireaksjonen ekspanderer ved vassopptak. Gelen vil ekspandere inn i luftbobla, noko som gir mindre svelletrykk i betongens indre porestruktur. I det luftbobla er full av gelprodukt vil svelletrykket igjen auke, samstundes som motstand mot frost minkar. Dette heng saman med at vatnet som frys ikkje lenger har moglegheit til å ekspandere inn i luftboblene som no er fylt med gelprodukt (Hobbs, 1988). Det kan illustrerast grafisk korleis luft påverkar ekspansjon, slik som i figur 2-11 (Hobbs, 1988).



Figur 2-11: Relasjon mellom luftinnhald og ekspansjon i betong påverka av alkalireaksjon (Hobbs, 1988)

Pastaporøsiteten vil også ha effekt på ekspansjon, omtrent slik som for luftinnhaldet. Porøs betong inneheld mykje store porer og har dermed plass til ekspanderande gel. Porestrukturen i betongen er førande for korleis ion-transporten artar seg, og høg porøsitet gir alkaliion lettare transportveg mot reaktive tilslag. For betong med låg porøsitet vil dette føre til auke i ekspansjon på grunn av mindre rom til reaksjonsprodukta. Låg porøsitet er likevel mest gunstig m.o.t. alkalireaksjon, då reaksjonsraten minkar på grunn av tettare porestruktur og det tek lenger tid for vass-ion å nå fram til det reaktive tilslaget (Wiggum et al., 2006).

I følge Wiggum et al. (2006) vil det ved å endre v/c-talet, endre eigenskapane til betong. Kjemisk vert innhaldet av alkaliar i porevassløysinga påverka, medan ein fysisk ser at porøsiteten i pastaen endrar seg. Det er utført fleire studiar knytt til temaet og konklusjonen er at v/c-talet, saman med luftinnhald og porøsitet, også er med å påverke ekspansjon i betong påverka av alkalireaksjon.

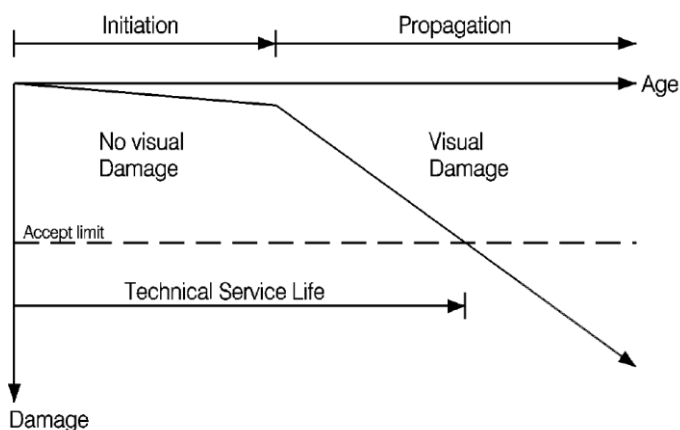
2.4 Skadar knytt til alkalireaksjon

Som nemnt i kapittel 2.3.3 har me i Noreg langsamtreagerande bergartar. Erfaring viser i følge Rodum et al. (2004) at det tek normalt 15-20 år før ein i Noreg ser visuelle teikn på alkalireaksjon. Samstundes viser også erfaring at når reaksjonen er i gong vil den utviklast og forverrast over tid. Internasjonale erfaringar viser at reaksjonen stoppar opp og brenn ut. Det er her som oftast snakk om konstruksjonar med innhald av hurtigreagerande bergartar under andre klimatiske tilhøve. I høve vurdering av restlevetid peikar Rodum et al. (2004) på følgjande faktorar: reaktivt tilslag, betongsamansetning, alkali-innhald, porøsitet, konstruksjonstype- og utforming, armeringsføring, miljø, fukt og temperatur.

I følge Rodum et al. (2004) er det i dag vanleg å kategorisere skadar knytt til alkalireaksjon i betongkonstruksjonar på følgjande vis:

- Skadelege alkalireaksjonar
- Ufarlege alkalireaksjonar

Den *skadelege* alkalireaksjonen fører til uakseptabel ekspansjon og opprissing av konstruksjonen. Den *uskadelege* gjev ikkje skadar av stor betydning og førekjem då reaktive bergartar er oppsprukke eller oppløyst, noko som gir mindre reaksjon. Dette kan illustrerast ved bruk av ein generell levetidsmodell for betongkonstruksjonar, slik som i figur 2-12.



Figur 2-12: Generell levetidsmodell for betongkonstruksjonar utsett for nedbrytingsmekanismar (Maage, 2015)

Den stipla linja (accept limit) representerar grenseverdi for akseptert skadegrad i konstruksjonen. Parametrar som kan nyttast i modellen vil blant anna vere rissvidder, mengde riss eller ekspansjonsmålingar av konstruksjonen. I røynda er riss og oppsprekking på grunn av alkalireaksjon, i dei fleste situasjonar, ikkje åleine utløyssande faktor for å nå grenseverdien i den prinsipielle modellen vist i figur 2-12 (Maage, 2015).

Rodum et al. (2004) hevdar vidare at riss og sprekker som vert danna verkar som ei opning for andre skademekanisar. Damkonstruksjonar i Noreg er i stor grad plassert høgt til fjells, og står også til dels i alpint landskap. Dette gir stor fare for fryse/tine problematikk. I følgje Contecvet (2001) vil vatn som fryser i frisk betong ekspandere inn i luftporene som tek opp volumauken, noko som gjev betongen ei viss frostmotstand. Om betongkonstruksjonen er påverka av alkalireaksjon kan frostmotstanden verte redusert. Reaksjonsproduktet fyller mindre luftporer slik at tal aktive luftporer vert minskede og ein opplever at motstanden mot frost vert betrakteleg redusert. Riss og sprekker kan også føre til auka vassinnhald lokalt i overflata eller i ytre sjikt av betongen. I horisontale flater ser ein gjerne lokal oppsprekking og avskaling rundt riss. Innvendig i konstruksjonen kan kapillærsystemet utvikle seg med stadig nye riss som kan endre transportvilkår for mellom anna vatn, og dermed påverke frostmotstanden negativt.

I damkonstruksjonar kan riss og sprekker som følgje av alkalireaksjon føre til raskare karbonatisering. Dette vil sei at pH i porevassløysinga vert lågare, noko som medfører at passivfilmen rundt armeringa blir brote ned og armeringa kan starte å korrodere. Inneheld konstruksjonen armering vert det lokal korrosjon i områda rundt riss og sprekker. Over tid kan dette også føre til avskaling og avdekking av armering. Om dette har påverknad for bereevna til konstruksjonen, er vere avhengig av utbreiing og kvar i konstruksjonen skadane oppstår (Myrdal, 2018a).

2.5 Konstruksjonsmessige påverknader knytt til alkalireaksjon

Skadar knytt til alkalireaksjon er i stor grad eit resultat av volumauke på grunn av svellande eller ekspandert betong. Innspenne krumma dammar vert tvinga i radiell retning som følgje av ekspansjonen i damkvelvet sin periferiretning. Bevegelsesfuger kan verte trykt saman og rørlege damluker kan låsast fast. Samstundes aukar også alkalireaksjon sannsynet for at andre skademekanismar, som frost og armeringskorrosjon, får påverke konstruksjonen. Dette er, som tidlegare nemnt, fordi gass, væske eller løyste ion lettare kjem inn i betongen om det finst riss eller sprekker (Rodum et al., 2004).

2.5.1 Mekaniske eigenskapar

Alkalireaksjon kan føre til rissdanning (krakelering) i betongoverflata og auke av betongen sitt volum. Samstundes er det også generell semje om at geldanning medfører påverknad på betongparametrane. I dei fleste konstruksjonar vil alkalireaksjon kun føre til estetiske skadar. Dette fordrar at ein klarar å unngå andre nedbrytingsmekanismer, som korrosjon og frost (Lindgård et al., 2007).

I følgje Rodum et al. (2004) er det ved vurdering av mekaniske materialparametrar i eksisterande konstruksjon naudsynt å ta ut kjerneprøvar. I følgje Jacobsen et al. (1996) er det ikkje nødvendigvis slik at prøvar frå eit område er representative for eit anna område. Med omsyn til dette bør ein vurdere om tal prøvar og lokasjon er representativt for betongen i heile konstruksjonen.

Trykkfastheit

I konstruksjonar prega av alkalireaksjon vert mekaniske parametrar påverka, men i litteratur er det ikkje eintydig semje om i kor stor grad. Samstundes i følgje Marzouk og Langdon (2003) og Giaccio et al. (2008) kan ein med sikkerheit sei at E-modul og strekkfastheit vert redusert. Reduksjon i trykkfastheit er det knytt noko meir usikkerheit til. Særskilt er det knytt usikkerheit til om den vert redusert til under 28-døggers fastheit (som i dei fleste tilfelle er dimensjonerande). Studien til Marzouk og Langdon konkluderte med at auken i hydratasjonsgrad gir eit større positivt bidrag til trykkfastheit enn reduksjon grunna alkalireaksjon.

Strekkfastheit

Ser ein på strekkfastheita er særleg storleiken på ekspansjon og risstilstand avgjerande for reduksjonen i denne. Ved ein ekspansjon lik 0,1%, kan opprissing føre til at strekkfastheita er tilnærma lik 0 lokalt i nokre retningar. I dag nyttar ein armering for å ta opp strekkraftene i betongen. Særleg er det skjær- og heftkapasitet som avheng av at det er strekkfastheit tilstades, då det er vanskeleg å armere seg opp til tilstrekkeleg kapasitet. I forankringsområder, skøyt mellom stenger, ved opplegg eller ved ende, er ein avhengig av god heftfastheit. Med omsyn til dette vil alkalireaksjon som fører til opprissing i slike områder medføre store konsekvensar for bereevna til konstruksjonen (Stemland et al., 2016).

Elastisitetsmodul (E-modul)

Om ein tek for seg E-modul er det forska mykje for å knyte denne parameteren til alkalireaksjon. Marzouk og Langdon (2003) rapporterte om prøvar der ein såg reduksjon i E-modul samstundes som trykkfastheita auka. På bakgrunn av arbeidet til Marzouk og

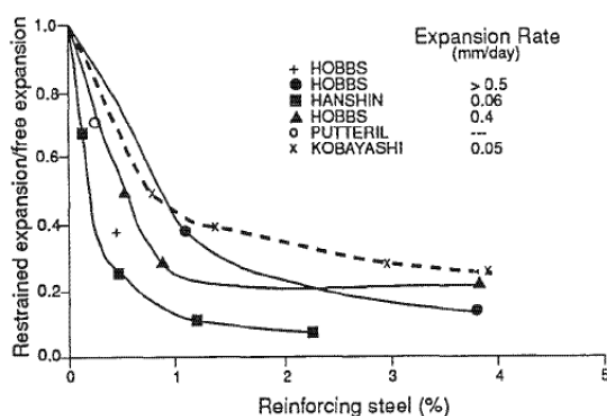
Langdon stadfesta Giaccio et al. (2008) at E-modul i stor grad vert påverka av alkalireaksjon. I prøvar med stor ekspansjon ser ein at det ikkje eintydig er størst reduksjon i E-modul og trykkfastheit. I prøvar påverka av alkalireaksjon, der ekspansjonen er stor, viser desse at reduksjonen i E-modul er større enn i prøvar med mindre ekspansjon. I vidare arbeid viste Sanchez et al. (2014) at reduksjonen er avhengig av storleik på tilslag og storleik på ekspansjon, samstundes som vinkelen på riss også har noko å sei. Ein samla konklusjon er at reduksjon i E-modul på grunn av alkalireaksjon er avhengig av kva type tilslag som vert nytta, størrelsen på ekspansjon, tilgang på alkalimetall og korleis riss artar seg i konstruksjonen.

Med omsyn til dette har Stemland et al. (2016) kome fram til at E-modul er avhengig av korleis betongen har ekspandert i forhold til belastninga si retning. Dersom betongen har ekspandert fritt, vil E-modul vere noko låg fram til ekspansjonen eller gelen i porene er samantrykt. I følgje Stemland et al. (2016) er det ikkje forventa at betong som står under trykk mindre enn 3 MPa skal få noko særleg reduksjon i E-modul. Trykkfastheita til betongen blir også noko redusert då betongen ekspanderer, men denne reduksjonen skjer ikkje før ein har stor ekspansjon (0,2-0,3 %).

2.5.2 Lastverknader frå alkalireaksjon

Blight og Alexander (2011) seier at ekspansjon i betong som følgje av alkalireaksjon er ein langtidseffekt. Tilleggslasta som eit resultat av dette, vil gje eit nytt kraftbidrag i armert betong og verke saman med nyttelast og eigenvekt. Kreftene på grunn av alkalireaksjon kan bli betydelege, og det vil i dei fleste høve vere behov for eigne modellar når ein skal rekne kapasitet i påverka konstruksjonar.

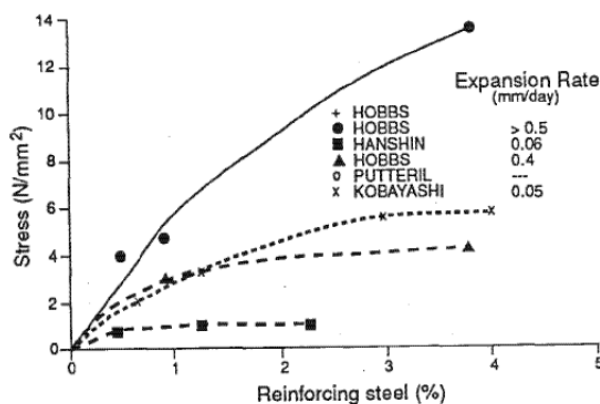
The British Institute of Structural Engineers (Istructe) har publisert forskingsdata samla av Wood og Doran (1992) frå laboratorieforsøk knytt til alkalireaksjon sin påverknad på armering i betong. Fokuset ligg i å skildre korleis kreftene som oppstår i armert betong vert påverka av alkalireaksjon. Figur 2-13 viser tydeleg ein samanheng mellom redusert ekspansjon og mengd armering.



Figur 2-13: Samanheng mellom ekspansjon og armering i ASR påverka betong (Wood og Doran, 1992)

Figur 2-14 viser at ekspansjonsrate på 0,5 mm/dag og ei armeringsmengd lik 4% gjev opp til 14 MPa trykk. Det er viktig å ta omsyn til at dette er data framstilt med ekstrem reaksjonshastigheit i laboratoriet. Wood og Doran seier vidare at konstruksjonar i røynda

har mykje lågare ekspansjonsrate, samt at kryp og relaksjon også vil spele inn. Dei konkluderar med at verkelege betongkonstruksjonar ikkje får eit høgare trykk enn ca. 4 MPa. Dette betyr at trykket alkalireaksjonen genererer i betongen er stort nok til at armeringa kan nå flytegrensa. Dette dersom mengd armering er liten nok.



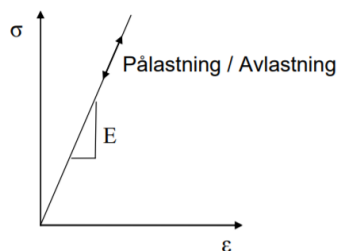
Figur 2-14: Armering og alkalireaksjon. Samanheng mellom mengd armering og strekkrefter påført armering ved alkalireaksjon (Wood og Doran, 1992)

Stemland et al. (2016) hevdar at lastverknadar frå alkalireaksjon vert bestemt ut frå bæresystemet, storleiken- og fordeling av ekspansjon og korleis tverrsnittet er armert. Det vert skilt mellom indre og ytre lastverknad, der indre lastverknad handlar om fri ekspansjon, medan ytre lastverknad omhandlar eit system som er fasthaldt for aksialkraft og/eller moment.

Indre lastverknad

I ein armert betongkonstruksjon, som er påverka av alkalireaksjon, er det berre betongen som ekspanderar. Armeringa i betongen, vil ved utviding følgje med betongen og tileigna seg spenningar, som gjev aksialkraft- og momentverknad i tverrsnittet. Ved å tenkje seg at systemet er eit indre kraftsystem i tverrsnittet, vil auka krefter i armeringa verte halde i sjakk av den armerte betongen. Ved ekspansjon i tverrsnittet vil dette gje endra spenningsbilete, både i armering og betong.

Det byggjer seg kun opp indre spenningar knytt til alkalireaksjon så lenge eigenskapane til materialet er lineært elastisk (figur 2-15). Samanhengen mellom last og deformasjon er lineær, noko som tyder at pålasting og avlasting er fullstendig reversibel (Hopperstad og Børvik, 2015).

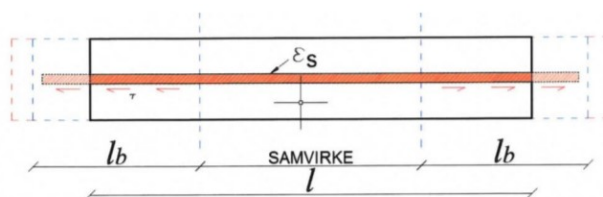


Figur 2-15: Lineært elastisk materiale (Hopperstad og Børvik, 2015)

I følge Stemland et al. (2016) betyr dette at lastverknad frå ekspansjon betyr lite for kapasiteten til tverrsnittet. Statens Vegvesen, ved Rodum (2010), omtalar ekspansjon som ei indre forspenning av tverrsnittet.

Avsnitta under forklarar lastverknad frå alkalireaksjon og baserer seg på rapport nr. 601 henta frå Statens Vegvesen, skriven av Stemland et al. (2016).

For å vise kva slik ekspansjon fysisk vil utrette nyttar ein eit sentrisk armert prisme.

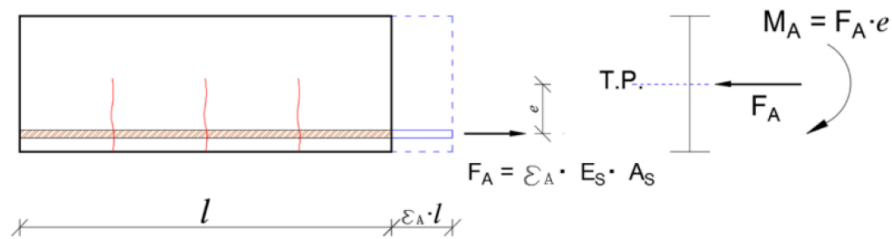


Figur 2-16: Sentrisk armert prisme (Stemland et al., 2016)

Om prismet på figur 2-16 er uarmert, kan det ekspandera heilt ut til dei raude stipla linjene. I tillegg vil det ikkje vere noko form for indre spenning i tverrsnittet på grunn av fri ekspansjon. I prismet (figur 2-16) er det lagt inn armering, noko som fører til mindre ekspansjon. Årsaka til dette er at armeringa vert strekt då betongen ekspanderer, og det blir sett opp ei motkraft som gir trykk i betongen og reduserer forlenginga.

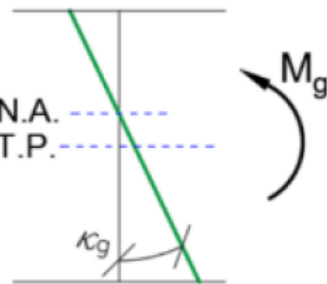
For å kunne bestemme spenninga knytt til ekspansjon i betongen tek ein utgangspunkt i at den kan ekspandere fritt. Armeringa i betongen blir trekt ut til same ekspansjon og er satt i ein ny spenningstilstand (strekk). Denne krafta vert påført det armerte tverrsnittet med motsett forteikn, slik at krafta opptretr som trykk. Dette er ein metode som også blir brukt i svinnberekningar, men forskjellen her er at svinn gir trykkrefter i armeringa, medan ekspansjon på grunn av alkalierekasjon gjev strekk. Måler ein kreftene opp mot kvarandre vil ekspansjon frå alkalireaksjon gje eit større kraftbidrag enn krefter frå svinn.

Ved å relatere dette til ein bjelke utan fasthalding i spenningstilstand tilsvarande stadium I (figur 2-21), vil krafta frå armeringa gje både aksialkraft F_A og moment M_A rundt tyngdepunktet til bjelken. Figur 2-17 viser dette.



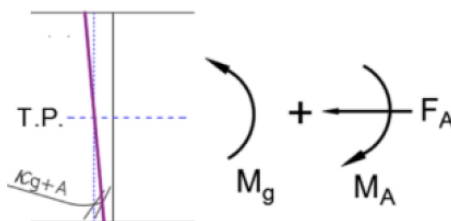
Figur 2-17: Lastverknad frå alkalireaksjon på einsidig armert bjelke (Stemland et al., 2016)

Vidare kan indre lastverknad frå ekspansjon (armering) kombinerast med eit ytre moment frå eigenvekt M_g (figur 2-18).



Figur 2-18: Tøyingstilstand frå eigenvekt (Stemland et al., 2016)

Dette gjev ein indre fiktiv spennings- og tøyingstilstand for resulterande lastverknad slik som vist i figur 2-19.



Figur 2-19: Fiktiv tøyingstilstand frå eigenvekt + alkalireaksjon (Stemland et al., 2016)

Til slutt kan resulterande tøyingstilstand bestemast for tverrsnittet, ved å legge den frie ekspansjonen ϵ_A til den fiktive tøyingstilstanden, vist i figur 2-20.



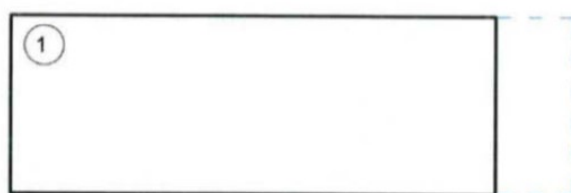
Figur 2-20: Resulterende tøyingstilstand frå eigenvekt + alkalireaksjon (Stemland et al., 2016)

Den frie ekspansjonen kan enten vere konstant eller lineær over tverrsnittet, slik som vist i figur 2-20. Dermed vert den fiktive tøyingstilstanden eit uttrykk for den spenninga alkalireaksjon induserer i betongen. Denne tilnærminga kan nyttast både for tverrsnitt med strekk- og trykkarmering. Ved å sjå på tverrsnitt med overvekt av armering på strekksida, vil alkalireaksjon gje eit negativt moment (M_A) og konstruksjonen vil ha ein tendens til å krumme oppover om M_A er større enn momentbidraget frå eigenvekta.

Storleiken på kreftene indusert av ekspansjon avheng av kva tilstand tverrsnittet oppheld seg i. Om ein tenkjer seg ein kontinuerleg bjelke, der det berre er eigenvekta som verkar, er det realistisk å tru at tverrsnittet er i stadium II. Stadium II er eit opprissa tverrsnitt midt i felta og over støttene. Stadium I er eit tverrsnitt uopprissa over eit område til kvar side for null-momentpunktet.

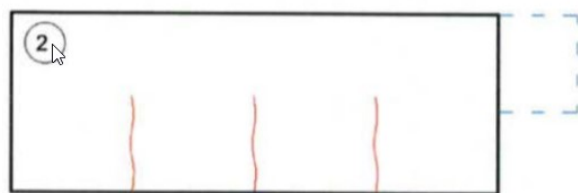
Ytre lastverknad

I førre avsnitt låg fokuset på indre lastverknad på grunn av alkalireaksjon, men ekspansjon kan også medføre ytre lastverknadar. Desse oppstår om konstruksjonen er fasthalden for aksialkraft og/eller moment. Om ein har ein konstruksjon som er fasthalden, for eksempel ein Dam, vil ein sjå at jamn ekspansjon av ein urissa betong (Stadium I) gir eit konstant trykk over heile tverrsnittet (figur 2-21).



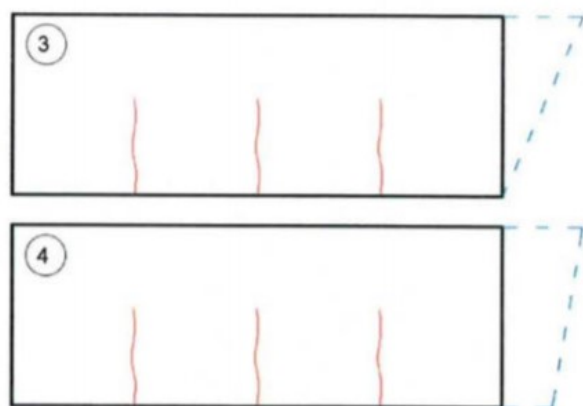
Figur 2-21: Kraftoppbygging i fasthalden bjelke (Stemland et al., 2016)

Derimot, ved opprissa betong (Stadium II), vil det meste av krafta bli ført gjennom trykksona ved opplegga. Store deler av krafta blir teken opp, slik som vist i figur 2-22.



Figur 2-22: Kraftoppbygging i bjelke med riss (Stemland et al., 2016)

Vidare forlaup er avhengig av storleiken på ekspansjonen og korleis eigenvekta påverkar konstruksjonen. Dersom ekspansjonen er stor nok, fordeler spenningane seg slik som i figur 2-23, og ein får gradvis konstruksjonen tilbake i Stadium I (figur 2-21).



Figur 2-23: Spenningar knytt til auke i ekspansjon (Stemland et al., 2016)

2.6 Estimering av restlevetid for betongkonstruksjonar påverka av alkalireaksjon

I følgje Rodum et al. (2004) er det utfordrande å relatere skadegrad til eksakt restlevetid. Vidare seier Rodum et al. (2004) at erfaringar frå 80-talet og fram til i dag, viser at konsekvensar av alkalireaksjon og restlevetida er sterkt konstruksjonsavhengig. Mellom ulike konstruksjonar kan det vere variasjon i betongen si samansetting (tilslag, innhald av alkaliar og porøsitet), type konstruksjon og miljøfaktorar (temperatur og fuktinnhald).

Med utgangspunkt i manualen for vurdering av konstruksjonar påverka av alkalireaksjon utarbeida av Contecvet (2001), er det i denne lista opp sju punkt som seier noko om vurdering av restlevetid.

Har alkalireaksjon bidrege til dei observerte skadane, lyt ein søkje svar på følgjande:

- Er det sikkert at dei observerte skadane kan knytast direkte til alkalireaksjon?
- Vil alkalireaksjon kunne gje ytterlegare nedbryting av konstruksjonen?
- Er alkalireaksjon eine og åleine skadeårsak eller verkar den saman med for eksempel frost?

Med omsyn til nærare undersøking og framtidig utvikling, lyt ein svare på følgjande:

- Kva er storleiken på ekspansjon til no (riss og volumutviding)?
- I kor stor grad vil ekspansjon fortsette?

I det vidare løp er konsekvensar og planlegging av tiltak sentrale. Her lyt ein spørje seg følgjande:

- Kva effekt har dei påviste skadane på bereevna til konstruksjonen, no og i framtida?
- Korleis skal ein vedlikehalde og utføre tiltak?

Som nemnt i byrjinga av dette avsnittet er det ikkje direkte mogleg å relatere skadegrad til eksakt restlevetid, men i følgje Contecvet (2001) er det tre metodar ein kan nytte seg av for å sei noko om framtidig skadeutvikling:

1. Rest-ekspansjonsmåling i laboratoriet på kjerneprøvar frå aktuell konstruksjon.
2. Måle ekspansjonsutvikling in-situ.
3. Erfaringsoverføring frå andre konstruksjonar i same kategori.

I rapport kring betongdammar, skriven av Rodum et al. (2004), vert dei tre metodane drøfta.

Rest-ekspansjonsmåling (Metode 1) inneheld ein del usikkerheiter og det er ikkje generell internasjonal einigheit kring metoden sin gyldigheit. Erfaringsoverføring (Metode 3) er avhengig av at ein finn liknande konstruksjon(ar). Det er særskilt viktig at betongsamansettinga er mest mogleg representativ for aktuell konstruksjon. Alkaliinnhald, tilslag, RF, porøsitet, mengd armering og belastning er parameter som vert vektlagd. Med omsyn til dette vil det vere naudsynt med detaljert datagrunnlag frå fleire år tilbake i tid.

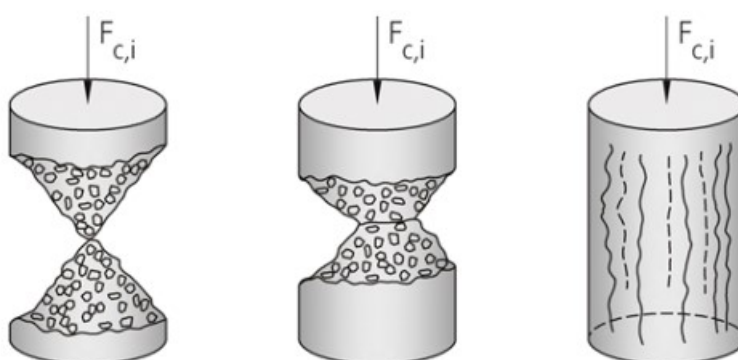
In-situ målingar (Metode 2) er den mest pålitelege metoden i arbeidet med å vurdere restlevetid. Metoden går ut på å måle utviklinga av riss og sprekker over tid. I følgje Rodum et al. (2004) er ei ulempe ved metoden at det tek lang tid før ein ser trendar i ekspansjonsforløpet. Det er vanleg å kombinere rissmålingar med måling av relativ fuktigheit. Ein vel ut særskilt utsette delar av konstruksjonen, som til dømes kritiske snitt i pilarar eller vederlag i ein Dam. Sjølve målinga går føre seg ved å montere knastar på kvar side av utvalde riss, for så å måle avstanden mellom knastane med jamne mellomrom. I Noreg er det vanleg å måle minimum to gonger i året. Dette gjev hastigheit på utviding, og målingane kan så ekstrapolerast for framtidig utvikling.

Ved å relatere rissutvikling frå in-situ målingar til bereevnemessige konsekvensar, lyt ein også ha måledata frå endringar i mekaniske parameterar. Ved å bore ut kjerneprøvar frå aktuelle områder i konstruksjonen, kan laboratorietesting finne endringar i for eksempel strekkfastheit, E-modul og trykkfastheit. Resultata frå slik testing vil danne grunnlag for reviderte berekningar av lastkapasitet og sikkerheit (Rodum et al., 2004).

2.7 Diagnostisering av betong påverka av alkalireaksjon

2.7.1 Trykkfastheit

Som nemnt i kapittel 2.5.1 vert trykkfastheita redusert om betongen er påverka av alkalireaksjon. For å kunne dokumentere dette lyt ein i følgje CEN (2000) teste kjerneprøvar i laboratoriet, bora ut frå eksisterande konstruksjonar. I forkant av trykktesting vert det gjort forarbeid knytt til boreplan, uttak av prøvar, merking, pakking, mottak, lagring, visuell undersøking og saging/planslip. Når prøven er klar for trykktesting er det viktig at høgde/diameterforhold ligg mellom 1:2. I følgje CEN (2000) bør ein unngå at forholdet går under 1, og det bør aldri vere under 0,75. Trykkprøvinga skal utførast i henhold til NS-EN 12390-3 med ei prøvemaskin som stettar krava i NS-EN 12390-4. Etter at prøvestykket er pressa til brot skal brotforma vurderast med omsyn til NS-EN 12390-3. Figur 2-24 viser godkjente brotformer.



Figur 2-24: Godkjend brotform etter NS-EN 12390-3 (CEN, 2009)

2.7.2 Mekaniske parametrar ved SDT (Stiffness Damage test)

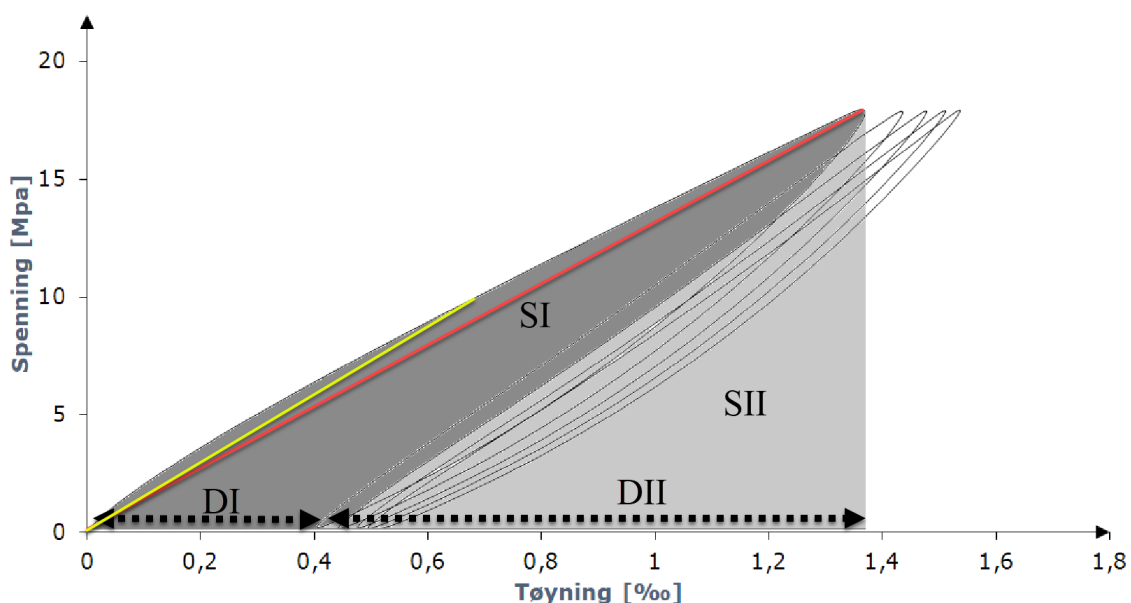
På 1980-talet vart Stiffness Damage test (SDT) presentert av Chrisp et al. (1993). Denne testen kvantifiserar skadegrad i betong påverka av alkalireaksjon. Det vart i studien utført 5 lastsyklusar frå 0 – 5,5 MPa i trykk med ein på- og avlastingsfrekvens, lik 0,1 MPa/s. Over 1000 betongprøvar vart testa og parametrane dei undersøkte var: E-modul, hysteresse-effekt og plastisk deformasjon. Resultata tyda på at E-modul er den mest sensitive parameteren i prøvar som er noko skada, medan i prøvar med større skadegrad er det hysteresseområdet som er dominerande. Hysteressearealet er eit mål på forbrukt energi og seier noko om energitap. I betong skada av alkalireaksjon er arealet større enn i uskadd betong. Sanchez et al. (2014) har brukt resultata frå Chrisp et al. (1993) for å komme fram til ei praktisk tilnærming for bruk av SDT. Sanchez et al. (2014) eksperimenterte ved bruk av ulike maksimum last i syklusane. Som eit resultat av desse eksperimenta kom det fram at 40% av 28-døggers trykkfastheit gav tilfredsstillande resultat. I arbeidet med å kome fram til ei praktisk metode for bruk av SDT har Sanchez et al. (2014) funne ut at resultata for hysteresseområdet og E-modul kan mistolkast. Det vart difor føreslege to nye hovudparametrar:

- Stiffness Damage Index (SDI). Summen av hysteresseområdet (SI) delt på summen av total energi (SI +SII) for kvar lastsyklus (figur 2-25).
- Plastic Deformation Index (PDI). Dette er akkumulert plastisk deformasjon gjennom SDT (DI) delt på total deformasjon målt som toppunktet i last i siste syklus (DI+DII) (figur 2-25).

I tillegg har også Sanchez et al. (2016) utført testar på 20 forskjellige betongtypar for å finne eit tredje parameter som kan skildre skadegrad, med omsyn til delaminering og retning på riss:

- Non-linearity index (NLI) er stigninga til ei rett linje (gul) teikna frå origo til halvparten av maksimum last, delt på stigninga til ei rett linje (raud) teikna frå origo til maksimum last i fyrste last syklus (figur 2-25).

Syklisk lasting, med dei ulike områda (SI, SII, DI og DII), kan illustrerast som i figur 2-25.



Figur 2-25: Syklisk lasting framstilt frå SDT-test

Oseland (2018) har gjennom sitt masterarbeid ved NTNU vurdert korleis mekaniske eigenskapar i alkaliakselererte prøvar blir påverka ved aksialt trykk. Det vart støypt 18 prisme som i etterkant vart oppbevart med og utan konstant trykklast. Sylinderar vart så bora ut frå desse prøvane på tvers og langs av lastretninga. Dette for å undersøkje korleis fasthaldinga påverkar betongen som vert utsett for alkalireaksjon. Skadegrad og forandring i mekaniske eigenskapar vart undersøkt ved å nytte SDT, etterfølgd av standard trykktest og arbeidsdiagram. Resultata frå denne masteroppgåva, samanlikna med Sanchez et al. (2016) sitt arbeid innanfor temaet, stadfestar at SDT langt på veg er eit godt verktøy for beskriving av skadegrad i betong påverka av alkalireaksjon.

2.7.3 Damage Rating Index

Damage Rating Index (DRI) er ein mikroskopisk analyse utført ved bruk av eit stereomikroskop med om lag 15x forstørring, og gjev i følgje Grattan-Bellew og Mitchell (2006) eit bilete av indre skadegrad knytt til alkalireaksjon. Metoden går ut på å kvantifisere kvalitative og kvantitative observasjonar ved hjelp av petrografisk analyse. I praksis blir dette gjort ved å fysisk telje skadar knytt til alkalireaksjon i polerte betongprøvar med ideell storleik 200 x 100 mm. I betong med grovt tilslag kan også prøvestykka ha større dimensjon. Den polerte overflata vert så påteikna eit rutenett, der rutene har størrelse 10 x 10 mm. Ein tek føre seg ei og ei rute i mikroskopet og kartlegg petrografiske parameter, som lista opp i tabell 2-2.

Petrographic features	Acronyms	Description
Closed/tight cracks in coarse aggregate particle	CCA	<ul style="list-style-type: none"> Tight/fine cracks showing no gap at 16X magnification; Sometimes "appear" to contain whitish secondary products, as the crack forms an angle with the cutting plane. A low factor is given as such cracks are likely produced by aggregate processing operations (quarried aggregate) or weathering (gravel).
Opened cracks or network of cracks in coarse aggregate particle	OCA	<ul style="list-style-type: none"> Crack showing a gap at 16X magnification. A "network" of cracks is also classified in this category as it is likely caused by expansive reactions within the aggregate particles.
Cracks or network cracks with reaction product in coarse aggregate particle	CA + RP	<ul style="list-style-type: none"> Cracks containing secondary reaction products (whitish, glassy or chalky in texture); The secondary products may not fill all the cracks (material lost during the preparation of the polished section).
Coarse aggregate debonded	Debon	<ul style="list-style-type: none"> Crack showing a significant gap in the interfacial zone between the aggregate particle and the cement paste; Would likely cause debonding of the particle when fracturing the concrete.
Cracks in cement paste	CCP	<ul style="list-style-type: none"> Crack visible at 16X magnification, but with no evidence of reaction products.
Cracks with reaction product in cement paste	CCP + RP	<ul style="list-style-type: none"> Cracks containing secondary reaction products (whitish, glassy or chalky in texture); Sometimes, the secondary products do not fill all the cracks (material lost during the preparation of the polished section).

Tabell 2-2: Petrografiske parameter kartlagt i DRI (Fournier et al., 2012)

Tal skadar som kan relaterast til alkalireaksjon vert deretter multiplisert med ein faktor som angjev eit forhold med omsyn til skadepåverknad (tabell 2-3).

Petrographic features (Table 1)		Acronyms (Table 1)	Weighing factors	
			Old Method	Modified Method
			Grattan-Bellew and Mitchell (2006)	Villeneuve et al. (2012)
Crack in the particles (> 1 mm)	Closed (without reaction products)	CCA	0.75	0.25
	Opened or in a fine network (without reaction products)	OCA	4	2
	Opened or in a fine network (with reaction products)	CA + RP	2	2
Crack in the cement paste	Without reaction products	CCP	2	3
	With reaction products	CCP + RP	4	3
Debonded aggregate (> 1 mm)		Debon	3	3
Reacted aggregate particle (> 1 mm)		RAP	---	2
Reaction rim (> 1 mm)		RR	0.5	---
Reaction products in voids of the cement paste		RPV	0.5	---

Tabell 2-3: Vektingsfaktorar for DRI (Fournier et al., 2012)

På grunnlag av dette får ein ut DRI som ein talverdi. Ut frå denne talverdien kan det seiast noko om skadegrad i betongen knytt til alkalireaksjon. Tabell 2-4 viser skalaen som vert nytta.

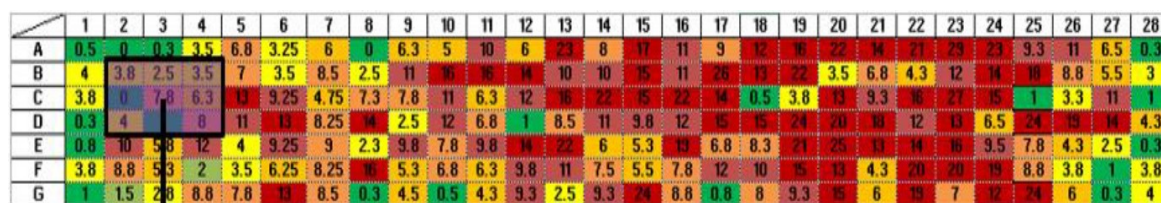
Damage classification for ASR	Stiffness loss	Compressive strength loss (%)	Reference expansion level (%)	DRI	
				Lab	Field structure
Negligible	-	-	0.00-0.03	100-155	< 200/250
Marginal	5-37	(-) 10-15	0.04 ± 0.01	210-400	200/250-400
Moderate	20-50	0-20	0.11 ± 0.01	330-500	
High	35-60	13-25	0.20 ± 0.01	500-765	400-700/750
Very high	40-67	20-35	0.30 ± 0.01	600-925	>700-750

Tabell 2-4: Klassifisering av skadegrad knytt til alkalireaksjon (Fournier et al., 2012)

I samanheng med klassifisering av skadegrad er det også utarbeida eit fargeplot for DRI. Ved å gje kvar celle (10 x 10 mm) i den polerte betongprøven ein individuell DRI-verdi og fargekode basert på skadegrad slik som i tabell 2-5, vil dette resultere i eit fargeplot som visuelt skildrar skadegrad (Villeneuve et al., 2012). Figur 2-26 viser eit slikt fargeplott.

DRI	bin	Degree of ASR
0.0 - 1.0	1	Trace
1.0 - 2.0	2	Acceptable
2.0 - 4.0	3	Moderate
4.0 - 6.5	4	High
6.5 - 9.0	5	Severe
9.0 - 12.0	6	Very severe
12.0 - 100	7	Extreme

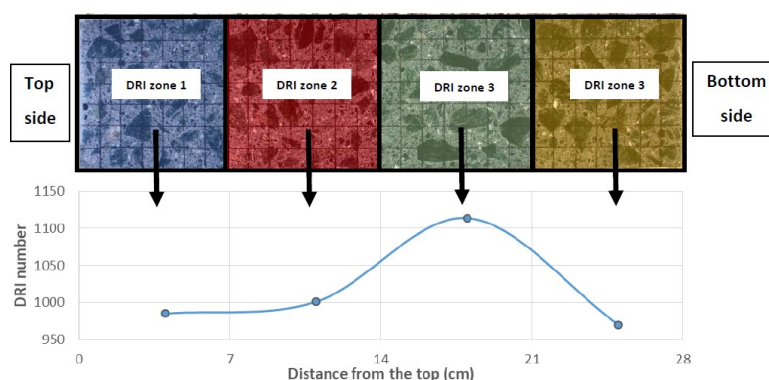
Tabell 2-5: DRI-tal og skadegrad (Fournier et al., 2012)



Figur 2-26: Fargeplott DRI (Villeneuve et al., 2012)

I følgje Villeneuve et al. (2012) er fordelten med denne modellen at den viser kvar i prøven alkalireaksjonen har størst omfang. Eksempelet i figur 2-26 viser at raude felt er konsentrert frå kolonne 13-25, noko som tyder at skadeomfanget i dette området er meir utbreidd enn i for eksempel kolonne 1-5.

Som eit alternativ til fargeplottet i figur 2-26 er det utvikla ein metode der DRI blir delt opp i fleire soner. Ved å gi dei ulike sonene ein gjennomsnittleg (utjamna) DRI-verdi kan skadegraden tydeleg framstillast i betongprøven (figur 2-27) (Champagne, Upublisert).



Figur 2-27: DRI-soner grafisk framstilling (Champagne, Upublisert)

2.7.4 Strukturanalyse av betong

Strukturanalyse av betong vert nytta for å dokumentere betongkvalitet og tilstand. Basert på detaljgraden i undersøkinga, kan strukturanalysen delast opp i fire: *visuell undersøking, planslipanalyse, tynnslipanalyse og skanning elektromikroskopi (SEM)* (tabell 2-6). Ved å nytte seg av strukturanalyse kan det undersøkjast om betongen har store avvik knytt til, for eksempel kvalitet. I fleire tilfelle vil også ei slik analyse vere med å forklare skadebilete i betongen. I dei tilfella der det er mistanke om alkalireaksjon eller fryse-tineskadar vil ei strukturanalyse vere naudsynt. Som eit ledd i å unngå framtidige skadar vil resultatet av strukturanalysen belyse kvalitetsavvik og skadeårsak. Denne dokumentasjonen kan vidare nyttast i vurdering av framtidig skadeutvikling, iverksetting av beskyttande tiltak og val av rehabiliteringsmetode for konstruksjonen (Lindgård et al., 2007).

Analysemetode	Informasjon
Visuell undersøking	<ul style="list-style-type: none"> - Prøven sine dimensjonar - Overflata (riss og avskalingar) - Riss og rissmønster - Utfellingar - Armering (tilstand og overdekking)
Planslipanalyse	<ul style="list-style-type: none"> - Overflata sin tilstand - Riss og rissmønster - Heft mellom tilslag og sementpasta - Betongens homogenitet (steininnhald og fordeling) - Fordeling av luftporer - Type steintilslag (knust eller uknust) - Teikn på skadelege reaksjonar
Tynnslipanalyse	<ul style="list-style-type: none"> - Sementpasta (hydratisering, porøsitet og estimering av v/c-tal, homogenitet og utvasking) - Riss og rissmønster - Luftporer - Tilslagstypar - Karbonatiseringsdjupn - Utfellingar - Nedbrytingsmekanismer
SEM-analyse	<ul style="list-style-type: none"> - Kjemisk samansetting - Sementtype og hydratisering - Elementfordeling - Skadeårsak

Tabell 2-6: Analysemetodar og informasjon (Haugen og Hjort-Hansen, 2017)

Visuell undersøking

I fyrste del av strukturanalysen inngår ei visuell undersøking av kjerneprøvane. Hensikta med denne er å dokumentere og registrere informasjon om tilstanden til prøvane. I neste fase måler ein opp kjerneprøven (diameter og lengd) og skildrar betongen si overflate (riss, rissmønster, utfellingar i riss og luftporer). Armering og overdekning vert også registrert. Visuell undersøking vert avslutta med fotografering av kjerneprøven, slik som vist i figur 2-28 (Haugen og Hjort-Hansen, 2017).

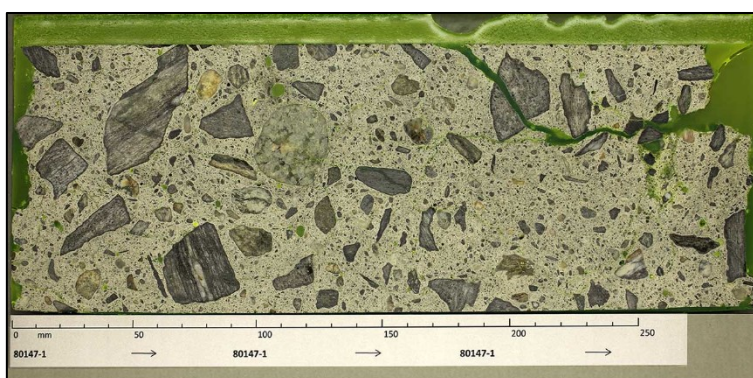


Figur 2-28: Bilete av kjerneprøve (Haugen og Hjort-Hansen, 2017)

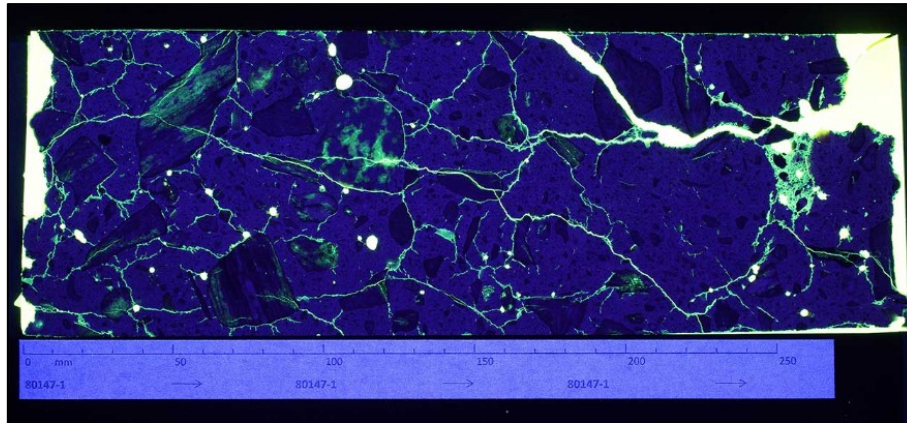
Planslipanalyse

Ved preparering av planslip sagar ein kjerneprøven i to like delar på langs. Delen som skal nyttast til planslip vert impregnert med fluoriserande epoksy. For å sikre inntrenging av epoksy i poresystemet, vert prøven fyrst turka ved 40°C og deretter vakuumimpregnert. Når epoksyen har herda vert overskotet slipt vekk frå overflata. Det vert gjort for at den opphavelige overflata skal kome til syne. I det ferdige planslipet er no poresystemet (kapillærporer, luftporer, riss, sprekker og holrom) fylt med fluoriserande epoksy (Haugen og Hjort-Hansen, 2017).

Fyrste del av analysen vert utført ved hjelp av vanleg lys. I neste fase bestrålar ein planslipet med UV-lys, noko som vil synleggjere alle holrom, luftporer og riss med fargen grøn. Det er vanleg å dokumentere planslipanalysen med bilete, både i vanleg lys og i UV-lys (Haugen og Hjort-Hansen, 2017). Figur 2-29 og 2-30 viser planslip i vanleg lys og i UV-lys.



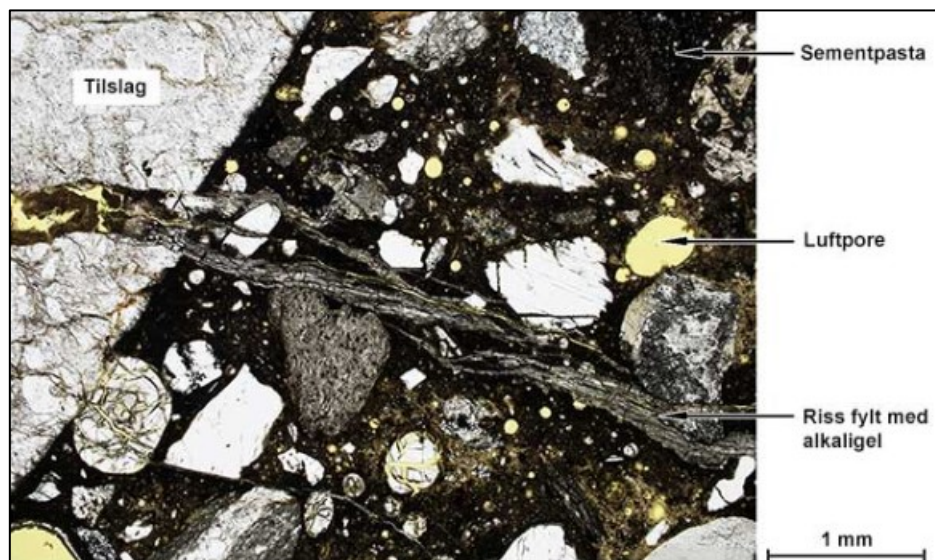
Figur 2-29: Planslip i vanleg lys (Haugen og Hjort-Hansen, 2017)



Figur 2-30: Planslip i UV-lys (Haugen og Hjort-Hansen, 2017)

Tynnslip

I følge Marit Haugen, i Haugen og Hjort-Hansen (2017), vert delen som skal nyttast til tynnslip vanlegvis tilverka i to ulike format, 28 mm x 48 mm eller 30 mm x 45 mm. Prepareringa av tynnslip startar med same metode som for planslip. Neste steg er å vakuumpregnera prøvestykket med fluoriserande epoksy for deretter å slipa ned prøven til ei skive med storleik ca. 25 μm . Dette stiller strenge krav til utføring av prepareringa. Når tynnslipet er ferdig preparert kan prøven gjennomlysast i eit polarisasjonsmikroskop. Normal prosedyre er å nytte vanleg, polarisert, og fluoriserande lys i undersøkinga av tynnslipet. Ved alkalireaksjon vil riss gjennom tilslag og/eller riss i randsone samt gel vere synleg. Resultata vert som for planslip dokumentert med bilete. Figur 2-31 viser eksempel på tynnslip (Haugen og Hjort-Hansen, 2017).

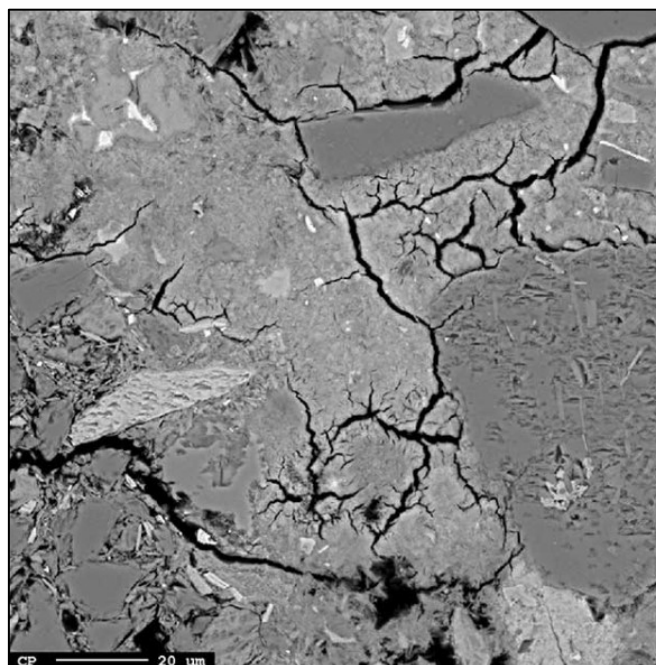


Figur 2-31: Eksempel på tynnslip i betong med alkaligel-fylt riss (Haugen og Hjort-Hansen, 2017)

SEM-analyse (skanning elektronmikroskopi)

Om ein skal utføre ei SEM-analyse av betong vert same metode nytta som for preparering av tynnslip. Ulikheita er at prøven vert polert ned og belagt med karbon for å bli elektrisk leiande. Det er også mogleg å framstille polerslip. Polerslip kan vere brotstykke frå betong, støv eller pulver som blir støypt inn saman med epoksy i former. Når epoksyen har herda polerar ein prøven, for slik å framstille ei plan flate (Haugen og Hjort-Hansen, 2017).

SEM-analysen består av å bestråle prøven med elektron. Dette fører til at dei ulike kjemiske bindingane i betongen kjem fram som ulike gråtonar. Kjemiske bindingar som har høg densitet vil visast som kvite, medan lettare element som porer eller riss (fylt med epoksy), vil visast som svarte prikkar eller strekar. Om det er alkalireaksjon til stades vil gelproduktet ha mørk tone (mot svart). SEM-analysen eignar seg godt til å undersøkje detaljar (Haugen og Hjort-Hansen, 2017). Figur 2-32 viser resultat frå SEM-analyse.



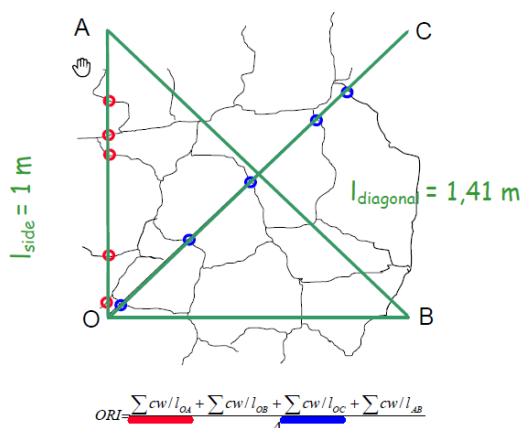
Figur 2-32: Resultat frå SEM-analyse (Haugen og Hjort-Hansen, 2017)

2.7.5 In-situ vassinnhald, porøsitet og densitet ved bruk av PF-metoden

I følgje Sellevold og Farstad (2005) vart PF-metoden (Protective pore ratio method) utarbeida av Vuorinen (Finland 1970) som ein testemetode for korleis luftporemengd påverkar frostresistens i betong. Vuorinen hevdar at ein PF faktor lik 0,20 eller større, vil gje tilstrekkeleg beskyttelse for betong i fryse-tine syklusar. Sellevold og Farstad har i seinare tid utført forsøk og modifisert PF-metoden slik at den også kan nyttast til å finne v/c-talet i herda betong. Dette ved hjelp av Power's modell som omhandlar porøsitet og hydratasjon. For å kome fram til v/c-talet er det i Power's modell naudsynt med informasjon om sugporøsiteten, pastavolum og pastaporøsitet.

2.7.6 ORI-metode (Overflate riss indeks)

I følge Rodum (2010) kan utvikling av riss og ekspansjon følgjast med ORI (Overflate Riss Indeks). I aktuell konstruksjon vert det etablert eit system for systematisk måling av ekspansjon og rissvidder. Denne metoden går ut på å etablere eit kvadrat på 1 x 1 meter. Deretter vert tal riss langs vertikal og horisontal akse kartlagt, samt langs begge diagonalane. Eksempel på ORI er vist i figur 2-33.



Figur 2-33: ORI (Overflate Riss Indeks) (Rodum, 2010)

ORI gjev eit forholdstal som seier noko om mengd riss i kartlagt område. Tabell 2-7 viser ORI i samanheng med opprissingsgrad.

«ORI» (mm/m)	Opprissingsgrad
0 – 0,5	Neglisjerbar
0,5 – 1	Liten
1 – 2	Moderat
2 – 5	Stor
5 – 10	Veldig stor
10 >	<u>Alvorlig</u>

Tabell 2-7: Vurderingskriterier alkalireaksjon (Pedersen og Rodum, 2015)

Tabell 2-7 er henta frå Pedersen og Rodum (2015) og baserer seg på ein fransk metode for ORI. Når ein nyttar denne metoden må den kalibrerast for aktuell konstruksjon. Det er ikkje eintydig at ein konstruksjon med ORI lik 5-10 har same opprissingsgrad som ein annan konstruksjon med same ORI tal. ORI skala og opprissingsgrad lyt bestemast for kvar einskild konstruksjon (Pedersen og Rodum, 2015).

2.8 Utbetring og tiltak

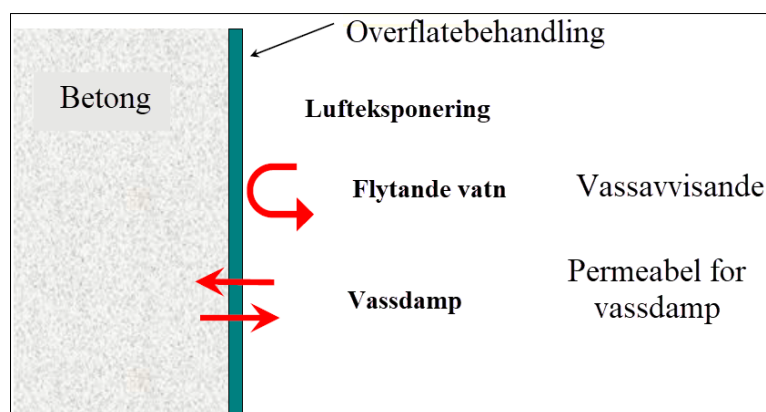
Betongkonstruksjonar med høgt fuktinnhald har stort skadepotensiale. I til dømes frostskaidd betong er høgt innhald av fukt og fukttransport kritisk faktor. Høgt innhald av fukt vil også påverke reaksjonsraten i alkalireaksjon, noko som aukar skadepotensialet ytterlegare. Dermed lyt tiltak som har til hensikt å utbetre konstruksjonen ved å redusere fuktinnhald, ha stort fokus i val av løysing. I tillegg er utfordringar knytt til motverking av ekspansjon eit eksempel på ein faktor som må takast omsyn til i val av tiltak (Rodum et al., 2004) og (Jacobsen et al., 1996).

2.8.1 Rehabiliteringsmetodar

Rodum et al. (2004) har utarbeida SINTEF rapporten STF22 A04608 «Betongdammar – typiske nedbrytingsmekanismar, prinsipielle rehabiliteringsmetodar og erfaringar med ulike tiltak». Her er samla erfaringar nasjonalt og internasjonalt kring temaet utbetring av betongkonstruksjonar, påverka av fryse/tine skadar og alkalireaksjon.

Overflatebeskyttelse

I følgje Vennesland (2009) vert overflatebehandling nytta for å beskytte betongkonstruksjonar. Dette i situasjonar der ein ikkje ynskjer inntrenging av aggressive substansar (CO_2 eller klorid) og/eller fukt. Overflatebeskyttelse kan nyttast førebyggjande mot skadar, eller i etterkant av ein utbetring for å hindre ny utvikling. Figur 2-34 viser ei prinsippsskisse for korleis overflatebehandling verkar.

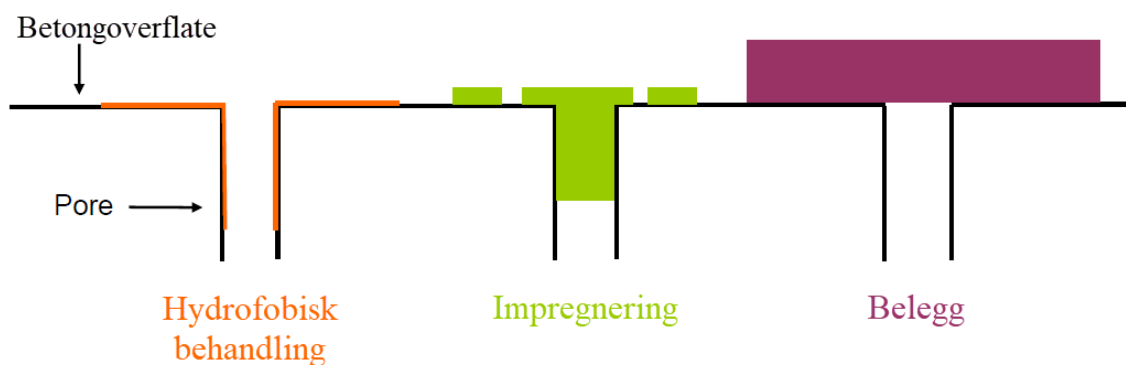


Figur 2-34: Prinsippsskisse for overflatebehandling (Vennesland, 2009)

NS-EN 1504-1 definerer følgjande:

- *Impregnerande hydrofobt (låg affinitet) porebelegg* er flytande produkt som trengjer inn i betongen og dannar eit hydrofobt belegg på poreveggen.
- *Impregnerande porefyllande materiale* er flytande produkt som trengjer inn i porene i betongen og dannar faste stoff.
- *Filmdannande system* er flytande produkt som vert påført betongoverflata og dannar ein kontinuerleg film.

Dei ulike typane overflatebehandling si påverknad på porene i betongoverflata kan illustrerast som i figur 2-35.



Figur 2-35: Overflatebehandling – påverknad på porer i betong (Myrdal, 2018b)

I SINTEF rapport STF22 A04608 har Rodum et al. (2004) kategorisert dei ulike typane overflatebehandling, som vist i tabell 2-8.

Impregnering		Forsegling	Belegg	
Ikkje filmdannande	Filmdannande		Løsemiddel basert	Vassbasert
Silantar	Silikat	Epoksy	Epoksy	Akryl
Siloksanar	Fluosilikat	PUR	PUR	SBR
	Epoksy	Akryl	Alkyd	Slemmemasse
	MMA	Linolje	Akryl	
			Klorkautsjuk	
			Bitumen	

Tabell 2-8: Stoff nytta som overflatebehandling (Rodum et al., 2004)

I følgje Myrdal (2018b) er gruppa *ikkje filmdannande impregnering* væsker som ved rette forhold kan trengje inn i betongen si overflate. Det er vanleg at stoffet reagerer med underlaget og festar seg til poreveggane. Dette fører til at poreveggane vert hydrofobe, noko som hindrar vatn i å trengje inn. Fordelen med desse stoffa er at filmen som vert danna er diffusjonsopen. Det betyr at vassinntrenging i porene vert hindra, samstundes som gassar (til dømes CO_2) og vassdamp kan diffundere ut. Effekten av behandlinga er avhengig av inntrengingsdjupna, noko som igjen er avhengig av betongen sin permeabilitet og fuktinnhald. Om inntrenginga er låg vil levetida til behandlinga verte redusert. God inntrenging vil blant anna gi betre motstand mot vær, vind og UV-stråling (Myrdal, 2018b).

Filmdannande impregnering er eit stoff med låg viskositet. Desse trengjer gjerne 1-3 mm inn i betongen og tettar porene. Det er vanleg at slike stoff reagerar med sementlimet og dannar utfelling, noko som medfører ein tett film. Det er vanleg å auke inntrenginga av stoffet i overflata til betongen ved å nytte vakuum som metode. Om ein samanliknar filmdannande impregnering med førre gruppe, viser det seg at diffusjonsraten for vassdamp er noko høgare i ikkje filmdannande impregnering (Skjølsvold og Rodum, 2015).

I gruppa *forsegling* er det stoff med utprega viskøs eigenskap som vert nytta. Desse stoffa trengjer inn i betongen, samstundes som det vert danna ei tynn hinne (film) på betongoverflata. Det er vanleg å betrakte denne gruppa som ein mellomting mellom poretettande impregnering og belegg. Stoffa som inngår i denne gruppa vert også nytta

som primer eller tetningssjikt då hefteegenskapane mot betong er svært god (Rodum et al., 2004).

Belegg er stoff med relativt høg viskositet som dannar eit tjukt sjikt i overflata på betongen. Materialsammansetting og kvalitet avgjer kor godt belegget beskyttar mot aggressive substansar. Avhengig av kvar belegget skal nyttast kan det innehalde pigment og/eller tilsetningsstoff for konsistens eller struktur. Det er vanleg å nytte seg av denne gruppa i konstruksjonsdeler med kurvatur og/eller ved behov for høg slitestyrke (Rodum et al., 2004).

Ei vellukka overflatebehandling vert av Myrdal (2018b) definert slik:

- Underlaget lyt vere godt reingjort før påføring av produktet. Det vert stilt krav til reingjering, avhengig av produkttype.
- Overflateprodukta sine materialeegenskapar (motstand mot vassinntrenging, elastisitet, temperaturutviding, heft, diffusjonsopenheit og inntrengingsdjupn), tek omsyn til underbetongen sin kvalitet/mekaniske eigenskapar (trykkfastheit, tettleik og E-modul). Den tek også omsyn til aktuelt miljø (fuktkjelde, fuktinnhald i underbetong og temperaturvekslingar)
- Overflateproduktet er bestandig med omsyn til miljø (vær, vind og UV-stråling)

For damkonstruksjonar i betong vil overflatebehandling i følgje Rodum et al. (2004) fokusere på å beskytte overflata i konstruksjonen mot ulik eksponering og fuktopptak. Val av metode vil vere ulik på oppstraums og nedstraumsside.

Oppstraumsside

For oppstraumsside er fuktkjelda i hovudsak vatn og vasstrykk. Dei mest nytta tiltaka for overflatebeskyttelse på oppstraumsside er støyping av ny betongplate eller geomembran. Støyping av ny betongplate vert av fagmiljøet vurdert som ei risikofri og effektiv løysing for å utbetre og/eller tette damkonstruksjonar på oppstraumsside. Med omsyn til alkalireaksjon kan dette likevel føre til utfordringar (Rodum et al., 2004). Meir om dette i kapittel 2.8.5

ICOLD (2010) definerar geomembran som ein «polymerbasert membran av elastisk, vasstett materiale, dimensjon ca. 0,5 mm». Dei ulike geomembranane har forskjellige eigenskapar med omsyn til densitet, strekkstyrke, forlenging, rivestyrke og kuldeporøsitet. Kva eigenskapar som vert vektlagt, vil vere avhengig av funksjon. Det er vanleg å nytte PVC-duk saman med ein underliggande drenerande geotekstil. Fordelen med dette er at det hindrar skadar i membranen og at vatn vert drenert ut.

I betongdammar vil membranar stoppe lekkasjar i skada parti eller i fuger/støypeskøyt. Dei vil også redusere fuktinnhaldet i betongen og beskytte overflata mot temperatursvingingar. Sett i samanheng med alkalireaksjon, vil bruk av geomembran gje reduksjon av fuktgjennomtrenging og bidra til stagning av ekspansjon.

I SINTEF rapport STF22 A04608 er det samla erfaringar frå utlandet knytt til bruk av geomembran. American Concrete Institute (ACI) sine erfaringar viser at geomembranar bremsar nedbryting og samstundes aukar bestandigheit i betongen. I Lake Nero Dam vart det etter montering av geomembran målt reduksjon i lekkasje frå 50 l/s til 0,27 l/s. ACI konkluderte med at metoden som omhandlar bruk av geomembran er konkurransedyktig i forhold til andre typar overflatebehandling.

I Noreg er det tidlegare utgjeve ein EBL-publikasjon med temaet, «Bruk av geomembran som tettingsmedium ved rehabilitering av dammar, 2005». Publikasjonen omfattar eit litteraturstudie med bruk av ulike typar membranar. Litteraturstudiet omfattar erfaringar frå Noreg, men hovudsakleg frå internasjonale studiar. Målet var å nytte erfaringar med bruk av geomembran i Skandinaviske prosjekt. Publikasjonen presenterar eit prosjekt utført i Norge, Dam Midtbotnvatn (Kvinnherad, Hordaland) i 2004. I dette prosjektet vart det nytta geomembran for å tette lekkasjar i betong. Konklusjonen i dette arbeidet er at geomembranar også i Skandinavia er eit relevant alternativ for rehabilitering og tetting av dammar (Omvik, 2005).

Nedstrømsside

For nedstrømsside er fuktkjelda gjerne nedbør, luftfuktigheit eller vassgjennomstrøyming i dammen. Det vanlegaste tiltaket vil vere å etablere ei skjerming med føremål å hindre eksponering av betongoverflata. Tiltaket kan bestå av for eksempel plater, kledning eller stein. Ei overflate karakterisert av stor oppsprekking på grunn av alkalireaksjon er meir utsett for frostskeidar. Med omsyn til dette vil ei skjerming medverke til å redusere frostpåkjenninga, tal frostsykluser og minimumstemperaturen i kvar syklus. Om ein vel å etablere ein tett isolasjonsvegg, med moglegheit for oppvarming av mellomliggande luftsjikt, kan ein ytterlegare redusere omfanget av frostskeidar (Rodum et al., 2004).

2.8.2 Rissutbetring ved injisering

Den viktigaste hensikta med å tette sprekker og riss er å hindre vidare skadar med tanke på vassinntrenging og fryse-tineskeidar. I følgje Tjugum og Norderup (1989) finst det fleire ulike metodar for å reparere riss i betongkonstruksjonar. Det er vanleg å dele material nytta til dette føremålet i to grupper:

- Sementbaserte
- Kjemiske (epoksy, polyuretan og akryl)

Hovudforskjellen på gruppene er eigenskapane dei har til å trengje inn i dei finaste porene i betongen. Sementbaserte injeksjonsmaterial er ofte det enklaste og rimelegaste materialet ved injisering av grove betongsprekker og steinreir. Kjemiske injeksjonsmaterial inneheld ikkje faste partiklar, har låg viskositet, og vil såleis kunne nyttast for å tette små sprekker og riss. I følgje Maage (2015) er det, av dei tre nemnte typene, mest vanleg å nytte seg av epoksy som injeksjonsmaterial. Epoksy har gode eigenskapar knytt til heft mot betong, motstand mot høg pH, viskositet- og svinneigenskapar.

I betong påverka av alkalireaksjon vil det vere endring i betongens volum på grunn av ekspansjon, noko som betyr at riss og sprekker vil vere i kontinuerleg bevegelse. Også etter injisering vil det kunne oppstå nye riss i eller ved dei opphavelege. Med omsyn til dette vil injisering av riss ofte ha kortvarig effekt, sjølv om arbeidet er vellukka. I følgje Rodum et al. (2004) er det også knytt usikkerheit til om det vil oppstå nye riss i betongens indre porestruktur på grunn av trykket som vert påført betongen ved injisering. Samstundes er det også knytt usikkerheit til korleis alkaligelen vil utvide seg om ein fyller holromma rundt med injeksjonsmasse. I denne samanhengen er det anbefalt å utføre analysar og evaluere konsekvensar av framtidig ekspansjon og reaktivitet.

2.8.3 Slissing

Utfordringar ved ekspansjon kan motverkast ved å sage slisse i aktuelle delar av betongkonstruksjonen. Dette fører til at ein løyser opp spenninga forårsaka av alkalireaksjon, og konstruksjonen får moglegheit til å utvide seg fritt utan ytterlegare spenningsoppbygging på grunn av fasthalding. Ved å slisse opp konstruksjonen får ein også senka spenningane i betongen og ein hindrar med dette bråe eller ukontrollerte skadar. I følgje EBL-kompetanse (2002) er det anbefalt at det i tillegg vert etablert eit klavesystem eller ei forsterking i form av spente kablar. Dermed unngår ein at slissene vert raskt vert samanklemt.

I rapport STF22 A04608 vert det referert til artikkel skriven av Hughes og Curtis (2001). Den skildrar utbetringsarbeid på ein 35 år gamal Dam med alkalireaksjon i Canada, i tidsrommet 1988-1992. Som eit tiltak er det gjennomført saging av 15 mm slisser i konstruksjonen for å utløyse spenningar og redusere volumutviding. I etterkant av slissinga er det registrert auka volumutviding, og slissene er saga opp på nytt fleire gonger.

2.8.4 Forsterking

Forsterking av damkonstruksjonar er relevant i samband med ekspansjon og/eller opprissing på grunn av alkalireaksjon. Vanlegvis vil forsterking av betongkonstruksjonar omhandle ekstern armering i form av stålplater og oppspenning av kablar eller stag. Dette er metodar som tradisjonelt er nytta. I dag er det meir vanleg å nytte seg av ekstern forsterking i form av fiberarmerte komposittar. Dette er materiale som har høg styrke då det inneheld fibrar, som for eksempel karbon, aramid eller glas i ein matris av epoksy. Fordelen med denne typen forsterking er at den bidreg til å gje ei meir jamn fordeling av riss og krefter. Forsøk med bruk av karbonfibertråd har også vist at slik forsterking kan bidra til å motverke volumauke (Rodum et al., 2004).

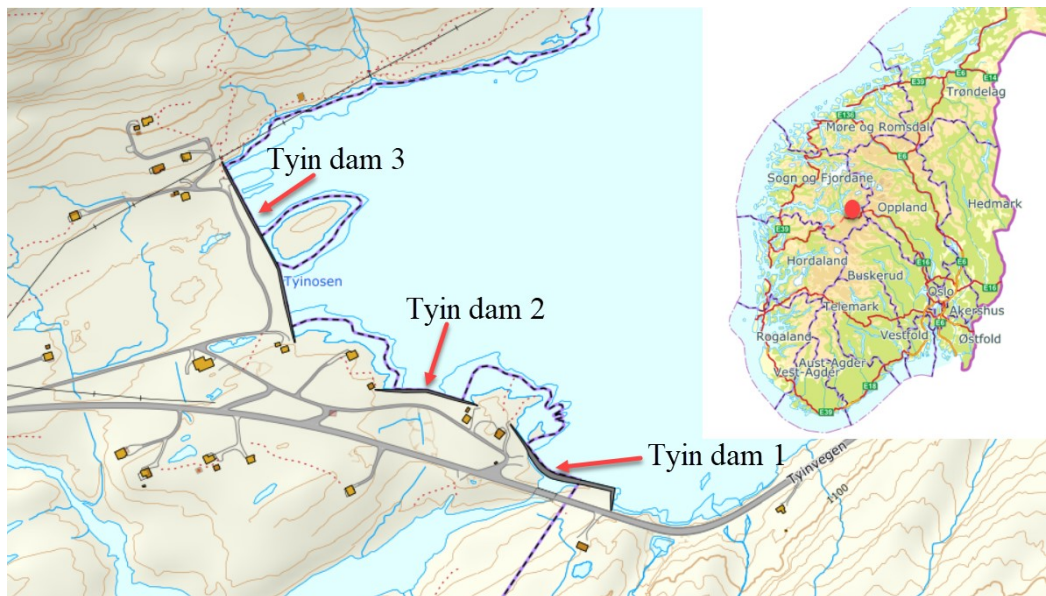
Støyping av ny betongplate er tiltak for å skjerme overflata, men fell også under kategorien forsterking. Metoden vert ofte nytta i kombinasjon med utbetring av skadar på oppstraumsside, samstundes som etablering av tiltaket også aukar dammen sin stabilitet. Som nemnt i kapittel 2.8 vert støyping av ny oppstraums plate for tetting/utbetring sett på som ein risikofri operasjon i Noreg. Denne typen arbeid er utført på eit stort tal dammar, men i følgje EBL-kompetanse (2002) er oppfølging og dokumentasjon i etterkant av dei fleste prosjekt manglande.

Særleg for damkonstruksjonar påverka av alkalireaksjon med pågåande ekspansjon, vil ein ved påstøyp av ny plate kunne støyte på ulike problem. Dette kan omhandle problem som opprissing i ny betong, svinn-riss, gjennomgåande sprekker på grunn av ytre fasthalding, termisk oppsprekking (temperaturgradientar) og heftbrot (rakning mellom ny og gamal betong) (EBL-kompetanse, 2002).

3 Case Tyin Dam 3

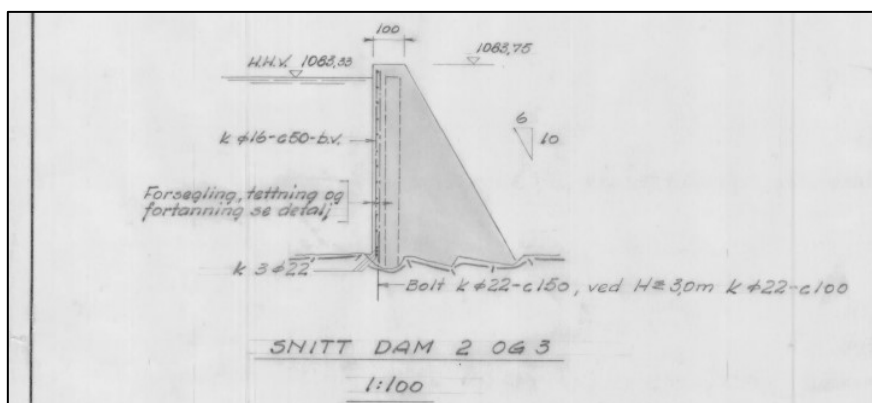
3.1 Bakgrunn

Tyin er hovudmagasin for Tyin kraftverk som er eigd av Hydro Energi. Magasinet ligg innerst i Sognefjorden, på grensa mellom Øvre Årdal og Vang i Valdres (figur 3-1). Vassvolumet er oppdemt av 3 separate massive betongdammar ved Tyinosen. Dammane har ei lengd på 197, 136 og 236 m. Største høgdene er høvesvis 7.5 m, 7.0 m og 5 m.



Figur 3-1: Kart som viser Tyin Dam 1, 2 og 3 (Norgeskart.no)

Dam 1 vart bygd under 2. verdskrig og var i utgangspunktet bygd som ein murdam. I samband med endra reguleringshøgda vart det på 1960-talet gjort arbeid på Tyin Dam 1. Overlaupet på Dam 1 vart høgda, samstundes som Dam 2 og Dam 3 vart ført opp. Det føreligg noko dokumentasjon på arbeidet, men detaljgrada er ikkje avgrensa. Ut frå byggeskisser (vedlegg 1 og 2), kjem det fram at betongen er av kvalitet B300. Dette er noko som i dag tilsvarar betongkvalitet B30, med karakteristisk terningfastheit lik 37 MPa. Det er ikkje funne stykk eller bøygeliste for armering. Figur 3-2 viser snitt av Tyin Dam 2 og 3 med tilhøyrande armering på oppstraumsside.



Figur 3-2: Byggeskisse Tyin Dam 2 og 3 (Hydro Energi)

Dammene ved Tyinosen er i dag prega, spesielt på nedstraumsside, av rutemønstra oppsprekking med kalkutfellingar og lekkasjar. Det er noko variasjon i mengda oppsprekking og riss, og ut frå observasjonar kan det verke som om oppsprekkinga aukar frå Dam 1 til Dam 3. Særleg i Dam 3 er det grove horisontale og langsgåande sprekker i krona (figur 3-3). På oppstraumsside er dei tre dammene karakterisert av lite oppsprekking, og i nokre av felta visast også bordforskalinga (figur 3-4).



Figur 3-3: Krakeleringmønster grunna alkalireaksjon



Figur 3-4: Oppstraumsside Tyin Dam 3

3.1.1 Påvist alkalireaksjon i 2009

I samband med hovudtilsyn i 2008 vart det utført eit forprosjekt for Tyin Dam 1, 2 og 3. Hydro Energi engasjerte Norconsult AS for vurdering av alkalireaksjon og alternativ for estetiske forbetringar. I den samanheng utførte Entreprenørservice AS boring av kjerneprøvar i 2009. Det vart teke ut 4 kjerneprøvar frå topp damkrune og ned til fjell. Ein prøvestreng i Dam 1 og 2 og to prøvestrengar i Dam 3. Sjå vedlegg 3 for plassering av borehol.

I etterkant av prøvetakinga vart det utført testar av Norconsult med omsyn til trykkfastheit, samt tynn- og planslipanalysar for utredning av alkalireaksjon. Testane påviste alkalireaksjon i alle prøvane. Omfanget varierte noko frå kjerne til kjerne og var avhengig av prøvelokasjon. Øvre del viste tydeleg meir skadar enn nedre del.

3.1.2 Resultat frå analysar utført 2009

Kjernebeskriving

For å kunne seie noko om oppsprekkingsgraden i kjernestrengen, vert tal kjernebrot registrert i kvar streng. For prøvane tekne i 2009, vart dette summert opp slik av Norconsult:

Kjerne nr.	Dam/seksjon	Antall kjernebrudd					
		0-1 m	1-2 m	2-3 m	3-4 m	4-5 m	5-6 m
1	1/7	15	12	12	5	-	-
2	2/5	12	8	12	3	-	-
3	3/3	10	10	5	3	-	-
4	3/25	6	6	4	4	5	-

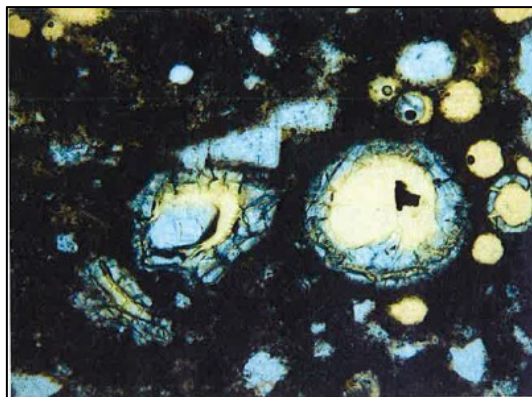
Tabell 3-1: Kjernebrot Tyin dammane (Norconsult rapport Tynosen)

Tabell 3-1 viser at tal kjernebrot minkar frå Dam 1 til Dam 3. I tillegg kjem det fram at kjerne nr. 4, har betydeleg mindre brot. Det er registrert mindre brot i nedre del av kjernestrengen i alle dei 4 prøvane. Norconsult konkluderte i sin rapport at betongkvaliteten jamt over var lik, og at ulikheiter i tal brot kan skuldast varierende komprimering i støypefase. Vidare kan uheldig knekking ved uttak av kjernestreng eller stor stein i høve diameter (41,5 mm) på boreprøve også vere medverkande årsaker.

Tynnslipanalyse

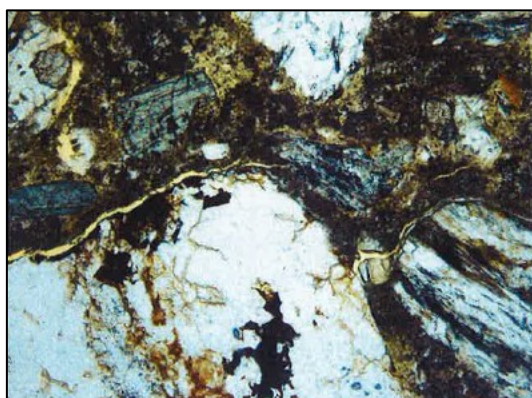
Frå kjerneprøvene vart det preparert tynnslip av topp og botn frå kvar av kjernestrengane. Analysane vart utført med lengd og breidd lik 45 x 45 mm. Til saman vart det tilverka 16 fluorescensimpregnerte tynnslip.

For Dam 1 fann vart funne fleire riss gjennom tilslagskorn og ut i sementpasta. Rissa var delvis fylt med alkaligel. Det vart funne porer med storleik 400 µm, fylt med gel. Figur 3-5 viser tynnslip frå Dam 1.



Figur 3-5: Tynnslip frå Tyin Dam 1 (Norconsult, rapport Tyinosen)

For Dam 2 vart det registrert fleire gjennomgåande riss i tynnslip, både i pasta og i tilslagskorn. Generelt var det riss med gel og gelfylte porer med dimensjon ca. 20 μm . For Dam 3 var det porer og riss med utfellingar i form av alkaligel. Figur 3-6 viser tynnslip av kjerneprøve frå Tyin Dam 3. Den viser riss i randsona til tilslagskornet og den lyse fargen gjennom risset er alkaligel.



Figur 3-6: Tynnslip frå Tyin Dam 3 (Norconsult rapport, Tyinosen)

Trykkfastheit og densitetI hovudtilsynsrapporten frå 2009 kjem det fram at kjernane vart testa etter NS-EN 12504-1 pkt. 5.1 (CEN, 2002). Dette punktet angjev at forholdet mellom maksimal tilslagsdiameter i betongen og prøven sin diameter har stor påverknad på trykkfastheita, når forholdet er større enn 1:3. I 2009 var dette tilfelle i alle prøvane. Det vart testa prøvar både frå topp og botn av kjernestrengen. Resultat frå testinga var at trykkfastheita ikkje varierte særleg mellom øvre og nedre del. Fastheita varierte frå 29,7 til 37,9 MPa slik at snittfastheita vart 33,8 MPa. Norconsult har i sin rapport samla data frå testinga (tabell 3-2).

Prøve id.	Dimensjon, mm		Tilslag D _{maks} mm	Densitet kg/m ³	Prøvet dato	Alder døgn	Maksimal Last N	Trykkfasthet N/mm ²	Middel- fasthet N/mm ²
	Diam.	Høyde							
1.1	41,5	83	20	2360	16.12.08	-	49801	36,9	
1.2	41,5	83	17	2350	"	-	52302	38,5	
1.3	41,5	83	26	2340	"	-	36536	27,1	32,6
1.4	41,5	83	22	2370	"	-	37985	28,1	
2.1	41,5	83	17	2360	"	-	48726	36,1	
2.2	41,5	83	20	2440	"	-	42270	31,3	
2.3	41,5	83	26	2370	"	-	48764	36,1	35,0
2.4	41,5	83	15	2370	"	-	49321	36,5	
3.1	41,5	83	20	2380	"	-	59431	43,9	
3.2	41,5	83	33	2420	"	-	40307	29,9	
3.3	41,5	83	16	2340	"	-	49842	36,9	37,9
3.4	41,5	83	19	2360	"	-	55034	40,7	
4.1	41,5	83	20	2320	"	-	38375	28,4	
4.2	41,5	83	21	2340	"	-	39806	29,5	
4.3	41,5	83	16	2280	"	-	34756	25,8	29,7
4.4	41,5	83	16	2300	"	-	47569	35,2	

Tabell 3-2: Trykkfastheit i kjerneprøvane (Norconsult, rapport Tyinosen)

3.2 Planlegging og utføring av prøvetaking i Tyin Dam 3

3.2.1 Bakgrunn

I samband med prosjekt- og masteroppgåve 2018/19, vart det i november 2018 teke ut nye boreprøvar av Tyin Dam 3. Bakgrunn for val av Dam 3 vart forankra i funn av alkalireaksjon i tidlegare undersøkingar knytt til revurdering og hovudtilsyn av dammane ved Tyinosen. Sidan det er vegforbinding heilt inn til Dam 3 forenkla dette arbeidet med å ta ut prøvar. Med omsyn til dette, samt økonomi og omfang av etterarbeid, vart prøvetakinga avgrensa til 10 prøvar frå Tyin Dam 3.

Sidan Tyin Dam 2 og 3 er konstruksjonsmessig like, kan ein betrakte desse to som samanliknbare. Det vil sei at analysane som vert utført i denne oppgåva må antakast å vere gyldige også for Dam 2. Tyin Dam 1 er konstruksjonsmessig ulik og lyt difor handsamast som eit isolert objekt.

3.2.2 Førebuande arbeid

I samtalar med Johnny Bruheim (kraftverkssjef ved Hydro Energi Sogn), tidleg i september 2018, vart det gjort avtale om å innhente tilbod frå ulike aktørar innan kjerneboring. Sogn Diamantsag AS vart kontrahert til arbeidet. Det vart gjort avtale om utføring av arbeidet i slutten av oktober 2018.

Sidan dette var eit oppdrag i regi av Hydro Energi, vart det nytta mykje tid til å planlegge og organisere arbeidet. Det vart utarbeida risikoregister (vedlegg 5), sett opp bestillingar og arbeida fram plan for sikrast mogleg utføring. Dette er naudsynt før ein kan utføre arbeid for Hydro Energi.

3.2.3 Plan for boring

I møter med Jan Lindgård (SINTEF) og Hans Stemland (NTNU), september 2018, vart det utarbeida ein plan for utføring av prøvetaking i dammen. I høve boreprøvene vart talet sett til 10 med diameter ca. 100 mm og lengd 1000 mm. Dette ville gje opp til 4 sylindrar for mekanisk prøving i laboratoriet per borestreng. Det vart bora i dammen på nedstraumsside. Nedste hol var ca. 1,5 meter opp frå damfot. Bakgrunn for val av lokasjon ynskje prøvar med høgt vassinnhald, noko som kunne auka omfanget av alkalireaksjon i prøvane. Difor vart det planlagt å ta ut prøvar i eit område der det står vasstrykk på store delar av året. Med omsyn til dette vart det under befaring i november 2018, etablert to områder på 1 x 1 meter i to forskjellige seksjonar på nedstraumsside av dammen. Områda for planlagd uttak er vist under i figur 3-7.



Figur 3-7: Områder for prøveuttak. Til venstre: Område 1, Til høgre: Område 2

I forkant av denne type boring skal det merkast opp område og alle planlagde borepunkt ringast rundt med tusj, før det til slutt vert kartlagt riss i kvar boreholsoverflate. Lindgård har med omsyn til dette utarbeida ein prosedyre for uttak av prøvar (vedlegg 4). Her er blant anna merking og pakking av prøvar nøye skildra. Prosedyren baserar seg på Byggforskserien sin vegleiar nr. 520.033 «Uttak og prøving av sylindrar».

3.2.4 Boring av kjerneprøvar

I møte mellom Hydro Energi og utførande entreprenør, vart det i slutten av oktober 2018 gjort ein gjennomgang av risikoregister (vedlegg 5), arbeidstillating og SJA. I utgangspunktet var det meininga at boring av prøvar skulle gjennomførast same dag, men dette viste seg vanskeleg på grunn av vêrforhold.

I byrjinga av november 2018 vart lokal entreprenør kontakta. Det vart gjort avtale om brøyting av tilførselsveg til Tyin Dam 3. Dei områda som tidlegare var merka (figur 3-7) fann ein dessverre ikkje igjen på grunn av snøforholda, og det vart etablert to nye områder. Planen var å kartlegge rissvidder i desse, men dette let seg ikkje gjere på grunn av snø og isforholda på overflata. Samanliknar ein bilete frå oktober (figur 3-7) til november (figur 3-8) ser ein dette tydeleg.



Figur 3-8: Kjerneprøvar 1-5

Oppsettet for kjerneboringa er vist i figur 3-9. Festebraketten vart montert i dammen ved hjelp av ei innbora hylse med gjengefeste, som maskina (Husqvarna DX340) deretter vart festa i. Det vart nytta diamantbor med diameter 102 mm og lengd 1000 mm. Kjerneboring krev tilgang på vatn for kjøling, både av maskin og borehylse. Dette vart tilført via mobil trykktank.



Figur 3-9: Oppsett av borerigg

3.2.5 Pakking av prøvar

Etter uttak vart prøvane turka av, lagt i plastfolie, merka godt og deretter pakka inn i tjukkare plast, jfr. Lindgård sin pakkeprosedyre (vedlegg 4). Ved å pakke prøvane slik vert initielt fuktnivå i betongen ivareteke. Om ein på eit seinare tidspunkt i laboratoriet ynskjer å undersøkje in-situ vassinnhald, vil slik pakking gje reelt resultat. Same pakkeprosedyre vart utført for alle dei ti prøvane. Figur 3-10 og 3-11 viser pakkestasjonen i arbeidsbilen til Sogn Diamantsag.



Figur 3-10: Pakkestasjon for kjerneprøver



Figur 3-11: Kjerneprøve ferdig pakka og merka

4 Laboratoriearbeid

4.1 Innleiing

Som tidlegare nemnt i kapittel 3, har Norconsult i 2009 fastslege at betongen i Tyin Dam 1, 2 og 3 er påverka av alkalireaksjon. Dette er basert på funn av alkaligel og skadar knytt til alkalireaksjon i tynn- og planslipanalysar utført i 2008.

Denne masteroppgåva omhandlar ny evaluering av betongen frå Tyin Dam 3. Dette vart gjort ved å analysere prøvemateriell frå Tyin Dam 3, tatt ut hausten 2018. Vidare prosess tok for seg følgjande i ei utvida undersøking:

- Mottakskontroll
- Utarbeiding av plan for bruk av kjernemateriell
- Utarbeiding av prosedyrar som beskriv arbeidet i laboratoriet
- Analyse av plan- og tynnslip ved SINTEF
- Estimering av ekspansjon ved bruk av SDT og ekspansjonsmålingar
- Estimering av kapillær vassmettingsgrad, makro- og sugporøsitet samt PF-faktor ved PF/DCS-metode
- DRI ved Université Laval i Quebec, Canada

I slutten av november 2018 vart det utført ein mottakskontroll saman med Marit Haugen (SINTEF). Kjernemateriell vart pakka ut og studert visuelt og dokumentert med målskisser og foto. Med bakgrunn i mottakskontrollen vart det i januar 2019 utarbeida ein plan for vidare utnytting av kjernemateriell. Planen inneheld mellom anna ei bildebeskriving med detaljert informasjon, der tal og typar prøvar er avmerkt.

For å stadfeste alkalireaksjon i betong er det naudsynt med ei tynn- og planslipanalyse. Denne type analyse krev bruk av spesialutstyr og kvalifisert personell og utført av Haugen ved SINTEF.

For å estimere ekspansjon og endring i mekaniske parametrar vart det utført SDT på prøvestykke frå Tyin Dam 3. Som ein del av dette arbeidet vart det også støypt 10 sylindrar ut frå ein alkalireaktiv resept (vedlegg 6) ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved NTNU, desember 2018. Ikkje alle desse viste seg å kunne nyttast, noko oppgåva tek føre seg seinare. Ved å samanlikne SDT-resultat frå Tyin Dam 3 med Oseland (2018), Sanchez et al. (2016) og dei godkjende sylindrane var det likevel mogleg å estimere ekspansjon.

Som eit ledd i den utvida undersøkinga vart det saman med Hans Stemland (NTNU) og Jan Lindgård (SINTEF) avgjort at det skulle utførast måling av kapillær vassmettingsgrad, makro- og sugporøsitet og PF-faktor ved bruk av PF/DCS-metoden. Dette arbeidet starta opp i midten av februar og føregjekk fram til midten av april 2019.

I samband med eit prosjekt i regi av Statens Vegvesen vart det i april 2019 sendt kjernemateriell frå nokre norske bruer til Canada for DRI. I den samanheng vart det sendt med delar av ei kjerneprøve frå Tyin Dam 3.

4.2 Mottak av prøvar ved SINTEF

Kjerneprøvane frå Tyin Dam 3 ankom SINTEF, november 2018. Prøvane vart lagt på kjølerom med temperatur 5°C i påvente av utpakking. Saman med Marit Haugen (SINTEF) vart det utført ein mottakskontroll av kjerneprøvane. Geometrien i kvar kjerneprøve vart fyrst kartlagd ved hjelp av meterstokk, og tal brot i kjernestrengen vart registrert. For kvar kjerneprøve vart det teikna ei skisse som inneheldt sparrestein, dimensjonar og plassering av brot (vedlegg 7). Føremålet med dette var å kategorisere innhaldet i prøvane med tanke på seinare bruk. Kjerneprøvane vart også visuelt skildra med følgjande fokus:

- Tilslagstype (knust eller naturleg)
- Porefordeling (komprimeringsporer og luft)
- Kvit utfelling (alkaligel)
- Riss i eller gjennom tilslag og brotflater

Denne prosessen vart dokumentert ved hjelp av bilete og utfylling av sjekklister (vedlegg 7). Avslutningsvis vart det teke oversiktsbilete av kvar kjerneprøve (vedlegg 8).

4.3 Tynn- og planslip

I etterkant av mottakskontrollen, vart det i samråd med Haugen bestemt at halvparten av kjerneprøve 4 skulle nyttast til tynn- og planslip. I byrjinga av mars 2019 vart halvparten av kjernedelen sendt til Danish Technological Institute (DTI) for preparering av planslip og den andre halvdel til Pelcon Materials & Testing i Danmark for tynnslip. Prøvane vart preparert i henhold til prosedyre beskrive i Byggforskseriens rapport 520.032 (Haugen og Hjort-Hansen, 2017).

Pelcon framstilte 1 stk. fluorescensimpregnert tynnslip. Tynnslipet sin storleik er 45 mm x 30 mm og teke ut 470 mm frå overflata, vinkelrett på kjernedelen sin lengdeakse. Frå DTI kom det tilbake 2 stk. fluorescensimpregnerte planslip med størrelse 300 mm x 92 mm. Planslipa vart lokalisert i følgjande avstand frå overflata: 0 – 300 mm og 470 – 770 mm.

4.3.1 Metode

Tynn- og planslip preparata vart analysert av Haugen i april 2019. Metodane nytta var i henhold til Haugen og Hjort-Hansen (2017) «Strukturanalyse av betong. Dokumentasjon av kvalitet og tilstand». Figur 4-1 viser polarisasjonsmikroskop nytta i analyse av tynnslip.



Figur 4-1: Polarisasjonsmikroskop

4.4 Forberedende arbeid mekanisk testing

4.4.1 Avklaring

For å utnytte prøvemateriell frå Tyin Dam 3 på best mogleg måte, vart det i januar 2019 utarbeida ein plan for bruk av kjernemateriell. I fyrste omgang var det naudsynt å avklare om kjerneprøvane frå dei 2 områda var å betrakte som ein eller to populasjonar. Med bakgrunn i vurderingar og resultat i mottakskontroll, vart det saman med Haugen, Lindgård og Stemland beslutta at begge områda var å rekne som ein populasjon. Det vil seie at samtlege kjerneprøvar frå Tyin Dam 3 er å betrakte som eit utval, og har samanliknbare materialeigenskapar sjølv om dei kjem frå to ulike lokalitetar i damkonstruksjonen. Det betyr at resultatata frå kvart einskild område er representativt for det andre.

Saman med Stemland vart det vidare bestemt at det skulle trykktestast 2 stk. prøvestykke frå kvart felt som grunnlag for maksimal lastpåføring i SDT. Det vart valt prøvestykke frå indre del av kjerneprøven, noko som ville gje representative verdiar for betongens trykkstyrke. Denne delen vart i mottakskontroll vurdert som minst skada for begge områda.

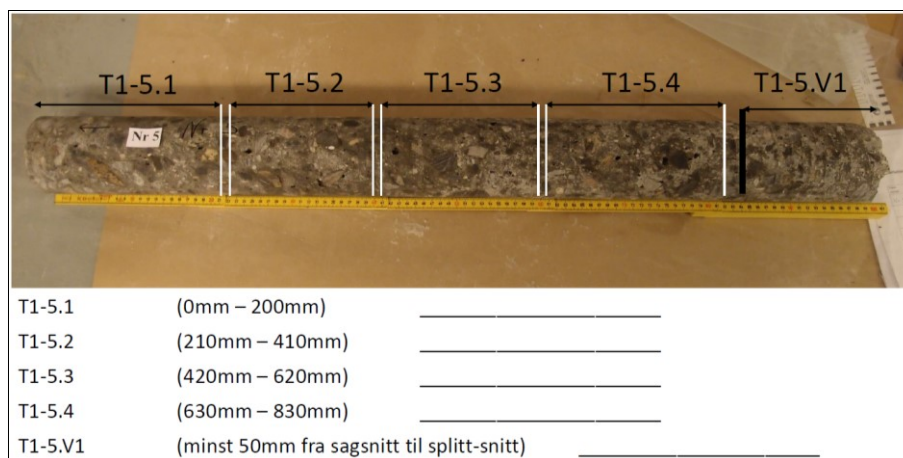
Med dette som utgangspunkt vart det utarbeida endeleg plan med bildebeskriving for utnytting av kjernemateriell frå Tyin Dam 3 (vedlegg 9). Utgangspunktet for planen var resultatet frå mottakskontrollen i november 2018 der det vart kartlagt geometri, brot og sparrestein i kvar enkelt kjerneprøve.

I alle kjerneprøvane, utanom prøve 4 og 8, vart det tilverka prøvestykke for SDT og trykktesting. Samstundes vart restmaterialet frå desse nytta til måling av in-situ vassinnhald og sug- og makroporøsitet. Då det gjeld prøve 4 vart denne, som tidlegare nemnt, delt i to. Den eine delen er preparert for tynn- og planslip og den andre delen for DRI-analyse. Kjerne 8 vart splitta opp i sjikt og nytta til måling av in-situ vassinnhald.

4.5 Prosedyre for, og preparering av prøvestykke til SDT, f_c og PF/DCS

SDT og trykktesting vart utført ved betonglaboratoriet til SINTEF. Sidan SDT ikkje er ei standardisert metode, vart det i januar 2019 utarbeida ei detaljert prosedyre som skildrar korleis prepareringa av prøvestykke til SDT, trykkfastheit og PF/DCS skulle utførast. Den tek for seg splitting, saging, plansliping, merking og pakking. Sjå vedlegg 13 for prosedyre.

Med utgangspunkt i prosedyren vart det preparert 18 stk. prøvestykke. Nummereringa av prøvestykkene startar med lågaste verdi nærast overflata og høgaste verdi lengst inn i damkonstruksjonen. For å kunne utføre SDT er det viktig at høgde/diameter forholdet er omtrent 2:1. Diameteren til kjerneprøvene vart i mottakskontroll målt til 92-97 mm, noko som førte til ei nedre grense for lengda lik 192 ± 2 mm. I biletsbeskrivinga i vedlegg 9 er kvart prøvestykke merka med kvite eller svarte strekar. Figur 4-2 viser eit utdrag frå vedlegget.



Figur 4-2: Bilete frå «Plan for testing i laboratoriet» (vedlegg 9)

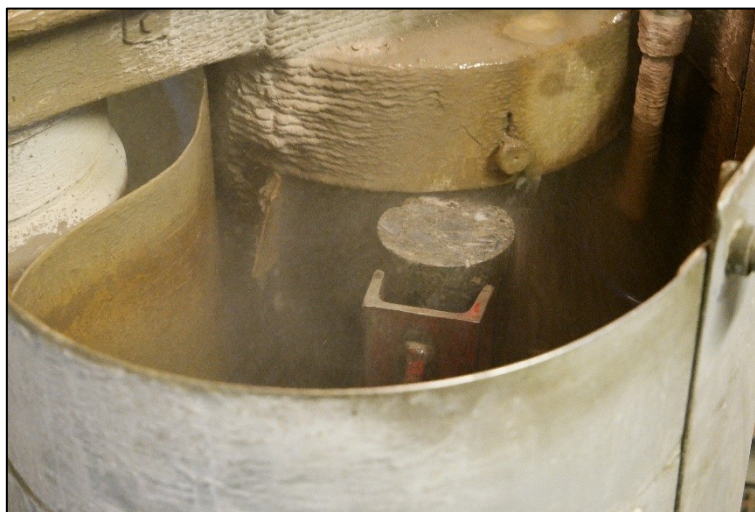
Kvit strek tyder saging, medan svart strek tyder splitting. Sjølve prepareringa vart utført ved SINTEF, og i hovudtrekk på følgjande vis:

- Kjerneprøven vart teken ut frå 5°C-rommet og pakka ut av plasten.
- Deretter vart dei ulike prøvestykkene merka med strekar, påført namn og ei pil ut mot overflata.
- Prøvene til vassmettingsgrad vart fyrst splitta av frå kjernedelen, pakka inn i plast, merka og lagt til sides.
- Vidare vart djupna på prøvestykkene kontrollmålt og ved avvik frå målsett bilete vart riktig mål justert i biletsbeskrivinga.
- Saging av prøvestykke til SDT og trykkfastheit vart så utført.
- Ferdige prøvestykke vart pakka inn i plast, merka, og lagt inn på 5°C-rommet.
- I forkant av SDT og testing av trykkfastheit vart ein og ein prøve tatt ut og planslipt i begge endar.

Føremålet med dette er at planslipt overflate sikrar god lastoverføring mellom maskin og prøvestykke. Figur 4-3 og 4-4 viser prosessen med plansliping.



Figur 4-3: Prøvestykke klart for plansliping



Figur 4-4: Prøvestykke som vert planslipt

4.6 Ekspansjonsmåling av referansesyndrar og estimering av ekspansjon

Som nemnt i kapittel 2.7.2 gjev SDT parametrane E_c , SDI , SDI_{alt} , PDI og NLI . Vanleg metode for estimering av ekspansjon ut frå SDT, er å samanlikne ein prøve med ei referanseanalyse. Dette vert gjort ved å støype syndrar i laboratoriet med ei betongresept ein har kjennskap til korleis utviklar seg med omsyn til alkalireaksjon. Reaksjonsforløpet i syndrane vert akselerert ved hjelp av høg relativ fuktigheit og temperatur. Det vert vidare utført ekspansjonsmålingar på ulike tidspunkt med påfølgjande SDT. Ved å samanlikne SDT resultatet i laboratoriet med SDT av kjerneprøvar frå Tyin Dam 3, er det mogleg å estimere ekspansjon i dammen.

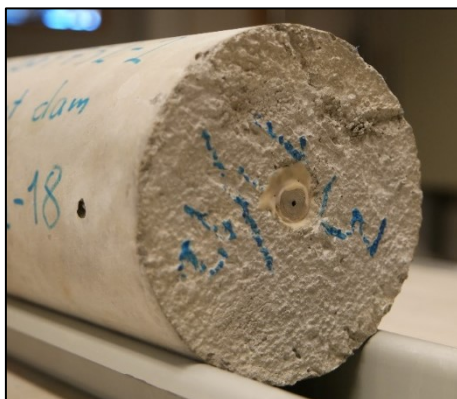
Med bakgrunn i slik metode vart det ved NTNU støypt syndrar med dimensjon $\text{Ø}100 \times \text{L}200$ mm. Desse vart avforma i slutten av desember 2018, merka med Student Dam-2019-12-19 samt nr. 1-10. Referansesyndrane vart vegd før påfølgjande lagring i 100% RF kar under plast over vasspegel. Syndrane vart lagra i 100%-karet ved ca. 20°C fram til andre halvdel av januar 2019. Oseland (2018) har som nemnt tidlegare i oppgåva

utført ekspansjonsmålinger og SDT i laboratoriet. Resultata frå Oseland (2018), saman med resultat frå referansesyndrarar i 2019, dannar grunnlag for estimering av ekspansjon i Tyin Dam 3.

I samtalar med Jan Lindgård (SINTEF) og Hans Stemland (NTNU) vart det bestemt at sylindrane skulle setjast inn i ein NB32-containerar og plasserast i reaktor ved 60°C / 100% RF. For å nytte sylindrane som referanse mot Tyin Dam 3 vart det avtala at prøving av SDT og ekspansjonsmåling skulle delast opp i 3 omgangar. På denne måten kjem det fram eit bilete av ekspansjonsutviklinga knytt opp mot parameter frå SDT. Målingane vart lagt til 4, 7 og 8 veker etter eksponeringsstart. Det viste seg at ekspansjonsraten i sylindrane var stor, og allereie etter 7 veker var ekspansjon 0,35%. Med omsyn til dette vart det i samtalar med Lindgård og Stemland bestemt at dei to siste rundane med SDT ikkje skulle utførast, då ekspansjonsnivå over 0,35% ikkje gjev data i relevant reelt ekspansjonsområde. Vedlegg 11 viser loggføringa av ekspansjonsmålingar.

4.6.1 Metode

For å framskaffe nøyaktige ekspansjonsmålingar var det naudsynt å bore og lime knastar i endane på referansesyndrarane. Dette sikra at verdiane for ekspansjon vart målt i same punkt kvar gong. Dette arbeidet vart gjort ved SINTEF i januar 2019. I kvar sylindrar vart det i enden bora eit hol for plassering av ein måleknast i plast. Knasten vart limt fast på tilsvarande måte som Skjølvold og Rodum (2015) skildrar i Statens Vegvesen (SSV) rapport nr. 465. Figur 4-5 viser endeflate med knast i plastmateriale.



Figur 4-5: Kjerne med limt knast for ekspansjonsmåling.

For å unngå tap av fukt vart dette arbeidet utført i raskt tempo. I tidleg turkefase av limet vart sjølve sylindrarane pakka inn i plast, medan endeflatene var eksponert. I vidare forlaup av liminga vart heile sylindrarane pakka inn i plast til limen var herda. Sylindrarane vart deretter sett tilbake i 100%-karet inntil ASR-eksponeringa starta.

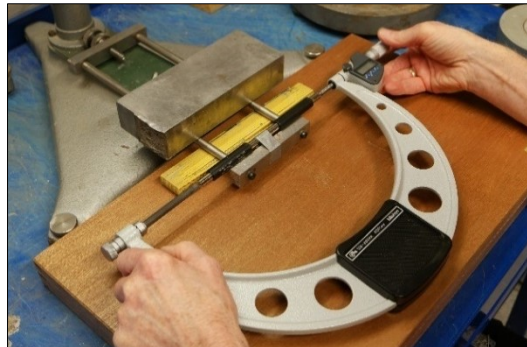
Ekspansjonsmålingar er gjort ved SINTEF og målingane er utført på same vis som SSV i rapport nr. 465 «Feltforsøk med overflatebehandling» (Pedersen og Rodum, 2015). Sidan dette er arbeid som er gjort ved SINTEF, er det også her utarbeida ei prosedyre for metode og tidspunkt for målingane. Vedlegg 10 viser prosedyren for måling av ekspansjon i referansesyndrarar.

I byrjinga av februar 2019 vart sylindrane tekne ut frå 100%-karet og lagt på rullebrett for turking, i påvente av referansemåling av ekspansjon (figur 4-6).



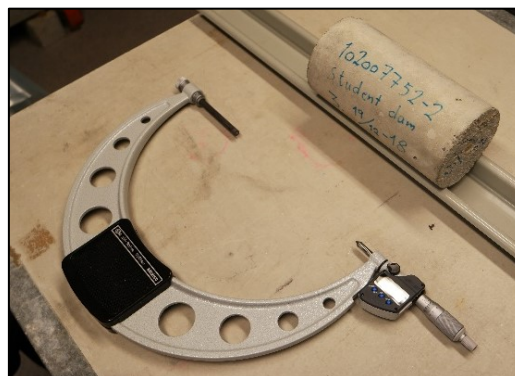
Figur 4-6: Kjerner klargjort for ekspansjonsmåling

For å utføre ekspansjonsmålingane vart det nytta eit Mitutoyo-mikrometer eigd av SSV. Mikrometeret måler lengder mellom 150 – 300 mm, med minste måleining 0,001 mm. I forkant av ekspansjonsmålingane vart mikrometeret kalibrert. Figur 4-7 viser korleis dette vart gjort.



Figur 4-7: Kalibrering av Mitutoyo-mikrometer

Sylindrane vart deretter målt suksessivt. Fyrste måling av kvar sylinder vart nytta som nullmåling (referanse). Kvar enkelt sylinder vart deretter plassert i ein NB32-container. Containeren vart så plassert i reaktor med 60°C / 100% RF. Resultata frå målingane vart ført inn i eigna skjema, utarbeida av SINTEF (vedlegg 11). Figur 4-8 viser sylinder klar for referansemåling og figur 4-9 viser sylindrane plassert i NB32-conatiner.



Figur 4-8: Mitutoyo-mikrometer for måling av ekspansjon



Figur 4-9: Kjerner i NB32-container

Etter 4, 7 og 8 veker vart sylindrane tatt ut frå reaktoren. Ekspansjon vart målt med mitutoyo-mikrometer og sylindrane vegd. Målingane vart notert i skjema (vedlegg 11).

4.7 Trykkfastheit

Trykkfastheit i prøvane er utført i henhold til NS-EN 12390-3 «Prøving av betong i konstruksjonar» (CEN, 2009). Trykkfastheita vart funne ved å påføre sylindrane ei jamn trykkraft lik 0,6 MPa/s, fram til prøvestykket gjekk til brot. Då prøvestykket gjekk til brot, vart påføring av last stoppa og den høgaste lastverdien registrert (vedlegg 14). Vidare vart det nytta omrekningsreglar frå NS-EN 12390-3 for å finne karakteristisk sylindertykkfastheit. Prøvinga gjekk føre seg i FormTest Alpha 4/B-62 (SINTEF). Figur 4-10 viser oppsett for prøving av trykkfastheit.



Figur 4-10: Prøvestykke klart for påføring av trykklast i FormTest Alpha 4/B-62

4.8 SDT

Tyin Dam 3

I samråd med Jan Lindgård (SINTEF) og Hans Stemland (NTNU) vart det avgjort at prøvinga frå Tyin Dam 3 skulle delast i to seriar. Dette med bakgrunn i at begge områda var, som tidlegare nemnt, å rekne som ein populasjon. Fyrste serie med SDT vart utført i byrjinga av februar og andre serie i byrjinga av april 2019. Fordelinga vart slik:

- Serie 1: x2 trykkfastheit og x7 SDT
- Serie 2: x2 trykkfastheit og x7 SDT

Trykkfastheit vart utarbeida som beskrive i kapittel 4.7. I serie 1 vart det eksperimentert med maksimum lastpåføring i SDT. Tre prøvestykke vart påført 40% last slik som Sanchez et al. (2016) har gjort i sitt arbeid, medan 2 stk. prøvestykke vart påført maksimum last 20% og 2 stk. vart påført 60% last. Dette vart gjort som eit forsøk på å illustrere korleis parametrene i SDT varierar med ulik maksimum last.

Fem av prøvestykkane i serie 2 vart påført maksimal last lik 40% av karakteristisk trykkfastheit. Dette vart gjort for å ha best mogleg samanlikningsgrunnlag med arbeid tidlegare utført av Sanchez et al. (2016) og Oseland (2018). Vidare vart 2 stk. av prøvane i serie 2 påført 20% last slik som i serie 1. Vedlegg 14 viser loggføring av resultat knytt til Tyin Dam 3.

Alkaliakselererte sylindrar

Prøving av ASR-eksponerte referansesylindrar tok til i byrjinga av april 2019. Dette på bakgrunn av at ekspansjonsmålingane på det tidspunktet viste ekspansjon i sylindrane opp mot 0,35%. Fyrste serie inneheldt 1 stk. trykkfastheit og 3 stk. SDT. Alle SDT vart køyrd med maksimal last lik 40%, tilsvarande Oseland (2018) og Sanchez et al. (2016) i sitt arbeid. Trykkfastheita vart bestemt på same vis som beskrive i kapittel 4.7. Vedlegg 14 viser loggføring av resultat knytt til ASR-eksponerte referansesylindrar.

4.8.1 Metode

SDT vert utført ved SINTEF-laboratoriet, og utføring av start, stopp, maksimum og minimum påføring av last vart gjort manuelt. I forkant av den mekaniske testinga vart diameter og lengd målt. Vidare vart kjerneprøven vegd i vatn og i luft, noko som gav volum og densitet. Dette vart ført inn i SINTEF-skjema 831 (vedlegg 14). Figur 4-11 viser prøvestykke klart for veging i vatn.



Figur 4-11: Kjerneprøve klargjort for måling av vekt i vatn

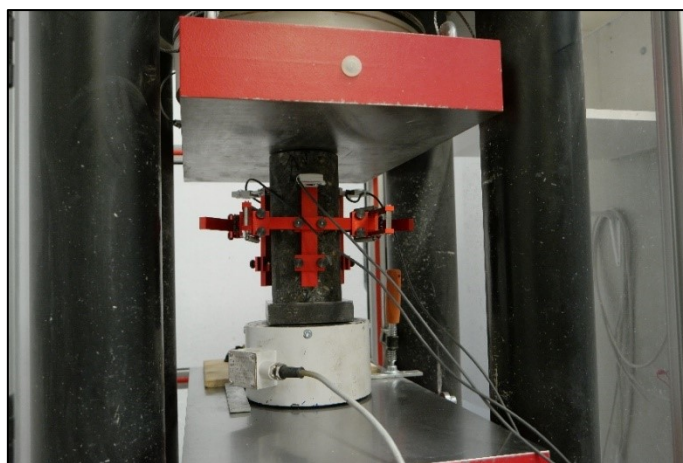
Neste steg var montering av givarar for måling av deformasjon i prøvestykket. Maksimal målelengde for givarane var oppgitt til 100 mm. Figur 4-12 viser bilete av eit prøvestykke med givarar ferdig montert.



Figur 4-12: Planslipt prøvestykke med givarar montert

Prøvestykkene for SDT vart utsett for 5 pålasting/avlastings-syklusar med last lik 20%, 40% eller 60% av trykkfastheit. Sidan dei to prøveområda i Tyin Dam 3 vert rekna som ein populasjon, vart trykkfastheita estimert som gjennomsnitt av dei 4 prøvestykkene køyrt til brot (vedlegg 14).

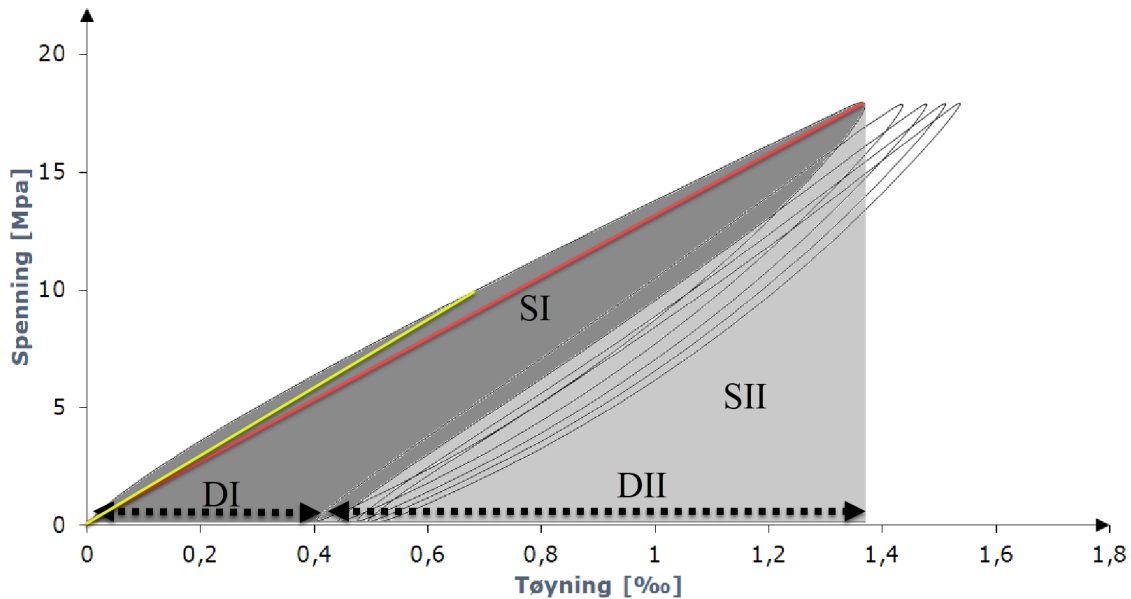
I fyrste syklus vart last påført til det var kontakt mellom prøvestykke og maskin (1,5 MPa). Vidare vart det påført last med intensitet lik 0,1 MPa/s til ynskt maksimal last vart nådd, for så å avlaste med same intensitet til nedre grense lik 1,5 MPa. Maksimum og minimum last vart ikkje påført i lengre periodar enn ca. 5 sekundar. Dette er same metode som Sanchez et al. (2016) og Oseland (2018) nytta i sitt arbeid. Den nedre grensa på 1,5 MPa er sett med omsyn til ikkje å miste kontakt mellom prøvestykke og maskin. Resultat frå all SDT vart loggført til Excel-filer via datamaskin og i SINTEF-skjema 831 (vedlegg 14). Maskina nytta til SDT var FormTest Alpha 4/B (SINTEF). Figur 4-13 viser prøvestykke i maskin med givarar montert.



Figur 4-13: Prøvestykke satt inn i FormTest Alpha 4/B-62

4.8.2 Parametrar frå SDT-test

Som nemnt i kapittel 2.7.2 kan det hentast ut ulike parametrar ved bruk av SDT. I denne oppgåva er det nytta E_c , SDI, PDI og NLI for å analysere SDT-resultata. Samstundes er det også estimert initial E-modul og E-modul på same vis som Oseland (2018) har gjort i sitt arbeid våren 2018. I Oseland (2018) sitt arbeid er det også utleia eit femte parameter, SDI_{alt} . Dette er utarbeida med årsak i at resultata til Oseland var 3-4 gonger lågare enn SDI verdiane til Sanchez et al. (2016), samstundes som SI og SII arealet var i det same spekteret. Dei ulike parametrane er rekna ut i Excel på følgjande vis.



Figur 4-14: Syklisk lastning framstilt frå SDT

SDI

Stiffness Damage Index (SDI). SI er gitt som arealet under øvre kurve minus arealet under nedre kurve i fyrste lastsyklus. SI+SII er gitt som totalt areal under den øvre kurva i ein lastsyklus. SDI er dermed definert som summen av hysteresekområdet (SI) delt på summen av total energi (SI +SII) (figur 4-14) for kvar lastsyklus slik som vist i formelen under:

$$SDI = \frac{\sum_{i=1}^5 SI_i}{\sum_{i=1}^5 (SI_i + SII_i)}$$

SDI_{alt}

I SDI_{alt} vert SI og SII kalkulert på same vis som for SDI. Til forskjell frå SDI vert her SI delt på SI+SII for kvar lastsyklus, og faktorane summert som i formelen under:

$$SDI_{alt} = \sum_{i=1}^5 \frac{SI_i}{(SI_i + SII_i)}$$

PDI

Plastic Deformation Index (PDI). PDI er akkumulert plastisk deformasjon gjennom SDT (DI) delt på total deformasjon målt ved maksimal last i siste syklus (DI+DII) (figur 4-14).

NLI

Non-linearity index (NLI) er stigningstalet til linja (gul) teikna frå origo til halvparten av maksimum last, delt på stigningstalet til linja (raud) teikna frå origo til maksimum last i fyrste lastsyklus (figur 4-14). Denne parameteren vert rekna ut på følgjande vis i Excel:

$$NLI = \frac{\sigma_{hmaks} / \epsilon_{hmaks}}{\sigma_{maks} / \epsilon_{maks}}$$

σ_{hmaks} : Halvparten av maks last i fyrste lastsyklus.

ϵ_{hmaks} : Halvparten av maks deformasjon i fyrste lastsyklus.

σ_{maks} : Maks last i fyrste lastsyklus.

ϵ_{maks} : Deformasjon ved maks last i fyrste lastsyklus.

E-modul (E_c)

E_c vert definert som gjennomsnittet av stigningstala til lastsyklusane 2, 3 og 4. Formelen under viser korleis dette vert gjort:

$$E_c = \frac{\sum_{i=2}^4 \sigma_{i,topp} - \sigma_{i,start} / \epsilon_{i,topp} - \epsilon_{i,start}}{3}$$

$\sigma_{i,topp}$: Last i topp av lastsyklus i

$\sigma_{i,start}$: Last i start av lastsyklus i

$\epsilon_{i,topp}$: Deformasjon i topp av lastsyklus i

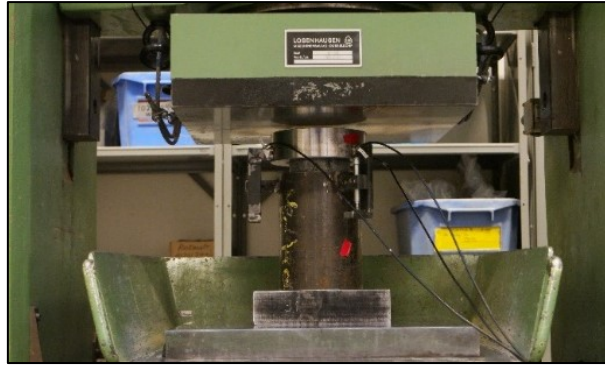
$\epsilon_{i,start}$: Deformasjon i start av lastsyklus i

Initial E-modul ($E_{c,initial}$)

$E_{c,initial}$ vert estimert ved å teikne ei rett linje mellom maksimal lastverdi i siste lastsyklus og eit punkt 2,5 MPa lenger ned i siste avlastingskurve.

4.9 Arbeidsdiagram

For alle prøvar nytta til SDT vart det i etterkant utarbeida fullt arbeidsdiagram. Dette vart gjennomført ved SINTEF i henhold til SINTEF standard prosedyre. Testen vart utført i ei 5000 kN trykkpresse frå Losenhausen. Hastigheita for pålasting var den same som for SDT (0,1 MPa/s). Deformasjonskastigheita skulle ikkje overstige 3,0‰ pr. minutt. Resultata vart loggført til Excel-filer via datamaskin. Figur 4-15 viser prøvestykke i maskin.



Figur 4-15. Prøvestykke med givarar i Losenhausen 5000 kN trykkpresse.

I forkant av kvar trykkprøve vart pressa nullstilt. Dette vart gjort ved at stempelet vart køyrd opp til fri posisjon og null last vart justert for i kontrollpanelet. Deretter vart stempelet køyrt til kontakt med prøvestykke med forbelastning 10 kN. Givarane vart deretter nullstilt i kontrollpanelet. Prøvane vart så påført last fram til brot og vidare til lastnivået vart utjamna. Figur 4-16 viser deformert prøvestykke. Figur 4-17 viser oppsett for arbeidsdiagram.



Figur 4-16: Prøvestykke gått til brudd. Synleg alkaligel fleire plassar.



Figur 4-17: Losenhausen 5000 kN. Oppsett for arbeidsdiagram

4.10 Kapillær vassmettingsgrad, PF-verdi og sug- og makroporøsitetved

PF/DCS Det vart utført målingar av in-situ vassinnhald, kapillær sugsevne og porøsitet i henhold til SINTEF prosedyre KS 14-05-04-07. Det vart nytta SINTEF-skjema 813 «In-situ vassinnhald og porøsitet» for loggføring av verdiar. Målte verdiar vart i etterkant prosessert i Excel ved bruk av Power's formlar. Sjå vedlegg 18 for skjema 813 med verdiar frå Tyin Dam 3.

Måling av in-situ vassinnhald og sugporøsitet vart gjort ved SINTEF. Innleiande del av metoden vart utført i byrjinga av februar 2019. Resterande arbeid knytt til veging, trykkmetting og turking vart gjort ved SINTEF i perioden februar til april 2019. For å sikre rett utføring vart det utarbeida prosedyre for PF/DCS (vedlegg 17).

4.10.1 Metode

I byrjinga av februar 2019 vart splitta kjernedelar frå kjerneprøven pakka inn i plast, merka og lagt inn på 5°C-rommet (i henhold til bildebeskrivinga i vedlegg 9). Kjernedelane vart i det vidare arbeidet pakka ut og merka med namn og sjikt, for deretter å bli splitta opp i skiver. Figur 4-18 viser splitting av skiver.

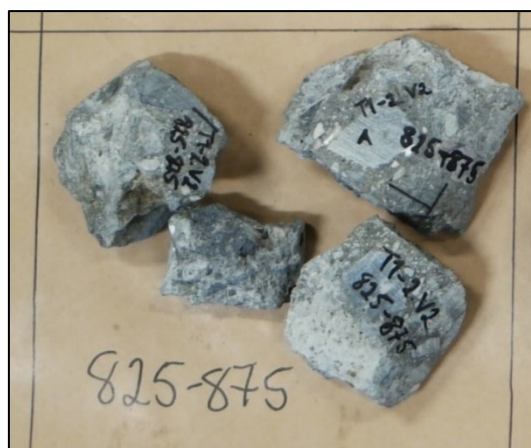


Figur 4-18: SINTEF-maskin for splitting av kjernedeler.

Skivene vart pakka inn i plast og lagt til sides. Då alle skivene var splitta av, vart kvar enkelt skive tatt ut og splitta i mindre brotstykke og lagt tilbake i plast. Figur 4-19 viser ei skive med alkaligelutfelling. Figur 4-20 viser ferdig tilverka brotstykke med merking.



Figur 4-19: Skive med alkaligel i tilslagsoverflate og i pore



Figur 4-20: Merking av tildanna brotstykker til PF/DCS

For å få oversikt over sjiktinndelinga og tal prøvar vart det under tilverkinga laga til ei systematisk oversikt som vist i Figur 4-21.



Figur 4-21. Oversikt over prøvestykke til in-situ vassinnhald og DCS.

Til slutt vart brotstykkja frå dei to seriane lagt i plastkasser. I henhold til prosedyren KS 14-05-04-07, vart kassene merka og deretter fylt med vatn (figur 4-22).



Figur 4-22: Kjernedeler i kar

Vidare arbeid vart gjort i henhold til SINTEF prosedyre KS 14-05-04-07 og prosedyre for PF/DCS (vedlegg 17). I korte trekk handla arbeidet om:

- Nedykking i vatn, 7 døgn
- Tørking ved 105°C, 7 døgn
- Nedykking i vatn, 7 døgn
- Trykkmetting, 2 døgn
- Tørking 105°C, 7 døgn

Før og mellom kvar fase vart det utført måling av vekt. Alle resultat av veging er loggført i SINTEF-skjema 813 «In -situ vassinnhald og porøsitet». Vedlegg 18 viser skjema for Tyin Dam 3.

4.11 DRI

I samband med eit prosjekt, i regi av Statens Vegvesen, vart det i april 2019 sendt kjernemateriell frå nokre norske bruer til Canada for DRI-analyse. I den samanheng vart det sendt med to upreparerte prøvestykke frå kjerneprøve 4 i Tyin Dam 3.

Preparering av prøvestykke

Då prøvestykkene kom fram til Laval University i Canada, var desse allereie delt opp i rett lengd i henhold til avtale med Jan Lindgård (SINTEF). Lengdene var 0 – 300 mm og 470 – 670 mm. Ved Laval University vart dei to prøvestykkene vidare polert med ei våtslipmaskin med diamantimpregnert skive (figur 4-23).



Figur 4-23: Våtslipemaskin nytta for polering av DRI prøvar (vedlegg 19)

I etterkant av våtslip vart prøvestykkene fotografert og påteikna eit rutenett med 1 x 1 cm ruter (figur 4-24).



Figur 4-24: Eksempel på DRI prøve med 1x1 cm rutenett (vedlegg 19)

Undersøking av skadegrad

Prøvestykket vart undersøkt ved bruk av mikroskop. For kvar rute vart dei petrografiske parametrane (tabell 4-1) registrert og talt opp. Vidare vart dei multiplisert med eit vektingsparameter, basert på Villeneuve et al. (2012) (tabell 4-2). Ei summering av desse utgjer grunnlaget for DRI-talet til prøven.

Petrographic features	Acronyms	Description
Closed/tight cracks in coarse aggregate particle	CCA	<ul style="list-style-type: none"> Tight/fine cracks showing no gap at 16X magnification; Sometimes “appear” to contain whitish secondary products, as the crack forms an angle with the cutting plane. A low factor is given as such cracks are likely produced by aggregate processing operations (quarried aggregate) or weathering (gravel).
Opened cracks or network of cracks in coarse aggregate particle	OCA	<ul style="list-style-type: none"> Crack showing a gap at 16X magnification. A “network” of cracks is also classified in this category as it is likely caused by expansive reactions within the aggregate particles.
Cracks or network cracks with reaction product in coarse aggregate particle	CA + RP	<ul style="list-style-type: none"> Cracks containing secondary reaction products (whitish, glassy or chalky in texture); The secondary products may not fill all the cracks (material lost during the preparation of the polished section).
Coarse aggregate debonded	Debon	<ul style="list-style-type: none"> Crack showing a <u>significant</u> gap in the interfacial zone between the aggregate particle and the cement paste; Would likely cause debonding of the particle when fracturing the concrete.
Cracks in cement paste	CCP	<ul style="list-style-type: none"> Crack visible at 16X magnification, but with no evidence of reaction products.
Cracks with reaction product in cement paste	CCP + RP	<ul style="list-style-type: none"> Cracks containing secondary reaction products (whitish, glassy or chalky in texture); Sometimes, the secondary products do not fill all the cracks (material lost during the preparation of the polished section).

Tabell 4-1: Petrografiske eigenskapar kartlagt i DRI (Fournier et al., 2012)

Petrographic features (Table 1)	Acronyms (Table 1)	Weighing factors		
		Old Method	Modified Method	
		Grattan-Bellew and Mitchell (2006)	Villeneuve et al. (2012)	
Crack in the particles (> 1 mm)	Closed (without reaction products)	CCA	0.75	0.25
	Opened or in a fine network (without reaction products)	OCA	4	2
	Opened or in a fine network (with reaction products)	CA + RP	2	2
Crack in the cement paste	Without reaction products	CCP	2	3
	With reaction products	CCP + RP	4	3
Debonded aggregate (> 1 mm)		Debon	3	3
Reacted aggregate particle (> 1 mm)		RAP	---	2
Reaction rim (> 1 mm)		RR	0.5	---
Reaction products in voids of the cement paste		RPV	0.5	---

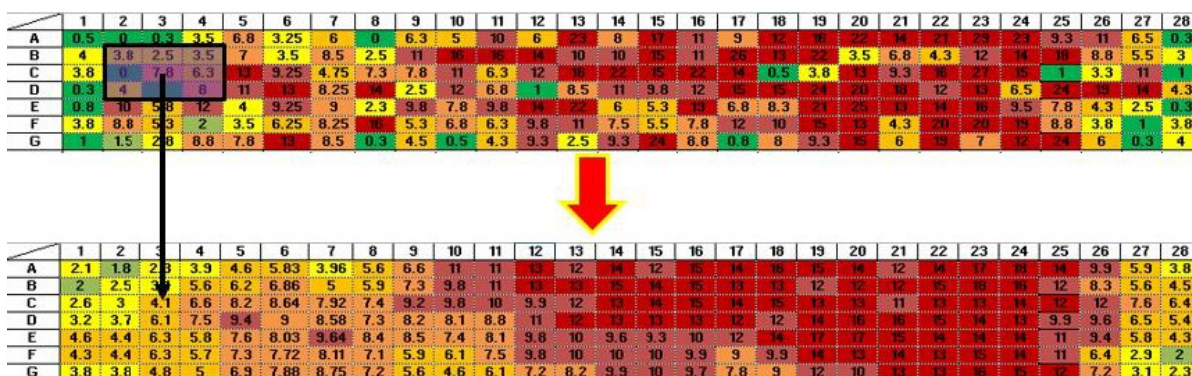
Tabell 4-2: Vektingsparameter for DRI (Villeneuve et al., (2012))

Spatial analyse

For å nytte DRI til identifisering av skadegrad er det nytta metode utarbeida av Champagne (upublisert). Metoden går ut på å nytte eit makro-basert Excel ark som gjev kvar rute (1 x 1 cm) ein individuell DRI-verdi. DRI-verdi for kvar rute er klassifisert etter tabell 4-3 og gjev eit skadegradskart for heile prøven (figur 4-25).

DRI	bin	Degree of ASR
0.0 1.0	1	Trace
1.0 2.0	2	Acceptable
2.0 4.0	3	Moderate
4.0 6.5	4	High
6.5 9.0	5	Severe
9.0 12.0	6	Very severe
12.0 100	7	Extreme

Tabell 4-3: DRI-tal og skadegrad (vedlegg 19)



Figur 4-25: Orginalt DRI-verdi og utjamna DRI-verdi (vedlegg 19)

For å auke forståinga av samvirke mellom skadane i rutenettet, er Champagne sin modell for utjamna DRI-verdi nytta. Metoden går ut på å berekne gjennomsnitt av individuell rute saman med alle tilstøytande ruter. Dette er vist i figur 4-25. Metoden fører til tap av informasjon i individuell rute, men gjev samstundes ei betre forståing av omkringliggende skadegrad og korleis den artar seg i prøven.

5 Resultat

For å gjere ei ny vurdering av alkalipåverka betong i dammane ved Tynosen, er det i denne oppgåva utført testar og analysar ved SINTEF våren 2019. Dette kapittelet presenterar resultat, observasjonar og diskusjon basert på kjerneprøvar bora ut frå Tyn Dam 3, hausten 2018.

5.1 Resultat frå mottakskontroll

Visuell undersøking viser at betongen inneheld mykje naturleg knust tilslag. Det er registrert til dels stor stein (diameter opp mot 100 mm) i nokre av kjerneprøvane. Lengda på kjerneprøvane varierar frå 850-1000 mm og diameteren mellom 92-97 mm. Nokre prøvar har brot i ytre del. Mekanisk påverknad i uttak av kjerneprøvane kan vere årsak til brot, gjerne i kombinasjon med porøs heftzone (Interfacial Transitional Zone (ITZ)). Denne svakare sona førekjem mellom tilslag og sement. Figur 5-1 viser eit typisk brot i ytre del. Det er også registrert brot i kjerneprøvane lokalisert mot senter av dammen. Det er ikkje eintydig kva dette kjem av, men brota førekjem stort sett der dimensjonen på steinane er stor og/eller i soner med mykje store luft og/eller komprimeringsporer.



Figur 5-1: Brot i prøve nr. 8

Det vart også observert til dels grove riss gjennom tilslag. I diskusjon med Marit Haugen (SINTEF) kom det fram at dette er indikasjon på at alkalireaksjon har medført store tilleggsspenningar i betongen. Figur 5-2 og 5-3 viser riss gjennom tilslagskorn i kjerneprøve 2 og 3.

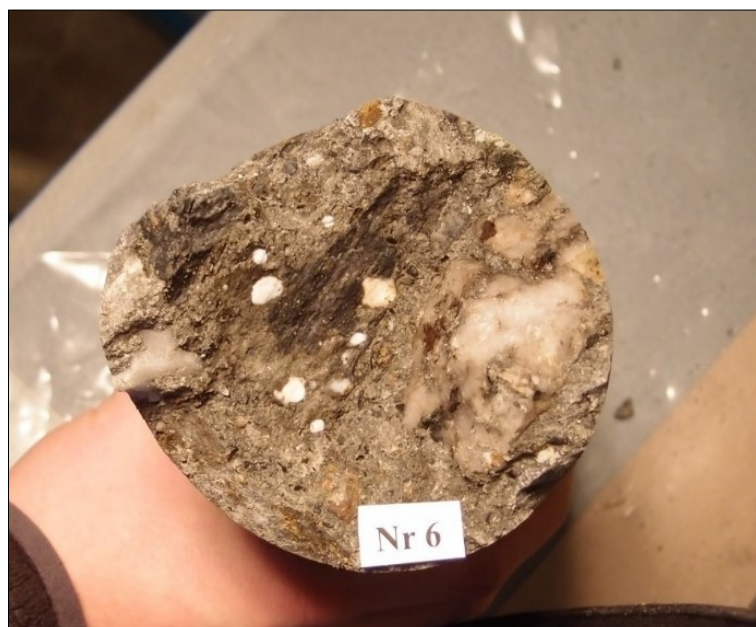


Figur 5-2: Riss i randsone av tilslag i prøve nr. 2



Figur 5-3: Riss gjennom tilslag, prøve nr. 3

Det er betydeleg omfang av kvit utfelling i samtlege 10 prøvar. Utfelling førekjem i heile kjerneprøven, både i riss og porer. Under mottakskontrollen antyda Haugen at dette kunne vere alkaligel. Figur 5-4 viser slik kvit utfelling i makro.



Figur 5-4: Tydeleg kvit utfelling i brotflate, prøve nr. 6

Resultata frå mottakskontrollen viste at betongen i Tyin Dam 3 ber preg av ei opprissa overflate, porestruktur fylt med kvit utfelling og tilslag med gjennomgåande riss. Det kjem også fram at ytre del av kjernane er noko meir prega av brot, enn indre del.

5.2 Tynn- og planslip

I perioden mars – april 2019 vart det utført analyse av tynn- og planslip ved SINTEF. Analysedelen omfattar ein makro- og ein mikroanalyse frå delar av kjerneprøve. Makroanalysen er gjort ved å undersøkje 2 stk. fluorescensimpregnerte planslip i UV-lys med avstand 0-300 mm og 470-770 mm frå overflata. Mikroanalysen vart gjort ved å undersøkje tynnslip 470 mm frå kjernen si overflate, ved hjelp av polarisasjonsmikroskop med påmontert UV-filter. Resultatet frå undersøkingane viser at betongen er påverka av alkalireaksjon. Det er også registrert utprega omfang av ettringitt i luftporer og riss, noko som tyder på fuktbelasta betong. Vedlegg 20 viser tynn- og plansliprapport utarbeida av SINTEF.

5.2.1 Planslip

Resultata frå planslipobservasjonane er utført av Marit Haugen (SINTEF) og presentert i tabell 5-1 og 5-2, samt i figur 5-5 til 5-8 (vedlegg 20).

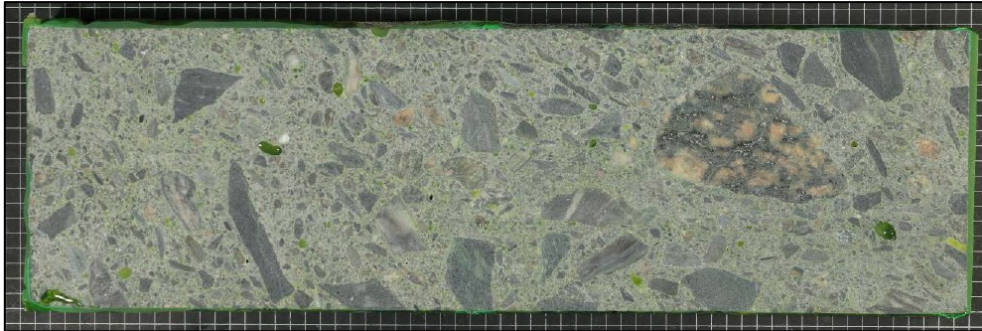
Planslip fra	Kjerne 4 frå Tyin Døm 3
Plassering av planslip	0-300 mm frå overflaten
Riss i overflaten	Ikke observert
Riss i betongen	Mange riss i mørteløndel, mange riss i tilslag og mange riss som går frå tilslag og ut i sementpastaen
Steintilslaget	Pukk og singel. Normalt innhold, maks tverrmål 40 mm
Tegn på alkalireaksjoner	Riss i mange tilslagskorn samt mange riss frå tilslag og ut i sementpastaen

Tabell 5-1: Observasjonar i planslip, djupn 0-300 mm

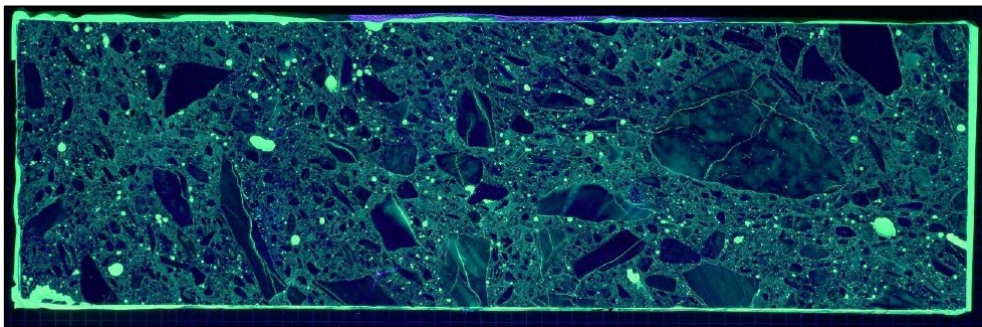
Planslip fra	Kjerne 4 frå Tyin Døm 3
Plassering av planslip	470-770 mm frå overflaten
Riss i betongen	Mange riss i mørteløndel, mange riss i tilslag og mange riss som går frå tilslag og ut i sementpastaen
Steintilslaget	Pukk og singel. Normalt innhold, maks tverrmål 32 mm
Tegn på alkalireaksjoner	Riss i mange tilslagskorn samt mange riss frå tilslag og ut i sementpastaen. Hvit utfelling i enkelte luftporer

Tabell 5-2: Observasjonar i planslip, djupn 470-770 mm

Figur 5-5 viser planslip i djupn 0 – 300 mm fotografert i vanleg lys. Figur 5-6 viser planslip i djupn 0-300 mm fotografert i UV-lys. Det kjem tydeleg fram at betongen inneheld store mengder fine riss i tilslagskorn. Fleire av rissa går også ut i sementpastaen. Det vart i ytre del (0 – 150 mm) registrert mindre skadar knytt til alkalireaksjon (figur 5-6).

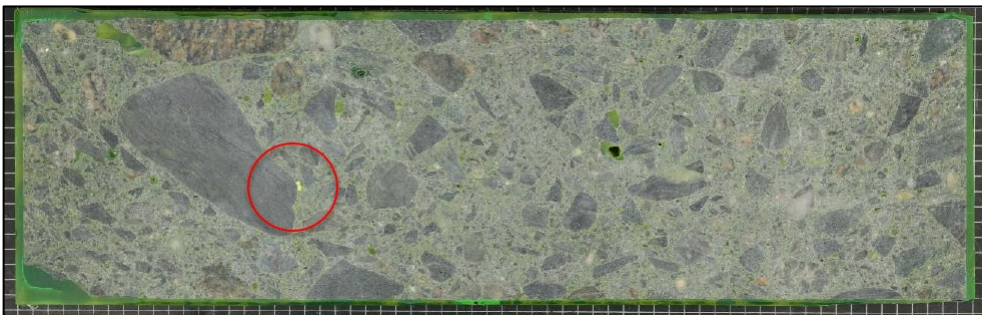


Figur 5-5: Planslip 0-300 mm (overflate mot venstre)

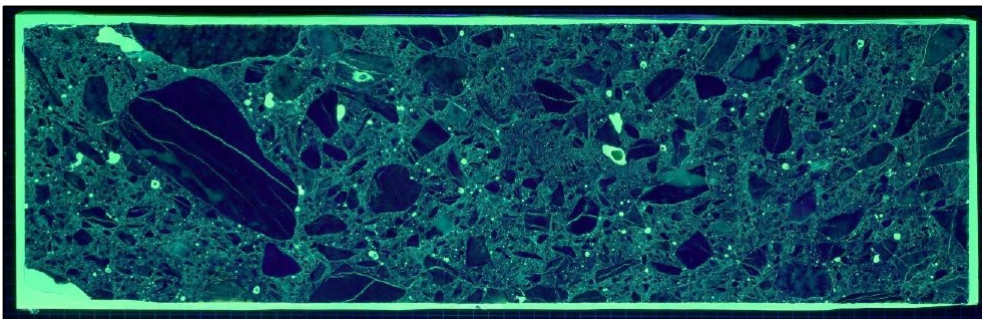


Figur 5-6: Planslip fotografert i UV-lys (overflate mot venstre)

Figur 5-7 viser planslip i djupn 470-770 mm. I merka område ser ein alkaligel i to små luftporer.



Figur 5-7: Planslip i djupn 470-770 mm (overflate mot venstre)



Figur 5-8: Planslip i djupn 470-770 mm fotografert i UV-lys (overflate mot venstre)

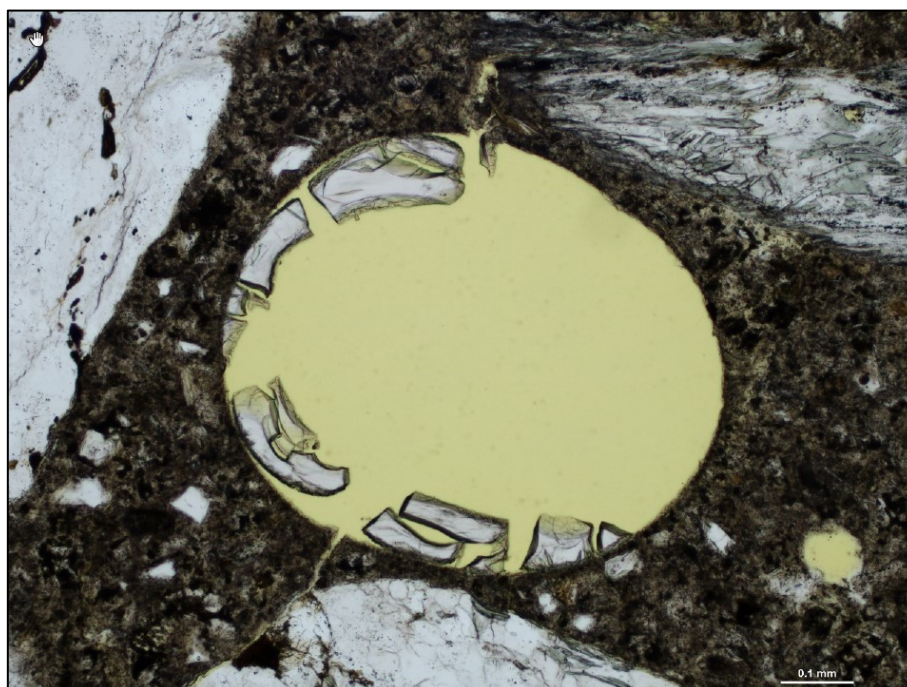
Figur 5-8 viser planslip i djupn 470-770 mm fotografert i UV-lys. Bilete viser stort omfang av fine riss i tilslagskorn. Fleire av rissa går ut i sementpastaen.

5.2.2 Tynnslip

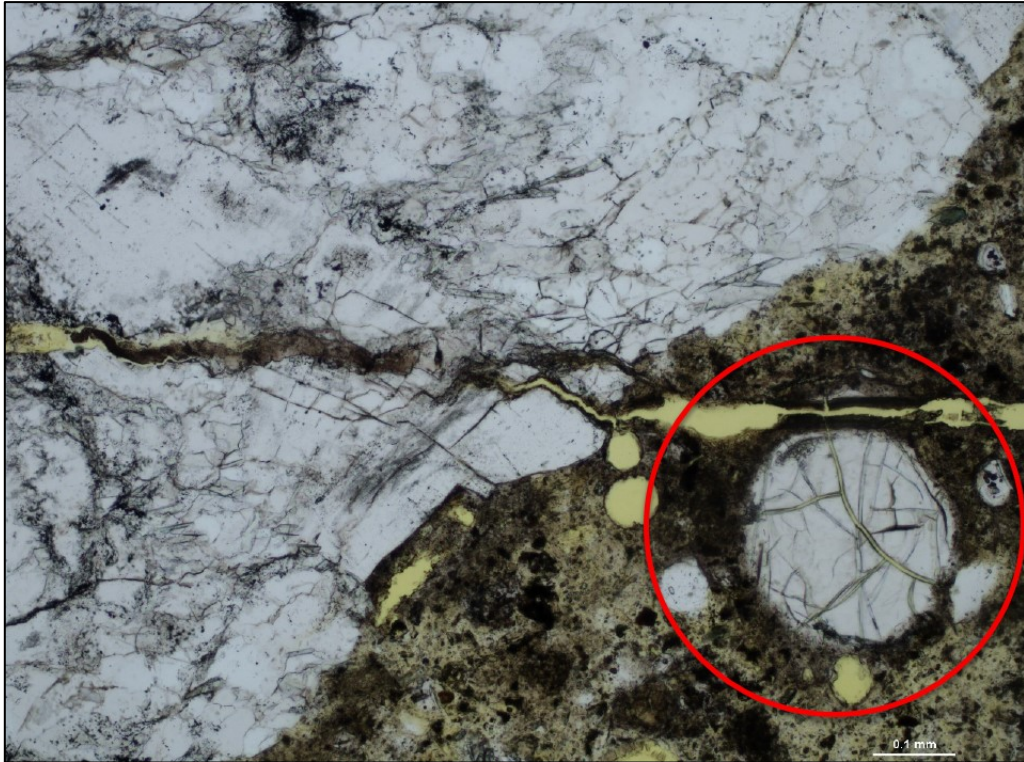
Resultata frå tynnslipanalysen vert presentert i tabell 5-3, samt i figur 5-9 til 5-13.

Tynnslip frå	Kjerne 4, Tyin Dam 3 (foto nr 5-9)
Dybde frå overflaten	470 mm inn i betongen
Porøsitet i mørtelfasen	Relativt homogen
Luftinnblandet	Nei
Mikroriss	Noe
Fine riss i betongen	Mange
Grove riss	Enkelte
Utfellinger i luftporer og riss	Mye ettringitt, litt portlanditt
Type steintilslag	Mylonitt/kataklositt, kvartsrik bergart, fyllitt, gråvåkke, mørk bergart og breksje
Alkalireaksjoner	Ja
Reagent tilslag	Metagråvåkke, mylonitt, fyllitt og breksje
Reaksjonsprodukter	Alkali-silika-gel er observert i flere små luftporer samt i riss
Vurdering av reaksjonsomfang i tynnslip	Alkalireaksjonene vurderes som rissdannende

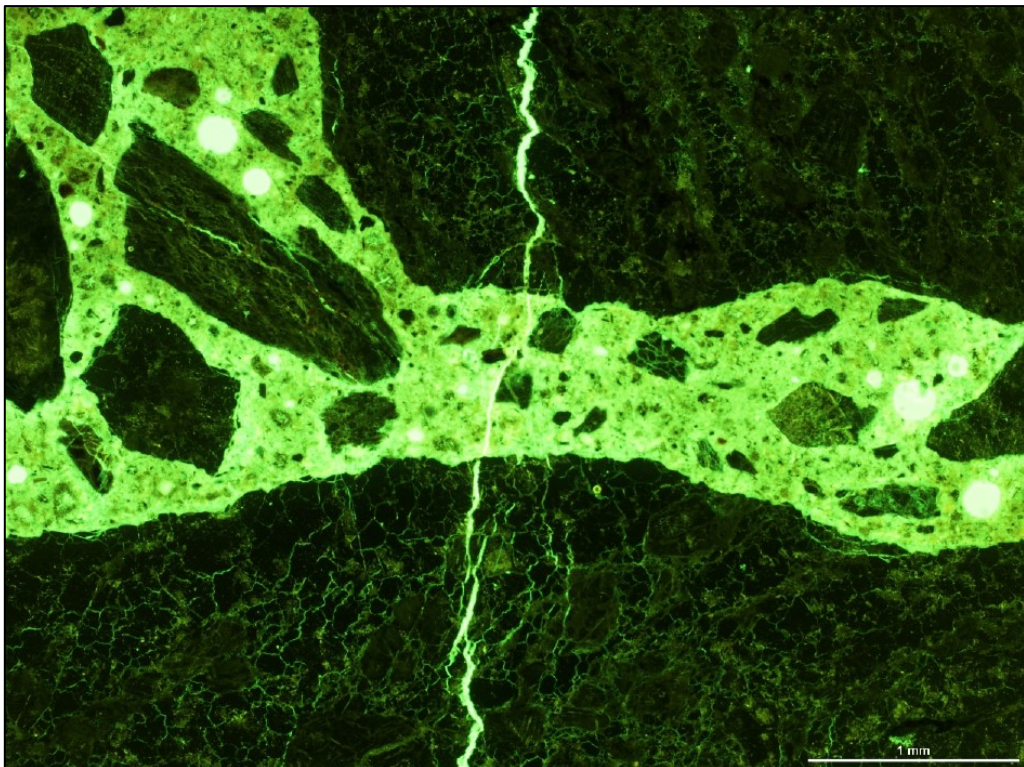
Tabell 5-3: Observasjonar i tynnslip



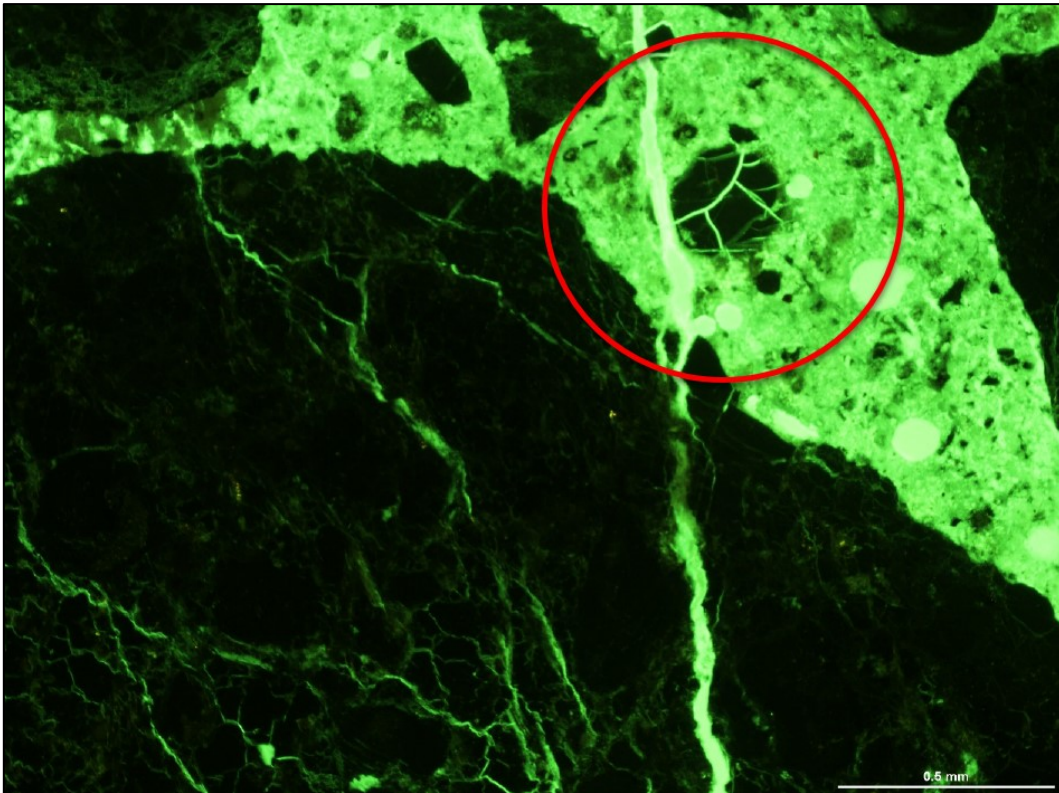
Figur 5-9: Utsnitt av tynnslip fotografert i mikroskop. Bilete viser alkali-silika-gel i luftpore ved kvartsrik bergart



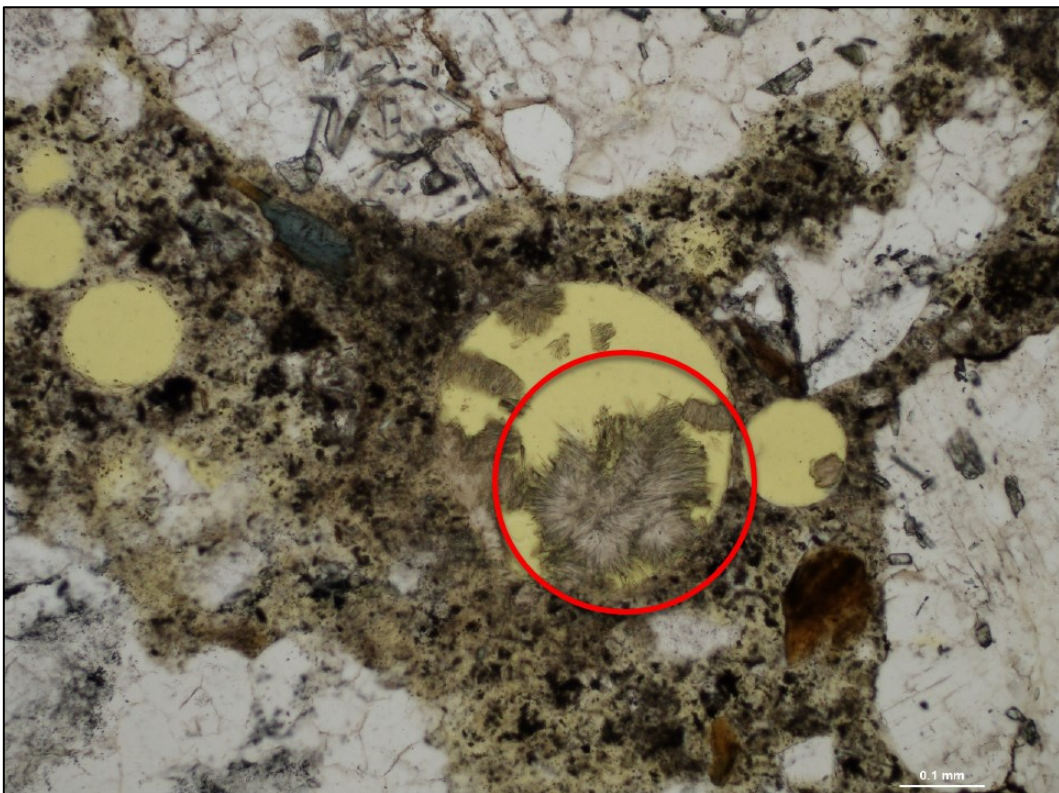
Figur 5-10: Utsnitt av tynnslip fotografert i mikroskop. Merka område viser alkali-silika-gel i riss og luftpore ved metagråvakke



Figur 5-11: Utsnitt frå tynnslip fotografert i fluorescerende lys. Biletet viser riss mellom metagråvakke og kvartsrik bergart



Figur 5-12: Utsnitt frå tynnslip fotografert i fluorescerende lys. Merka område viser riss i metagråvakke samt alkali-silika-gel (opprissa) i ei luftpore



Figur 5-13: Utsnitt av tynnslip fotografert i mikroskop. Bilete viser ettringittnåler i luftpore

Plan- og tynnslipanalyse viste at det er omfattande riss gjennom tilslagskorn, men også frå tilslag og ut i sementpasta (figur 5-11 og 5-12). Dette skademønsteret er knytt til alkalireaksjon. Ut frå mottakskontroll av kjerneprøvane (vedlegg 7) var inntrykket at skadeomfanget i hovudsak var uniformt gjennom heile prøven. Dette vart stadfesta ved å sjå planslipa i UV-lys (figur 5-6 og 5-8).

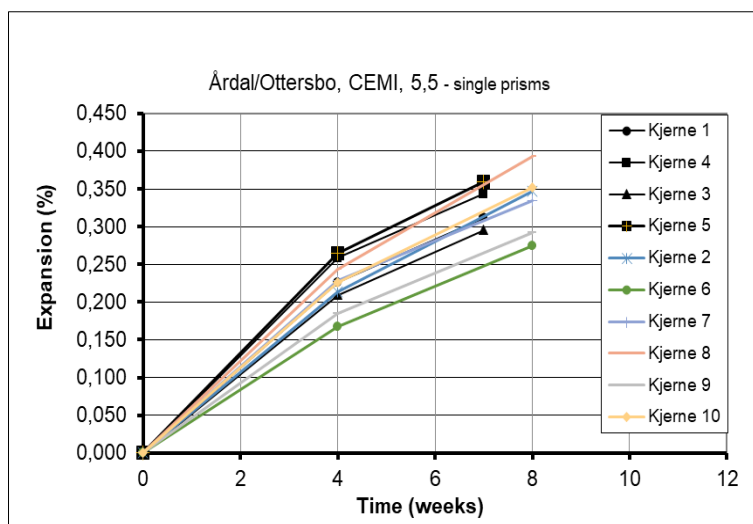
Analysen viser at tilslagskorna inneheld store mengder finfordelte og til dels grove riss. Tilslaget i betongen består av knuste bergartar og dermed er lettare mottakeleg for alkaliar. Dei observerte bergartane er typisk jotunbergartar. I samtale med Haugen vart desse skildra som «stressa» (skyvd over kvarandre) og er karakteristisk knust med open gitterstruktur. Vidare vart det registrert gabbro, kvartsrike og heterogene bergartar ved hjelp av ulike belyningsformar. Karakteristisk for jotunbergartane er at dei tidlegare har vore utsett for ein belastning/knuseprosess og dermed inneheld mikroriss. Analysen av plan – og tynnslip viser også at betongen inneheld mykje pukk og singel med markerte kantar. Det viser seg også at sementpastaen rundt tilslagskorna er signifikant meir porøs enn resterande pasta. Denne grensa vert kalla Interfacial Transitional Zone (ITZ) og er i stor grad prega av heftriss. Vanlegvis gjev mikrorissa rissdanning i korgrensa (ITZ) om betong vert utsett for alkalireaksjon. Planslipa frå Tyn Dam 3 viser derimot at rissa strekker seg gjennom heile korna. I diskusjon med Haugen kom det fram til at indre svakheitsplan (delaminering) i bergartane kan vere årsak til dette. Ved belastning frå alkalireaksjon vil desse svakheitsplana verke som vegvisar for riss, då risset vil velje minste motstands veg.

Ut frå tynnslipanalysen er det særleg verdt å merke seg at mengda alkaligel observert i visuell kontroll (makro), ikkje vert gjenspegla i like stor grad som ved bruk av fluorescensmikroskop (mikro). I mottakskontroll av kjerneprøvane (vedlegg 7) vart det registrert kvit utfelling i større luft- og kompresjonspor. Ut frå desse observasjonane var det forventa at analysen av tynnslip også ville vise store mengder luftporer og grove riss fylt med alkaligel. Til overrasking viste resultatet frå mikroanalysen liten, og til dels ingen liknande observasjon. Alkaligelen som likevel vart observert, registrerte ein i svært små porer og fine riss (figur 5-9 og 5-10).

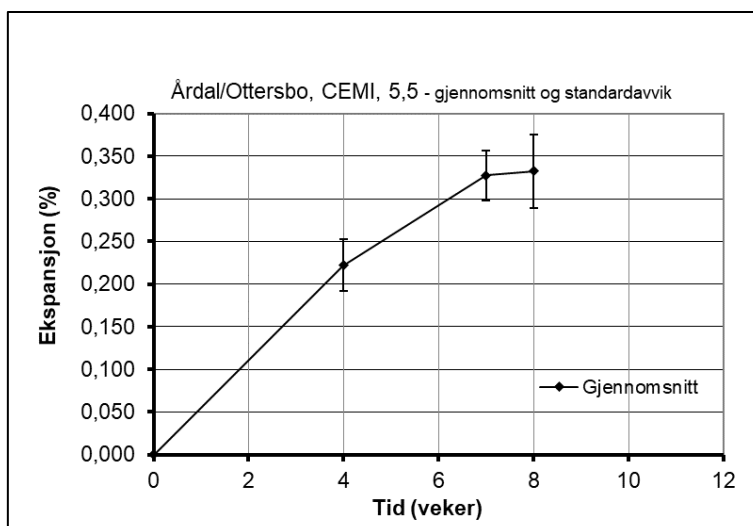
Ei forklaring på denne samanhengen, kan vere at gelen under tilverkinga av plan- og tynnslip endra viskositet. Betongen vart saga og planslipt ved hjelp av vatn. Det medførte i prosessen at vatnet vaska ut alkaligel i større porer og riss. I diskusjon med Haugen kom det fram at ein sjeldan ser så mykje i makro, men deretter så lite i mikro. Ei mikroanalyse vil dermed gje eit resultat som ikkje er representativt. Dette viser viktigheita av å utføre mottakskontroll i makro, for så å samanlikne denne med resultat av tynn- og planslip i mikro.

5.3 Ekspansjonsmåling av referansesyndrar

Resultat frå ekspansjonsmålingar av referansesyndrar er grafisk framstilt i figur 5-14. Målingane er utført 4, 7 og 8 veker etter at prøvane vart satt inn i reaktoren ved 60°C/100% RF. Figur 5-15 viser tydeleg at gjennomsnittleg ekspansjonsrate er markant i fyrste del av eksponeringa, før den flatar ut etter 7. veke. Vedlegg 11 viser skjema med rådata frå ekspansjonsmålingane og vedlegg 12 viser vektauke i sylindrane målt på same tidspunkt som ekspansjon.



Figur 5-14: Ekspansjonsutvikling i labororiesylindrar



Figur 5-15: Gjennomsnitt og standardavvik for ekspansjon.

I samtale med Hans Stemland (NTNU) kom det fram at reelle konstruksjonar, under påverknad av alkalireaksjon, gjerne har ekspansjon i området mellom 0,10% – 0,20%. I utgangspunktet var hensikta at resultat frå referansesylindrane skulle gje eit betre datagrunnlag i dette området. Det viste seg at referansesylindrane nådde dette ekspansjonsnivået på eit tidlegare tidspunkt enn medrekna. Tidlegare er det, i følgje Jan Lindgård (SINTEF), utført forsøk ved SINTEF og NTNU med same betongresept som nytta i referansesylindrane (vedlegg 6). Ekspansjon i det aktuelle området vart i desse forsøka nådd etter 20 – 30 veker. Forskjellen frå tidlegare prøving og denne oppgåva er dimensjonar på prøvestykka. Tidlegare prosjekt har nytta kuber med storleik ca. 230 x 230 x 230 mm, medan denne oppgåva har nytta sylindrar med dimensjon 100 x 200 mm. Forklaringa på kvifor prøvane utviklar ulik ekspansjonshastigheit, kan vere at fuktinntrenging skjer raskare i mindre prøvestykke. Konsekvensen vert ei anna reaksjonsrate for alkalireaksjon og dermed også ulik ekspansjon.

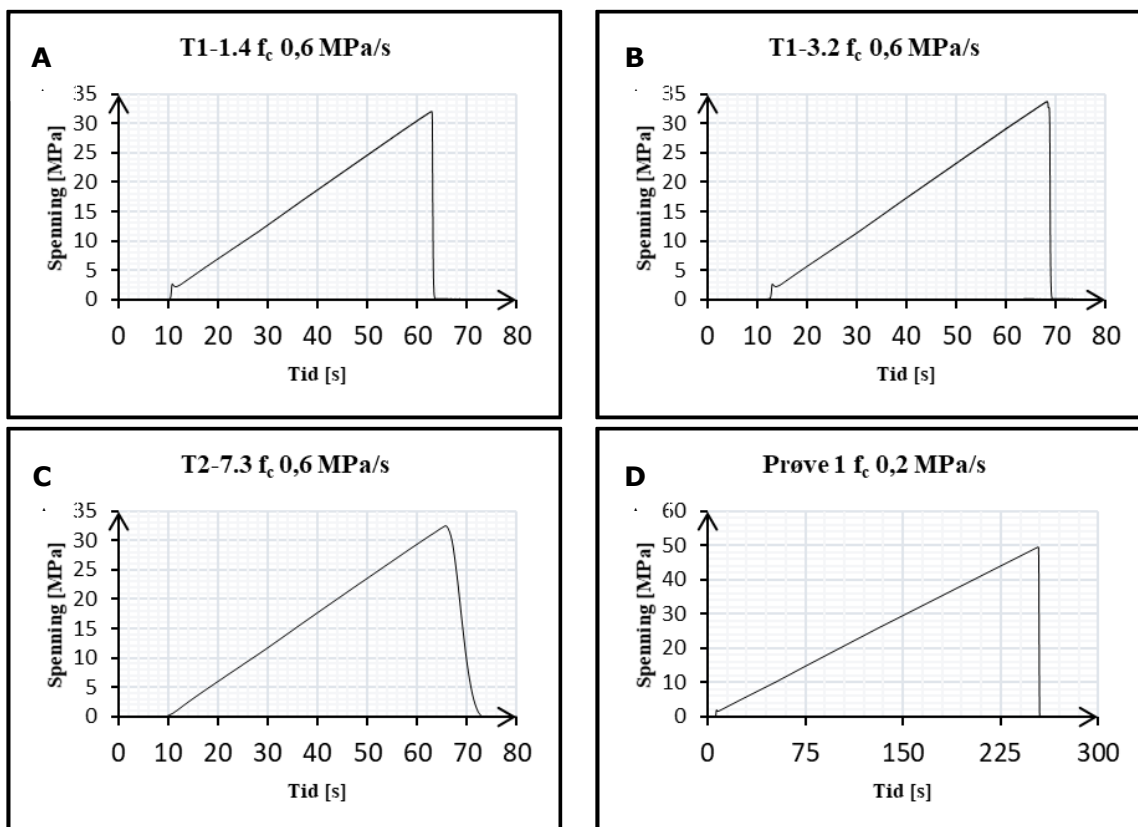
I høve relevans for oppgåva og Tyin Dam 3, vart difor måling av ekspansjon og SDT stoppa etter fyrste serie. Sett tilbake ville det vore meir ideelt å byrja testinga av sylindrane på eit tidlegare tidspunkt, då ekspansjonsnivået var i det ynskte område.

Resultata frå referansesylindrane kunne difor ikkje nyttast slik som tiltenkt. SINTEF og NTNU sit likevel igjen med verdifulle erfaringar knytt til samheng mellom storleik på prøvestykke og utvikling av ekspansjon. Lærdommen må vere, at med bruk av sylindrar med signifikant mindre dimensjon enn standard (SINTEF), må testregimet ta til ved eit tidlegare tidspunkt.

5.4 SDT og trykkfastheit

5.4.1 Trykkfastheit

Figur 5-16 viser testresultat av trykkfastheit i forkant av SDT. Prøvinga vart utført med statisk pålasting fram til prøvane gjekk til brot. A og B vart nytta som referanse for serie 1 med SDT (februar 2019). Snittverdien av trykkfastheita i A+B vart lagt til grunn for maks pålasting ved SDT. Referanse for serie 2 er C og for referansesylindrane D.



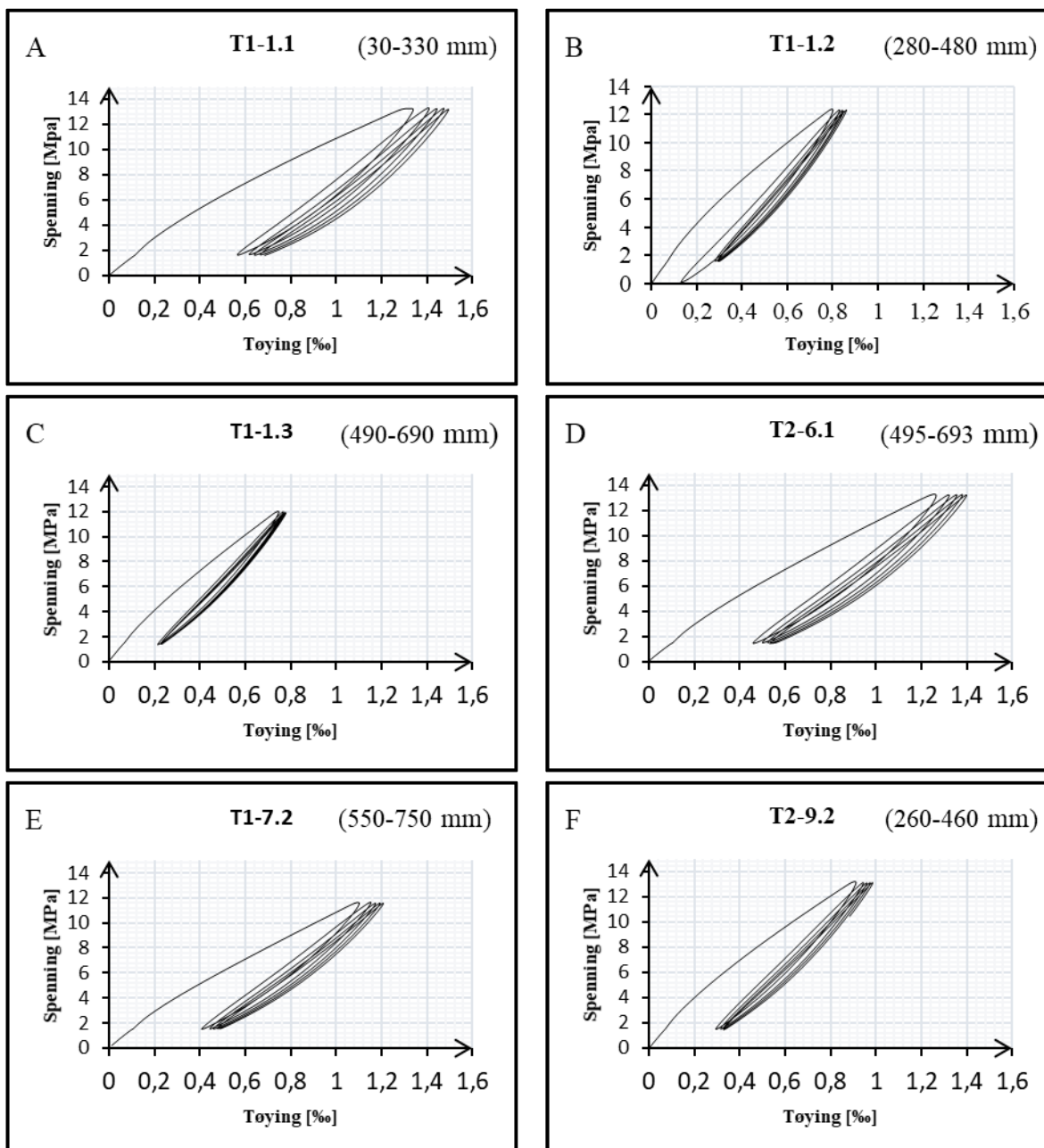
Figur 5-16: Trykkfastheit som grunnlag for maks lastpåføring ved SDT

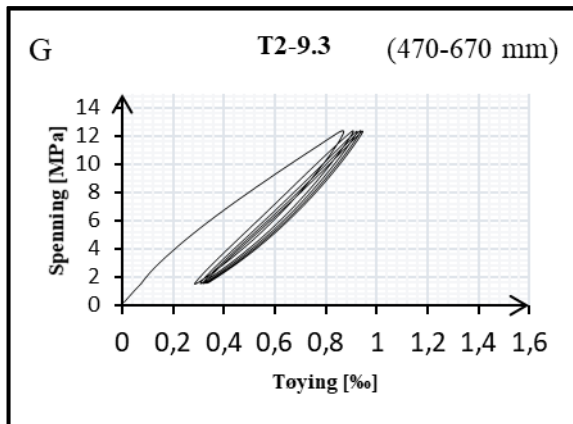
For serie 1 og serie 2 vart verdien 32 MPa og for referansesylindaren 50 MPa.

5.4.2 SDT

SDT med maks pålasting lik 40% av f_c

Figur 5-17 viser spennings-tøyingskurver som eit resultat av 5 syklusar med pålasting/avlastning lik 40% (12,8 MPa) av f_c i prøvestykke frå Tyin Dam 3. Resultata viser ein klar trend. Det kjem fram av A, B og C, at plastisk deformasjon og total energi absorbert i løpet av 5 lastsyklusar, minkar innover i Tyin Dam 3. Dette vert også observert i D og E samt F og G. Vedlegg 15 viser SDT resultat med tilhøyrande SDT-parameter.

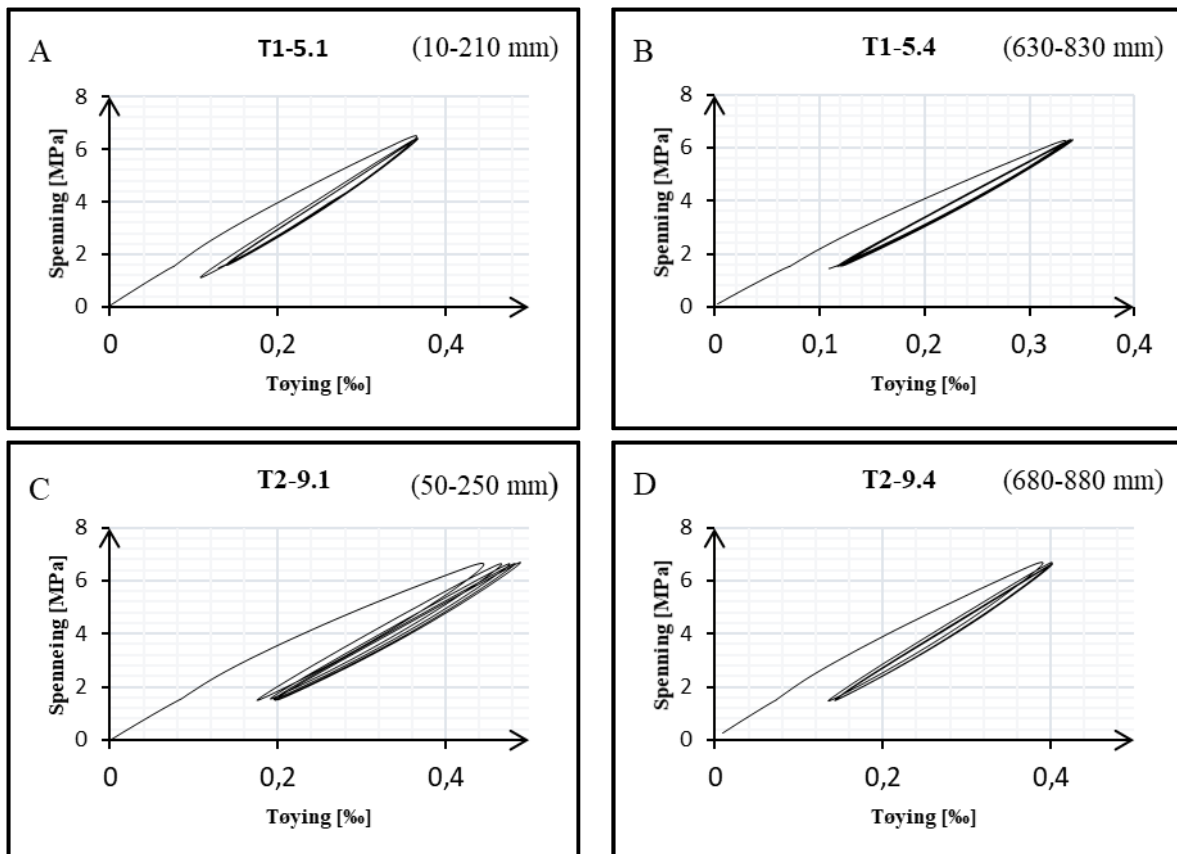




Figur 5-17: SDT med pålasting lik 40% av trykkfastheit.

SDT med maks pålasting lik 20% av f_c

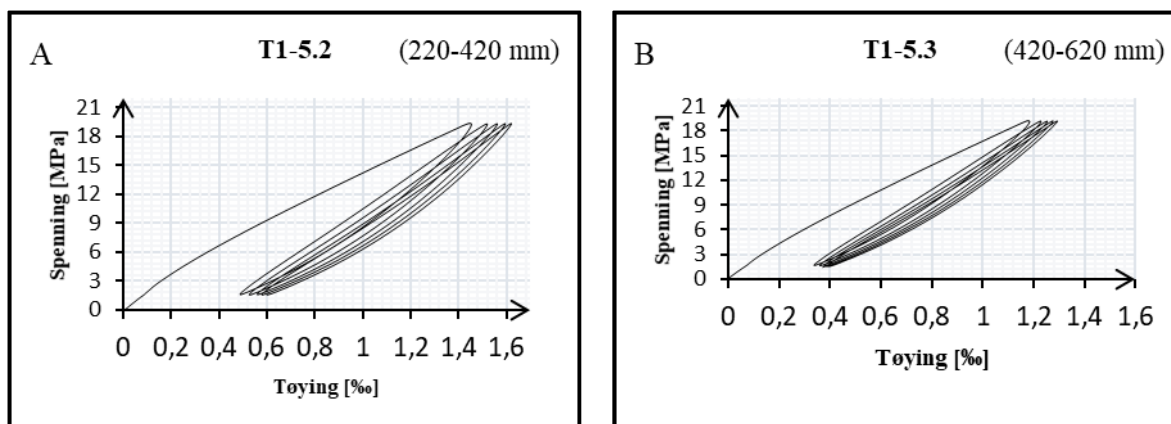
Figur 5-18 viser spennings-tøyingskurver med maks last lik 20% (6,5 MPa) av f_c . A og B er prøvar frå serie 1, medan C og D er prøvar frå serie 2. Resultata viser at plastisk deformasjon og total energi absorbert i løpet av 5 lastsyklusar minkar innover i dammen for begge seriane. Samstundes har prøvane frå serie 2 ein høgare tøyingsverdi enn serie 1. ved å samanliknar lastnivå for 40% og 20%, gjev 20% markert mindre tøyning.



Figur 5-18: SDT med pålasting lik 20% av trykkfastheit

SDT med maks pålasting lik 60% av f_c

Figur 5-19 A og B viser spennings-tøyingskurver med maks last lik 60% (19,2 MPa) av f_c . Det er større plastisk deformasjon og total energi absorbert i prøvestykke A enn i B. Dette er same tendensar som i figur 5-17 og figur 5-18.



Figur 5-19: SDT med pålasting lik 60% av trykkfastheit

Samanlikning av 20% og 60% med 40% lastpåføring.

Ut frå SDT er SDI, SDI_{alt}, PDI, E_c , E_{initiell} og NLI framstilt ved hjelp av Excel. Dei mest sentrale parametrane er presentert i tabell 5-4. Vedlegg 16 inneheld fullstendig resultat frå SDT.

SDT	ID	Snitt [mm]	f_c [MPa]	E_{initiell} [MPa]	E_c [MPa]	SDI	SDI _{alt}	PDI	NLI
40%	T1-1.1	30-330	26,3	24160	13970	0,261	1,211	0,458	1,248
	T1-1.2	280-480	25,4	27755	18609	0,205	0,966	0,345	1,252
	T1-1.3	490-690	29,8	26920	19245	0,177	0,826	0,295	1,176
	T2-6.1	495-693	24,8	20414	13760	0,229	1,092	0,379	1,179
	T2-7.2	550-750	26,1	21403	13755	0,209	0,996	0,398	1,165
	T2-9.2	260-460	24,8	26699	17911	0,190	0,904	0,344	1,214
	T2-9.3	470-670	26,7	25776	17528	0,197	0,926	0,349	1,203
20%	T1-5.1	10-210	27,9	23961	21090	0,119	0,549	0,344	1,145
	T1-5.4	630-830	34,9	23776	21637	0,100	0,464	0,315	1,123
	T2-9.1	50-250	24,7	21084	17870	0,142	0,667	0,407	1,206
	T2-9.4	680-880	24,5	22939	19838	0,118	0,555	0,341	1,157
60%	T1-5.2	220-420	33,2	29902	17183	0,229	1,105	0,367	1,152
	T1-5.3	420-620	35,9	31054	19976	0,212	1,008	0,288	1,126

Tabell 5-4: Resultat SDT Tyin Dam 3

Resultata viser at 20% lastpåføring gjev lågare verdiar for alle parametrane i SDT forutan E_c . Denne parameteren er tydeleg høgare for 20% lastpåføring. Dette kan forklarast ut frå at hystereserearealet vert mindre ved lågare maksimal lastpåføring. Dette gjev mindre tøyning og dermed mindre E_c .

For 60% lastpåføring vert verdiane for parametrane i SDT meir samanfallande med 40% lastpåføring, enn ved samanlikning mellom 20% og 40%. Det viser seg at større lastpåføring enn 40% gjev mindre utslag for hystereserearealet.

Observasjoner frå SDT

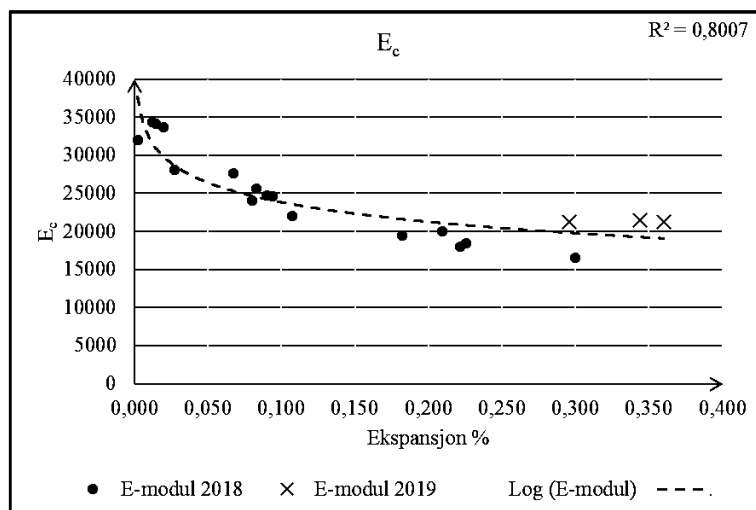
Dei ulike kurvene fortel korleis hysteresese (den forbrukte energien) variera mellom dei ulike prøvestykkane. Det kjem tydeleg fram at det er størst hysteresese i fyrste lastsyklus. Her er arealet mellom kurvene størst. Det er også klar tendens til at toppunktet i fyrste lastsyklus i spennings-tøyingskurva, viser lågare verdiar til lenger inn i kjerneprøven ein kjem. Forskjellen mellom topp- og botnpunkt (pålasting og avlasting) er forbrukt energi. Dette er energi som vert nytta til å trykke saman gel og riss i strukturen. Ei forklaring på kvifor toppunktet flyttar seg kan vere at betongen ved lik pålasting ikkje tøyser seg like mykje i indre del som ytre.

5.5 Estimering av ekspansjon Tyin Dam 3

Estimering av ekspansjon i Tyin Dam 3 baserar seg primært på resultat frå Oseland (2018) sitt arbeid. Talmateriale er presentert i vedlegg 21. Samstundes er også resultat frå arbeid med referansesyindrane i 2019 nytta. I presentasjon av resultatet vert forskjellen mellom logaritmisk og lineær ekspansjonsbetraktning framheva. For den logaritmiske betraktninga vil området 0% – 0,40% verte synleggjort. Det lineære området tek for seg 0% – 0,15% og baserar seg på Hans Stemland (NTNU) sine tankar kring kva ekspansjonsområde som har mest relevans for reelle konstruksjonar.

5.5.1 E-modul

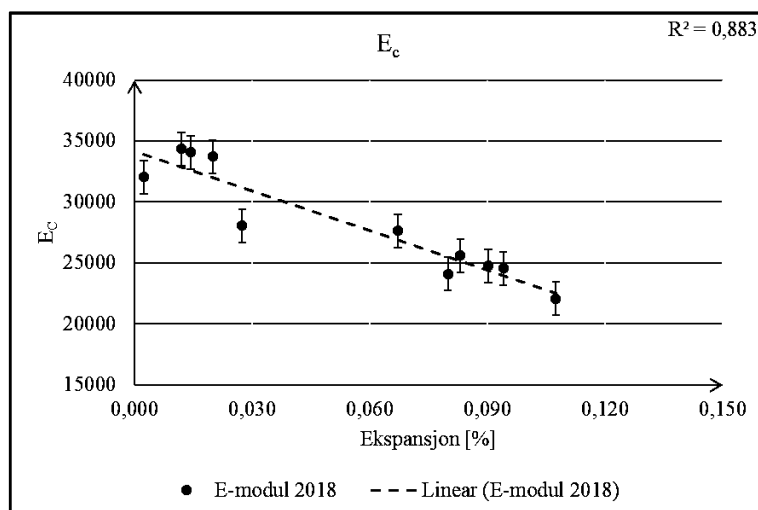
Figur 5-20 viser E-modul som funksjon av ekspansjon med ei tilpassa logaritmisk kurve. Resultatet viser at den logaritmiske kurva har ein korrelasjonskoeffisient $R^2 = 0,80$.



Figur 5-20: Logaritmisk betraktning E_c

Som figuren viser vil E-modulen synke relativt raskt fram til ca. 0,10% ekspansjon, for deretter å flate ut. I området 0,15% - 0,40% vert regresjonen i stor grad påverka av målingane frå referansesyindrane. Dette gjev signifikant utslag for estimering av ekspansjon i området der E_c er under ca. 20 000 MPa.

Figur 5-21 viser E-modul som funksjon av ekspansjon med ei tilpassa lineær kurve. Resultatet viser at den lineære kurva representerer punkta godt i ekspansjonsområdet 0% – 0,15% når korrelasjonskoeffisienten $R^2 = 0,88$.



Figur 5-21: Lineær betraktning E_c

Tabell 5-5 viser estimert ekspansjon i Tyin Dam 3 og baserer seg på regresjonslikninger i figur 5-20 og 5-21.

Prøve ID	Snitt [mm]	E_c [MPa]	Log %	Lineær %
T1-1.1	30-320	13970	1,42	0,19
T2-9.2	260-440	17911	0,49	0,15
T1-1.2	280-480	18609	0,41	0,14
T2-9.3	470-670	17528	0,55	0,15
T1-1.3	490-690	19245	0,34	0,14
T2-6.1	495-693	13760	1,51	0,19
T2-7.2	550-750	13755	1,51	0,19

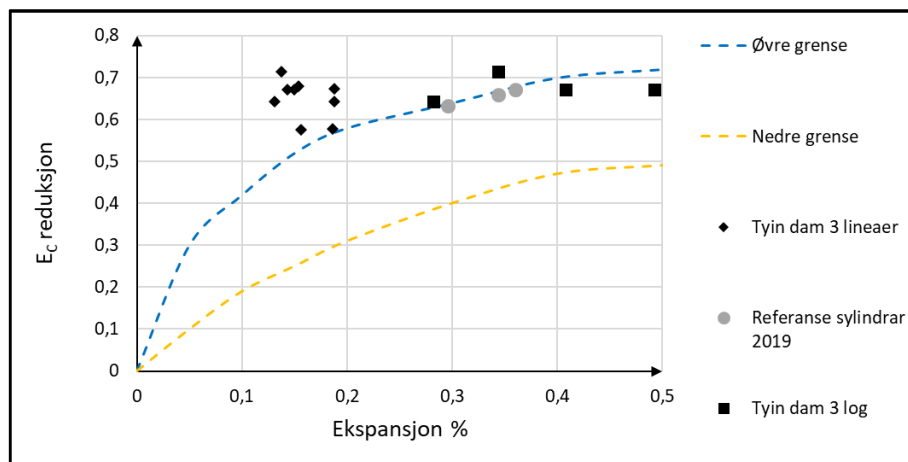
Tabell 5-5: Estimert ekspansjon frå E_c

Resultata i tabellen viser at den logaritmiske ekspansjonen variera frå 0,34% til 1,51%, medan den lineære ekspansjonen frå 0,13% – 0,19%.

Figur 5-22 viser ei øvre og nedre grense for E-modul reduksjon, utarbeida av Sanchez et al. (2017). Grensene er eit resultat frå testing av 20 ulike betongreseptar komponert ut frå 13 ulike tilslagstypar. Ved å samanlikne det lineære resultatet med Sanchez et al. (2017), kjem det tydeleg fram at verdiane ligg forholdsvis tett. Dette forsterkar observasjonane frå mottakskontroll, der det vart registrert jamn skadefordeling med noko meir skadar i ytre del. Det er også ein interessant observasjon at alle punkta frå lineær betraktning ligg over øvre grense. Ei forklaring på dette er at grensene er utarbeida med andre typar betongreseptar og tilslagstypar enn ein har i Noreg.

Figur 5-22 viser også logaritmisk estimert ekspansjon og referansesyndrar, plotta mot Sanchez et al. (2017) sine grenser. Det kjem tydeleg fram at små variasjonar i E_c gjev store utslag i estimering av ekspansjon ved å overskride 0,20% ekspansjon. Dette då kun 4 av 8 punkt er innanfor 0% – 0,50% ekspansjon i den grafiske framstillinga. Samanlikna med lineært resultat gjev dette eit feilaktig bilete av ekspansjon i Tyin Dam

3. Resultatet i figur 5-22 viser også at referansesyldrane ligg tett opp mot øvre grense og utanfor relevant område. Dette stadfestar slutninga om ikkje å ta desse med som grunnlag for estimering av ekspansjon basert på E_c .

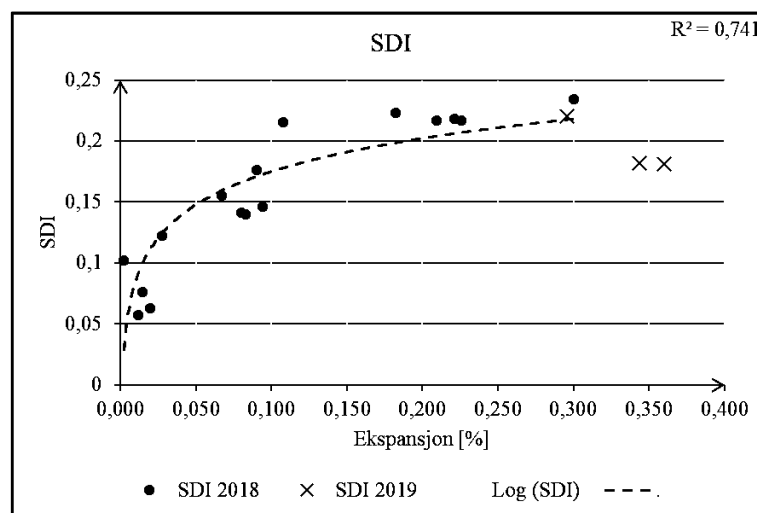


Figur 5-22: Estimert ekspansjon frå E-modul samanlikna med Sanchez et al. (2017)

Med omsyn til dette gjev ei lineær betraktning av reduksjon i E-modul i ekspansjonsområdet 0% – 0,15% reelle verdiar for ekspansjon i Tyin Dam 3.

5.5.2 SDI

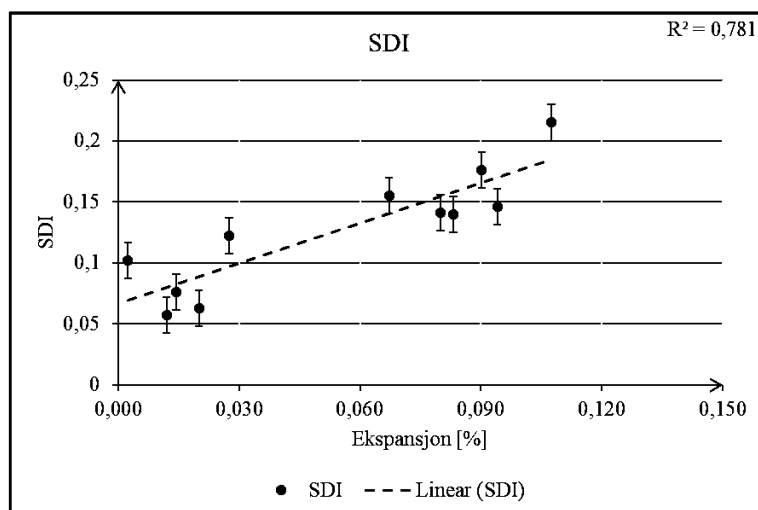
Figur 5-23 viser SDI som funksjon av ekspansjon med ein tilpassa logaritmisk kurve. Resultatet viser at den logaritmiske kurva har ein korrelasjonskoeffisient $R^2 = 0,74$.



Figur 5-23: Logaritmisk betraktning SDI

Det kjem tydeleg fram at SDI resultatata knytt til referansesyldrane ikkje korollerar med resultatata frå Oseland (2018). For SDI verdiar over 0,15 vil den logaritmiske kurva føre til at små endringar i SDI gjev store variasjonar i ekspansjon.

Figur 5-24 viser SDI som funksjon av ekspansjon med ei tilpassa lineær kurve. Resultatet viser at den lineære kurva representerer punkta godt då korrelasjonskoeffisienten $R^2 = 0,78$.



Figur 5-24: Lineær betraktning SDI

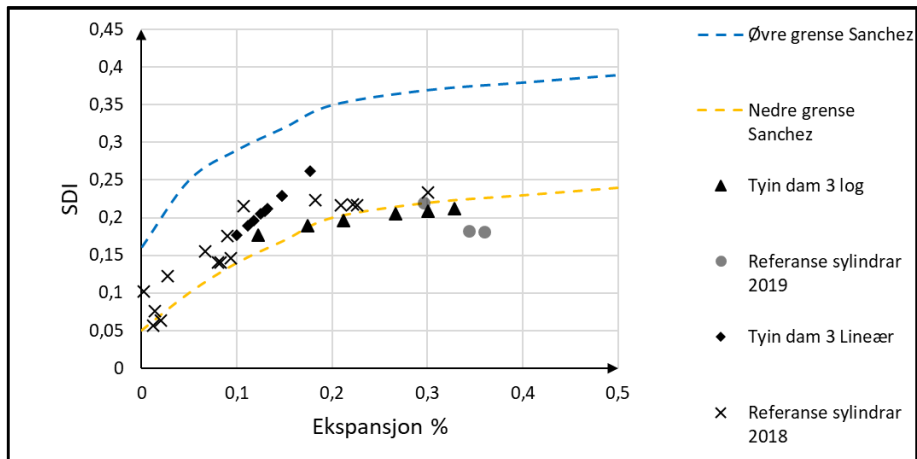
Tabell 5-6 viser resultat frå estimert ekspansjon i Tyn Dam 3 og baserer seg på kurvetilpassingane i figur 5-23 og 5-24.

Prøve ID	Snitt [mm]	SDI	Log %	Lineær %
T1-1.1	30-320	0,261	1,31	0,18
T2-9.2	260-440	0,190	0,17	0,11
T1-1.2	280-480	0,205	0,27	0,13
T2-9.3	470-670	0,197	0,21	0,12
T1-1.3	490-690	0,177	0,12	0,10
T2-6.1	495-693	0,229	0,53	0,15
T2-7.2	550-750	0,209	0,30	0,13

Tabell 5-6: Estimert ekspansjon frå SDI

Resultata i tabellen viser at ekspansjon utrekna frå logaritmisk kurvetilpassing varierar mellom 0,12% – 1,31%, medan lineær kurvetilpassing gjev ekspansjon mellom 0,10% – 0,18%.

Figur 5-25 viser estimert ekspansjon i Tyn Dam 3 basert på SDI, samanlikna med resultata til Oseland (2018) og grenseverdiane utarbeida frå Sanchez et al. (2017). Figuren viser at den lineære betraktninga treff godt innanfor grenseverdiane til Sanchez et al., (2017). Den logaritmiske betraktninga ligg noko lågare, samstundes som 6 av 8 punkt er synlege. Det kjem også fram av tabell 5-6 at resterande punkt ligg langt utanfor gyldighetsområdet til grafen i figur 5-25. Referansesyldrane ligg i underkant av nedre grense, noko som forsterkar slutninga om å ikkje inkludere desse i estimering av ekspansjon basert på SDI.

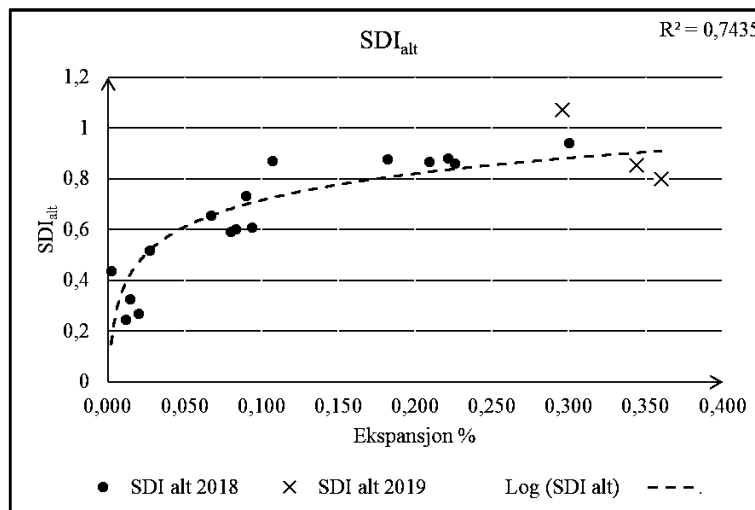


Figur 5-25: Estimert ekspansjon SDI samanlikna med Sanchez et al. (2017)

Frå tabell 5-6 kjem det fram at SDI-verdiar i ytre del er større enn i indre del av kjerneprøvane, noko som gjev større estimert ekspansjon i ytre del. Dette viser også figur 5-25, der punkta frå lineær betraktning ligg meir spreidd. Gyldigheita av dette resultatet vert forsterka frå observasjonar gjort i mottakskontroll. Her vart det registrert jamn skadefordeling med noko meir skadar i ytre del. Med omsyn til dette gjev ei lineær betraktning av SDI i ekspansjonsområdet 0% – 0,15% reelle verdiar i Tyn Dam 3.

5.5.3 SDI_{alt}

Figur 5-26 viser SDI_{alt} som funksjon av ekspansjon med ei tilpassa logaritmisk kurve. Resultatet viser at den logaritmiske kurva har korrelasjonskoeffisient $R^2 = 0,7435$.

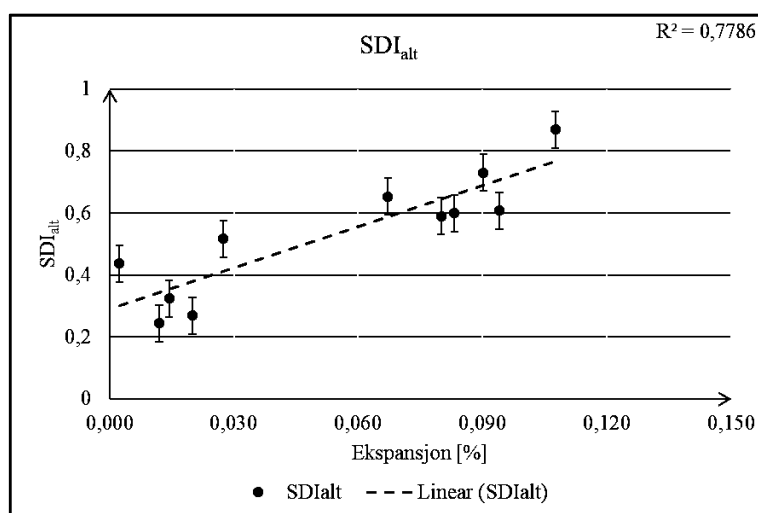


Figur 5-26: Logaritmisk betraktning SDI_{alt}

Resultatet viser at den logaritmiske kurva korollerar godt med punkta fram til ekspansjonen er ca. 0,20%. Referansesyndrane har større spreieing i verdiar for utrekna SDI_{alt}, noko som tydeleg påverkar kurvetilpassinga mellom 0,20% – 0,40% ekspansjon. Dermed vil det, som for SDI i figur 5-23, også i dette området oppstå store forskjellar i ekspansjonsverdiar ved små endringar i verdi for SDI_{alt}.

Ein interessant observasjon knytt til figur 5-23 til 5-27, er at kurvene ikkje startar i origo. Det fortel at SDI-verdi lik 0 likevel gjev ekspansjon, noko som teoretisk sett ikkje er mogleg, då SDI er avhengig av hysteresereareal. Ei forklaring er at endeflatene ikkje var heilt plane i testinga, og medførte ekstra deformasjonar i ytre delar (10 – 20 mm).

Figur 5-27 viser SDI_{alt} som funksjon av ekspansjon med ei tilpassa lineær kurve. Resultatet viser at den lineære kurva representerer punkta med ein korrelasjonskoeffisient $R^2 = 0,7786$.



Figur 5-27: Lineær betraktning SDI_{alt}

Tabell 5-7 viser estimert ekspansjon i Tyin Dam 3 og baserar seg på kurvetilpassingane i figur 5-26 og 5-27.

Prøve ID	Snitt [mm]	SDI_{alt}	Log %	Lineær %
T1-1.1	30-320	1,211	2,65	0,21
T2-9.2	260-440	0,904	0,35	0,14
T1-1.2	280-480	0,966	0,53	0,15
T2-9.3	470-670	0,926	0,40	0,14
T1-1.3	490-690	0,826	0,21	0,12
T2-6.1	495-693	1,092	1,21	0,18
T2-7.2	550-750	0,996	0,64	0,16

Tabell 5-7: Estimert ekspansjon frå SDI_{alt}

Resultata i tabellen viser at ekspansjon utrekna frå logaritmisk kurvetilpassing varierar mellom 0,21% – 2,65%, medan lineær kurvetilpassing gjev ekspansjon mellom 0,12% – 0,21%.

SDI og SDI_{alt}

Om ein samanliknar SDI og SDI_{alt} viser det seg at estimerte ekspansjonsverdiar for SDI_{alt} vert noko høgare. For å forklare dette tek ein utgangspunkt i formlane for SDI og SDI_{alt} .

$$SDI = \frac{\sum_{i=1}^5 SI_i}{\sum_{i=1}^5 (SI_i + SII_i)} \qquad SDI_{alt} = \sum_{i=1}^5 \frac{SI_i}{(SI_i + SII_i)}$$

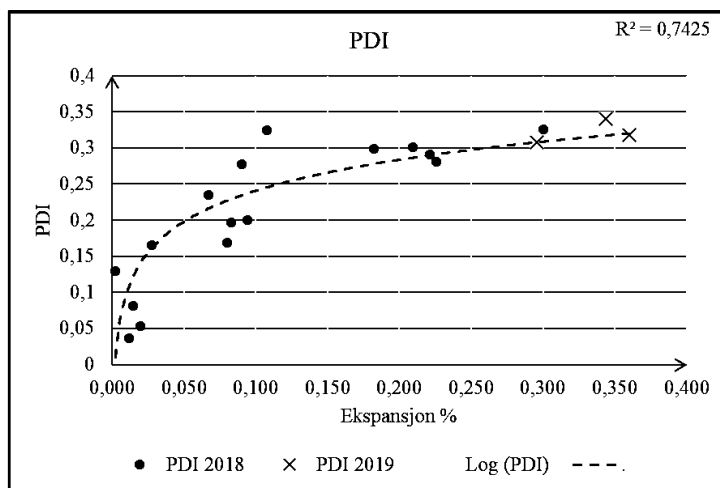
Felles for formlane er at dei tek utgangspunkt i lastsyklusane i SDT. Summen av 5 hysteresesyklusar, delt på totalt tilført energi, gjev SDI og SDI_{alt} . Utfordringa med SDI er i dei tilfella det ikkje er hysteresese. Eit eksempel kan vere i siste syklus der teljar vert 0, samstundes som ein deler på eit totalareal som har verdi større enn 0. Då vil SDI konvergere mot 0 om ein ikkje set grenser for tal syklusar, noko som ikkje samsvarar med faktiske forhold.

Med omsyn til dette utarbeida Oseland (2018) SDI_{alt} , der summeteiknet vert flytta utanfor brøken og kvar lastsyklus vert handsama for seg. Fordelen med denne metoden er at den kun reknar på syklusar med hysteresese. Resultatet frå denne metoden gjev verdiar 2-4 gonger større enn SDI og såleis større spekter å forhalde seg til i estimering av ekspansjon. Dette forsterkar også Oseland (2018) sin påstand om at SDI_{alt} er ein forbetra måte og skildre hysteresesearealet. Stigninga til grafen ved små ekspansjonar vert større, noko som fører til mindre utslag i estimert ekspansjon ved små endringar i kalkulerte SDI_{alt} verdiar.

Samstundes er det viktig å merke seg at kurvene til SDI og SDI_{alt} har ein tendens til å flate ut ved ekspansjon over 0,20%. I denne oppgåva er dette løyst ved å betrakte området 0% – 0,15% isolert ved hjelp av ei lineær betraktning. Med dette som utgangspunkt vert SDI vurdert til å vere i stand til å gje ei representativ tolking av ekspansjon i Tyin Dam 3, slik som vist i figur 5-25.

5.5.4 PDI

Figur 5-28 viser PDI som funksjon av ekspansjon med ei tilpassa logaritmisk kurve. Resultatet viser at den logaritmiske kurva har ein korrelasjonskoeffisient $R^2 = 0,74$.

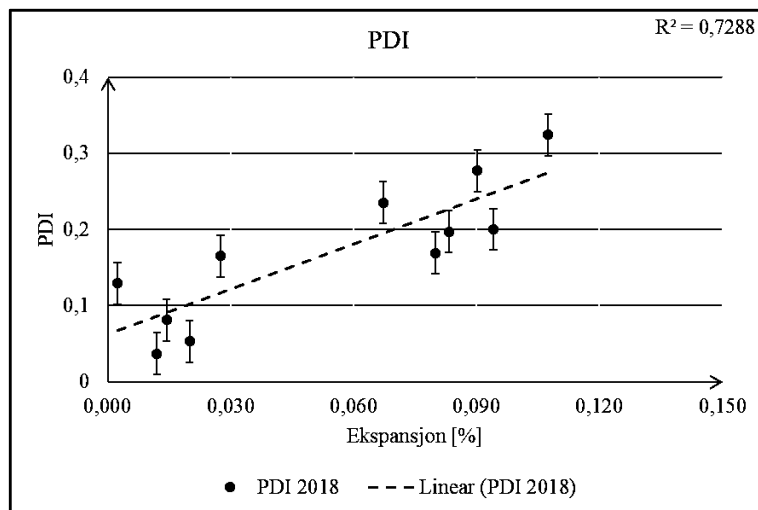


Figur 5-28: Logaritmisk betraktning PDI

Ved å nytte logaritmisk betraktning viser PDI for referansesyndrane at desse passar godt saman med Oseland (2018) sine verdiar. For PDI verdiar over 0,15 vil den logaritmiske kurva føre til at små endringar i PDI gjev store variasjonar i ekspansjon.

Likevel er det viktig å merke seg at dei fleste verdiane frå Oseland (2018) ligg i ekspansjonsområdet 0% – 0,15%, noko som isolert sett gjev meir nøyaktig estimering av ekspansjon.

Figur 5-29 viser PDI som funksjon av ekspansjon med ei tilpassa lineær kurve. Resultatet viser at den lineære kurva representerer punkta med ein korrelasjonskoeffisient $R^2 = 0,73$.



Figur 5-29: Lineær betraktning PDI

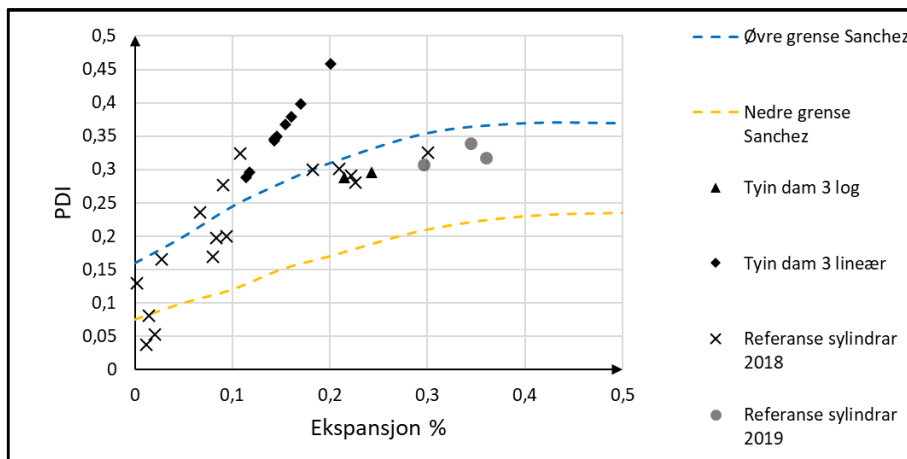
Tabell 5-8 viser estimert ekspansjon i Tyin Dam 3 og baserer seg på kurvetilpassingane i figur 5-28 og 5-29.

Prøve ID	Snitt [mm]	PDI	Log %	Lineær %
T1-1.1	30-320	0,458	0,200	3,37
T2-9.2	260-440	0,344	0,143	0,53
T1-1.2	280-480	0,345	0,143	0,54
T2-9.3	470-670	0,349	0,145	0,58
T1-1.3	490-690	0,295	0,118	0,24
T2-6.1	495-693	0,379	0,160	0,94
T2-7.2	550-750	0,398	0,170	1,27

Tabell 5-8: Estimert ekspansjon frå PDI

Resultatet i tabell 5-8 viser at ekspansjon estimert frå logaritmisk kurvetilpassing varierar frå 0,24% – 3,37%, medan lineær kurvetilpassing gjev ekspansjonar lik 0,12% – 0,20%.

Figur 5-30 viser estimert ekspansjon i Tyin Dam 3 basert på PDI, samanlikna med resultatata til Oseland (2018) og grenseverdiane utarbeida frå Sanchez et al. (2017). Verdiane frå lineær estimering av ekspansjon ligg markant høgare enn Sanchez et al. (2017) si øvre grense. Som for E_c og SDI kan dette ha samanheng med at grensene er basert på andre typar betongreseptar og tilslagstypar enn i Noreg.



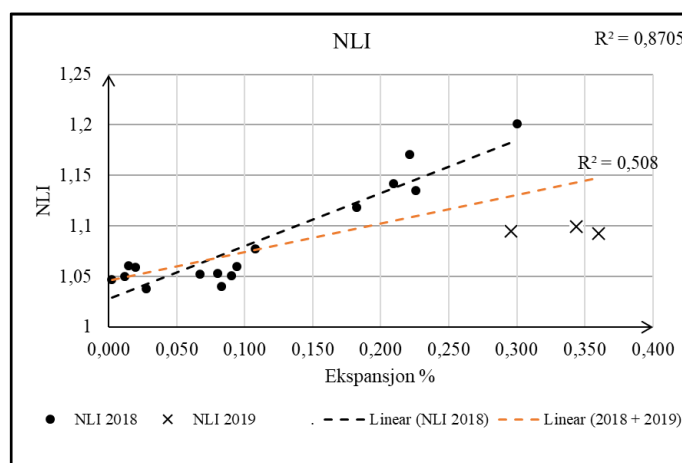
Figur 5-30: Estimert ekspansjon frå PDI samanlikna med Sanchez et al. (2017)

Den logaritmisk estimerte ekspansjonen er representert ved 2 av 8 punkt mellom øvre og nedre grense. Resterande punkt har, i følgje tabell 5-8, ekspansjonsverdiar signifikant over 0,50%. Dette som eit resultat av at den logaritmiske kurva i figur 5-28 flatar ut når ekspansjonen overstig 0,20% og små endringar i PDI gjev store utslag i estimert ekspansjon. Med omsyn til dette vert ei lineær betraktning i fyrste del av ekspansjonsområdet meir representativ for Tyin Dam 3.

Om ein samanliknar PDI i figur 5-30 med SDI i figur 5-25 ser ein tydeleg at PDI gjev eit dårlegare grunnlag for estimering av ekspansjon i Tyin Dam 3. Dette kjem også fram ved å samanlikne figur 5-25 med 5-29, der korrelasjonskoeffisienten er noko høgare for SDI enn PDI. Med omsyn til dette kan det virke som SDI er eit meir påliteleg parameter enn PDI for å estimere ekspansjon i Tyin Dam 3.

5.5.5 NLI

Figur 5-31 viser NLI som funksjon av ekspansjon. For NLI (2018) er korrelasjonskoeffisienten $R^2 = 0,87$. Om ein legg til verdiane for referansesyldrane viser det seg at R^2 vert redusert til verdi lik 0,51. Dette gjev store utslag ved estimering av ekspansjon i området 0,10% – 0,40%.



Figur 5-31: Lineær betraktning NLI

I følge Oseland (2018) forsvinn den lineære sammenhengen når ein overskridd ekspansjonsnivå lik 0,20%. Resultata frå referansesyldrane (figur 5-31) forsterkar denne påstanden.

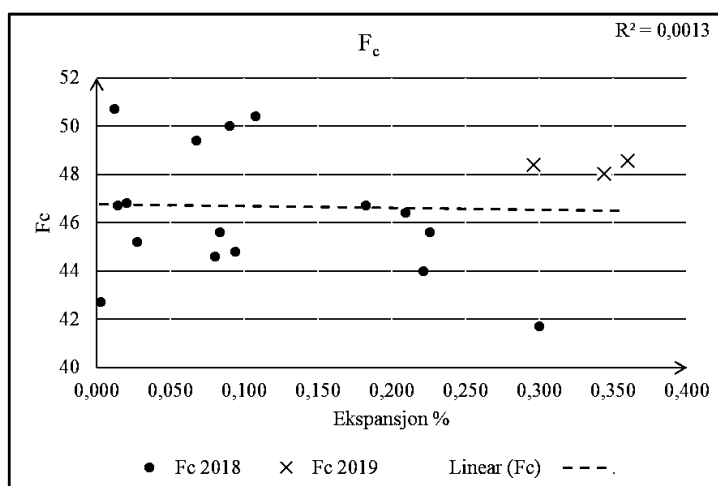
Prøve ID	Snitt [mm]	NLI	Lineær %
T1-1.1	30-320	1,248	0,42
T2-9.2	260-440	1,252	0,36
T1-1.2	280-480	1,176	0,43
T2-9.3	470-670	1,179	0,33
T1-1.3	490-690	1,165	0,28
T2-6.1	495-693	1,214	0,29
T2-7.2	550-750	1,203	0,26

Tabell 5-9: Estimert ekspansjon NLI

I tabell 5-9 er estimert lineær ekspansjon rekna ut frå regresjonslikninga til NLI (2018) (figur 5-31). Dei utrekna verdiane varierar mellom 0,26% – 0,43%. Med omsyn til dette vert NLI vurdert som ikkje anvendbar for estimering av ekspansjon i Tyin Dam 3.

5.5.6 Trykkfastheit

Figur 5-32 viser trykkfastheit (f_c) som funksjon av ekspansjon med ei tilpassa lineær kurve. Resultatet viser at den lineære kurva har ein korrelasjonskoeffisient $R^2 = 0,0013$. Det kjem tydeleg fram at trykkfastheita ikkje kan nyttast som parameter då variasjon i verdiane er for stor. Med bakgrunn i dette er ikkje f_c nytta som parameter for å estimere ekspansjon i Tyin Dam 3.



Figur 5-32: Lineær betraktning trykkfastheit (f_c)

Observasjoner estimering av ekspansjon Tyin Dam 3

Ut frå resultatata framstilt i kapittel 5.10, kjem det fram at ei lineær betraktning av E_c , SDI og SDI_{alt} i ekspansjonsområdet 0% – 0,15%, gjev ei mest reell framstilling av ekspansjonsnivået i Tyin Dam 3. Tabell 5-10 viser ei samanlikning av lineær estimert ekspansjon i dette området, basert på aktuelle parametarar.

Prøve ID	Snitt	SDI lineær ekspansjon	SDI _{alt} lineær ekspansjon	E _c lineær ekspansjon
	[mm]	[%]	[%]	[%]
T1-1.1	30-320	0,18	0,21	0,19
T2-9.2	260-440	0,11	0,14	0,15
T1-1.2	280-480	0,13	0,15	0,14
T2-9.3	470-670	0,12	0,14	0,15
T1-1.3	490-690	0,10	0,12	0,14
T2-6.1	495-693	0,15	0,18	0,19
T2-7.2	550-750	0,13	0,16	0,19
Gj.snitt		0,13	0,16	0,16

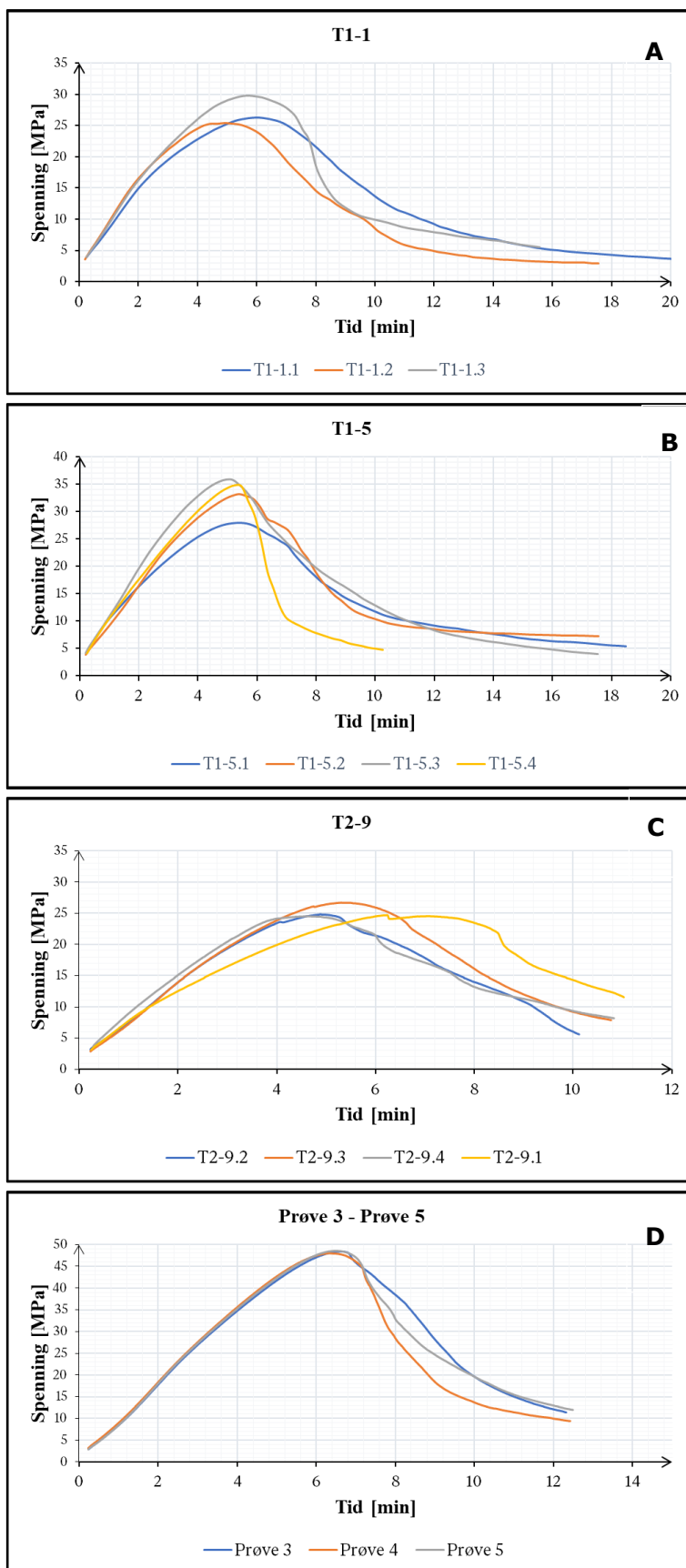
Tabell 5-10: Samanlikning av lineær estimert ekspansjon Tyin Dam 3

For å seie noko om kven av desse parametranne som gjev best tilnærminga, kan korrelasjonskoeffisientane for den lineære betraktninga gje svar. E_c har $R^2 = 0,88$, medan SDI og SDI_{alt} begge har $R^2 = 0,78$. Legg ein dette til grunn vil E_c gje den beste tilnærminga til estimering av ekspansjon. Dette betyr at estimert ekspansjon vil variere mellom 0,14% – 0,19%, med ein gjennomsnittleg ekspansjon lik 0,16%.

Ved å sjå dette i samanheng med makro- og mikroanalyse av kjernemateriell, underbyggjer resultatet frå desse undersøkingane estimert ekspansjon basert på E_c . Ut frå mottakskontroll (vedlegg 7) av kjerneprøvane var inntrykket at skadeomfanget i hovudsak var uniformt i alle prøvane, men likevel noko meir i ytre del. Tynn- og planslipanalyse teiknar også eit bilete av ein opprissa struktur og med jamn skadefordeling innover i betongen (kapittel 5.2). Det vart også registrert store mengder riss i og gjennom tilslagskorn, noko som kan relaterast til tilleggsspenningar og ekspansjon (figur 5-1 og 5-2). Under inspeksjon av Tyin Dam 3 vart det også registrert riss, krakeleringsmønster og til dels grove sprekker i øvre del av dammen (figur 3-3). Med omsyn til dette må estimert ekspansjon basert på E_c vurderast som påliteleg.

5.5.1 Arbeidsdiagram

I etterkant av SDT vart kvar einskild prøve køyrt til brot med hastigheit 0,1 MPa/s (med tilhøyrande fullt arbeidsdiagram). Vedlegg 22 viser arbeidsdiagram for kvar einskild prøve. Figur 5-33 viser resultatata for kvar kjerneprøve (A-C) og referansesyindrane (D).



Figur 5-33: Arbeidsdiagram for kjerneprøver

Arbeidsdiagramma viser at eigenskapane knytt til duktilitet (plastiske deformasjonar før brot) endrar seg innover i Tyin Dam 3. Dette kjem tydeleg fram ved å samanlikne ulik djupn (tabell 5-11) i kjerneprovane. A, B og C er prøvar frå Tyin Dam 3, medan D er frå referansesyndrarar støypt i laboratoriet. Samanliknar ein A og C med D ser ein tydeleg korleis kurvene i A og C går i retning av aukande ekspansjon. Sidan kurvene i D kjem frå prøvar med omtrentleg lik ekspansjon vil dei difor ligge tett saman. Ut frå A og C får betongen mindre brottøying ved aukande ekspansjon (tabell 5-11). Ei forklaring på dette er at riss og gel gir bidreg i form av stivheit, noko som endrar duktilitetsegenskapane i betongen.

Arbeidsdiagramma gjev også informasjon om trykkfastheit i Tyin Dam 3 (tabell 5-11). Dei viser variasjon mellom 24,5 – 35,9 MPa, med gjennomsnitt på 28,6 MPa. Resultatet viser at ytre del av kjernestrengen har signifikant lågare trykkfastheit.

Prøve ID	Snitt [mm]	Trykkfastheit (f_c) [MPa]
T1-1.1	30 – 320	26,3
T1-1.2	280 – 480	25,4
T1-1.3	490 – 690	29,8
T1-5.1	10 – 210	27,9
T1-5.2	220 – 420	33,2
T1-5.3	420 – 620	35,9
T1-5.4	630 – 830	34,9
T2-9.1	50 – 250	24,7
T2-9.2	260 – 440	24,8
T2-9.3	470 – 670	26,7
T2-9.4	680 – 880	24,5
Gj.snitt		28,6

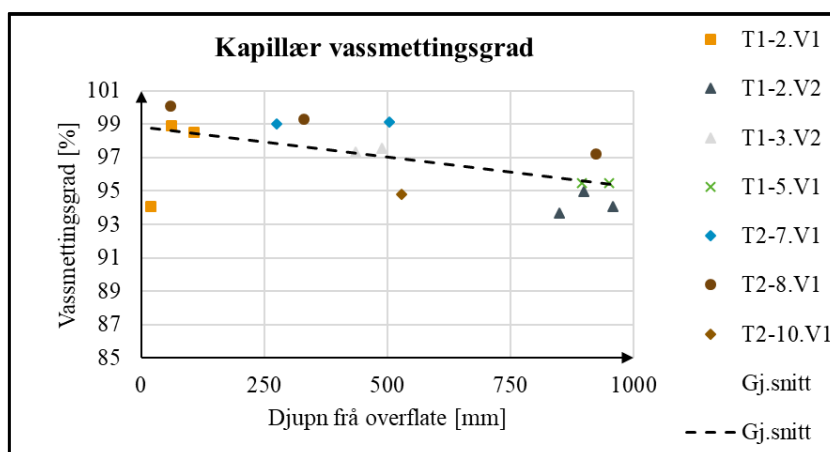
Tabell 5-11: Trykkfastheit Tyin Dam 3

Det er viktig å ta omsyn til at trykkfastheita ein oppnår i etterkant av SDT, er noko lågare enn den reelle. Dette kan forklarast ved at ein køyrer deformasjonsstyrt pålasting med liten lastpåføring over tid. Med denne metoden får betongen tid til omstrukturering, noko som til dømes gjer at riss lukkar seg og gel vert samanpressa. Spenningane i toppunktet vil ikkje auke sjølv om lastpåføring vert større. Betongen vil deformerast og det tek lenger tid før prøven går til brot. Ved statisk trykktesting påfører ein trykk med 1 MPa/s fram til prøven går til brot. Med denne metoden vil ikkje betongen omstrukturere, og trykkfastheita som vert registrert er større (ca. 5%).

5.6 PF/DCS

Kapillær vassmettingsgrad

Kapillær vassmettingsgrad gjev utrykk for kor stor del av kapillærporene som er fylt med vatn. Figur 5-34 viser kapillær vassmettingsgrad som funksjon av djupn innover i Tyin Dam 3. Den stipla linja er ein lineær betraktning av gjennomsnittet og viser at vassmettingsgraden vert redusert frå 100% i ytre sjikt, til ca. 95 % i indre.

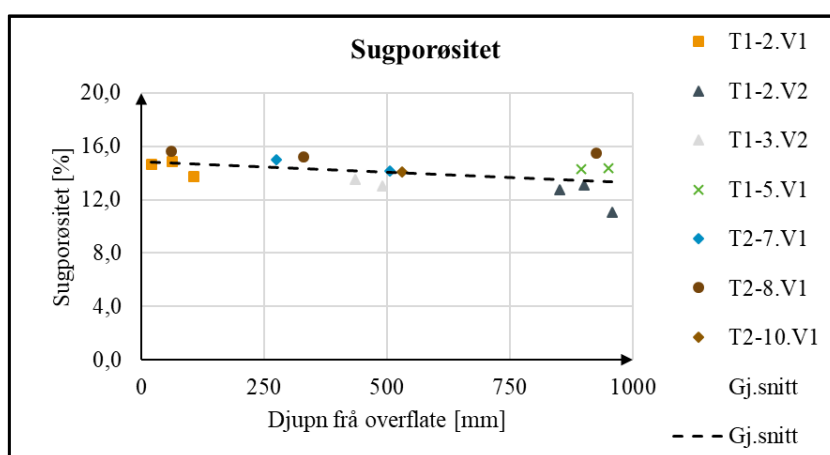


Figur 5-34: Kapillær vassmettingsgrad Tyin Dam 3

Figur 5-34 viser at betongen i Tyin Dam 3 har høgt vassinnhald. Ei forklaring på dette kan vere at alkalireaksjon har opna opp konstruksjonen. Dette har medført ekspansjon, riss og gjeve fukt moglegheit til å trenge inn i betongen.

Sugporøsitet

Sugporøsiteten gjev eit uttrykk for kor stort innhald i volum-% den aktuelle betongen har av kapillærporer. Figur 5-35 viser sugporøsitet som funksjon av djupn innover i Tyin Dam 3. Den stipla linja er ei lineær betraktning av gjennomsnittet og viser at sugporøsiteten er størst i ytre del ca. 15% og minkar innover til ca. 12% ved djupn 1000 mm.

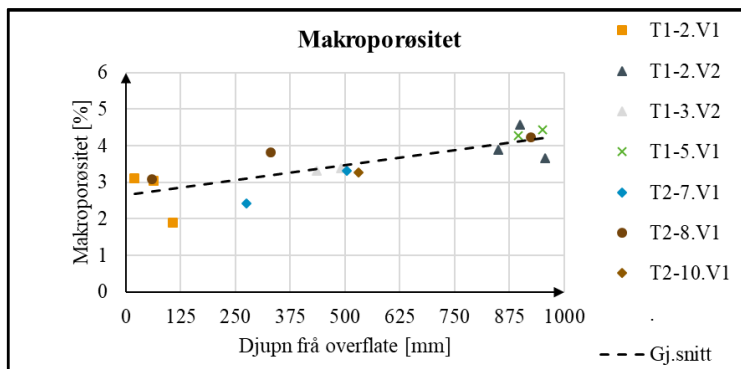


Figur 5-35: Sugporøsitet Tyin Dam 3

Ei forklaring på dette kan vere variasjonar i betongkvalitet og sementpasta gjennom tverrsnittet. Betong med høgt v/c-tal gjev dårlegare kvalitet og meir sugsevne, då større mengd sementpasta vil føre til meir gel og kapillærporer som sug til seg vatn. Resultatet viser også at variasjonen i sugporøsitet er relativt liten, men det er eintydig at sugporøsiteten er større i delar av dammen med større skadeomfang.

Makroporøsitet

Makroporøsitet gjev utrykk for kor stort innhald i volum-% den aktuelle betongen har av luftporer eller større porer som ikkje sug vatn. Figur 5-36 viser makroporøsitet som funksjon av djupn innover i Tyin Dam 3. Den stipla linja er ei lineær betraktning av gjennomsnittet og viser at makroporøsiteten aukar frå ca. 2,5% i ytre del, til over 4,0% 1000 mm inn i damkonstruksjonen.

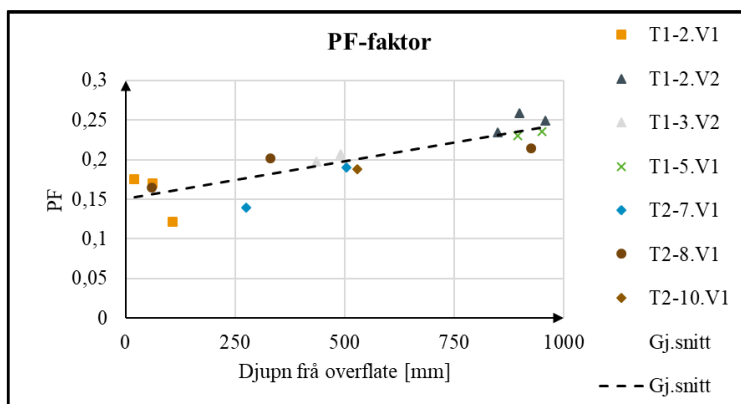


Figur 5-36: Makroporøsitet Tyin Dam 3

Aukande makroporøsitet gjev større motstand mot frost. Om vatn fryser til is i porestrukturen vil høgare makroporøsitet skape meir rom som iskrystallar kan ekspandere inn i. Vanlegvis er det tilstrekkeleg med makroporøsitet større en 3,0% om det er dispergerande, finfordelte luftbobler iblanda i produksjon av betongen. I Tyin Dam 3 er det ikkje tilsett luftinnførande stoff og kun naturleg innblanda luft påverkar potensialet for frostskeidar. Makroporøsiteten er tydeleg lågare i ytre del der det er registrert meir skadar. Vidare overgår makroporøsiteten grensa på 3,0%, ca. 250 mm inn i konstruksjonen. Det vil sei at det er større risiko for frostskeidar i betong, 0 – 250 mm innover i dammen.

PF-faktor

PF vert rekna ut frå verdiar for porøsitet og seier noko om frostbestandigheit. Figur 5-37 viser PF-faktor som funksjon av djupn innover i Tyin Dam 3. Den stipla linja er ei lineær betraktning av gjennomsnittet og viser at PF aukar frå ca. 0,15 i ytre del til underkant av 0,25, 1000 mm innover i dammen.



Figur 5-37: PF-faktor Tyin Dam 3

Sett i samanheng med figur 5-35 og 5-36 er dette som forventa då PF er gitt som:

$$PF = \frac{\text{Makroporøsitet}}{\text{Sugporøsitet} + \text{Makroporøsitet}}$$

Ut frå PF-faktor kan det diskuterast i kva grad betong er frostbestandig. PF større enn 0,20 gjev som regel frostbestandig betong, om den ikkje vert utsett for saltholdig vatn. For at grensa på 0,20 skal vere gyldig, forutsett det også at betongen inneheld ei viss mengd luft. I figur 5-37 kryssar den lineære kurva $PF = 0,20$ i djupn ca. 500 mm. Ved isolert å sjå på PF som ein styrande faktor for frostskeidar, vil dette bety at risikoen minkar markant frå 500 mm inn i Tyin Dam 3. Ved å samanlikna PF med makroporøsitet, viser figur 5-36, at ved djupn 500 mm er makroporøsiteten ca. 3.2%. Med omsyn til dette vil betongen vere frostbestandig også noko under $PF = 0,20$, då det vil vere tilstrekkeleg mengd makroporøsitet.

Observasjonar frå Tyin Dam 3 samanlikna med SDT og PF/DCS

For Tyin Dam 3 er det nedstraumsside som særleg er påverka av oppsprekking og byrjande frostskeidar. Krakelering, avskaling, grove riss og kalkutfelling karakteriserer overflata av betongen. Inntrykket frå feltobservasjonar og mottakskontroll vert forsterka gjennom analysane SDT og PF/DCS av betongen. Ei forklaring på skadebilete er at nedstraumsside særleg er utsett for frostsyklusar på hausten og ettervinteren. I tillegg er sida vendt mot nord-vest, noko som medfører høg soleksponering. I desse periodane vil nedstraums side på dagtid verte oppvarma og tørka av sola, medan den om natta vil fryse. Større temperaturvariasjon i syklusane gjev større skadar. Truleg vil betongen i dette området sykle ein gong i døgnet mellom pluss og minusgrader. Sidan oppstraumsside ligg vendt mot sør-aust, vil denne i same periode ikkje i like stor grad verte utsett for temperaturvariasjonar og dermed bli mindre frostpåverka.

Om ein relaterer desse observasjonane til resultatata frå PF/DCS, viser det seg at ytre delar av betongen på nedstraumsside av Tyin Dam 3 er mest utsett for frostskeidar. Som eit resultat av alkalireaksjon er konstruksjonen blitt meir mottakeleg for vatn. Dette gjeld særleg nedstraums, då det i dette området ikkje er nytta armering og konstruksjonen ekspanderer fritt. Frå figur 5-34 ser ein at vassmettingsgrada er nær 100% ved overflata. Samstundes viser figur 5-36 og 5-37 at makroporøsiteten i same området er ca. 2,8 og PF er 0,15. Samspelet mellom desse parametrane fører til at betongen ikkje har frostmotstand nok og dermed får skadar og volumtap, særleg i ytre del. For indre delar av konstruksjonen er temperatursvingingane mindre. Vassmettingsgrada er også lågare og makroporøsitet og PF-verdien er stor nok til at betongen ikkje tek skade av frost.

Kor djupt skadane oppstår, og kor raskt dei breier seg innover i betongen, må sjåast i lys av kritisk vassmettingsgrad, makroporøsitet og PF-verdi. Resultatet av analysane i denne oppgåva viser at skaden oppstår i djupn 0 – 250 mm innover i dammen. Særleg vil høg vassmettingsgrad, saman med aukande tal frostsyklusar (og temperatursvingingane i desse), gje større fare for nedbryting. Overgår ein kritisk vassmettingsgrad (punktet der frostskeidar oppstår) vil det gje ei logaritmisk utvikling i skadebilete. Ut frå figur 5-34 ligg kritisk vassmettingsgrad i området 96 – 98%. Med omsyn til dette kan det utleiast at framtidig skadeutvikling avheng av samspelet mellom ekspansjon (knytt til alkalireaksjon), fukttilgang og frost.

5.7 DRI

Kapittelet tek føre seg resultat frå DRI-analyse, utført ved Laval University i Canada. Til opplysning er Tyin Dam 4 nytta som namn i rapporten, det riktige er Tyin Dam 3. For lettare å tolke DRI-analysen, vert tabell 5-12 til 5-14 frå kapittel 2.7.3, også presentert i dette kapittelet. I teksten vert det nytta to omgrep for DRI. I omtale av DRI for kvar rute isolert, vert omgrepet *verdi* nytta. I omtale av summert DRI, vert omgrepet *tal* nytta. Fullstendig DRI-rapport for Tyin Dam 3 er presentert i vedlegg 19.

Damage classification for ASR	Stiffness loss	Compressive strength loss (%)	Reference expansion level (%)	DRI	
				Lab	Field structure
Negligible	-	-	0.00-0.03	100-155	< 200/250
Marginal	5-37	(-) 10-15	0.04 ± 0.01	210-400	200/250-400
Moderate	20-50	0-20	0.11 ± 0.01	330-500	400-700/750
High	35-60	13-25	0.20 ± 0.01	500-765	>700-750
Very high	40-67	20-35	0.30 ± 0.01	600-925	

Tabell 5-12: DRI-tal og skadegrad (Fournier et al., 2012)

DRI	bin	Degree of ASR
0.0 1.0	1	Trace
1.0 2.0	2	Acceptable
2.0 4.0	3	Moderate
4.0 6.5	4	High
6.5 9.0	5	Severe
9.0 12.0	6	Very severe
12.0 100	7	Extreme

Tabell 5-13: DRI-verdi og skadegrad

Petrographic features (Table 1)		Acronyms (Table 1)	Weighing factors	
			Old Method	Modified Method
			Grattan-Bellew and Mitchell (2006)	Villeneuve et al. (2012)
Crack in the particles (> 1 mm)	Closed (without reaction products)	CCA	0.75	0.25
	Opened or in a fine network (without reaction products)	OCA	4	2
	Opened or in a fine network (with reaction products)	CA + RP	2	2
Crack in the cement paste	Without reaction products	CCP	2	3
	With reaction products	CCP + RP	4	3
Debonded aggregate (> 1 mm)		Debon	3	3
Reacted aggregate particle (> 1 mm)		RAP	---	2
Reaction rim (> 1 mm)		RR	0.5	---
Reaction products in voids of the cement paste		RPV	0.5	---

Tabell 5-14: Vektingsparameter for DRI (Villeneuve et al., (2012))

5.8 Sjikt 0 – 300 mm Tyin Dam 3

Figur 5-38 viser polert overflate av sjikt 0 – 300 mm i kjerneprøve 4, frå Tyin Dam 3.



Figur 5-38: Planslipt overflate av sjikt 0 – 300 mm

Figur 5-39 syner skadegradskart med individuelle verdiar i sjikt 0 – 300 mm. Figur 5-40 viser skadegradskart med utjamna verdiar i same sjikt. Resultatet i 5-40 viser at det i området 0 – 150 mm er registrert betydeleg mindre skadar knytt til alkalireaksjon enn i sjikt lenger inn i prøven.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	6	6	5	0	0	3	0	2,25	2	5	4	0,25	4	5,25	12,25	6	15	2,25	9,25	7,25	11	4,25	0	2,3	15	6	15	12	5	9
B	4	0	0	3	0	10	2	3	5,75	2	4	12	2	5,25	4	3,25	6	12	8,75	7,25	0	6	4	2	5,25	5	2	3,25	0	8
C	0	0,25	4	3	4	0	5,25	2	6	8	7	0,25	3	3,25	3	7,25	8	2	6	2	2	0	7	5	2	8	12	12	4	3
D	0,25	2	4	3	3	4	5	0,5	4	4	7,25	0,25	0	0	2	0	6	6	5	6	5	10	7	4,25	5	7	7	10	5	10
E	2	0	0,25	2	0	2	0,25	0	2,25	4,25	11	4	17	9,25	3	0	6	11	19	3	9	19	2	6	7	4	10	0	12,25	0
F	0	4	4	0	0	7	2	0	2,25	0,5	8	5,5	6	2	10	15	2	14	19	2	6	4	4	2	2	0	19	9	12	7
G	0	2	4	0	0	2	4,25	3	0	2	9	0,25	12	10,25	7	9	19	0	2	4	10	3	9	5	12	14	10,25	10	14	9
H	0	0	4	4,25	2,25	4	6	7	2	6	6	0	5	7,75	5	0,25	7	0	0	2	3,25	10	10	5	7	2	0	0,25	2	4

Figur 5-39: Originalt DRI skadegradskart 0 – 300 mm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	4	3,5	2,33	1,333	2,67	2,5	3,375	2,5	3,33	3,79	4,54	4,38	4,79	5,46	6	7,75	7,42	8,88	7,79	7,25	5,96	4,21	6,54	8,21	9,38	8,04	7,21	6,21	6,21	5,5
B	2,708	2,806	2,36	2,111	2,56	2,694	3,056	3,14	4	4,86	4,72	4,06	3,92	4,67	5,5	7,19	6,86	7,69	6,31	5,94	4,42	3,81	5,69	7,03	7,92	7,81	8,36	7,25	6,25	4,83
C	1,083	1,611	2,14	2,667	3,33	3,694	3,528	3,72	3,92	5,33	4,97	3,97	2,89	2,5	3,11	4,39	5,61	6,64	6,11	4,67	4,25	4,56	5,03	4,61	4,83	5,92	7,36	6,14	6,14	5
D	0,75	1,417	2,06	2,583	2,33	2,611	2,111	2,58	3,22	5,75	5,11	5,53	4,11	4,5	3,08	3,92	5,14	7,44	6,44	6,11	6,22	6,78	6,69	5,03	5,36	6,89	7,78	8,03	6,25	5,71
E	1,375	1,833	2,14	1,806	2,33	2,583	2,306	1,58	1,75	4,61	4,97	6,56	4,89	5,47	4,58	4,89	6,67	9,56	9,22	8	7,11	7,33	6,47	4,36	4,14	6,78	7,33	9,36	7,25	7,71
F	1,333	1,806	1,81	1,139	1,44	1,944	2,278	1,33	1,36	4,14	4,94	8,08	7,36	8,5	7,28	7,67	8,22	9,78	8	8,89	7,56	8,22	6	5,44	5,78	8,69	8,47	10,7	8,14	9,04
G	1,5	2	2,47	2,056	2,17	3,056	3,917	2,94	2,53	3,97	4,14	5,75	5,42	7,22	7,36	8,03	7,14	6,78	4,78	6,25	5,81	7,47	5,78	6,22	5,44	7,36	7,17	8,5	7,47	8
H	0,5	1,667	2,38	2,417	2,08	3,083	4,375	3,71	3,33	4,17	3,88	5,38	5,88	7,83	6,54	7,54	5,54	4,33	1,33	4,88	6,71	8,88	7	8	7,5	7,54	6,08	6,08	6,54	7,25

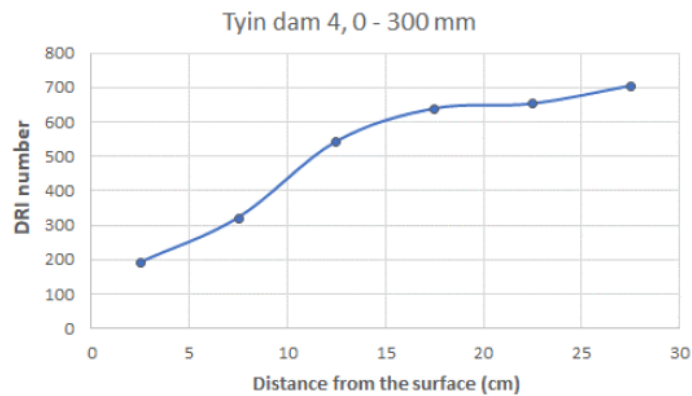
Figur 5-40: Utjamna DRI skadegradskart 0 – 300 mm

I samtale med Jan Lindgård (SINTEF) 03.06.19, kom det fram at ei forklaring på mindre skadeomfang i ytre sjikt kan knytast til alkali leaching (lekkasje av alkaliar). Dette mellom anna på grunn av vatn som strøymer gjennom dammen, frå opp- til nedstraumsside. Den viktigaste faktoren som fører til lekkasje, er likevel tilgang på vatn lokalt på nedstraumsside. Dette via sprekkar i damkruna, og riss og sprekkar i overflata.

Lindgård peikar vidare på at erfaringar SINTEF har frå liknande konstruksjonar som Tyin Dam 3, også viser at alkaliinnhaldet i ytre sjikt (0-150 mm) er betydeleg mindre enn lenger innover i tverrsnittet. Djupna på sona med mindre skadeomfang, er avhengig av kor open strukturen i betongen er. Meir open struktur, og dermed større tilgang på fukt, gjev større alkali leaching.

I artikkel frå analyse av kjernemateriell i Votna Dam 1 (Plusquellec et al., 2018), er det utført Mikro XRF-analyse med tilhøyrande alkaliprofil. Resultata viser også her at ytre sjikt av kjerneprøvene har betydeleg mindre mengd alkaliar i området 0 – 150 mm.

Figur 5-41 viser grafisk framstilling av DRI-verdi plotta mot distanse frå overflata. Resultatet viser at, ved å vurdere kvart datapunkt som gjennomsnittet av ei sone på 40 cm², vil DRI-talet tydeleg auke i området 0 – 150 mm før det flatar ut i området 150 – 300 mm.

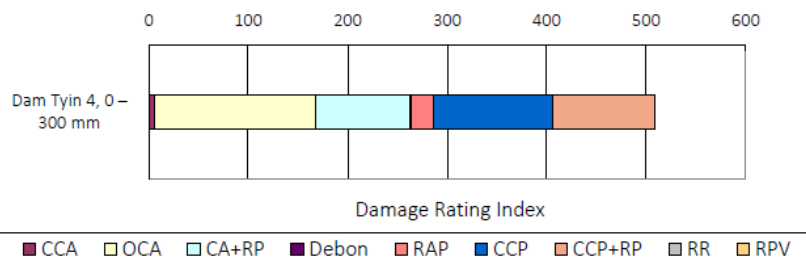


Figur 5-41: Skadeprofil frå 0 – 300 mm i Tyin Dam 3

I samtale med Lindgård, kom det også fram at DRI-analysar i same sjikt frå Votna Dam 1, har same DRI-profil som Tyin Dam 3.

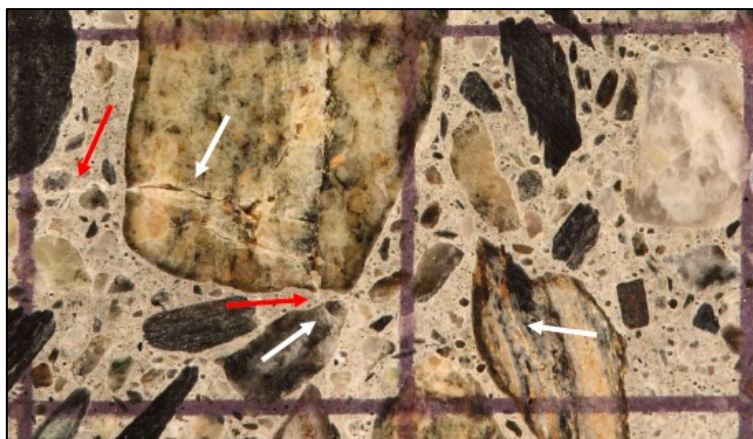
Figur 5-42 viser detaljert oversikt over vektingsparameter registrert i DRI-analyse av planslip i området 0 – 300 mm. Resultatet viser at hovudvekta av observasjonar kjem frå OCA (31,8%), CCP (23,5%) og CCP+RP (20,2%). Forklaring til forkortingane (tabell 5-14).

	CCA	OCA	CA + RP	Debon	RAP	CCP	CCP + RP	DRI
Detailed DRI (per symptom counted)	6	162	96	1	22	120	103	510
DRI weight (%)	1.2	31.8	18.8	0.2	4.3	23.5	20.2	



Figur 5-42: Detaljert DRI resultat for 0 – 300 mm. Vektingsfaktorar etter Villeneuve et al. (2012)

Figur 5-43 viser mikroskopisk bilete av planslipt betong frå sjikt 0 – 300 mm. Kvit pil viser registrerte riss og sprekkar i grovt tilslag. Raud pil viser registrert riss i sementpasta.



Figur 5-43: Mikroskopisk bilete av planslipt betong 0- 300 mm

5.9 Sjikt 470 –670 mm Tyn Dam 3

Figur 5-44 viser polert overflate av sjikt 470 – 670 mm i kjerneprøve 4, frå Tyn Dam 3.



Figur 5-44: Planslipt overflate av sjikt 470 – 670 mm

Figur 5-45 viser skadegradskart med individuelle verdiar i sjikt 470 – 670 mm. Figur 5-46 viser skadegradskart med utjamna verdiar i same sjikt. Resultatet i figur 5-46 viser at det er registrert jamn skadefordeling i prøven.

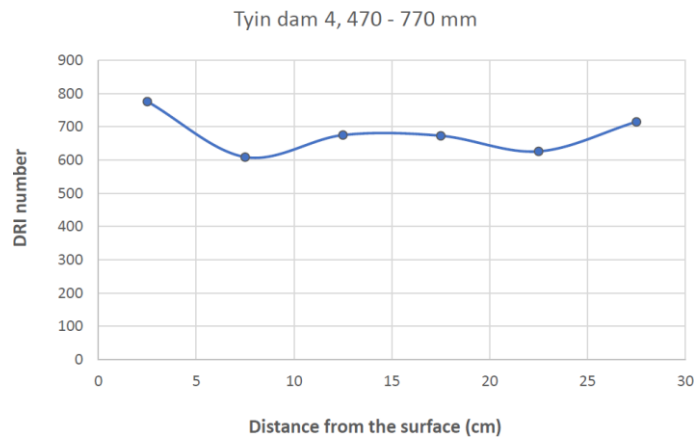
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B	9,25	9	7,25	11	3	0	3	2,25	0	10,25	2	5	2	2	4	8	2	2,25	9	0	9	3	3	7,25	5	1	2	4	10	6
C	7	11	3	7,25	11,25	13	2	5	4	10	9	8	7	8	7,5	8	8	8	12	7	11	4	12	9	14	5	13	7	2	7
D	10	2	3	2	5	2	2	2	11	9	0	3	8	6	15	10	7,25	3	5	2	5	9	5	6	4	6	2	6	5	5
E	4	7	4	0	9	2	2	15	13	3	11	13	8	7,25	10	3,25	3	10	13	7	2	12	9	8	3	9	2	6	3	17
F	8	3	2	8	16	16,25	5	11,25	4	5	2	4	10	2	9	8	5	10	13	16	2	7	3	10,25	0,25	7	10	8	8	0,25
G	7	12	7	10	13,25	0	8	5	22	4	7	8,25	7,25	16	6,25	10	10	8	10	15	6	13,25	2	0	5	8	12	12	8	0,25
H	7	3	6	2	2	5	7,25	2,25	11	13	3	6,5	16	6	10	11	13,25	9	2	17	7	22	16,25	5	5	0	15	4	5,25	

Figur 5-45: Originalt DRI skadegradskart 470 – 670 mm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	11,06	10,79	9,75	7,917	4,83	2,833	2,542	3,04	3,92	4,71	5,38	4,33	3,67	2,83	3,17	3,5	3,71	2,04	0,88	0	1,17	2,83	4,38	4,88	7,38	7	6,04	8,88	9,54	13,4
B	10,38	9,528	10,8	9,639	8,47	4,583	3,694	3,25	4,72	5,69	6,58	5,56	5	4,39	4,72	4,39	4,58	4,47	4,14	3,89	3,22	4,89	4,69	6,14	7,03	8,11	6,69	8,25	8,14	10,3
C	6,542	5,833	7,14	7,833	7,81	4,361	3,25	3,47	5,94	6,14	6,25	4,89	5,44	6,61	7,61	7,19	5,39	4,94	4,58	5,22	4,67	6,33	4,78	5,44	6,33	8,22	7,14	7,03	6,81	8
D	6,833	5,667	6,33	6,917	7,47	5,139	4,778	6,22	8	7,78	7,33	7,44	7,58	8,53	8,33	7,44	5,83	7,36	7,67	7,67	6,56	7,67	6,56	6,11	5,44	6,33	6,11	5	6,44	6,5
E	5,667	4,778	3,44	5,444	6,58	6,472	6,278	7,25	8,14	6,44	5,56	6,56	6,81	8,36	7,83	7,83	6,28	7,36	8,44	7,22	6,89	6	7,03	4,72	5,28	4,81	6,22	5,56	6,47	6,38
F	6,833	6	6,89	8,694	9,17	7,833	7,056	9,47	9,14	7,89	6,14	7,61	8,19	8,42	7,97	7,17	7,47	9,11	11,3	9,33	8,92	6,25	7,17	4,5	5,61	6,25	8,22	7,67	6,94	6,08
G	7,5	6,111	6,89	8,361	8,94	7,972	6,556	8,42	8,39	8,78	6,14	6,56	7,89	8,78	9,25	8,36	9,69	9,14	9,92	9	9,47	8,81	8,97	7,08	6,306	5,81	8,56	8,56	6,75	4,29
H	7,25	7	8,17	8,208	6,88	5,917	4,583	9,25	9,21	11,3	7,38	7,17	9,17	9,67	10,7	8,88	10,7	9,04	8,38	8,33	10	11,2	10,1	8,38	6,54	5,83	8,67	8,5	7,42	4,38

Figur 5-46: Utjamna DRI skadegradskart 470 – 670 mm

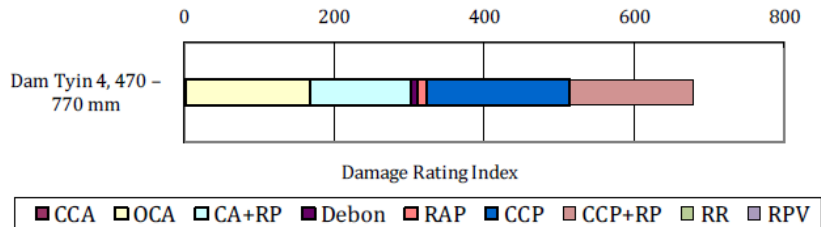
Figur 5-47 viser grafisk framstilling av DRI-talet plotta mot distanse frå overflata. Resultatet viser at, ved å vurdere kvart datapunkt som gjennomsnittet av ei sone på 40 cm², er DRI-talet i området 470 -520 mm noko høgare enn i resterande del av prøven.



Figur 5-47: Skadeprofil frå 470 – 770 i Tyin Dam 3

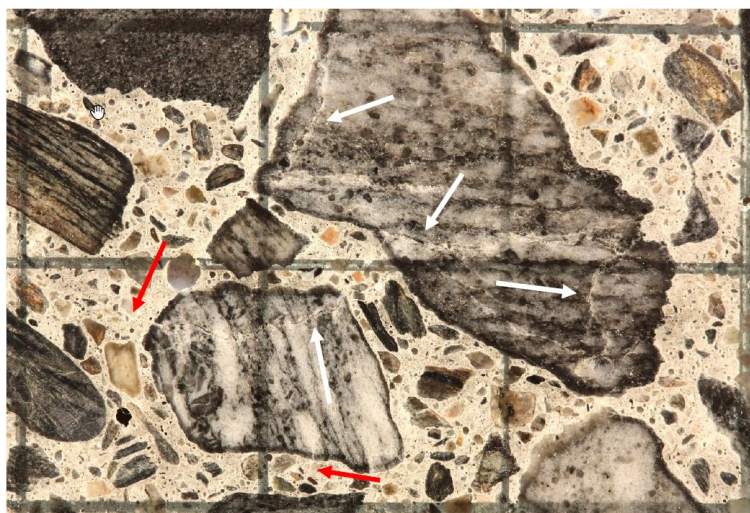
Figur 5-48 viser detaljert oversikt over vektingsparameter registrert i DRI-analyse av planslip i området 470 – 670 mm. Resultatet viser at hovudvekta av observasjonar kjem frå CCP (28,2%), OCA (24,3%) og CCP+RP (24,1%). Forklaring til forkortingane (tabell 5-14).

	CCA	OCA	CA + RP	Debon	RAP	CCP	CCP + RP	DRI
Detailed DRI (per symptom counted)	3	165	134	9	13	191	164	680
DRI weight (%)	0.5	24.3	19.8	1.3	1.8	28.2	24.1	



Figur 5-48: Detaljert DRI resultat for 0 – 300 mm. Vektingsfaktorar etter Fournier et al. (2012)

Figur 5-49 viser mikroskopisk bilete av planslipt betong frå sjikt 470 – 670 mm. Kvit pil viser registrerte riss og sprekker i grovt tilslag. Raud pil viser registrert riss i sementpasta.



Figur 5-49: Mikroskopisk bilete av planslipt betong 0- 300 mm

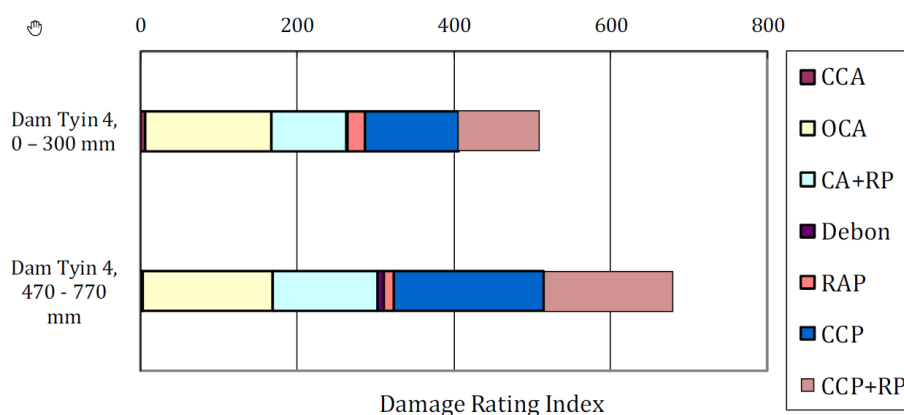
5.10 Samanlikning av sjikt 0 – 300 mm og 470 – 670 mm

Figur 5-50 syner samla resultat frå DRI. For sjikt 0 – 300 mm er DRI-talet 510, og for sjikt 470 – 670 mm er talet 580. Tabell 5-14 indikerar at skadegraden i planslipa varierar frå moderat/høg til høg.

Specimen Name	Modified DRI	Severity of ASR-related damage
Dam Tyn 4, 0 – 300 mm	510	Moderate to high
Dam Tyn 4, 470 – 770 mm	680	High

Figur 5-50: Summert DRI-tal for dei to prøvane frå Tyn Dam 3

Figur 5-51 viser ei detaljert oversikt over kva for petrografiske vektingsparameter som ligg til grunn for summert DRI-tal. Det kjem fram av figuren at det er høgare DRI-tal i sjikt 470-670 mm. Dette er resultat av auka observasjon av riss og sprekker i tilslag og sementpasta, med og utan reaksjonsprodukt (alkaligel).



Figur 5-51: Samanlikning av detaljert DRI resultat

Figur 5-52 viser samanlikning av utjamna DRI skadeprofil for dei to planslipa. Resultatet viser jamnare skadefordeling i sjikt 470 – 670 mm, enn i 0 – 300 mm.

A (Dam Tyn 4, 0 – 300 mm)

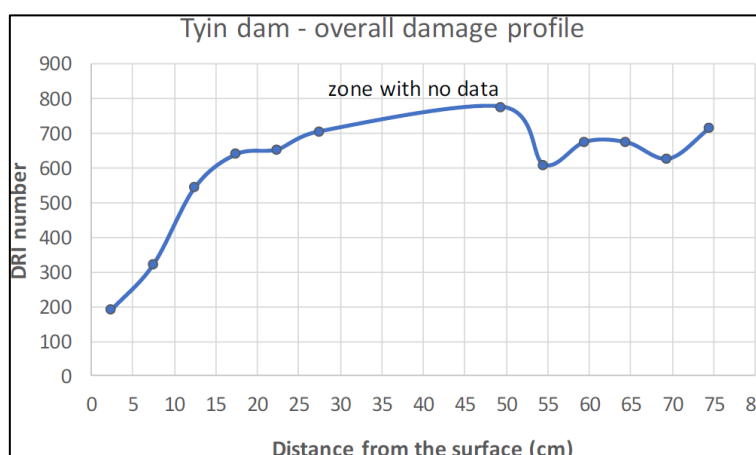
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	4	3.5	2.33	1.333	2.67	2.5	3.375	2.5	3.33	3.79	4.54	4.38	4.79	5.46	6	7.75	7.42	8.88	7.79	7.25	5.96	4.21	6.54	8.21	9.38	8.04	7.21	6.21	6.21	5.5
B	2.708	2.806	2.36	2.111	2.56	2.694	3.056	3.14	4	4.86	4.72	4.06	3.92	4.67	5.5	7.19	6.86	7.69	6.31	5.94	4.42	3.81	5.69	7.03	7.92	7.81	8.36	7.25	6.25	4.83
C	1.083	1.417	2.14	2.667	3.33	3.694	3.528	3.72	3.92	5.33	4.97	3.97	2.89	2.5	3.11	4.39	5.61	6.64	6.11	4.67	4.25	4.56	5.03	4.61	4.83	5.92	7.36	6.14	6.14	5
D	0.75	1.417	2.06	2.583	2.33	2.611	2.111	2.58	3.22	5.75	5.11	5.53	4.11	4.5	3.08	3.92	5.14	7.44	6.44	6.11	6.22	6.78	6.69	5.03	5.36	6.89	7.78	8.03	6.25	5.71
E	1.375	1.833	2.14	1.806	2.33	2.583	2.306	1.58	1.75	4.61	4.97	6.56	4.89	5.47	4.58	4.89	6.67	9.56	9.22	8	7.11	7.33	6.47	4.36	4.14	6.78	7.33	9.36	7.25	7.71
F	1.333	1.806	1.81	1.139	1.44	1.944	2.278	1.33	1.36	4.14	4.94	8.08	7.36	8.5	7.28	7.67	8.22	9.78	8	8.89	7.56	8.22	6	5.44	5.78	8.69	8.47	10.7	8.14	9.04
G	1.5	2	2.47	2.056	2.17	3.056	3.917	2.94	2.53	3.97	4.14	5.75	5.42	7.22	7.36	8.03	7.14	6.78	4.78	6.25	5.81	7.47	5.78	6.22	5.44	7.36	7.17	8.5	7.47	8
H	0.5	1.667	2.38	2.417	2.08	3.083	4.375	3.71	3.33	4.17	3.88	5.38	5.88	7.83	6.54	7.54	5.54	4.33	1.33	4.88	6.71	8.88	7	8	7.5	7.54	6.08	6.08	6.54	7.25

B (Dam Tyn 4, 470 – 770 mm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	11.06	10.79	9.75	7.917	4.83	2.833	2.542	3.04	3.92	4.71	5.38	4.33	3.67	2.83	3.17	3.5	3.71	2.04	0.88	0	1.17	2.83	4.38	4.88	7.38	7	6.04	8.88	9.54	10.3
B	10.38	9.528	10.8	9.639	8.47	4.583	3.694	3.25	4.72	5.69	6.58	5.56	5	4.39	4.72	4.39	4.58	4.47	4.14	3.89	3.22	4.89	4.69	6.14	7.03	8.11	6.69	8.25	8.14	10.3
C	6.542	5.833	7.14	7.833	7.81	4.583	3.25	3.47	5.94	6.14	6.25	4.89	5.44	6.61	7.61	7.19	5.39	4.94	4.58	5.22	4.67	6.33	4.78	5.44	6.33	8.22	7.14	7.03	6.81	8
D	6.833	5.667	6.33	6.917	7.47	5.139	4.778	6.22	8	7.78	7.33	7.44	7.58	8.53	8.33	7.44	5.83	7.36	7.67	7.67	6.56	7.67	6.56	6.11	5.44	6.33	6.11	5	6.44	6.5
E	5.667	4.778	3.44	5.444	6.58	6.472	6.278	7.25	8.14	6.44	5.56	6.56	6.81	8.36	7.83	7.83	6.28	7.36	8.44	7.22	6.89	6	7.03	4.72	5.28	4.81	6.22	5.56	6.47	6.38
F	6.833	6	6.89	8.694	9.17	7.833	7.056	9.47	9.14	7.89	6.14	7.61	8.19	8.42	7.97	7.17	7.47	9.11	11.3	9.33	8.92	6.25	7.17	4.5	5.61	6.25	8.22	7.67	6.94	6.08
G	7.5	6.111	6.89	8.361	8.94	7.972	6.556	8.42	8.39	8.78	6.14	6.56	7.89	8.78	9.25	8.36	9.69	9.14	9.92	9	9.47	8.81	8.97	7.08	6.306	5.81	8.56	8.56	6.75	4.29
H	7.25	7	8.17	8.208	6.88	5.917	4.583	9.25	9.21	11.3	7.38	7.17	9.17	9.67	10.7	8.88	10.7	9.04	8.38	8.33	10	11.2	10.1	8.38	6.54	5.83	8.67	8.5	7.42	4.38

Figur 5-52: Samanlikning av utjamna DRI skadeprofил

Figur 5-53 viser ei grafisk framstilling av DRI-talet i sjikt 0 – 770 mm. Resultatet viser at, ved å vurdere kvart datapunkt som gjennomsnittet av ei sone på 40 cm², vil DRI-talet tydeleg auke i området 0 – 150 mm før det flatar ut i området 150 – 770 mm.



Figur 5-53: Skadeprofил DRI

DRI samanlikna med resultat frå planslipanalyse

I ytre sjikt (0 – 300 mm) vart det i analyse av fluorescensimpregnerte planslip i UV-lys registrert riss i tilslagskorn og ut i sementpasta. Resultat frå DRI (figur 5-51) viser at vektingsparameter registrert i tilsvarende sjikt samsvarar med dette. Figur 5-53 viser at ytre sjikt mot overflate har markant lågare DRI-tal, noko som også kjem fram av figur 5-52 A. I figur 5-6 ser ein også mindre grad av riss i tilslag og sementpasta. Denne observasjonen stadfestar dei låge DRI-verdiane i ytre sjikt.

Når det gjeld indre sjikt (470 – 770 mm), er resultatata frå planslipanalyse (figur 5-8) og DRI (figur 5-52 og 5-53) meir samanfallande enn i ytre sjikt. Begge analysane viser at skadegraden (riss i tilslag og ut i sementpasta og alkaligel) i stor grad er jamn gjennom heile prøvestykket.

6 Diskusjon – metode og pålitelegheit (validitet) av resultat

6.1 Uttak og vurdering av prøvemateriell frå Tyin Dam 3

I samband med prøvetaking i november 2018 gjorde vêrtilhøva i høgjellet dette utfordrande. For å få gjennomført prøvetaking vart det naudsynt å nytte områder høgare i damkonstruksjonen på nedstraumsside. Desse endringane førte likevel ikkje til ytterlegare konsekvensar for vidare arbeid. Sjølv uttaket og pakking av prøvemateriell vart gjort i høve utarbeida prosedyre (vedlegg 4). I vidare arbeid med mottakskontroll, har Lindgård og Haugen også vurdert dette arbeidet som samsvarande med prosedyren. Vurderinga av å sjå på område 1 og 2 som ein populasjon vart stadfesta i resultatata frå SDT, trykktesting, PF/DCS og tynn- og planslip. Det kjem fram av desse resultatata at områda ikkje har signifikante variasjonar i betongkvalitet.

6.2 Tynnslip og planslip

I analyse av tynn- og planslip er det viktig med god kvalitet i utarbeiding av preparat. I følgje Haugen, har det tidlegare vore variasjon i kvalitet mellom ulike leverandørar av denne typen teneste. Danish Technological Institute (DTI) fekk i denne oppgåva i oppdrag og tilverke planslip. I seinare diskusjon med Haugen kom det fram at kvaliteten på preparata frå Tyin Dam 3, levert av DTI, var av tilfredsstillande kvalitet og eigna for analyse.

Undersøkingar utført i oppgåva, stadfestar også Norconsult sine tidlegare resultat (2009) vedkomande pågåande alkalireaksjon i Tyin Dam 3.

6.3 SDT og estimering av ekspansjon

I forsøk der instrument står for måling og registrering av resultat, er det naudsynt med kalibrering av måleinstrumenta for å sikre pålitelegheit. Når resultat frå ulike testrundar vert samanlikna er likt utgangspunkt for kvar runde avgjerande, slik at variasjonar i utgangsparametrane ikkje trugar validitet til resultatet. I denne oppgåva er det utført to testrundar med SDT. Utstyret er kalibrert på same vis i forkant av kvart test og deretter også nullstilt i Excel. I lys av dette må registrering av målingar vurderast til å ha tilfredsstillande validitet.

SDT er ein manuell operasjon, der vending av last i topp- og botnpunkt vart utført av personell frå SINTEF. Den menneskelege faktoren kan bidra til unøyaktigheit i utføringa, særleg med tanke på tidsaspektet i lastpåføringa. For framtidig testing, der ein nyttar SDT som metode, bør det utarbeidast ei standard prosedyre for dette. I samband med tolking av resultat frå SDT vert parametrane SDI , SDI_{alt} , PDI , NLI og E_c nytta. Erfaringar i denne oppgåva peikar mot at ulike arealbetraktningar i formlane SDI og SDI_{alt} kan medføre signifikante variasjonar i parametrane. Dette vil gje store utslag i parameterverdi og ved estimering av ekspansjon. Eit forbettringspotensial for SDT er difor at det også her vert utarbeida klare retningslinjer i utrekningsmåte av dei nemnte parametrane, til dømes slik som diskutert i kapittel 5.5.3.

Estimering av ekspansjon i Tyin Dam 3 baserar seg i hovudsak på Oseland (2018) og Sanchez et al. (2017) sitt arbeid. Bakgrunn for dette er, som tidlegare nemnt, at

ekspansjonsforløpet i referansesyldrane utvikla seg for raskt, slik at første ekspansjonsmåling (etter 4 veker) var for høg. Dette førte til at verdiane ikkje kunne nyttast som datagrunnlag då dei avveik frå forventa reell ekspansjon (kapittel 5.3). Resultatet av dette vart eit meir snevert datagrunnlag i nedre del av ekspansjonsforløpet og difor vart estimeringa av ekspansjonen i dette området basert på Oseland (2018) og Sanchez et al. (2017) sitt arbeid. I datagrunnlaget som føreligg er pålitelegheita av estimert ekspansjon (basert på E_c og SDI) innanfor forventa verdi. Denne påstanden vart også stadfesta i diskusjon med Hans Stemland (NTNU) i samband med gjennomgang av teori rundt temaet SDT i april 2019.

For ytterlegare å auke validiteten til SDT som metode i norske betongkonstruksjonar, er det avgjerande at tilgjengeleg datagrunnlag vert supplert med nasjonale betongreseptar og tilslagstypar. Dette vil medføre større sikkerheit i resultat frå SDT for estimering av ekspansjon. Særleg i nedre del av ekspansjonsforløpet er det registrert ein lineær tendens for E_c , SDI og SDI_{alt} . Betre datagrunnlag kan gje eit anna regresjonsresultat i denne delen av forløpet. Dette vert vidare vanskeleg å diskutere før slikt datagrunnlag er tilgjengeleg.

6.4 PF/DCS-forsøk

I måling av vassmettingsgrad, sugporøsitet, makroporøsitet og PF-faktor, er korrekt behandling av prøvemateriell viktig for pålitelegheita til endeleg resultat. I denne oppgåva er kjerneprøvane tatt ut og behandla etter prosedyrar utarbeida som ein del av oppgåva og av SINTEF. I samband med trykkmetting av prøvestykke vart det ei uventa endring i tidsplanen. Trykktanken ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved NTNU var ute av drift ein periode, noko som førte til at prøvane vart liggande i vasspåverka tilstand lenger enn planlagt. Det kan vidare diskuteras om dette gav store utslag for PF-faktor og makroporøsitet, då desse er direkte avhengige av målingar knytt til vekt før og etter trykkmetting (kapittel 4.10.1). Observasjonar i oppgåva tilseier at, ved å følgje tidsplanen i skjema 813 In -situ vassinnhald og porøsitet (vedlegg 18), gav dei registrerte verdiane eit representativt resultat. Med omsyn til dette vert resultatet av PF/DCS vurdert som påliteleg.

6.5 Damage Rating Index (DRI)

Resultat frå DRI-analyse gjev eit tydeleg bilete av skadegrad på grunn av alkalireaksjon. For at DRI skal vere ei nyttig reiskap i vurdering av alkalireaksjon, er det likevel naudsynt å sjå denne i saman med resultat frå mottakskontroll og tynn- og planslip. Oppgåva viser sterk korrelasjon mellom resultat i dei to analysane, og validitet i resultat vert difor vurdert som god. Isolert sett vil desse analysane til saman gje eit representativt bilete av skadegrad. Implementering av Mikro-XRF vil gje meir informasjon om alkalireaksjon og dermed ytterlegare auke pålitelegheita i resultat.

6.6 Metodar for karakterisering av alkalipåverka betong

Eit ledd i oppgåva er å vurdere om dei anvendte metodane er skildrande med tanke på å karakterisere eigenskapar i betongkonstruksjonar påverka av alkalireaksjon. Med omsyn til dette er det naturleg å sjå metodane i saman, men også kvar for seg.

Eit målretta uttak av kjerneprøvar, der val av område, metode for uttak, pakking og behandling av ferske kjernar (samt lagring) er sentralt i fyrste fase av betonganalysen. I neste fase, vil mottakskontroll med visuell skildring av kjernemateriell, legge føringar for utnytting av materiell i den vidare analysen. I denne oppgåva er erfaringa, at resultat frå tynn- og planslipanalyser gjort i laboratorium, er interessante å samanlikne med visuelle observasjonar gjort i mottakskontroll. I oppgåva viste det seg mellom anna at makroobservasjonar av alkaligel ikkje vart gjenspegla i mikro (kapittel 5.2). Likevel er tynn- og planslipanalyse, ved normale tilhøve, naudsynt for å sikre observasjonar av alkaligel, riss og sprekker knytt til alkalireaksjon.

Basert på datagrunnlaget som føreligg, har SDT vist seg å vere ein anvendbar metode for å estimere ekspansjon i betongkonstruksjonar, påverka av alkalireaksjon. Særleg har E_c og SDI vist seg å gje eit reelt bilete av ekspansjon. STD har også vist seg å vere eit godt verktøy for estimering av endra betongparametrar.

PF/DCS-analyse viser seg å gje anvendbar informasjon kring sugsevna i betongen, innhald av vatn, luft og motstand mot frost. For Tyin Dam 3 er informasjon kring dette, samanlikna med alkalireaksjon, nyttig med tanke på levetid. Med omsyn til dette, vil ei PF/DCS-analyse naturleg inngå for å få ut ei heilheitleg oversikt knytt til alkalireaksjon og framtidig skadebilete i betongkonstruksjonar.

DRI gjev eit visuelt bilete av skadegrad på grunn av alkalireaksjon i betong. Dette er ei kostbar, tidkrevjande og avansert analyseform. Fordelen med DRI-resultatet er at det gjev ein skadeindeks basert på ein vid skala. Med dette som utgangspunkt kan ein difor utleie sikrere konklusjonar om utbreiing av alkalireaksjon i konstruksjonar. I denne oppgåva vert verdien av ei slik analyse vurdert som høg. Dette heng saman med at slik metode gjev moglegheit for eit meir utvida bilete av skadegrad (kapittel 2.7.3).

Totalvurderinga for Tyin Dam 3, er at dei anvendte parametrane for analyse av betongen gjev god indikasjon på skadebiletet. Og i denne oppgåva særleg med tanke på ekspansjon og endringar i betongparameter på grunn av alkalireaksjon. Dette med forbehold om at dei ulike analysane vert utført med nøyaktigheit i alle ledd. Resultata kan vidare også nyttast som parametrar i andre analysar, der særleg konstruksjonsmessig påverknad på grunn av alkalireaksjon er tema.

7 Aktuelle tiltak og tilråding

Tilrådingar i dette kapittelet vil omfatte tiltak gjeldande for både Tyin Dam 2 og 3. Dette med bakgrunn i, som nemnt i kapittel 3.2.1, at dei to dammane er konstruksjonsmessig like (støypet med same betongkvalitet og i same tidsrom). Tyin Dam 1 vert omtala for seg sjølv, då konstruksjonen er signifikant ulik frå Tyin Dam 2 og 3. Vidare i oppgåva vert tiltak for Tyin Dam 2 og 3 omtala som tiltak for Tyin Dam 3 (figur 7-1 viser bilete av Tyin Dam 3).



Figur 7-1: Oversiktsbilete av Tyin Dam 3

7.1 Tyin Dam 3

Observasjonar i felt, saman med resultata som føreligg i denne oppgåva, tydar på at skadebilete i Tyin Dam 3 er eit resultat av fleire faktorar. Den utløysande faktoren er at alkalireaksjon har opna konstruksjonen og medført ekspansjon. Betongen i denne oppgåva har ein estimert ekspansjon lik 0,14% – 0,19%. I tillegg, på nedstrømsside, er det ut frå tilgjengelege arbeidsteikningar ikkje registrert armering i betongen. Overflata er i dette området karakterisert av rutemønster oppsprekking, til dels grove riss, kalkutfelling og lekkasjar (figur 7-2). Det er også registrert gjennomgåande horisontal sprekkdanning i damkruna og øvre del av dammen, som strekkjer seg i heile lengda. Ein konsekvens av den opna strukturen er at vatn og fuktigheit lettare vil trenge inn i konstruksjonen og medføre skadepotensiale, særleg knytt til frostproblematikk.



Figur 7-2: Nedstrømsside av Tyin Dam 3

Oppstrømsside har betongoverflate i teknisk god stand med lite og til dels ingen synleg oppsprekking (figur 7-3). Seksjonar der bordforskalinga framleis er synleg, stadfestar lite skadeomfang. I samband med prøvetaking vart det likevel registrert nokre områder med lokal avskaling, særleg i tilknytning til plateskøytar og fuger.



Figur 7-3: Oppstrømsside av Tyin Dam 3

Analysar i denne oppgåva peikar på at nedstrømsside av dammen har eit skadebilete som ikkje er eit resultat av til dømes vassgjennomstrøyming frå oppstrømsside. Konsekvensar av vassgjennomtrenging frå oppstrømsside vert difor vurdert som lite problematisk, samanlikna med eksponering frå regnvatn, snø og is på nedstrømsside. Med utgangspunkt i dette vil det i hovudsak vere tiltak på nedstrømsside som gjev

levetidsauke i Tyin Dam 3. Hovudfokus for tiltaka vil vere å auke betongen sin bestandigheit mot fuktinntrenging, frostskeidar og temperaturpåkjenningar.

Med dette som bakgrunn, vert det vidare presentert 4 ulike tiltak for nedstraumsside. Desse har som mål å auke levetida og det visuelle uttrykket til Tyin Dam 3. Følgjande tiltak er aktuelle:

- Støttemur i naturstein
- Ny betongplate
- Platekledning med luftspalte
- Elastisk beleggsystem

Støttemur i naturstein

Støttemur av naturstein er eit tiltak som markert vil gje eit betre visuelt uttrykk for Tyin Dam 3, men som likevel har avgrensa påverknad for bestandigheita. Ei av fordelane med plastra naturstein, vil også vere at nedstraumsside vert skjerma mot direkte eksponering av nedbør og temperatursvingingar.

Konstruksjonsmessig vil utvikling av alkalireaksjon fortsette, men plastra naturstein vil gje mindre temperaturvariasjon i aktuelt område (ytre sjikt på nedstraumsside) og såleis bremse reaksjonshastigheita. Skadar knytt til frost vil til ein viss grad fortsette, då tilgang på fukt enno er til stades. Likevel vert skadeomfanget i betongen redusert på grunn av mindre temperatursvingingar i frostsyklusane. Forskjell i temperatur mellom dag og natt vert mindre, sidan sola ikkje får same moglegheit til å varme opp overflata på dagtid. Dette gjeld særleg i periodane haust og ettervinter.

Visuelt vil fordelan med ein støttemur i naturstein vere at den skjuler den opprissa betongoverflata og bidreg til at dammen får eit betre estetisk uttrykk. Den største negative faktoren med støttemur, er at ein mistar moglegheita til inspeksjon av overflata, og dermed også kontroll over tilstand. Økonomi og tilgang på god stein er også viktige omsyn å ta. Dette vert ikkje vidare diskutert i oppgåva. Figur 7-4 viser bilete av liknande tiltak.



Figur 7-4: Eksempel på plastring, nedstraumsside (Tafjord Energi, Dam Kolbeinsvatn)

Ny betongplate

Hovudføre mål med ei ny betongplate på nedstraumsside av Tyin Dam 3, vil vere å skjerme overflata mot vêrpåkjeningar. Vidare vil det redusere frostskadepotensialet og dermed forlenge levetida til konstruksjonen. Eit godt førearbeid, med til dømes mekanisk utbetring av skadepåverka konstruksjon og riktige val kring materialkvalitet og utføringsdetaljar, vil gje ein auke i bestandigheit og levetid for Tyin Dam 3.

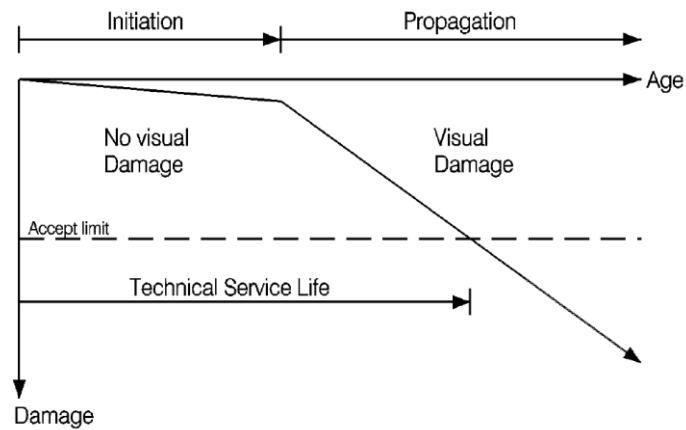
For at betongplata skal bidra til betre bestandigheit på nedstraumsside, er ein føresetnad god vedheft mellom ny og skadepåverka betong. Eit omsyn er også at plata vert dimensjonert slik at den tek høgde for krefter knytt til differansesvinn, alkalireaksjon og temperatur. Differansesvinn vil førekome då Tyin Dam 3 kan reknast som ein uendeleg stiv konstruksjon og dermed kunne hindre ei nye plate i å trekke seg saman. Dette vil gjelde i herdefase på grunn av svinn, og i ferdigfase på grunn av termisk dilatasjon (utviding på grunn av temperatur). Dette vil medføre skjær- og normalspenningar i støypefugene mellom ny og gamal betong, samt langs alle kantar. Med omsyn til dette vert dimensjon på betongplata avgjerande for at randkreftene vert overført utan påført skade. Sidan alkalireaksjon er kontinuerleg, medfører dette ytterlegare ekspansjon og rørsle i den opphavlege konstruksjonen. Dette saman med temperaturvariasjon medfører at ny og gamal betong vil vere i rørsle samstundes. Ei føresetnad er i denne samanhengen at plateskøytane vert lagt rett ovanfor kvarandre, slik at fugene tek opp kreftene som oppstår ved bevegelse. Ved å legge heildekkande ny betongplate over gamle skøytar kan dette føre til nye riss og gjennomgåande sprekker. Dette på grunn av ytre fasthalding og heftbrot mellom ny og gamal betong.

Ut frå resultat i PF/DCS-forsøk i oppgåva kjem det fram at fukt er ein av dei styrande parameteren for vidare skadeutvikling i Tyin Dam 3. Med omsyn til dette er det difor viktig at ei ny betongplate inneber løysing for drenering av overflatevatn og motverking av vassgjennomtrenging i dammen. Særleg vil detaljar og system for drenering av vatn i området rundt damkruna verte avgjerande for å unngå utvikling av frostskeadar, ved at frukt trengjer ned i dammen. Om dette ikkje vert teke omsyn til, kan fukt verte innestengt mellom ny og gamal plate og auke skadepotensialet ytterlegare.

Visuelt vil ei ny betongplate for publikum gje eit betre estetisk uttrykk av Tyin Dam 3. Ei slett betongoverflate utan opprissing vil også verke meir solid og dermed tryggare. Kostnadene med ny betongplate må også samanliknast med kostand ved eventuell oppføring av ny Tyin Dam 3. Dette vert ikkje vidare diskutert i oppgåva.

Lufta platekledning

Dette er ei løysing som særleg vert nytta for platedammar og bogedammar. I slik samheng vert tiltaket ofte kalla isolasjonsvegg eller frostvegg (sjå kapittel 2.8.1). For Tyin Dam 3 vil ei slik løysing skjerme den eksponerte overflata mot vêrpåkjening og auke bestandigheita. Sjølv ei primitiv platekledning vil medverke til å redusere skadar knytt til frostsyklusar med store temperatursvingingar. Ved å velje isolerande kledning, eller oppvarming av luftspalta mellom kledning og Dam, vil det ytterlegare kunne redusere frostpåkjeninga (kapittel 2.8.1) og forlenge levetida. Relatert til figur 7-5, betyr det at Tyin Dam 3 vil holde seg i overkant av akseptert grense, som er ei betraktning for konstruksjonen sin levetid.



Figur 7-5: Levetidsmodell for betongkonstruksjonar (Maage, 2015)

Ein annan fordel med luftspalte er at den fortsatt gjev moglegheit til å inspisere overflata av dammen under platekledninga, og dermed ha kontroll på vidare utvikling av alkalireaksjon og ekspansjon. Etablering av ORI (kapittel 2.7.6) vil i denne samanheng vere eit tenleg verktøy.

Ved å gjennomføre PF/DCS-forsøk i etterkant av innført tiltak, vil resultatet vise ein markant nedgang i kapillær vassmettingsgrad i ytre sjikt. Ei forklaring på dette er at den lufta platekledninga beskyttar betongen mot fukt, noko som etter kvart vil medføre uttørking i konstruksjonen. Sidan kapillær vassmettingsgrad er eit av dei styrande parametranne for frostskeidar i Tyin Dam 3, vil også frostpåkjenninga dermed bli redusert.

Visuelt vil ei platekledning også gje Tyin Dam 3 eit betre estetisk uttrykk. Figur 7-6 viser bilete av liknande tiltak.



Figur 7-6: Oppvarma isolasjonsvegg i treverk (Rodum et al., 2004)

Elastisk belegg (coating)

Hovudhensikta med elastisk belegg er å hindre tilgang på fukt i ytre sjikt på nedstrømsside. Om tiltaket skal nyttast i Tyin Dam 3 er det naudsynt med mekanisk utbetring og injisering av betongen (lukking av sprekker og riss). Særleg i Tyin Dam 3 er det sprekkdanning i underkant av damkruna (figur 7-2), noko som gjev utfordringar ved påføring av elastisk belegg. Eit elastisk belegg med høg brotforlenging som toler klimatiske- og mekaniske påkjenningar, vil vere tenleg. Også ekspansjon (på grunn av alkalireaksjon) og opning/lukking av riss på grunn av termisk dilatasjon og kontraksjon, vil setje krav til materialeegenskapane.

Resultat frå PF/DCS-forsøk viser at Tyin Dam 3 har kapillær vassmettingsgrad nær 100% i ytre sjikt av betongen. Dette gjev skadepotensiale med omsyn til frost, og tiltak må ha til hensikt å tørke ut overflata samstundes som det beskyttar mot vidare fuktinntrenging. Det er difor viktig at materialet som vert påført har gode hydrofobiske eigenskapar (kapittel 2.8.1). Fukt skal ikkje kunne trenge inn gjennom belegget, samstundes som fukt frå lekkasjar og gjennomstrøyming i dammen skal kunne diffundere ut. Frostskaade kan oppstå, slik som for betongplate, dersom fukt vert sperra inne mellom belegg og betong.

Visuelt vil påføring av elastisk belegg gje Tyin Dam 3 eit betre estetisk uttrykk om det er pigmentert (liknar betong). Denne faktoren vil gje betre estetikk og omdøme, i tillegg til auka bestandigheit og lenger levetid. Det er viktig å framheve at tiltaket ikkje kan reknast som varig (kapittel 2.8.1) og vedlikehald og eventuelt fornying må påreknast over tid.

7.2 Tyin Dam 1

Tyin Dam 1 er ein overlaupsdam (overlaup i betong), samt tilhøyrande massivdelar i betong på kvar side. Betongdelane i Tyin Dam 1 har tilsvarande kvalitet som Tyin Dam 3 og er støypt i same tidsrom (figur 7-7).



Figur 7-7: Oversiktsbilde av Tyin Dam 1

Dammen er ulik ved at opphavelig del av overlaupet er frå 1940-talet og består av granittblokker som i dag er påstøypd ny betong. Dette gjev andre føresetnader med omsyn til spenningsbilete og dermed val av tiltak.

I samband med befaring ved kjerneboring kom det fram at skadebilete i dammen samsvarar med skadebilete i Tyin Dam 3. Det er difor også her naudsynt med tiltak som aukar bestandigheita. Sidan overlaupsdelen er konstruert med kurvatur, vil eit elastisk belegg vere eit naturleg tiltak i denne delen av konstruksjonen. Alternativet er å støype ei ny plate utanpå den opphavelige, men dette byr på same utfordringar som drøfta i kapittel 7.1.

7.3 Tilråding

For endeleg val av tiltak på dammane i Tyinosen, er samspel mellom økonomi, varigheit av tiltaket, levetidsauke, belastning for miljøet og omdøme viktige omsyn. Kostnadar i utarbeiding av tiltaka er likevel ikkje vektlagd i oppgåva, og for endeleg val vil det vere naudsynt med ei meir detaljert oversikt over desse.

Tyin Dam 3

Tek ein omsyn til dei tidlegare nemnte faktorane, er vurderinga i oppgåva at etablering av lufta platekledning på nedstraumsside vil fungere som eit funksjonelt og varig tiltak for Tyin Dam 3. Konstruksjonsmessig vil det også vere tenleg at platekledninga har isolerande eigenskapar, då dette vil utjamne temperaturforskjellane i frostsyklusane i endå større grad. Resultat som føreligg i denne oppgåva peikar også på at vassmettingsgrad er eit avgjerande parameter med omsyn til frostskeidar. Kombinasjonen av redusert temperaturvariasjon i frostsyklusane, samstundes som platekledninga skapar miljø for oppturking av betongen, vil gje markert nedgang i skadar knytt til frost. Ein annan avgjerande faktor ved platekledning, er moglegheita for framtidig inspeksjon av betongoverflata. Dette vil også vere fordelaktig med tanke på vidare overvaking av skadeomfang på grunn av alkalireaksjon.

Tiltaket vil auke bestandigheita mot nedbrytingsmekanismer og forlengje levetida. Ved å implementere estetikk og miljø (mellom anna infrastruktur) i prosjektering og utføring, vil lufta platekledning føre til mindre inngrep i naturen enn til dømes ved etablering av støttemur i naturstein. Med omsyn til bestandigheit, auka levetid og omdøme, vil oppgåva difor anbefale å etablere lufta platekledning på nedstraumsside av Tyin Dam 3.

Tyin Dam 1

For Tyin Dam 1 er tilrådinga å påføre eit elastisk belegg med tilstrekkeleg brotforlenging. Dette vil medføre ei forbetring av konstruksjonen sin tilstand og auke bestandigheita mot vær- og påkjenningar. Som ein konsekvens av dette tiltaket vil også levetida for Tyin Dam 1 verte forlenga.

8 Konklusjon

Denne masteroppgåva tek føre seg ei ny vurdering av alkalipåverka betong i Tyin Dam 1, 2 og 3, med Tyin Dam 3 som case. Dette inneber uttak av kjerneprøvar, observasjon av skadebilete, vurdering og utval av metodar for analyse og tiltak for auka levetid.

Tyin Dam 3 er, særleg på nedstraumsside, prega av rutemønstra oppsprekking med kalkutfellingar og lekkasjar. Observasjonane i felt og i mottakskontroll av kjerneprøvar, samanlikna med resultat frå DRI, tynn- og planslip, viser pågåande alkalireaksjon i Tyin Dam 3. Ved å relatere observasjonar av skadebilete til resultatata frå analysane i oppgåva, viser ytre sjikt av betongen størst skadeomfang og høgast potensiale for vidare nedbryting.

Estimert ekspansjon frå SDT viser at alkalireaksjon opnar opp og gjer konstruksjonen meir mottakeleg for fukt. Kritisk innhald av fukt er utløysande faktor for frostskeidar.

PF/DCS viser seg å gje anvendbar informasjon i samband med skadeomfang knytt til alkalireaksjon. Parametrane frå PF/DCS-forsøk viser at betongen har høg fuktbelastning i ytre sjikt. Saman med låg makroporøsitet/luftinnhald og PF-verdi i dette området, styrkar det potensialet for frostskeide i periodar med stor temperaturvariasjon i frostsyklusar.

Resultat frå utført SDT på kjerneprøvar samsvarar med tidlegare utført forskning av Sanchez et al. (2016) og Oseland (2018). Lineær betraktning av reduksjon i E-modul vert i denne oppgåva vurdert som parameter for reelt bilete av ekspansjon i Tyin Dam 3. Dette stadfestar SDT som ein gyldig metode for estimering av endra betongparameterar og ekspansjon i alkalipåverka betong.

DRI-analyse gjev eit representativt bilete av alkalireaksjon, og saman med observasjonar i planslipanalyse, vert desse metodane vurdert som pålitelege i vurdering av skadegrad og lokalisering.

Det er i oppgåva utarbeida prosedyre for utføring. Prosedyre, saman med SINTEF som utførande, har sikra kvalitet i testar og analysar og validitet i resultat.

Høgt fuktinnhald og temperaturvariasjonar i ytre sjikt er viktige faktorar knytt til nedbryting av betong. For å stanse frostskeide som synergieffekt av alkalireaksjon, lyt tiltaka ha som hensikt og redusere fuktbelastinga og variasjon i temperatur.

I tiltak for å auke bestandigheit og levetid har oppgåva konkludert for Tyin Dam 2 og 3, at isolert platekledning med luftspalte vil avgrense tilgang på fukt og utjamne temperaturvariasjon. Dette vil redusere vidare nedbryting. Konklusjonen for Tyin Dam 1 er at konstruksjonen er mest tenleg med eit elastisk beleggsystem for å auke bestandigheit og levetid.

9 Vidare arbeid

I vidare arbeid for å auke analysematerialet i SDT, er det behov for ytterlegare testing av betongtypar (tilslag og sement) nytta i Noreg. Ved estimering av ekspansjon og materialparametrar frå konstruksjonar med betong påverka av alkalireaksjon, vil dette kunne gje eit betre samanlikningsgrunnlag.

For at SDT skal kunne vere samanliknbart er det naudsynt med ei felles forståing av korleis ein reknar ut parameter i SDT (SDI, PDI, NLI og E_c). Praksis i dag inneber ingen klare retningslinjer for bruk av formlane, noko som utfordrar moglegheit for samanlikning.

I framtidig bruk av referansesyndrar til estimering av ekspansjon, vil utarbeiding av prosedyre for ekspansjonsmåling for ulike prøvedimensjonar vere tenleg. Erfaring i denne oppgåva viser også at testing med avvik frå standard dimensjon ikkje er innarbeida i prosedyre.

10 Referansar

10.1 Hovudreferansar

- Blight, G. E. og Alexander, M. G. (2011) *Alkali-Aggregate Reaction and Structural Damage to Concrete*.
- CEN (2000) Prøving av betong i konstruksjoner *Del 1: Kjerneprøver - Uttaking, vurdering og prøving av trykkfasthet*: European Committee for Standardization, Brussels.
- CEN (2002) NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger: European Committee for Standardization, Brussels.
- CEN (2009) NS-EN 12390-3:2009 *Prøving av herdnet betong - Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet*: European Committee for Standardization, Brussels.
- Chrisp, T. M., Waldron, P. og Wood, J. G. M. (1993) Development of a non-destructive test to quantify damage in deteriorated concrete, *Magazine of Concrete Research*, 45(165), s. 247-256.
- Contecvet (2001) *Manual for assessing concrete structures affected by ASR*. Lund: Lund Institute of Technology, Lund University, Division of Building Materials.
- Diamond, S., Barneyback Jr, R. og Struble, L. (1981) *Physics and chemistry of alkali-silica reactions*. Purdue Univ., Lafayette, IN (USA).
- Giaccio, G. *et al.* (2008) Mechanical behavior of concretes damaged by alkali-silica reaction, *Cement and Concrete Research*, 38(7), s. 993-1004. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.02.009>.
- Gran, H. C. (1996) *Alkalitilslagsreaksjoner i betong-Kjemiske aspekter*. Byggforsk.
- Grattan-Bellew, P. E. og Mitchell, L. D. (2006) *Quantitative petrographic analysis of concrete - The damage rating index (DRI) method, a review*.
- Haugen, M. og Lindgård, J. (2005) *TKT 4215 Concrete Technology 1 - Chapter 9: Concrete aggregates*. NTNU, institutt for konstruksjonsteknikk.
- Haugen, M. og Hjort-Hansen, S. (2017) *Strukturanalyse av betong. Dokumentasjon av kvalitet og tilstand*. Byggforsk.
- Hobbs, D. W. (1988) *Alkali-silica reaction in concrete*. London, United Kingdom: ICE Publishing.
- Hopperstad, O. S. og Børvik, T. (2015) *Material Mechanics*.
- ICOLD (1991) *Alkali - Aggregate Reaction In Concrete Dams*. (Bulletin 79).
- ICOLD (2010) *Geomembrane sealing systems for dams*. (Bulletin 135).
- Jacobsen, S., Gran, H. C. og Byggforsk (1996) *Alkalireaksjoner i betong. Skader og utbedring*. Byggforsk.
- Lindgård, J., Haugen, M. og Dahl, P. A. (2007) *Byggdetaljblad 520.063. Alkalireaksjoner i betong. Skademekanismer og regelverk ved nybygging*. SINTEF Byggforsk.
- Lindgård, J. (2013) *Alkali-silica reaction (ASR)–Performancetesting*.
- Maage, M. (2015) *Betong, regelverk, teknologi og utførelse*. Byggenæringens forlag.

- Myrdal, R. (2018a) Corrosion of steel reinforcement in concrete, [Power Point Presentation] (Henta: 28.03.2019).
- Myrdal, R. (2018b) Maintenance and repair of concrete structures, [Power Point Presentation] (Henta: 18.03.2019).
- NB21 (2017) Bestandig betong med alkalireaktivt tilslag. betong.net: Norsk Betongforening.
- Nebdal Svendsen, V. og Torblaa, E. J. (1989) *Alkalireaksjoner i norske betongdammer*.
- Oseland, O. (2018) *The effect of accelerated ASR on the mechanical properties and degree of damage of concrete over time - with and without uniaxial compressive stress*. Master, NTNU.
- Pedersen, B. og Rodum, E. (2015) *Alkalireaksjoner i betongbruer - Dokumentasjon, oppfølging og tiltak*. Statens Vegvesen.
- Pedersen, B. (2017) *Betongtilslag*. Tilgjengeleg frå: https://www.vegvesen.no/_attachment/2044346/binary/1213573?fast_title=Betongtilslag.pdf (Henta: 14.03.2019).
- Plusquellec, G. *et al.* (2018) Determining the free alkali metal content in concrete – Case study of an ASR-affected dam, *Cement and Concrete Research*, 105, s. 111-125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.01.003>.
- Rodum, E., Justnes, H. og Lindgård, J. (2004) *Betongdammer - typiske nedbrytningsmekanismer prinsipielle rehabiliteringsmetoder og erfaringer med ulike tiltak*. SINTEF Bygg og Miljø.
- Rodum, E. (2010) *Alkalireaksjoner i betong - hvordan håndterer vi dette?*
- Rodum, E., Pedersen, B. og Lindgård, J. (2018) *Alkalireaksjoner i betong - fagtur i Nord-Amerika*.
- Sanchez, L. F. M. *et al.* (2014) Evaluation of the stiffness damage test (SDT) as a tool for assessing damage in concrete due to ASR: Test loading and output responses for concretes incorporating fine or coarse reactive aggregates, *Cement and Concrete Research*, 56, s. 213-229.
- Sanchez, L. F. M. *et al.* (2016) Practical use of the Stiffness Damage Test (SDT) for assessing damage in concrete infrastructure affected by alkali-silica reaction, *Construction and Building Materials*, 125, s. 1178-1188.
- Sanchez, L. F. M. *et al.* (2017) Overall assessment of Alkali-Aggregate Reaction (AAR) in concretes presenting different strengths and incorporating a wide range of reactive aggregate types and natures, *Cement and Concrete Research*, 93, s. 17-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.12.001>.
- Schouenborg, B. *et al.* (2010) The EU "PARTNER" Project - European standard tests to prevent alkali reactions in aggregates: Final results and recommendations. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.09.004>.
- Sellekvold, E. J. og Farstad, T. (2005) The PF-method - a simple way to estimate the w/c ratio and air content of hardmed concrete.
- Skjølvold, O. og Rodum, E. (2015) *Alkalireaksjoner - Feltforsøk med overflatebehandling*.
- Stemland, H., Rodum, E. og Johansen, H. (2016) *Alkalireaksjoner - Veiledning for konstruktiv analyse*.

- Villeneuve, V., Fournier, B. og Duchesne, J. (2012) *Determination og the damage in concrete affected by ASR - The Damage Rating Index (DRI)*.
- Wiggum, B. J., Pedersen, L. T. og Lindgård, J. (2006) *Key parameters influencing the alkali aggregate reaction*. SINTEF Building and Infrastructure.
- Wigum, B. (1999) *Alkali Aggregate Reactions (AAR) in Concrete. Testing, Mitigation & Recommendations. The Norwegian approach during 15 years of research*.
- Wood, J. G. M. og Doran, D. (1992) *Structural effects of alkali silica reaction* The British Institution of Structural Engineers.

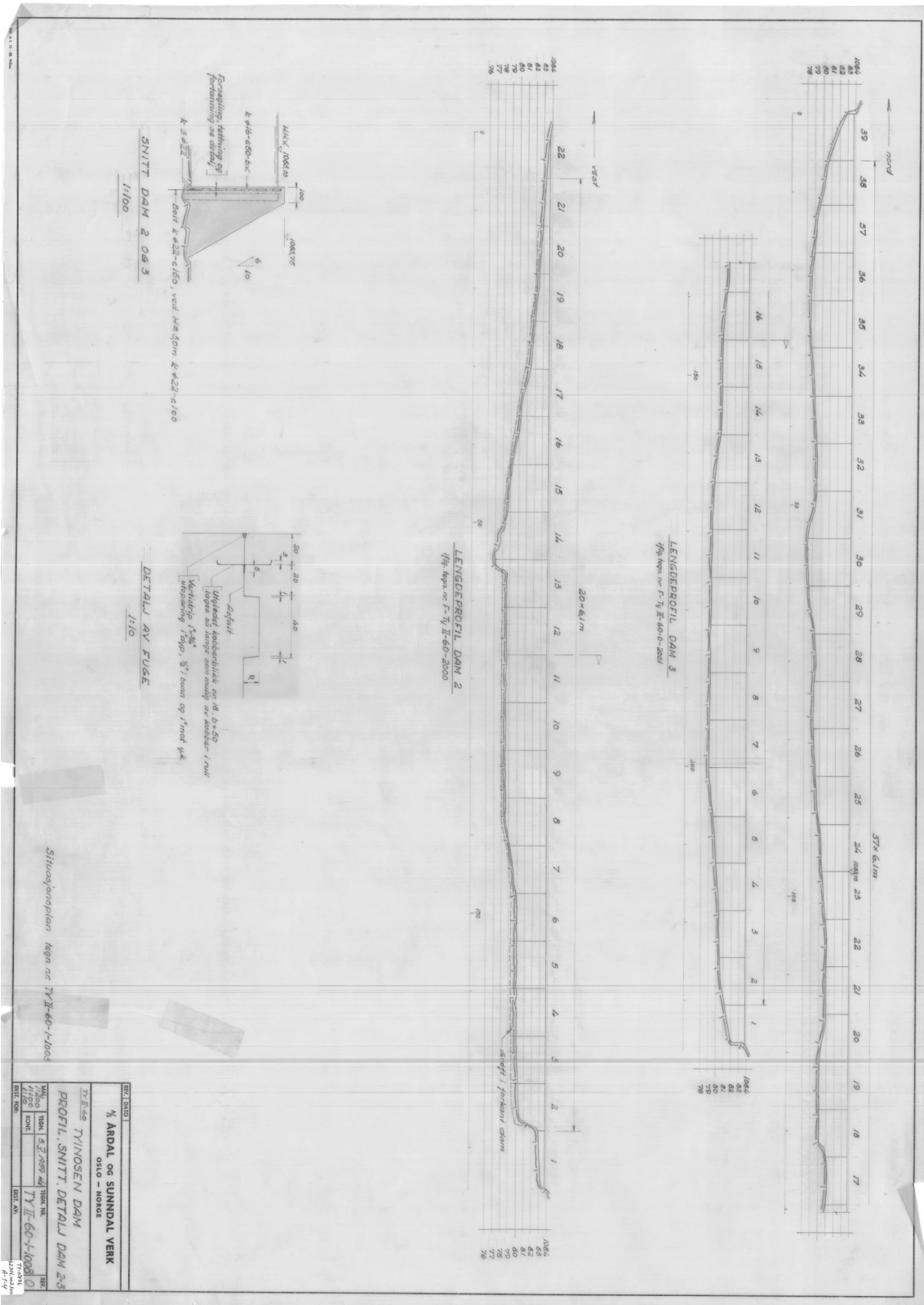
10.2 Andre referansar

Innhaldet i referansane er henta frå andre kjelder

- Champagne, M. (Upublisert) State of the Art on the Damage Rating Index method and future improvements. Foredrag Ulaval workshop 16.08.2017.
- EBL-kompetanse (2002) *Rehabilitering av dammer*. Oslo: publikasjon nr 53-2001.
- FHW (2011) *Alkali-Silica reactivity field identification handbook*. Tilgjengeleg frå: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/asr/pubs/hif12022.pdf> (Henta: 05.03 2019).
- Hughes og Curtis (2001) *Life Extension og Concrete Structures Affected by an Alkali-Aggregate Reaction at the Mactaquac Generating Station*.
- Marzouk, H. og Langdon, S. (2003) The effect of alkali-aggregate reactivity on the mechanical properties of high and normal strength concrete, *Cement and Concrete Composites*, 25(4), s. 549-556. doi: [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00094-X](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00094-X).
- Omvik, S. (2005) *Bruk av geomembran som tetningsmedium ved rehabilitering av dammer*. (82-436-0522-3). Oslo: Publikasjon nr 187-2005.
- Tjugum, G. og Norderup, E. (1989) *Sprekkreperasjon - materialer og muligheter. Liming, tetting og beskyttelse*. Kurs i betongtehabilitering i regi av Rescon.
- Vennesland, Ø. (2009) TKT 4225 Concrete Technology 2 *Compendium NTNU Course TKT 4225*. NTNU.

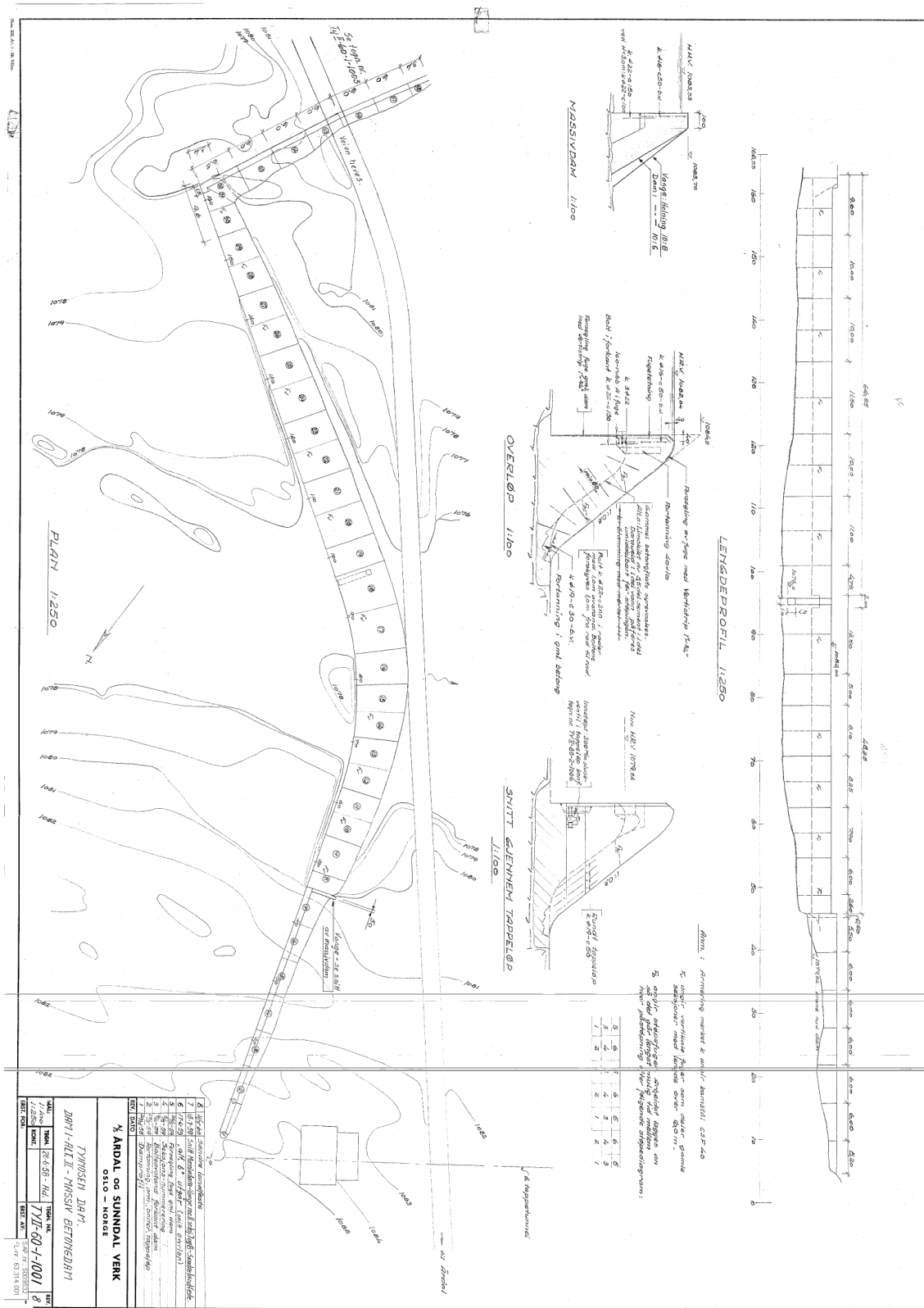
11 Vedlegg

Vedlegg 1 – Byggeskisse Tyin Dam 2 og 3



BYGGER		K. ARDAL og SUNNDAL VERK	
BYGGER		TYNØSEN DAM	
BYGGER		OSLO - NORGE	
BYGGER		PROFIL, SNITT, DETALJ DAM 2-3	
BYGGER		TYNØSEN DAM	
BYGGER		TYNØSEN DAM	
BYGGER		TYNØSEN DAM	
BYGGER		TYNØSEN DAM	
BYGGER		TYNØSEN DAM	
BYGGER		TYNØSEN DAM	

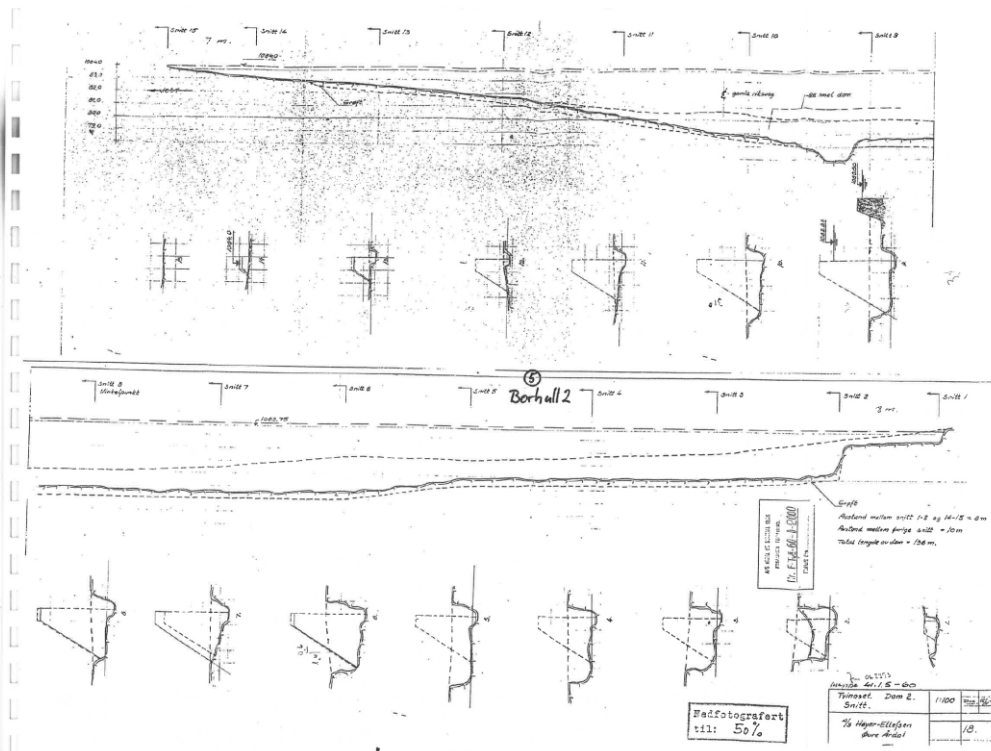
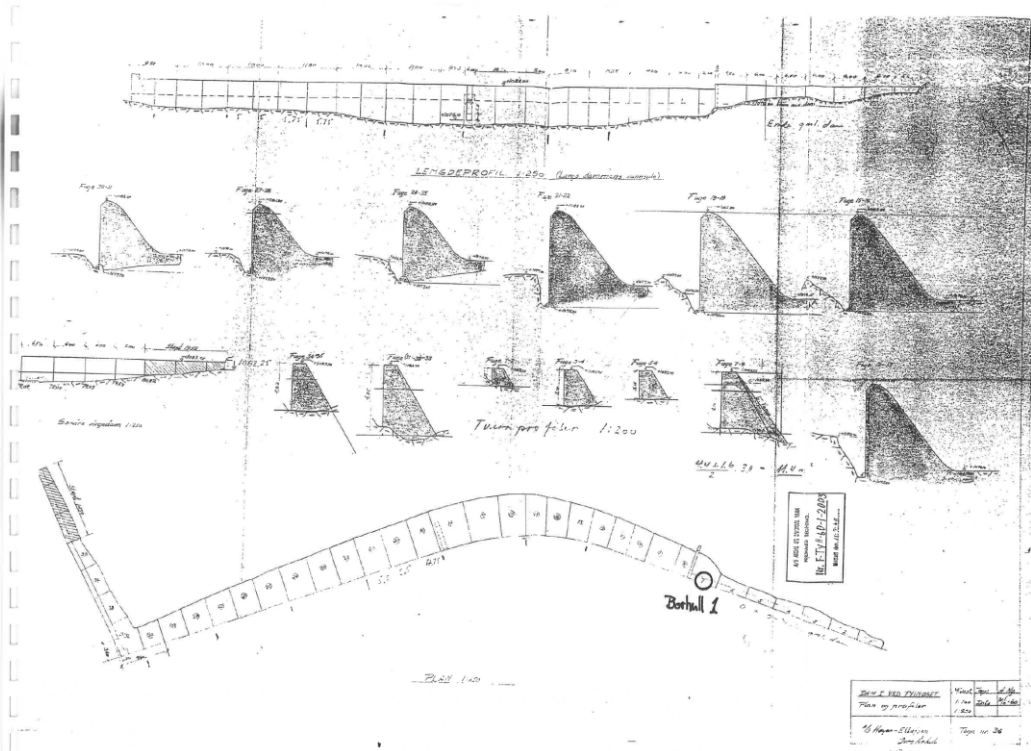
Vedlegg 2 – Byggeskisse Tyin Dam 1

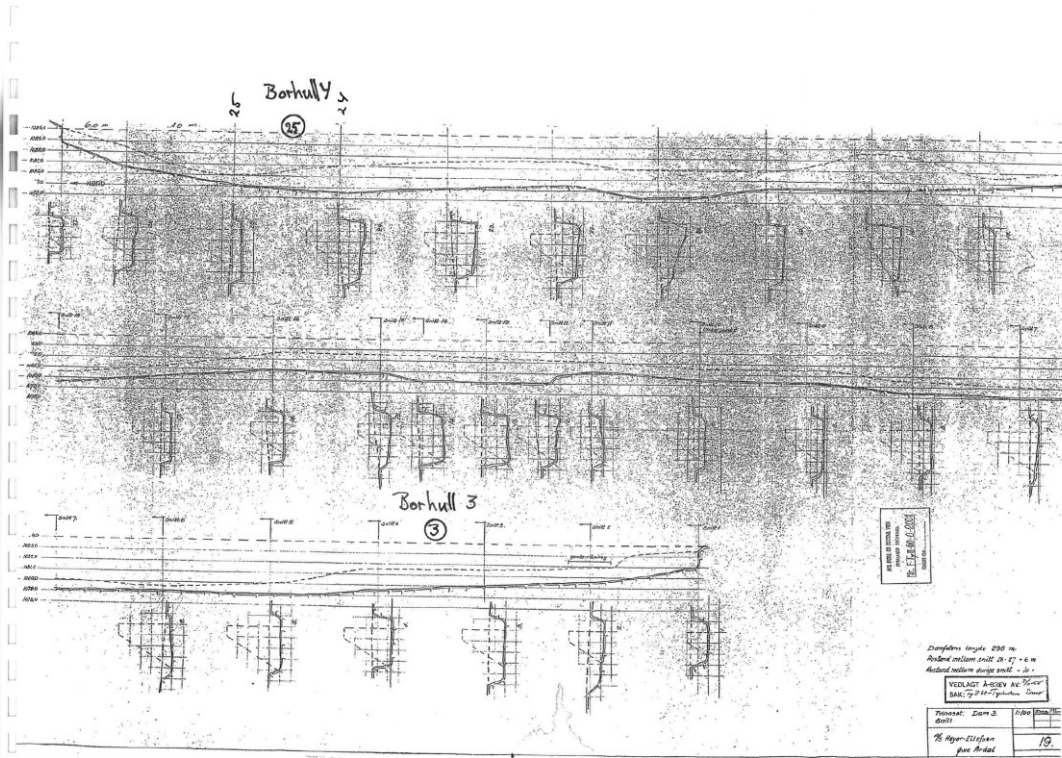


TYIN DAM		TYIN DAM	
MAKT	1:250	TYIN DAM	1:250
BYGG	1:250	TYIN DAM	1:250
BYGG	1:250	TYIN DAM	1:250

TYN DAM
 1:250
 TYIN DAM
 1:250
 TYIN DAM
 1:250
 TYIN DAM
 1:250

Vedlegg 3 – Tidlegare utført boring Tyn Dam 1, 2 og 3





Vedlegg 4 – Prosedyre for utboring, pakking, merking og sending av borkjerner

Prosedyre for utboring, pakking, merking og forsendelse av borkjerner

Lokaliteter og omfang:

Omfang av prøvetaking (inkl. lokalisering, antall kjerner og lengde av kjernene som bør ha diameter ca. 100 mm) og merking av prøvene avklares med SINTEF Byggforsk v/Jan Lindgård (mobil: 93 05 86 89; e-post: jan.lindgard@sintef.no) i god tid før prøvetaking. Ved eventuelle usikkerheter eller spørsmål under arbeidet, ta kontakt pr telefon.

Etter utboring bør det tas foto av prøvelokalitetene, som også bør tegnes inn målsatt på en skisse/tegning av konstruksjonsdelen. Borhullene anbefales støpt igjen med egnet reparasjonsmørtel.

Prosedyre for prøveuttak og pakking av prøver:

- Én og én kerne bores ut uten opphold og tas ut av borhullet umiddelbart etter boring (for å unngå å forstyrre in-situ vanninnhold)
- Før borkjernen tas ut av borhullet (helst før boringen starter) merkes kerneoverflaten med pil
 - o i retning "opp" ved horisontal boring
 - o i retning "mot vannsiden" ved vertikal boring
- Etter uttak fra borhullet tørkes kjernen umiddelbart av med papir og merkes med lokalitet (i henhold til avtalt lokaliseringssystem) og prøvenummer i aktuell lokalitet (1, 2, 3, ...)
- Dersom kjernen er delt i flere deler tapes delene sammen slik de hører sammen. Alle deler merkes med lokalitet, prøvenummer og pil
- Kjernen pakkes i tett plast som forsegles med tape (bruk gjerne tynn, tettsittende plast innerst (åla Gladpack) og en tykkere plast utenpå). Forsøk å unngå for mye luft inne i plasten
- Kjernen merkes på nytt på plasten, med lokalitet og prøvenummer som beskrevet over
- Flere plastpakkede kjerner fra samme lokalitet kan gjerne legges sammen i en større plastpose

Forsendelse av kjerner til SINTEF Byggforsk:

- Etter pakking av kjernene bør de lagres kjølig, dvs. i skyggen (unngå direkte solskinn) og ikke i godt oppvarmede rom eller på gulv med varmekabler
- Kjernene pakkes forsvarlig i en kasse e.l. og sendes hurtig (gjernne "over natten") til:

SINTEF Byggforsk
Arkitektur, byggematerialer og konstruksjoner - Betong
Rich Birkelands vei 1C, Port 4
7034 Trondheim
v/Jan Lindgård

Vedlegg 5 – Risikoregister for kjerneboring Tyin Dam 3

RISIKO NR	ANLEGGSDDEL	LEDEFORD	U/FORMÅL/UT/UMS/SA	ARBEJDSBESKRIVELSE	KONSEKVENNS	AVTALS/ESGR (Kategori)	KONSEKVENSKATEGORI	RISIKOVURDERING	TILTAK / RESULTAT/UNG MED KOMMENTARER	RISIKOVURDERING
						Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
						Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
						Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
1	Regulering/gjenging	Transport, overføring vegg	Farenomert knytt til veinging	Fartlig adferd	Personskade, Materieil skade, omverden	Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
2	Tynossen	Rigging/bedrigging	Fall	Fartlig adferd, Mangelfull planlegging	Skade på personell	Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
3	Tynossen	Rigging/bedrigging	Kjemiske	Fartlig adferd, Mangelfull planlegging	Skade på personell	Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
4	Tynossen	Boring av kjenar	Sprutskade	Sprutskade F3	Skade på personell	Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
5	Tynossen	Pakking av kjenar	Kjemiske	Tunge kjenar over sjal	Skade på personell	Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
6	Tynossen	Miljø	Søl med oestam/konkretd	Mangelfull planlegging	Skade på miljø	Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
7	Tynossen	Miljø	Søl med drusar/dioksidiv	Mangelfull planlegging	Skade på miljø	Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING
8	Tynossen	Vær og vind	Kuldeskader	Mangelfull planlegging	Skade på personell	Verktøy (Kategori)	ORI	RISIKOVURDERING		RISIKOVURDERING

Klasse nr.	Sannsynlighet	Frekvens	Stikkord
1	Megget usannsynlig	< 10-3/år. En gang pr. tusen år.	Aldri hørt om i industrien
2	Usannsynlig	< 10-2/år. En gang pr. hundre år.	Hørt om det i industrien, men aldri i Hydro
3	Sannsynlig	0,1 pr. år. En gang pr. ti år.	Har hørt i Hydro, men aldri hos oss lokalt
4	Megget sannsynlig	1. En gang pr. år.	Har hørt i 1 gang i året hos oss lokalt
5	Svært sannsynlig	10-11 ganger pr. år eller mer.	Har hørt mer enn 1 gang i året hos oss lokalt

Klasse nr.	Personikkerhet / helse (p)	Miljø (m)	Femstjer-ber: berasjon + produktjonskostnad (ø)
1	Utførelse, ingen skade med levetid (fysiske/lede, mindre skader)	Ingen oljeutslipp/gasser/skadelige vannmengder ut i naturen, kontrollerte lekkasjer i stasjonen.	0 < kostnader < 100 tusen (mindre skader)
2	Fartlig, skade med levetid (M/C medium skade, krevenskt berunding)	Oljeutslipp/gasser/skadelige vannmengder ut i naturen, lite giftig, små mengder, raskt utblandet og nedbrutt.	100 tusen < kostnader < 1 mill. (medium skader)
3	Kritisk, skade med varig men (L/T/Froverstskade)	Store oljeutslipp ut i naturen, Flora og fauna skadet for mange år, giftige stoffer i utseksjon med fare for det for en person (allergi o. s.v.) Kilde utbruktlig > 1 uke, skadelige vannmengder med varige skader på natur og eiendom.	1 mill. < kostnader < 10 mill. (store skader)
4	Hendelse av dødboringende karakter for en person.	Escurrene oljeutslipp (korrosjon), utslipp i drukkere med fare for død for flere personer, utbrutt medvirkende skade giftig, Kilde utbruktlig > ett år. Planvarmering i stråleseksoren dænbodd dam klasse 3.	10 mill. < kostnader < 100 mill. (store skader)
5	Hendelse av dødboringende karakter for flere personer.		100 mill. < kostnader. (massive skader)

NB! Beskrivelsen i klasse 1-3 under "people" (L, T, M, C) forstås som kun til orientering for rapporteringsformål. Deri faktiske klassifiseringen av en risikohendelse kan avvike av de potensielle konsekvensene i hvert enkelt tilfelle – varere.

Risiko klasser:	Sannsynlighets kategori				
	1	2	3	4	5
5	høyt	høyt	høyt	høyt	høyt
4	høyt	høyt	høyt	høyt	høyt
3	høyt	høyt	høyt	høyt	høyt
2	høyt	høyt	høyt	høyt	høyt
1	høyt	høyt	høyt	høyt	høyt

Akseptkriterier og risikoplot

RISIKOMATRISSE

Korrigert for 200 liter 20/12-18

SINTEF		Prøveblanding i betong		side 1		Prosjektnr. 102037752-17			
Oppdrag fra NTR50				Journalnr.					
Blanding nr. II 20/12-18		Konsistens		Vekt reg.nr:					
Delmaterialer	Deler	Tørr vekt, kg	Fukt, %	Innveid vekt, kg	Vann, kg				
Sement INDUSTRI	A-4334	91.400	-	✓ 91.400	-				
ÅRDAL 0/4	A-57FL	133.400	(q.s) 4x	✓ 139.403	5.869				
OTTERSBO 4/8	A-3919	34.400	(q.i) 0.4	✓ 34.435	~ 0.138				
- " - 8/11		103.600	(q.i) 0.2	✓ 103.703	~ 0.207				
- " - 11/16		69.000	(q.i) 0.3	✓ 69.070	~ 0.207				
Vekt reg.nr:									
Tilsetningsstoff	Deler	Konsentrert, kg	10 % oppløsning, kg		Vann, kg				
SILKA FB-2	A-4052	0,398							
				Tilsatt blandedvann, kg		✓ 38,083			
Totalt vanninnhold, oppgitt av saksbehandler (eks vann i konsentrerte tilsetningsstoffer)				✓ 43,400					
Utstøpte prøvestykker, antall og dimensjoner. Utstøpt kl:									
..... stk	.....cm	.....merket	.....prøves	.....ved alder	.....døgn		
..... stk	.....cm	.....merket	.....prøves	.....ved alder	.....døgn		
..... stk	.....cm	.....merket	.....prøves	.....ved alder	.....døgn		
..... stk	.....cm	.....merket	.....prøves	.....ved alder	.....døgn		
v/c	v/c + s	Synkmål	Utbredelsesmål	Luftinnhold	Romdensitet				
		165mm	-	2.8%	2370				
Betongblanding og målinger utført av:									
Delmaterialer i kg/m ³ betong									
Vekt reg.nr:		Sement	Silika	Vann					
Nr	Vekt i g ved avform	Vekt i g ved prøving	Lastinnstilling/maskin Operatør/Dato	Bruddlast (kN eller kp)	Trykkfasthet MPa	Middel MPa	Største n. steinstr	Bruddform*	Alder døgn

* Se NS-EN 12390-3 for koding av bruddform.

Rev. 2014-01-20 GK

891 Prøveblanding i betong

Vedlegg 7 – Mottakskontroll SINTEF

Nøe dekkning

Steinrik betong

Beskrivelse av kjerner fra dammene i Tynosen

Dmax ca 40-50 mm

Prøve merket	Diameter, mm	Lengde, mm	Riss i overflaten, vidde/dybde	Armering, diameter og overdekning	Tegn på ASR, riss, gel annet	Kommentar, sporestein etc
Nr 5	93	970-980	Nei	-	Hvit utfelling i flere luftporer, enkelte min i tilslag, mest i ytre del	Ingen sporestein. En del komparporer
Nr 4	92	930-940	Nei	-	Hvit utfell. i flere luftporer, min i enkelte tilslag	Sporestein i ca dybde 80 mm
Nr 3	92	980-1000	Nei	-	Gel i (være) luftporer En del min i tilslag, tilsvarende	Flere sporestein. Hvit utfell. i ytre del
Nr 2	93	1000	Nei	-	Hvit utfell. i flere luftporer. Enkelte, til dels min i tilslag, mest i ytre del	Brud i dybde ca 850 sporestein. Hvit utfell. i ytre del
Nr 1	92	945-980	Riss (v=0,15 mm) til dybde 4,5 mm. Risset ligger sving på øverste del	(Ø)	Hvit utfell. i flere luftporer Enkelte, til dels min i tilslag	Brud i dybde 250 mm. Sporestein ytterst
Nr 6	92	1010	Et min rullvidde 0,30-0,50 mm inn til ca 60 mm	-	Hvit utfell. i mange porer. Riss (til dels min i tilslag)	Flere brud ytre ca 180 mm + brud ca 70 mm
Nr 7	90	960-1000	Et hakk fyllt med ca 0,10 mm vidde, 0 mm dybde	Riss (til dels min i tilslag)	Hvit utfell. mange porer. Riss i fyll, på brudfl.	Brud d = 390 og 550 mm.
Nr 8	92	720-810	Et min rullvidde 0,85-1,50 mm. Går 170 mm inn	-	Hvit utfell. enkelte porer. Riss i enkelte tilslag, til dels min i tilslag	Sporestein ca 100 mm. Steppesjikt 2/3 av lende kj.

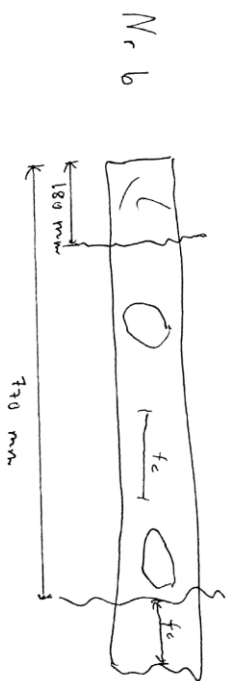
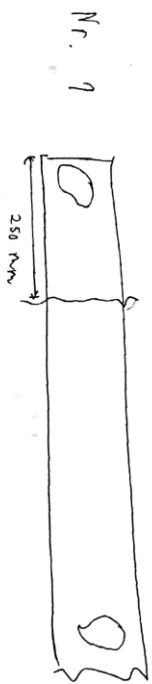
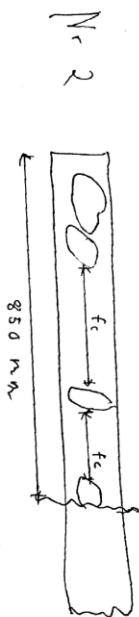
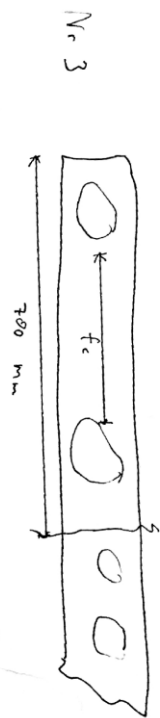
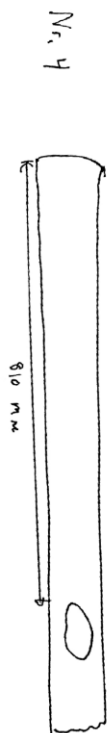
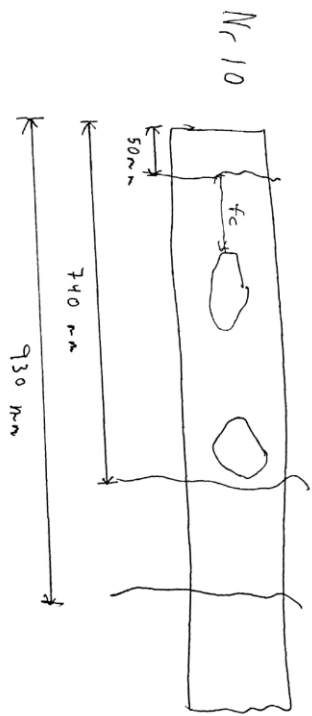
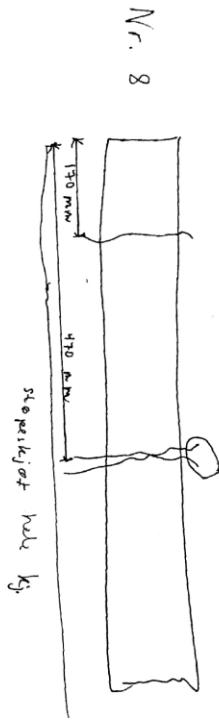
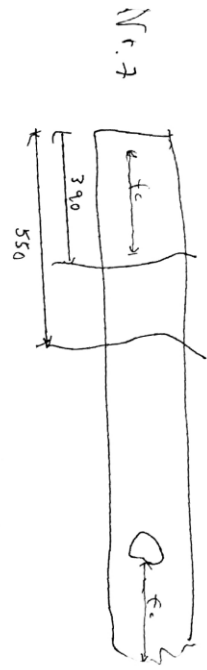
Gel gj. med kj. i enkelte kj.
 Hvit utfell. i ytre del
 Ikke mulig med nok testing

Noe delblanding

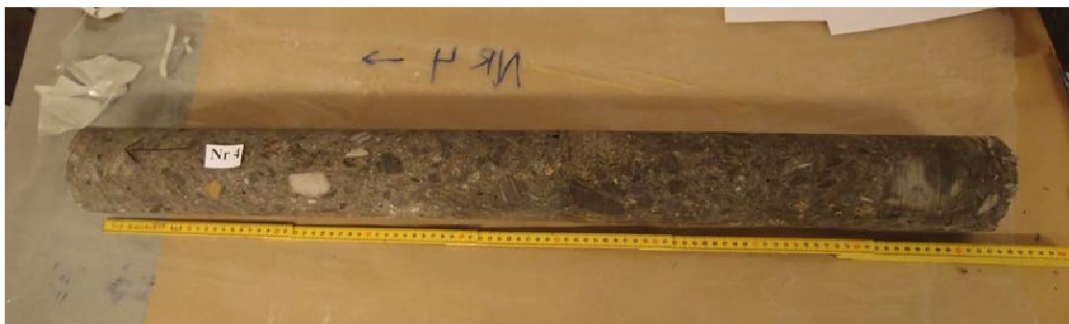
Steinrik betong

Beskrivelse av kjerner fra dammene i Tynosen

Prøve merket	Diameter, mm	Lengde, mm	Riss i overflaten, vidde/dybde	Armering, diameter og overdekning	Tegn på ASR, riss, gel annet	Kommentar, sparestein etc
Nr 9	97	900	-	-	Rel. føning i tilsløag, noe delblanding. Hvit utføll. flere porer	Hvitøg mye fc + mek. testøng
Nr 10	92	1000	Et riss 0,075 i 0,30 mm (gjør 50 mm inn)	-	Hvit utføll. mange porer. Riss i enkelte (til dekkvidde) følløng	Mye storøstein, fc



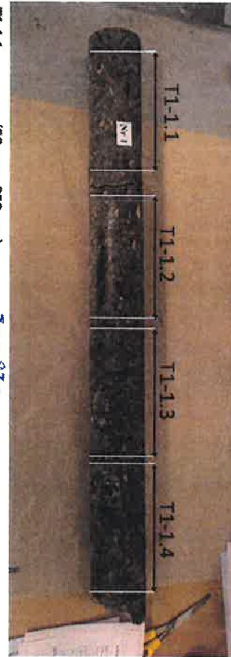
Vedlegg 8 – Oversikt over borkjerner





Vedlegg 9 – Plan for utnytting av kjerneprøver og mål på tilverka prøvar

Prøve 1



T1-1.1	(50mm – 250 mm)	<u>30 - 230</u>
T1-1.2	(250mm – 460 mm)	<u>280 - 460</u>
T1-1.3	(470mm – 670 mm)	<u>490 - 690</u>
T1-1.4	(700mm – 900mm)	<u>700 - 900</u>

Ø 94

Prøve 2



T1-2.V1 (spilte før stor stein)	(0mm – ca. 120mm)	<u>- 145</u>
T1-2.1	(200mm – 400mm)	<u>285 - 425</u>
T1-2.2	(450mm – 650mm)	<u>V</u>
T1-2.V2	(fra brudd – 990mm)	<u>825 - 980</u>

+ rest 650 - 840

Ø 94

Prøve 3



T1-3.V1 (spilte)	(0 – ca.120mm)	<u>0 - 140</u>
T1-3.1	(100mm – 300mm)	<u>160 - 300</u>
T1-3.V2 (spilte)	(350mm – til brudd), minst 50mm fra sagsnitt til spilte-snitte	<u>410 - 700</u>
T1-3.2	(710mm – 910mm)	<u>740 - 910</u>

T1-3.V2 - rest

Prøve 5



T1-5.1	(0mm – 200mm)	<u>10 - 210</u>
T1-5.2	(210mm – 410mm)	<u>V 220 - 420</u>
T1-5.3	(420mm – 620mm)	<u>V 420 - 620</u>
T1-5.4	(630mm – 830mm)	<u>V 630 - 830</u>
T1-5.V1	(minst 50mm fra sagsnitt til spilte-snitte)	<u>870 - 980</u>



Prøve 6

SPT

fc

T2-6-V1 (splittet av før stor stein)
 T2-6.1 (500mm - 700 mm)
 T2-6.2 (770mm - 970mm)

0-2145 ?
495-695 ?
696-895 ?

Flukt 6.2

rest
 T2-6 rest
 Hb - 1000



Prøve 7

SPT

SPT

fc

T2-7.1 (50mm - 250 mm)
 T2-7-rest, ta vare på kjernedel mellom T2-7.1 og T2-7.2, pakkes i plast og merkes med pilt ut
 T2-7.2 (750mm - 950mm)
 T2-7.3 (550mm - 750mm)

50-250
550-750
750-950

SPT

Prøve 9



T2-9.1 (50mm - 250 mm)
 T2-9.2 (260mm - 460 mm)
 T2-9.3 (470mm - 670 mm)
 T2-9.4 (680mm - 880 mm)

✓
 ✓
 ✓
 ✓

Denne vil bli splittet senere til vannmetningsgrad
 La demme bare ligge

Prøve 8



Prøve 10



T2-10-V1 (Splitt på 300mm)
T2-10.1 (50mm - 250mm)

310 - 350
80 - 280

T10-rest, ta vare på kjernedel fra brudd og innover, pakkes i plast og merkes med pil ut 350 - 600

Vedlegg 10 – Prosedyre ekspansjonsmåling referansesylintrar

KPN (102007752-19 / task 1020):

Eksposering og måling av 10 stk Ø100xL200 sylindere i 60°C reaktor

Tidligere utført arbeid med de 10 sylindere

I forbindelse med støping av prøvestykker ved K-lab. 19. desember 2018 (hvor Knut ledet blandingene) ble det støpt ut 10 ekstra sylindere med dimensjon Ø100 x L200 mm. Disse ble avformet 21. desember ved NTNU.

Videre behandling ved SINTEF var som følger:

- Sylindere ble merket: "Student dam – 2018-12-19", samt nr. "1-10"
- Sylindere ble veid før påfølgende lagring i "100-%-kar" (under plast, over vannspeil, på tilsvarende måte som formene for NB32-priser lagres)
- Sylindere ble lagret i "100-%-karet" ved ca. 20°C til i andre halvdel av januar før de ble preparert på følgende måte:
 - I hver sylinder ble det sentrisk i hver ende boret et hull hvor måleknasten av rustfritt stål ble limt inn (på tilsvarende måte som utført tidligere for borkjerner hvor det måles "restekspansjon")
 - Det ble satt på "pil opp" på hver sylinder, samt løpenr. "1-10" på endeflaten som vender opp
 - Under hele prosessen ble det tilstrebet å ikke tilføre eller tape fukt, dvs. sylindere skulle tørkes av (hvis behov) umiddelbart etter at de ble tatt opp fra "100-%-karet" og de skulle heller ikke ligge og tørke i laboratoriet. De skulle også pakkes inn i tett plast mellom de ulike arbeidsoperasjonene. Hvis endene måtte ligge litt og tørke før liming av knaster, så skulle den resterende delen av sylindere være pakket inn i plast.
 - Etter liming ble hele sylinderen pakket inn i plast til limet var hardet og sylinderen igjen kunne settes tilbake i "100-%-karet" inntil ASR-eksponeringen starter.

ASR-eksponering av sylindere i februar 2019

Referansemåling av de 10 sylindere ble utført av Kristen og Roger 2019-02-13 ved bruk av det nye Mitutoyo-mikrometeret til SVV som kan måle lengder i området 150-300 mm. Deretter ble alle 10 sylindere plassert i en NB32-container og plassert i reaktor ved 60°C / 100 % RF.

Det skal utføres måling av vekt og lengde etter følgende antall uker etter referansemåling (måles etter avkjøling over natta): 4, 9 og rett før SDT-prøvingen skal utføres – se vedlagte måleskjema.

2019-02-14

Jan (Kristen)

Student dam - lagring og måling av 10 stk sylindere for senere SDT - 2019-02-14 (1)

Vedlegg 11 – Ekspansjonsmålinger referansesyndrar

Oppdragsgiver: Masterstudent Kristen R. Aarethun				Prosjektnr. / task: 102007752-19 / 1020			
AAR-4.1 (måles etter avkjøling av prismene til 20°C - 100x200 / 70/70/280 mm)				Utliddekkede prismar:		X	
				Wrapped (bomull og plast):			
				Wrapped (bomull og plast) + pose:			
Testserie nr:	A/O-5.5	Container merket:	A/O-5.5	Støpedato:	2018-12-19	Mix (batch) nr:	A/O-5.5
Eksponering etter "herdeperioden"	Referanse ved 20°C		4 uker ved 60°C		8 uker ved 60°C		
Alder	uker dager		uker dager		1 uker dager 2		
Dato utført	13.02.19	Måledato: 13.02.19	Ut fra 60°C: 12/3-19	Måledato: 13/3-19	Ut fra 60°C: 16/4-19	Måledato: 17/4-19	
Kontroll mot referansestav	Før måling: 0 Etter måling: -0,050		Før måling: 0 Etter måling: -0,003		Før måling: 0/4-19 Etter måling: 0,006 3/4 0%		
Kjerne merket	Vekt (g)	Avlest (mm)	Vekt (g)	Avlest (mm)	Vekt (g)	Avlest (mm)	
102007752-2-1	3696,1	-4,721	3700	-4,268	3712	-4,098	midt 3/4 Fuler
102007752-2-2	3716,5	-2,736	3728	-2,559	3744	-2,292	1/4 8 uker
102007752-2-3	3686,3	-5,362	3700	-4,943	3706	-4,771	midt 3/4 Fuler
Husk at knastene skal rengjøres med rødsprit før måling. Ikke påfør silikonfett etter at målingene er utført							
Måling utført av	RL / Kristen R. Aarethun		RL		RL 3/4 E 7/4		
Kommentarer (inkl. visuell kontroll av prismar)			Hvite streper / utfelling				
Dato + sign lab.leder			2019.03.13 F. Salan				
Kommentarer, dato + sign saksb.							

Jan 2019-02-13

1 Fylt på deionisert vann

Side 1 av 1

Oppdragsgiver: Masterstudent Kristen R. Aarethun				Prosjektnr. / task: 102007752-19 / 1020			
AAR-4.1 (måles etter avkjøling av prismene til 20°C - 70/70/280 mm)				Utliddekkede prismar:		X	
				Wrapped (bomull og plast):			
				Wrapped (bomull og plast) + pose:			
Testserie nr:	A/O-5.5	Container merket:	A/O-5.5	Støpedato:	2018-12-19	Mix (batch) nr:	A/O-5.5
Eksponering etter "herdeperioden"	Referanse ved 20°C		4 uker ved 60°C		8 uker ved 60°C		
Alder	uker dager		uker dager		1 uker dager 2		
Dato utført	13.02.19	Måledato: 13.02.19	Ut fra 60°C: 12/3-19	Måledato: 13/3-19	Ut fra 60°C: 16/4-19	Måledato: 17/4-19	
Kontroll mot referansestav	Før måling: 0 Etter måling: -0,050		Før måling: 0 Etter måling: 0		Før måling: 0/4 Etter måling: 0,001 3/4 0,000 1/4		
Kjerne merket	Vekt (g)	Avlest (mm)	Vekt (g)	Avlest (mm)	Vekt (g)	Avlest (mm)	
102007752-2-4	3721,2	-4,368	3734	-3,851	3743	-3,681	midt 3/4 Fuler
102007752-2-5	3715,1	-3,816	3729	-3,287	3738	-3,096	1/4 8 uker
102007752-2-6	3703,3	-1,665	3715	-1,330	3726	-1,115	1/4 8 uker
Husk at knastene skal rengjøres med rødsprit før måling. Ikke påfør silikonfett etter at målingene er utført							
Måling utført av	RL / Kristen R. Aarethun		RL		RL 3/4 C 7/4		
Kommentarer (inkl. visuell kontroll av prismar)			Hvite streper / utfelling				
Dato + sign lab.leder			2019.03.13 F. Salan				
Kommentarer, dato + sign saksb.							

Jan 2019-02-13

1 Fylt på deionisert vann

Side 1 av 1

Oppdragsgiver: Masterstudent Kristen R. Aarethun				Prosjektnr. / task: 102007752-19 /1020			
AAR-4.1 (måles etter avkjøling av prismene til 20°C - 70/70/280 mm)				Utildekkede prismar:		X	
				Wrapped (bomull og plast):			
				Wrapped (bomull og plast) + pose:			
Testserie nr:	Å10-S.5	Container merket:	Å10-S.5	Støpedato:	2018-12-19	Mix (batch) nr:	Å10-S.5
Eksponering etter "herdeperioden"	Referanse ved 20°C		4 uker ved 60°C		8 uker ved 60°C		
Alder	uker	dager	uker	dager	uker	dager	
Dato utført	13.02.19	Måledato: 13.02.19	Ut fra 60°C: 16/4	Måledato: 13/3-19	Ut fra 60°C: 16/4	Måledato: 17/4-19	
Kontroll mot referansestav	Før måling: 0 Etter måling: -0,050		Før måling: 0 Etter måling: -0,009		Før måling: 0,000 Etter måling: 0,000		
Kjerne merket	Vekt (g)	Avlest (mm)	Vekt (g)	Avlest (mm)	Vekt (g)	Avlest (mm)	
102007752-2-7	3714,9	-2,169	3733	-1,712	3741	-1,499	
102007752-2-8	3694,6	-5,297	3709	-4,810	3720	-4,512	
102007752-2-9	3748,6	-1,900	3763	-1,531	3772	-1,315	
Husk at knastene skal rengjøres med rødsprit før måling. Ikke påfør silikonfett etter at målingene er utført							
Måling utført av	RL/Kristen R. Aarethun		Hvite striper/utfelling		114 E7		
Kommentarer (inkl. visuell kontroll av prismar)							
Dato + sign lab.leder	2019.03.13 F. Saksb.						
Kommentarer, dato + sign saksb.							

Jan 2019-02-13

1 Fylt på deionisert vann

Side 1 av 1

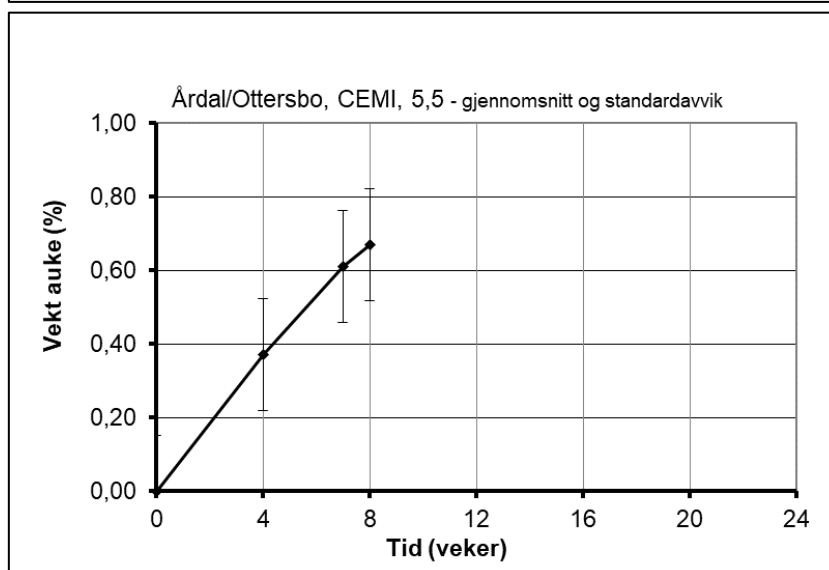
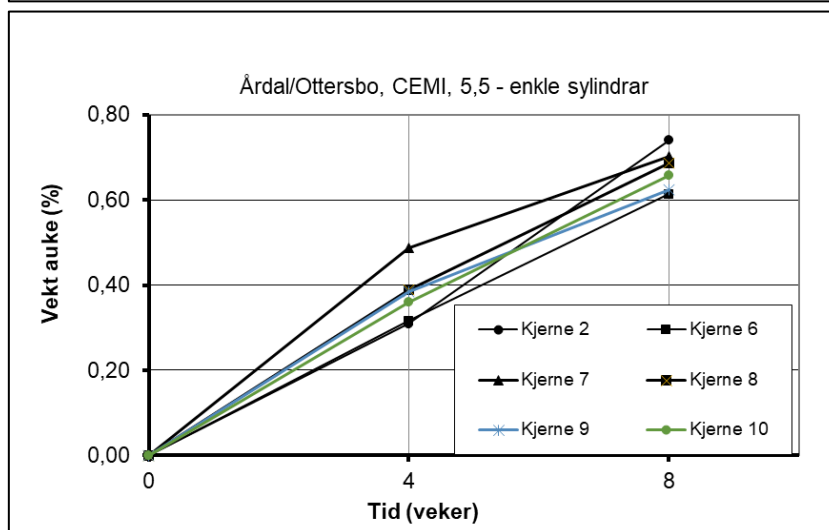
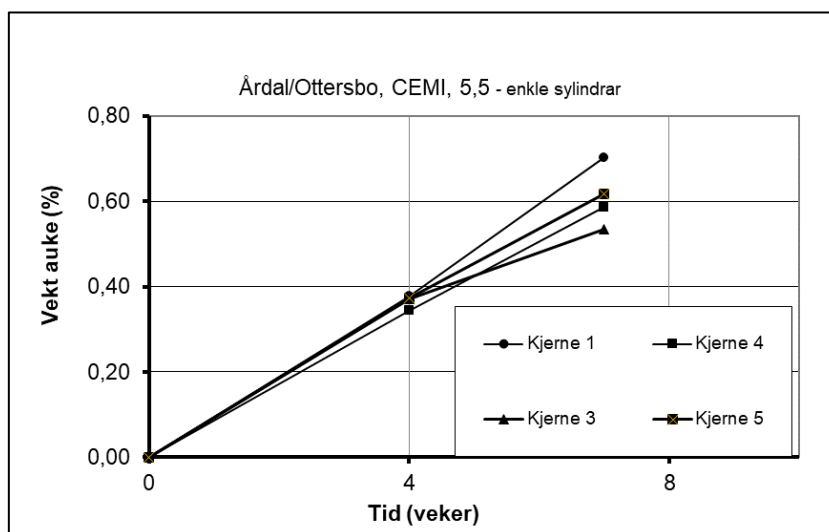
Oppdragsgiver: Masterstudent Kristen R. Aarethun				Prosjektnr. / task: 102007752-19 /1020			
AAR-4.1 (måles etter avkjøling av prismene til 20°C - 70/70/280 mm)				Utildekkede prismar:		X	
				Wrapped (bomull og plast):			
				Wrapped (bomull og plast) + pose:			
Testserie nr:	Å10-S.5	Container merket:	Å10-S.5	Støpedato:	2018-12-19	Mix (batch) nr:	Å10-S.5
Eksponering etter "herdeperioden"	Referanse ved 20°C		4 uker ved 60°C		8 uker ved 60°C		
Alder	uker	dager	uker	dager	uker	dager	
Dato utført	13.02.19	Måledato: 13.02.19	Ut fra 60°C: 12/3	Måledato: 13/3-19	Ut fra 60°C: 16/4	Måledato: 17/4-19	
Kontroll mot referansestav	Før måling: 0 Etter måling: -0,050		Før måling: 0 Etter måling: 0		Før måling: 0,000 Etter måling: 0,000		
Kjerne merket	Vekt (g)	Avlest (mm)	Vekt (g)	Avlest (mm)	Vekt (g)	Avlest (mm)	
102007752-2-10	3714,6	-4,253	3728	-3,800	3739	-3,549	
Husk at knastene skal rengjøres med rødsprit før måling. Ikke påfør silikonfett etter at målingene er utført							
Måling utført av	RL/Kristen R. Aarethun		Hvite striper/utfelling		114 E7		
Kommentarer (inkl. visuell kontroll av prismar)							
Dato + sign lab.leder	2019.03.13 F. Saksb.						
Kommentarer, dato + sign saksb.							

Jan 2019-02-13

1 Fylt på deionisert vann

Side 1 av 1

Vedlegg 12 – Vektauke i referansesyndrar 1-10



Vedlegg 13 – Prosedyre for prøvestykke til SDT, E_c, f_c og vassinnhold

(Prosjektnr. 102007752-19 / task nr. 1020)

Prosedyre for preparering av prøvestykker til SDT, E-modul, trykkfasthet og vanninnhold.

Kjerneprøvene tas samlet ut på pall fra 5°C – rommet. De er merket med prøvenummer 1-10 og en pil som viser retning mot overflaten av konstruksjonen. Prosedyren under beskriver arbeidet for preparering av prøvestykker fra åtte av disse kjernene (kjerne 4 er inkl. i en separat beskrivelse for preparering for DRI/planslip, mens kjerne 8 fremdeles skal ligge innpakket i plast på 5°C-rommet). Ved lengre opphold i arbeidet skal kjernedelene/prøvestykkene pakkes inn i plast. Det blir en del kapp og små biter til overs etter splitting og saging. Disse restene kan kastes.

I bildebeskrivelsen vedlagt er det tegnet inn svarte og hvite streker. Svart strek angir splitting og hvit strek angir saging. Splittingen foretas umiddelbart etter utpakking og merking (se pkt. 1-7).

Prosedyre for splitting, saging, plansliping, merking og pakking.

1. Ta opp første kjerneprøve og pakk ut fra plast.
2. Arbeide raskt med de delene som skal brukast til vannmetningsgrad (punkt 1-7).
3. Mål opp, skriv på navn, pil ut og sett på streker for prøvestykkene som skal splittes av (f.eks. T1-2.V1). Dette skal kun utføres for kjerne 2, 3, 5, 6 og 10.
4. Mål nøyaktig inn avstanden fra overflaten til første sagsnitt, merk sagsnittet (for kjerne 3 må også avstanden til første sagsnitt for kjerne T1-3.2 merkes av), samt sett på pil ut. Etter utsplitting (pkt. 3) kan resterende streker måles inn nøyaktig (se pkt. 8 og 11).
5. Splitt av prøvestykkene til vannmetningsgrad fra kjerneprøven.
6. Ta et kontrollmål av utsplittede prøvestykker og skriv ned reelle mål i beskrivelsen.
7. Prøvestykkene for vannmetningsgrad pakkes inn i tett plast, forsegles med tape, merkes på nytt utenpå platen og legges på 5°C- rommet.
8. Deretter måles alle resterende prøvestykker nøyaktig inn, merkes med navn (f.eks. T1-1.1) og pil ut. Hvis dybdene avviker fra beskrivelsen, måles dybdene nøyaktig inn og angis på vedlagte beskrivelse. Etter merkingen rulles kjernedelen inn i plast og legges til side.
9. Gjenta pkt. 1-8 for alle kjerneprøvene.
10. Etter at alle kjernedelene er ferdig merket, sages de enkelte prøvestykkene ut, før de rulles inn i plast og legges til sides.
11. Når alle prøvestykker er ferdig saget, planslipes én og én prøve. Ferdig slipt prøvestykke skal ikke være kortere enn 195 mm.
12. Ferdig tildannede prøvestykker tørkes av og pakkes inn i tett plast, forsegles med tape, merkes på nytt utenpå platen og legges på 5°C – rommet.

Vedlegg 14 – SDT resultat SINTEF

Serie 1

SINTEF Byggeforsk, Betong- og natursteinlaboratoriet

1/2

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET SYLINDRE SINTEF

Oppdragsgiver: _____ Prosjektnr: 1200752-19
 Reg.nr. vekt: B-181 Journalnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Vekt av jern i vann	Vekt av jern i luft	Netto volum	Netto densitet	Middel densitet	Bruddlast*	Trykkfasthet	h/d	Omregn.-faktor	Omregn.-trykkfasthet	Middel trykkfasthet	
	mm																mm
T1-1.4	195	94		1973,8	3255,2	fc		1,341	2427		222,2						13/2-19
T1-3.2	194	94		1879,2	3218,1	fc		1,339	2403		235,2						"
T1-1.1	195	93		1840,0	3166,8	Vender på	91 kN	1,327	2386		178,8						"
T1-1.2	195	93		1873,6	3203,2	—	85 u	1,330	2408		172,8						"
T1-1.3	196	94		1873,4	3115,5	—	85 u	1,242	2508		202,7						"
T1-5.1	195	93		1873,7	3197,0	—	44 u	1,323	2416		189,8						"
T1-5.2	195	93		1857,0	3162,1	—	132 u	1,324	2388		225,5						14/2-19
T1-5.3	196	93		1771,9	3075,3	—	132 u	1,303	2360		243,6						"
T1-5.4	195	94		1807,2	3153,5	—	44 u				237,0						"

Prøvene ble lagt i vann: innpakkede - plassert på 5°C Dato/sign: 13/2-19 E.F.
 Trykkprøvd den 13/2, 14/2-19 i Form Test B-62 ved innstilling 2000/5000kN Dato/sign daglig lab.leder: 14/2-19 E.F.

* Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) anmerkes dette med kode i kommentarfeltet.
Kommentarer: målelengde for givere er 100mm
Før arbeid må du nullte i regnearket

Rev. 2015-09-08 GK

923 Trykkfasthet-densitet sylinder NS-EN 12390-3 (sjekke 831)

Serie 2

SINTEF Byggeforsk, Betong- og natursteinlaboratoriet

1/2

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET SYLINDRE SINTEF

Oppdragsgiver: _____ Prosjektnr: 1200752-19
 Reg.nr. vekt: B-181 Journalnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Vekt av jern i vann	Vekt av jern i luft	Netto volum	Netto densitet	Middel densitet	Bruddlast*	Trykkfasthet	h/d	Omregn.-faktor	Omregn.-trykkfasthet	Middel trykkfasthet
	mm															
T2-6.2	198	94		1977	3346	fc					217,2					
T2-7.3	198	92,5		1845	3773	fc					239,1					
T2-9.1	196	93		1881	3213	Vender på	45,6 kN				167,8					
T2-9.4	196	93		1847	3761	—	—				166,6					

Prøvene ble lagt i vann: _____ Dato/sign: 14-19 E.F.
 Trykkprøvd den 3/4-19 i Form Test B-62 ved innstilling 2000 kN Dato/sign daglig lab.leder: _____

* Ved utilfredsstillende bruddform (se s. 2) anmerkes dette med kode i kommentarfeltet.
Kommentarer: _____

Rev. 2015-09-08 GK

923 Trykkfasthet-densitet sylinder NS-EN 12390-3 (sjekke 831)

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET SYLINDRE **SINTEF**

Oppdragsgiver: u Tynslan 3, område 2^a Prosjektnr: 10200752-19

Reg.nr. vekt: B-181 40% SDT 0,1 MPa/s Journalnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Vekt av jern i vann	Vekt av jern i luft	Netto volum	Netto densitet	Middel densitet	Bruddlast*	Trykkfasthet	h/d	Omregn.faktor	Omregn. trykkfasthet	Middel trykkfasthet	
	mm																mm
T2-6.1	196	93		1895	3230	Varede på	91,2 kN				168,2						
T2-7.1	198	93		1825	3209	"	80				746,3						
T2-7.2	195	93		1829	3137	"	80				177,0						
T2-9.2	197	93		1843	3157	"	80				168,6						
T2-9.3	198	93		1829	3156	"	85				181,8						

Prøvene ble lagt i vann: _____ Dato/sign: 3/4-19 E.F.
 Trykkprøvd den 3/4-19 i Formtest B-62 ved innstilling 2000kN Dato/sign daglig lab.leder: _____

* Ved utfredsstillende bruddform (se s. 2) anmerkes dette med kode i kommentarfeltet.
 Kommentarer: T2-7.1 givene slidd? To filer 1. og 2-5. Tok ut prøven mellom filer og smudde på den.

NS-EN 12390-3:2009 PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET SYLINDRE **SINTEF**

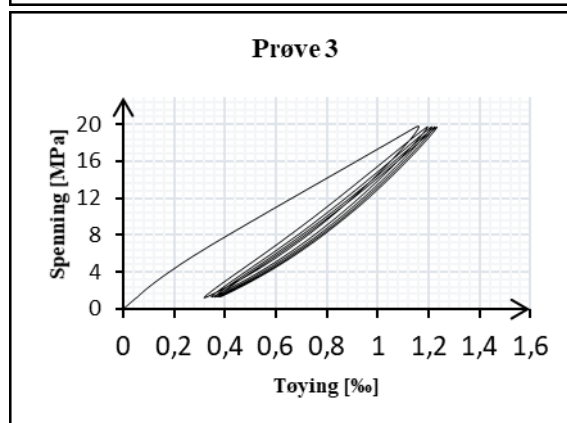
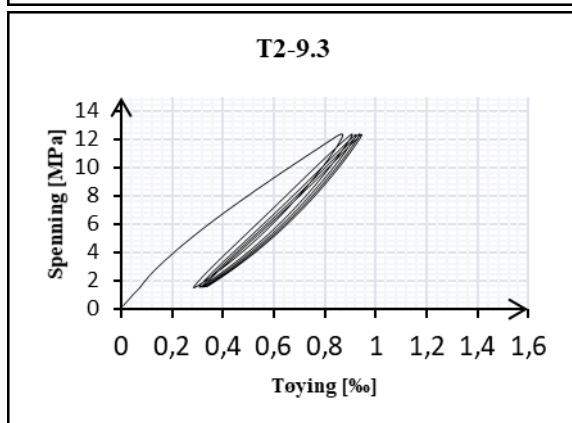
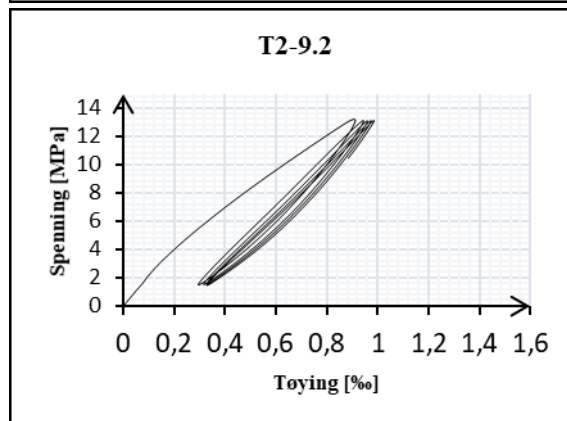
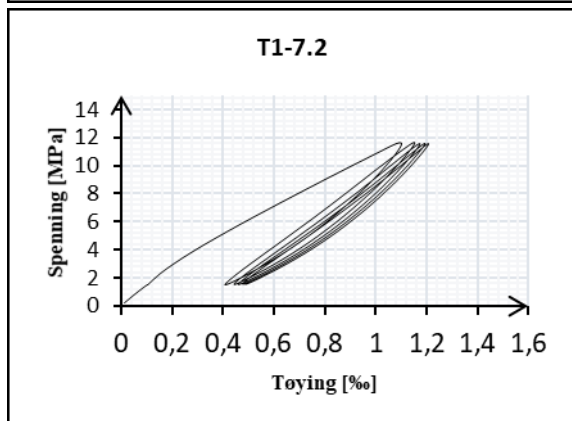
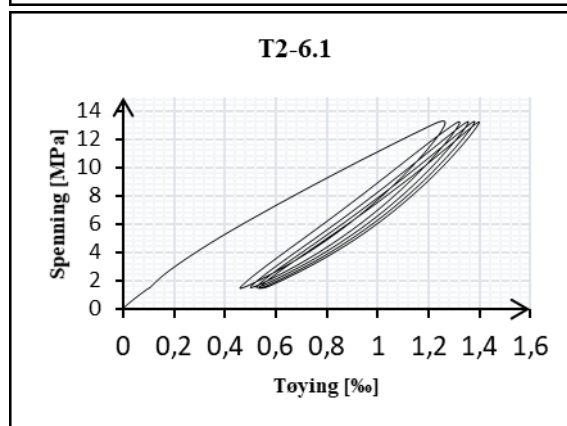
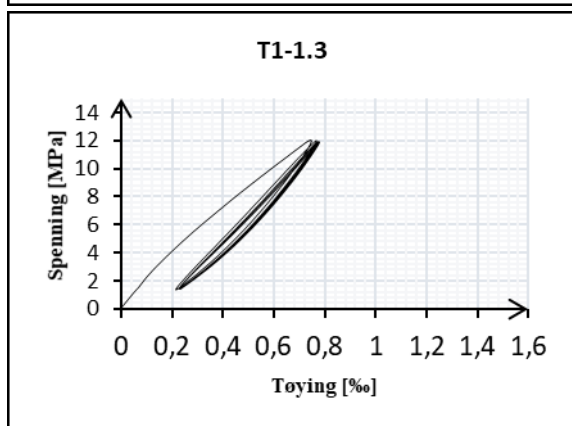
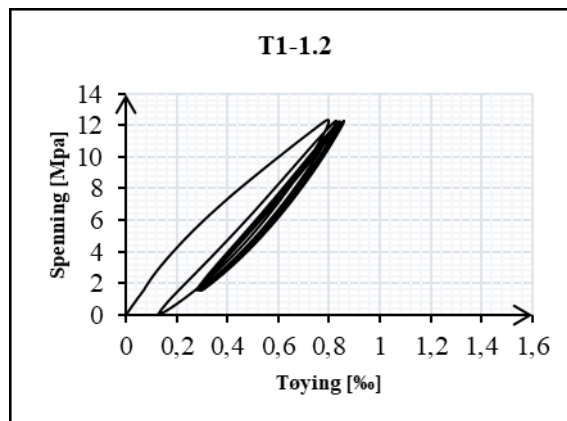
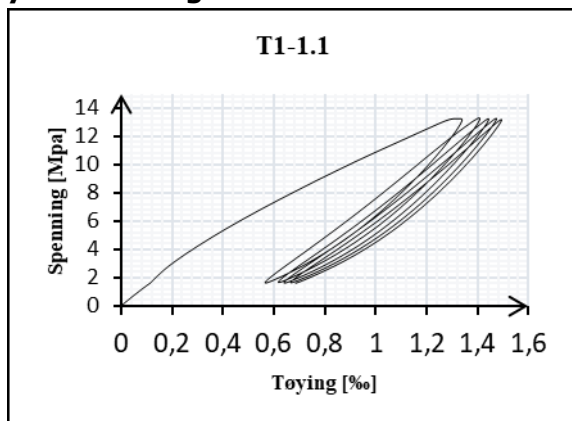
Oppdragsgiver: 40% SDT Prosjektnr: 10200752-19

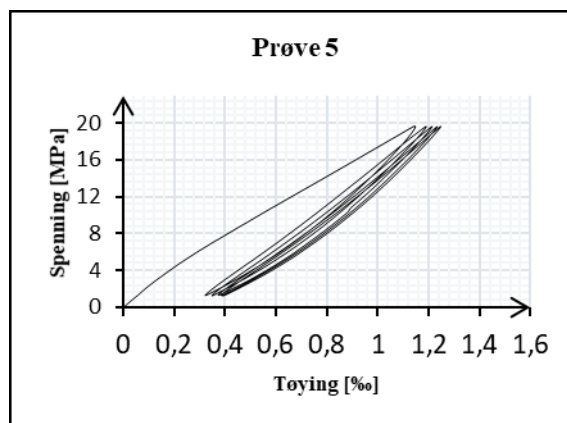
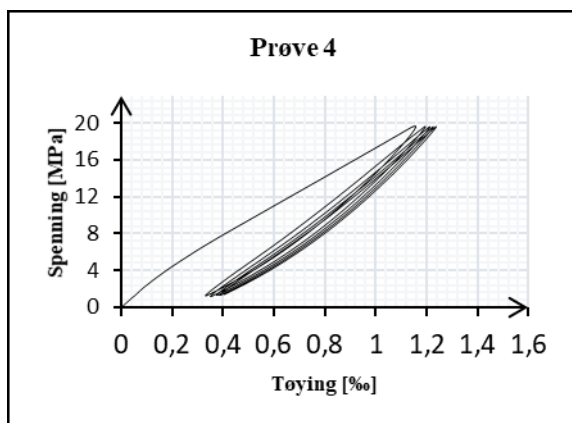
Reg.nr. vekt: B-181 ASR - ekspansering på prøve støpt des. 2018 Journalnummer: _____

Prøve nr.	Høyde etter planslip	Diam.	Trykkflate	Vekt i vann	Vekt i luft	Vekt av jern i vann	Vekt av jern i luft	Netto volum	Netto densitet	Middel densitet	Bruddlast*	Trykkfasthet	h/d	Omregn.faktor	Omregn. trykkfasthet	Middel trykkfasthet	
	mm																mm
1 ¹⁹ / ₁₂	197	100		2176	3678	"	0,2 MPa/s				387,25						
3																	
4							40% SDT 0,1 MPa/s										
5 ¹⁹ / ₁₂	197	100		2135	3679	Varede på	155kN				389,15						
4	198	100		2159	3706	"	"				377,14						
5	198	100		2152	3707	"	"				381,35						

Prøvene ble lagt i vann: _____ Dato/sign: 3/4-19 E.F.
 Trykkprøvd den 3/4-19 i Formtest B-62 ved innstilling 2000kN Dato/sign daglig lab.leder: _____

* Ved utfredsstillende bruddform (se s. 2) anmerkes dette med kode i kommentarfeltet.
 Kommentarer: _____

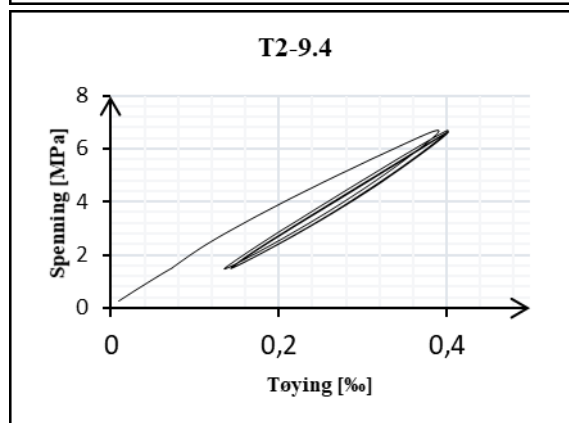
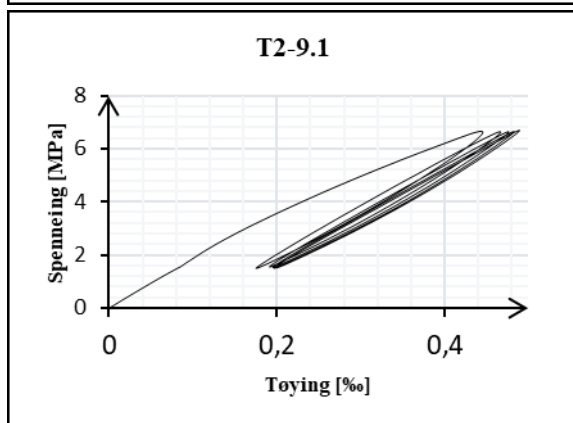
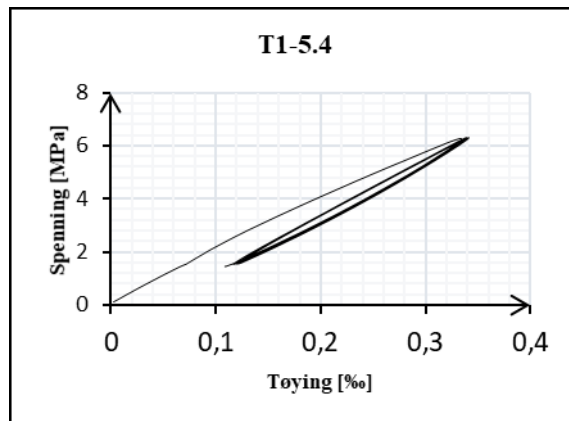
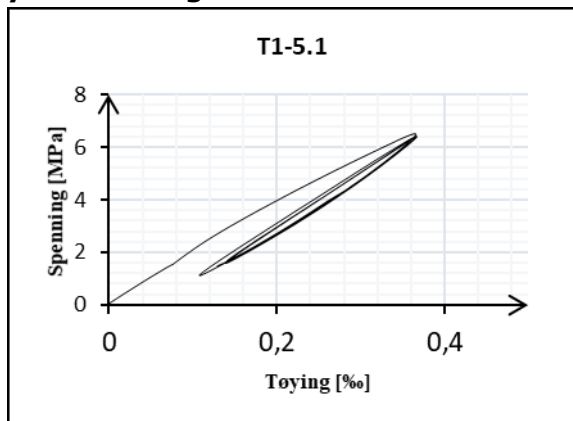
Vedlegg 15 – Resultat SDT kjernar Tyin Dam 3Syklisk lasting med 40% av f_c 



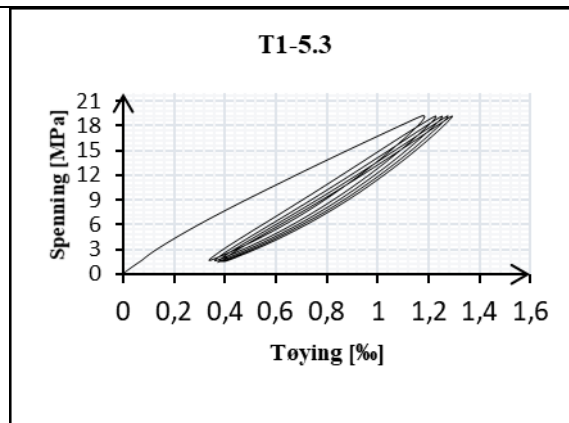
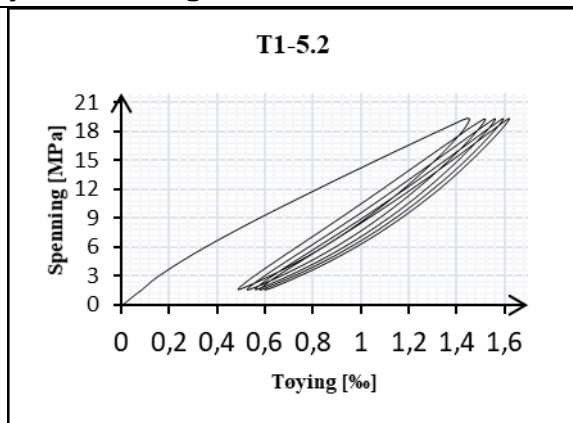
Resultat SDT – referansesyndrar

SDT	ID	f_c [MPa]	Ekspansjon [%]	E_{initieil} [MPa]	E_c [MPa]	SDI	SDI _{alt}	PDI	NLI
40 %	3	48,4	0,296	33617	21249	0,220	1,070	0,307	1,094
	4	48,0	0,344	32636	21478	0,182	0,852	0,340	1,100
	5	48,6	0,360	31659	21279	0,181	0,797	0,318	1,092

Syklisk lasting med 20% av f_c



Syklisk lasting med 60% av f_c



Vedlegg 16 – Ekspansjon frå SDT Tyin Dam 3

Last av f _c	Prøve ID	SDI	Lim %	Log %	PDI	Lim %	Log %	NLI	Log %	SDI _{air}	Lim %	Log %	Ec	Lim %	Log %
40%	T1-1.1	0,261	0,18	1,31	0,458	0,20	3,37	1,248	0,42	1,211	0,21	2,65	13970	0,73	1,42
40%	T1-1.2	0,205	0,13	0,27	0,345	0,14	0,54	1,252	0,43	0,966	0,15	0,53	18609	0,86	0,41
40%	T1-1.3	0,177	0,10	0,12	0,295	0,12	0,24	1,176	0,28	0,826	0,12	0,21	19245	0,88	0,34
20%	T1-5.1	0,119	0,05	0,02	0,344	0,14	0,53	1,145	0,22	0,549	0,06	0,03	21090	0,93	0,21
60%	T1-5.2	0,229	0,15	0,53	0,367	0,15	0,77	1,152	0,24	1,105	0,18	1,32	17183	0,82	0,60
60%	T1-5.3	0,212	0,13	0,33	0,288	0,11	0,21	1,126	0,19	1,008	0,16	0,70	19976	0,90	0,28
20%	T1-5.4	0,100	0,03	0,01	0,315	0,13	0,33	1,123	0,18	0,464	0,04	0,02	21637	0,95	0,18
40%	T2-6.1	0,229	0,15	0,53	0,379	0,16	0,94	1,179	0,29	1,092	0,18	1,21	13760	0,72	1,51
40%	T2-7.2	0,209	0,13	0,30	0,398	0,17	1,27	1,165	0,26	0,996	0,16	0,64	13755	0,72	1,51
20%	T2-9.1	0,142	0,07	0,05	0,407	0,17	1,48	1,206	0,34	0,667	0,09	0,07	17870	0,84	0,50
40%	T2-9.2	0,190	0,11	0,17	0,344	0,14	0,53	1,214	0,36	0,904	0,14	0,35	17911	0,84	0,49
40%	T2-9.3	0,197	0,12	0,21	0,349	0,15	0,58	1,203	0,33	0,926	0,14	0,40	17528	0,83	0,55
20%	T2-9.4	0,118	0,05	0,02	0,341	0,14	0,50	1,157	0,25	0,555	0,06	0,04	19838	0,90	0,29

Område 2

Område 1

Vedlegg 17 – Prosedyre In-situ vassinnhold, kapillær sugsevne og porøsitet

KPN (102007752-19):

In-situ vanninnhold, kapillær sugsevne og porøsitet Tyin dam

Tidligere utført arbeid med PF-prøver

14.02.19 ble prøver for PF tildannet av Kristen i henhold til følgende fremgangsmåte:

- Prøven splittes opp i skiver etter forutgående merking av hver skive med navn og dybde.
- Etter at en skive er splittet av, pakkes denne umiddelbart inn i plast.
- Når alle skivene er splittet av, tas én og én skive ut og splittes i 2 - 4 deler som legges tilbake i plasten.
- Hver av disse mindre delene tas deretter ut, én etter én, børstes ren med stålborste og legges på vekta.
- Alle bitene tilhørende samme skive veies samlet.
- Etter veiing, merkes alle delene med navn og dybde.

Prøvene ble deretter lagt i to stk. plastkar og dykket med vann. Beholderne er plassert på rommet bak blandemaskinen og merket med prosjektnummer 102007752-19 og teksten «Student Tyin Dam».

Videre arbeid med PF-prøver

Videre arbeid med PF-prøvene skal følge punkt 5.1 (2-6) i prosedyre KS 14-05-04-07. Vektene (i gram, oppgitt med to desimaler) skal føres inn i *Skjema 813 In-Situ vanninnhold og porøsitet*. Viser det seg at pkt. 5.1 (5) ikke lar seg gjøre før helg, lar en prøvene ligge i vann og starter arbeidet med trykkmetning påfølgende mandag. Hvis trykkmetning utsettes skal prøvene veies på nytt før de blir lagt i trykktank.

20.02.19

Kristen Rockland Aarethun

Student dam – In-situ vanninnhold, kapillær sugsevne og porøsitet Tyin dam

Vedlegg 18 – In-situ vassinnhold, kapillær sugsevne og porøsitet Tyin Dam

14
SINTEF Byggeforsk, Betonglaboratoriet

Ark 1/3



IN-SITU VANNINNHOOLD / PORØSITET (PF)										<input checked="" type="checkbox"/> In-situ vanninnhold + PF	<input type="checkbox"/> In-situ vanninnhold		
Oppdragsgiver KPN "STUDENT - DAM"										Prosjektnr. 102007752-19 A B		Journalnr.	
Prosedyre	Dato	KI	Vekt i g etter (oppgis med to desimaler)	Prøve ID	T1-2.V1 2.V1 2.V1 T1-2.V2 2.V2 2.V2						Signatur		
					Start sjikt (mm)								
					Slutt sjikt (mm)								
					Ant. biter								
In-situ vanninnhold + PF	14.02.19		Utpakking/splitting	m _{in-situ}	560,63	684,60	739,24	790,77	558,07	986,46			
	21.02.19		Neddykking, 7 døgn (luft)	m ₁₂ (luft)	522,75	685,07	739,88	793,48	559,67	989,22	CF		
	28.02.19		Tørking (105 °C), 7 døgn	m ₁₀₀	526,78	644,48	696,30	750,64	528,02	942,74	CF		
	* 7/3-19			Neddykking, 7 døgn	vann	m ₁₂ (vann)	325,58	399,08	431,33	461,88	323,53	581,75	CF
					luft	m ₁₂ (luft)	561,54	683,85	738,53	792,84	558,84	987,57	CF
	25/4-19		Trykkmetning, 2 døgn	m ₁₀₀	565,26	688,93	744,36	798,68	563,69	994,06	CF		
	3/5-19		Tørking (105 °C), 7 døgn	m ₁₀₀	526,50	640,59	695,33	749,18	527,21	941,05	CF		
	Tillegg	* 11/3-19		Neddykking 11 døgn	Vann	325,79	399,30	431,62	462,57	323,85	582,35	CF	
					Luft	562,06	684,15	739,17	793,51	559,75	988,43	CF	
	Vekt reg.nr: B-184					Kontroll lab. leder, dato/sign. 2019.05.02. P. Salama							
Kommentarer: * Legges tilbake i vann. Trykkmetning sjukket på følgende Mandag pga. Konflikt med helg. ** -Veies på nytt for tøyhetstest. - se vedlegg													

Rev. 2015-09-08 GK

813 In-situ vanninnhold og porøsitet (PF)

SINTEF Byggeforsk, Betonglaboratoriet

Ark 2/3



IN-SITU VANNINNHOOLD / PORØSITET (PF)										<input checked="" type="checkbox"/> In-situ vanninnhold + PF	<input type="checkbox"/> In-situ vanninnhold		
Oppdragsgiver KPN - "Student Dam"										Prosjektnr. 102007752-19		Journalnr.	
Prosedyre	Dato	KI	Vekt i g etter (oppgis med to desimaler)	Prøve ID	T1-3.V2 3.V2 T1-5.V1 5.V1 T2-7.V1 7.V1						Signatur		
					Start sjikt (mm)								
					Slutt sjikt (mm)								
					Ant. biter								
In-situ vanninnhold + PF	14.02.19		Utpakking/splitting	m _{in-situ}	883,68	737,15	737,00	803,84	718,19	702,26			
	21.02.19		Neddykking, 7 døgn (luft)	m ₁₂ (luft)	885,07	738,16	739,12	806,15	719,26	702,74	CF		
	28.02.19		Tørking (105 °C), 7 døgn	m ₁₀₀	833,55	677,23	672,52	755,19	672,78	657,60	CF		
	* 7.3-19			Neddykking, 7 døgn	vann	m ₁₂ (vann)	515,76	433,06	423,95	461,18	417,63	407,17	CF
					luft	m ₁₂ (luft)	883,08	736,68	737,30	804,52	717,77	701,29	CF
	25/4-19		Trykkmetning, 2 døgn	m ₁₀₀	888,93	741,30	742,55	810,82	724,83	705,40	CF		
	3/5-19		Tørking (105 °C), 7 døgn	m ₁₀₀	875,24	746,96	750,74	819,72	725,03	711,06	CF		
	Tillegg	* 11/3-19		Neddykking 11 døgn	Vann	516,28	433,31	424,39	462,17	418,03	407,51	CF	
					Luft	883,88	739,22	738,12	805,40	718,62	702,15	CF	
	Vekt reg.nr: B-184					Kontroll lab. leder, dato/sign. 2019.05.02. P. Salama							
Kommentarer: ** Se ark 1.													

Rev. 2015-09-08 GK

813 In-situ vanninnhold og porøsitet (PF)

IN-SITU VANNINNHOLD / POROSITET (PF)										<input checked="" type="checkbox"/> In-situ vanninnhold + PF	<input type="checkbox"/> In-situ vanninnhold			
Oppdragsgiver <i>KPN - Student Dam</i>										Prosjektnr. <i>102007752-19</i>		Journalnr.		
Prosedyre	Dato	Kl	Vekt i g etter (oppgis med desimaler)	Prøve ID	T2-8.v1				T2-10.v1				Signatur	
					Start sjikt [mm]	30	300	890	500					
				Slutt sjikt [mm]	90	360	960	560						
				Ant. biter	2	3	2	3						
In-situ vanninnhold + PF	14.02.19		Utpakking/splitting	$m_{in-situ}$	764,31	687,52	360,91	875,12						
	21.02.19		Neddykking, 7 døgn (luft)	$m_{12} (luft)$	767,28	687,85	361,59	877,94					R	
	28/2-19		Tøking (105 °C), 7 døgn	m_{ker1}	712,21	642,40	337,13	823,74					R	
	7/5-19		Neddykking, 7 døgn	vann	$m_{12} (vann)$	439,74	397,28	206,76	506,97					EJ
				luft	$m_{12} (luft)$	762,64	686,32	360,97	875,82					EJ
	25/4-19		Trykkmåling, 2 døgn		$m_{12}^{23/4}$	766,91	692,85	364,47	881,06					EJ
					$m_{12}^{25/4}$	772,60	697,38	367,49	887,83					EJ
5/5-19		Tøking (105 °C), 7 døgn	m_{ker2}	712,01	642,55	336,97	823,09					EJ		
Tillegg	11/3-19		Neddykking 11 døgn	Vann	446,28	398,04	207,12	507,69					EJ	
				Luft	763,31	687,40	361,64	876,82					EJ	
Vekt reg.nr: <i>B-184</i>					Kontroll lab. leder, dato/sign. <i>2019.05.02</i>									
Kommentarer: <i>Se ark 1.</i>														

Vedlegg 19 – DRI-rapport



Faculté des Sciences et de Génie
Département de Géologie et de Génie Géologique



Results of the Damage Assessment of Concrete Cores extracted from Concrete Dam Tyin 4

By

Benoit Fournier, ing. PhD
Mathieu Champagne ing. jr

Submitted to:

Jan Lindgård, Senior Research Scientist

SINTEF Community

June 1st 2019

Table of Content

List of Figures	ii
List of Tables	ii
1. Introduction	1
1.1 General	1
1.2 Damage Rating Index	1
2. Work performed at Laval University.....	4
2.1 Sample preparation.....	4
2.2 Damage Assessment	4
2.3 Spatial Analysis.....	5
3. Results and discussion	7
4. Conclusion.....	9
5. References	10
Appendix A: Detailed results of the Damage Rating Index.....	11

List of Figures

Figure 1 : Preparation of the concrete sections for DRI. B. Stereomicroscopic examination. C. Grid of 1 cm by 1 cm in size drawn on the polished concrete section.	4
Figure 2 : A. Damage classification for a single square cm. B. Example of a DRI damage map provided by a macro-programmed excel sheet according to the damage classification shown in A. C. DRI damage map after smoothing the values using the moving average technique (an example is provided in B).....	6
Figure 3 : Detailed DRI results (weighing factors according to Villeneuve et al., 2012) of the two specimens analysed in this study (the acronyms are defined in Table 1).....	8
Figure 4 : Smoothed damage profiles for the two cores examined in this study.	8
Figure 5 : Damage profile using average DRI values for zones of 40 cm ² , and this from the surface to the core onwards.	9

List of Tables

Table 1: Description of the petrographic features counted during the DRI method.	2
Table 2 : Weighing factors used in the determination of the DRI	2
Table 3: ASR damage classification for the DRI using weighing factors proposed by Villeneuve et al. (2012), adapted from Fournier et al. (2015) and Sanchez et al. (2017).	3
Table 4 : Global DRI results for the two cores examined in this study.	7

1. Introduction

1.1 General

This report summarizes the results of the quantitative damage assessment, using the Damage Rating Index method, of two concrete cores that were extracted from a concrete dam from Norway (Dam Tyin 4, outer and inner parts) and that were sent to Laval University in the winter of 2019.

1.2 Damage Rating Index

The Damage Rating Index (DRI) is a microscopic petrographic analysis performed with the use of a stereomicroscope (about 15x magnification) where damage features generally associated with ASR are counted through a 1 cm² grid drawn on the surface of a polished section. The petrographic features counted by the petrographer during the DRI are defined in Table 1. The number of counts corresponding to each type of petrographic features is then multiplied by weighting factors, whose purpose is to balance their relative importance towards the mechanism of distress (for instance ASR). The two most commonly used weighing factors are shown in Table 2. The first one corresponds to the standard “old” (Grattan-Bellew and Mitchell, 2006) DRI method, while the second is the modified method proposed by Villeneuve et al. (2012); the latter was developed with the purpose of decreasing variability between petrographers. To do so, the following changes were proposed, as indicated in

Table 2:

- No more weighing factors are dedicated to reaction rims or voids with reaction products;
- The opened cracks with or without reaction products are given the same weight, i.e. 2 for cracks within the aggregate particles and 3 for cracks within the cement paste.

Ideally, a surface of at least 200 cm² should be used for DRI analysis, and it may be greater in the case of mass concrete incorporating larger size aggregate particles. However, for comparative purposes, the final DRI value is normalized to a 100 cm² area. The Table 3 shows reference DRI values related to the severity of damage due to ASR in the concrete using the weighing factors proposed by Villeneuve et al. (2012).

Table 1: Description of the petrographic features counted during the DRI method.

Petrographic features	Acronyms	Description
Closed/tight cracks in coarse aggregate particle	CCA	<ul style="list-style-type: none"> • Tight/fine cracks showing no gap at 16X magnification; • Sometimes “appear” to contain whitish secondary products, as the crack forms an angle with the cutting plane. • A low factor is given as such cracks are likely produced by aggregate processing operations (quarried aggregate) or weathering (gravel).
Opened cracks or network of cracks in coarse aggregate particle	OCA	<ul style="list-style-type: none"> • Crack showing a gap at 16X magnification. • A “network” of cracks is also classified in this category as it is likely caused by expansive reactions within the aggregate particles.
Cracks or network cracks with reaction product in coarse aggregate particle	CA + RP	<ul style="list-style-type: none"> • Cracks containing secondary reaction products (whitish, glassy or chalky in texture); • The secondary products may not fill all the cracks (material lost during the preparation of the polished section).
Coarse aggregate debonded	Debon	<ul style="list-style-type: none"> • Crack showing a <u>significant</u> gap in the interfacial zone between the aggregate particle and the cement paste; • Would likely cause debonding of the particle when fracturing the concrete.
Cracks in cement paste	CCP	<ul style="list-style-type: none"> • Crack visible at 16X magnification, but with no evidence of reaction products.
Cracks with reaction product in cement paste	CCP + RP	<ul style="list-style-type: none"> • Cracks containing secondary reaction products (whitish, glassy or chalky in texture); • Sometimes, the secondary products do not fill all the cracks (material lost during the preparation of the polished section).

Table 2 : Weighing factors used in the determination of the DRI

Petrographic features (Table 1)		Acronyms (Table 1)	Weighing factors	
			Old Method	Modified Method
			Grattan-Bellew and Mitchell (2006)	Villeneuve et al. (2012)
Crack in the particles (> 1 mm)	Closed (without reaction products)	CCA	0.75	0.25
	Opened or in a fine network (without reaction products)	OCA	4	2
	Opened or in a fine network (with reaction products)	CA + RP	2	2
Crack in the cement paste	Without reaction products	CCP	2	3
	With reaction products	CCP + RP	4	3
Debonded aggregate (> 1 mm)		Debon	3	3
Reacted aggregate particle (> 1 mm)		RAP	---	2
Reaction rim (> 1 mm)		RR	0.5	---
Reaction products in voids of the cement paste		RPV	0.5	---

Table 3: ASR damage classification for the DRI using weighing factors proposed by Villeneuve et al. (2012), adapted from Fournier et al. (2015) and Sanchez et al. (2017).

Damage classification for ASR	Stiffness loss	Compressive strength loss (%)	Reference expansion level (%)	DRI	
				Lab	Field structure
Negligible	-	-	0.00-0.03	100-155	< 200/250
Marginal	5-37	(-) 10-15	0.04 ± 0.01	210-400	200/250-400
Moderate	20-50	0-20	0.11 ± 0.01	330-500	
High	35-60	13-25	0.20 ± 0.01	500-765	400-700/750
Very high	40-67	20-35	0.30 ± 0.01	600-925	>700-750

2. Work performed at Laval University

2.1 Sample preparation

The concrete specimens received were already cut lengthway for the DRI. The test specimens for the DRI test were polished using a portable wet stone grinder with a range of diamond-impregnated wet resin polishing pads (no free grit material) (Figure 1A). The polished sections were then photographed (see Appendix A), and a grid was drawn on the sections, with squares of 1 cm by 1 cm in size (Figure 1B).

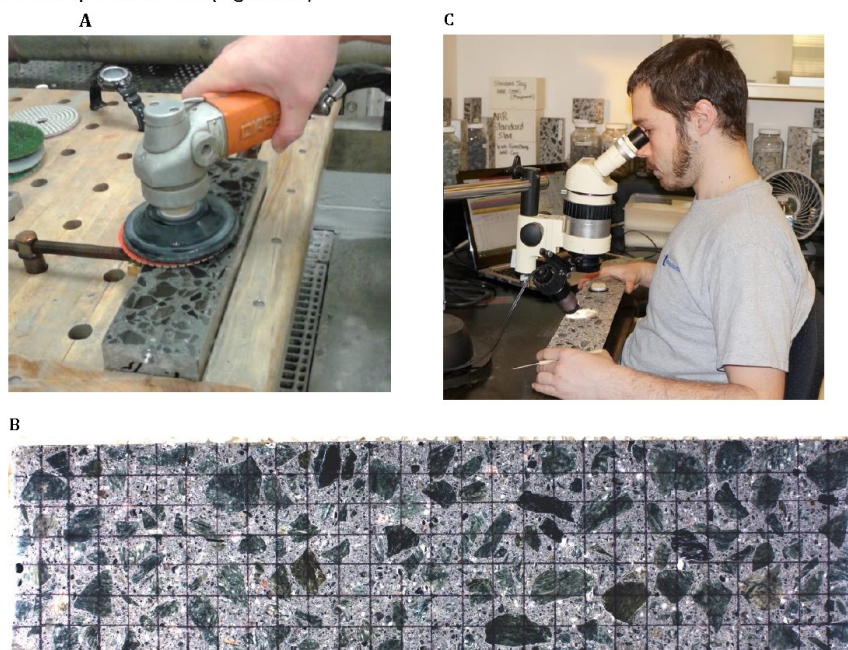


Figure 1 : Preparation of the concrete sections for DRI. B. Grid of 1 cm by 1 cm in size drawn on the polished concrete section. C. Stereomicroscopic examination.

2.2 Damage Assessment

The specimens were examined under the stereomicroscope using the set-up illustrated on Figure 1B. Petrographic features that were counted by the petrographer are defined in Table 1. The cracks were not counted in aggregate or sand particles smaller than 1 mm in length to consider also the reactivity of the sand (if any) as recommended by Sanchez et al. (2016e). Among all the weighing factors proposed in the literature, those recommended by Villeneuve et al. (2012) were applied to the petrographic features counted for the determination of the DRI number (Table 2).

Micrographs of the typical features of deterioration were taken using a camera equipped with a macro lens (see Appendix A).

2.3 Spatial Analysis

Champagne (unpublished) worked on the applicability of the DRI to provide spatial analysis and identify various cracking patterns or damage variation within the same specimen. The author developed the *DRI damage map* obtained with a macro-programmed excel sheet where data are incorporated and processed to provide a DRI number for every square analysed. These “local” DRI numbers are classified according to the arbitrary classification shown in Figure 2A, which provides the *DRI damage map* of the specimen (Figure 2B). However, the heterogeneity of the “local” values may somehow hinder the appreciation of the tendencies as shown in Figure 2B. To address this issue, a “smoothing approach” of the DRI damage map is applied with the “moving average” technique: the value of each square is thus determined by calculating the average values of itself and all squares surrounding it (one iteration only), as shown in Figure 2C. This technique leads to a loss of information locally, but provides a better understanding of the global damage pattern within a specimen as illustrated in Figure 2C. This spatial analysis tool provides useful information regarding how damage spatially behave within a specimen.

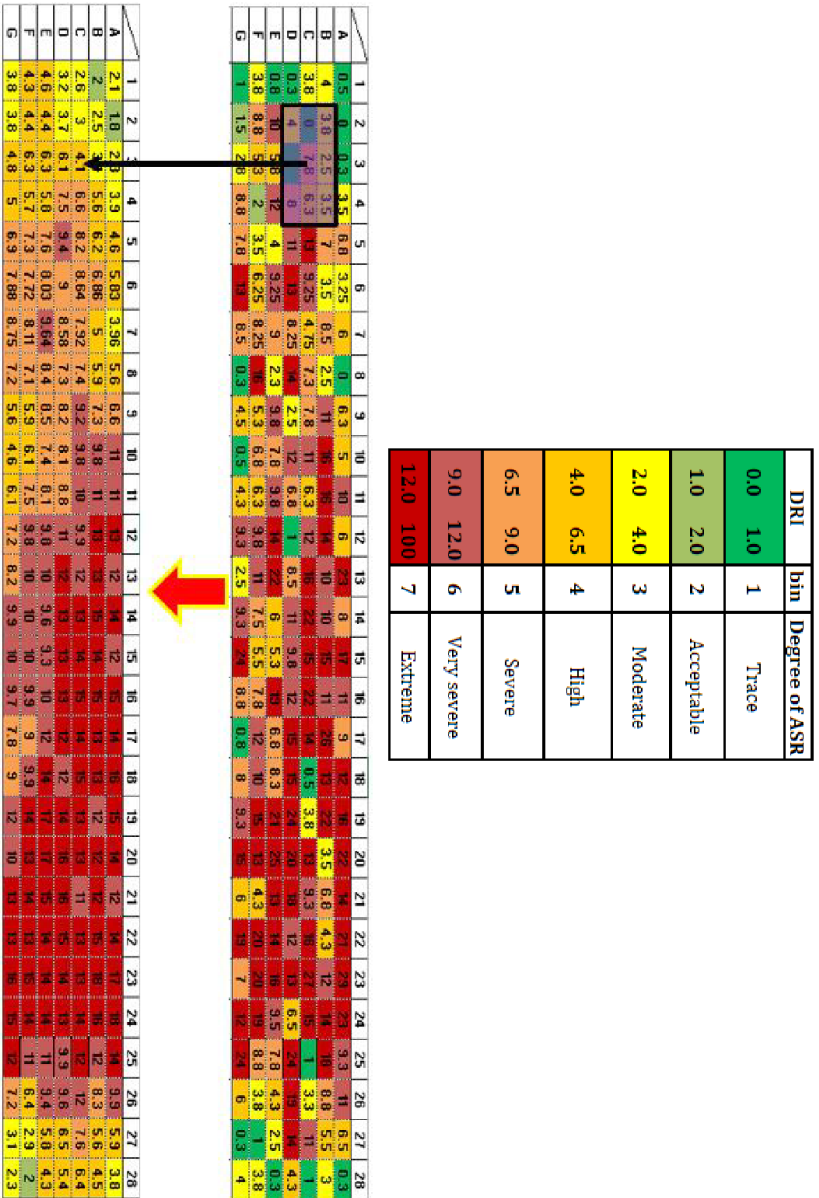


Figure 2 . A. Damage classification for a single square cm. B. Example of a DRI damage map provided by a macro-programmed excel sheet according to the damage classification shown in A. C. DRI damage map after smoothing the values using the moving average technique (an example is provided in B).

3. Results and discussion

Table 4 provides the global DRI results obtained for the two cores from the Dam Tyin provided to Laval University. Detailed data for the two cores are presented in the Appendix A; the latter includes:

- Picture of the entire polished section;
- DRI damage map (original and smoothed versions);
- Damage profile from the surface to the core of the concrete element;
- Bar chart illustrating the detailed results of the DRI;
- Table with the corresponding numerical values contributing to the DRI value;
- Micrographs taken using a microscope integrated camera.

The results in Table 4 indicate that the damage degree of the two cores varies from moderate/high to high. Figure displays more details regarding the proportion of each petrographic feature in the form of a DRI bar chart comparing the two specimens together. It appears that the higher global DRI value obtained for core Dam Tyin 4, 470 – 770 mm (i.e. 680 vs 510) is related to higher proportions of cracks with reaction products in the coarse aggregate particles as well as cracks in the cement paste (with/without reaction products).

Figure 4 compares the smoothed damaged profiles for the two cores. It appears from the above that there are distinct damage variations in the case of the core Dam Tyin 4, 0 – 300 mm. The latter shows a lower degree of damage, on an average, in the first 10 to 15 cm of the core. Afterwards, the degree of damage is globally similar (despite local variations). This is well illustrated in Figure 5, which presents the average damage values calculated from zones of 40 cm², for the two cores examined. It appears, when comparing figures 4 and 5, that the damage degree is indeed globally similar, from a depth of about 10-15 cm onwards. It is important to remember that those represent average values and significant variations can be observed locally.

Table 4 : Global DRI results for the two cores examined in this study.

Specimen Name	Modified DRI ¹	Severity of ASR-related damage ²
Dam Tyin 4, 0 – 300 mm	510	Moderate to high
Dam Tyin 4, 470 – 770 mm	680	High

1. Weighting factors according to Villeneuve et al. 2012

2. According to Table 3

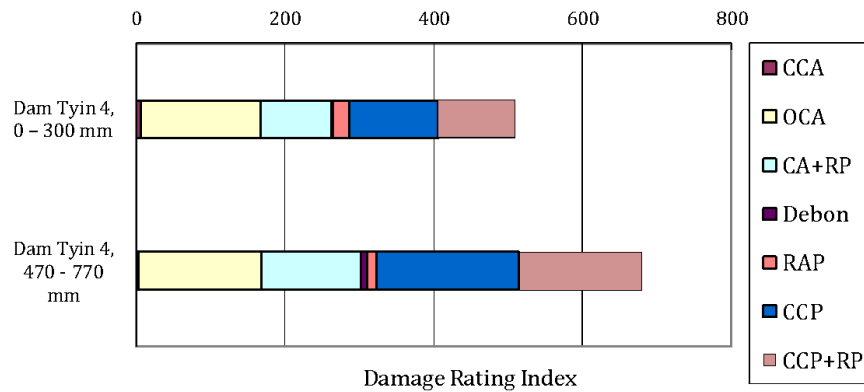


Figure 3 : Detailed DRI results (weighing factors according to Villeneuve et al., 2012) of the two specimens analysed in this study (the acronyms are defined in Table 1).

A (Dam Tyn 4, 0 – 300 mm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	4	3.5	3.33	3.333	2.67	2.5	3.375	2.5	3.33	3.79	4.24	4.38	4.79	5.45	6	7.75	7.42	8.88	7.79	7.25	5.96	4.23	6.54	8.15	9.88	9.04	7.21	6.21	6.25	5.5
B	2.708	2.896	2.85	2.111	2.55	2.694	3.055	3.14	4	8.86	4.72	4.06	3.92	4.67	5.5	7.19	6.88	7.69	6.31	5.94	4.42	3.81	5.69	7.05	7.92	7.81	8.36	7.25	6.25	4.83
C	1.083	1.611	2.14	2.667	3.33	3.694	3.528	3.72	3.92	5.33	4.87	3.97	2.89	2.5	3.11	4.39	5.01	6.64	6.11	4.67	4.25	4.56	5.03	4.61	4.83	5.92	7.36	6.14	6.14	5
D	1.778	1.817	2.05	2.583	2.33	2.611	2.111	2.58	3.22	5.75	5.11	5.53	4.11	4.5	3.08	3.92	5.14	7.44	6.44	5.11	6.22	6.78	6.69	5.03	5.36	6.89	7.78	8.03	6.25	5.71
E	1.375	1.833	2.14	2.806	2.33	2.593	2.236	2.58	2.75	4.61	4.97	5.56	4.89	5.47	4.68	4.89	5.67	9.55	8.28	6	7.11	7.33	5.87	4.36	4.14	6.78	7.33	9.26	7.25	5.71
F	1.333	1.896	1.81	1.139	1.44	1.944	2.278	1.33	1.36	4.14	4.94	8.08	7.36	8.5	7.28	7.67	8.22	9.78	8	8.89	7.56	8.22	6	5.44	5.78	8.69	8.47	10.7	8.14	9.04
G	1.5	2	2.47	2.056	2.17	3.956	3.917	2.94	2.53	3.97	4.14	5.75	5.42	7.22	7.36	8.03	7.14	6.78	4.78	6.25	5.81	7.47	5.78	6.22	5.44	7.36	7.17	8.5	7.47	8
H	0.6	1.667	2.38	2.417	2.08	3.093	4.375	3.71	3.33	4.17	3.88	5.38	5.88	7.83	6.54	7.54	5.54	4.23	3.33	4.88	6.71	8.88	7	8	7.5	7.54	6.08	6.08	6.54	7.25

B (Dam Tyn 4, 470 – 770 mm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	11.06	19.79	9.75	7.917	4.83	2.833	2.542	3.04	3.92	4.71	5.38	4.33	3.67	2.83	3.17	3.5	3.71	2.84	0.83	0	1.17	2.83	4.28	4.88	7.38	7	6.04	8.88	9.54	13.1
B	19.38	9.538	19.8	9.639	8.47	4.593	3.694	3.25	4.72	5.69	6.58	5.56	5	4.39	4.72	4.39	4.58	4.47	4.54	3.89	3.22	4.89	4.69	6.14	7.93	8.11	6.69	8.25	8.14	10.3
C	6.542	5.833	7.14	7.833	7.81	4.361	3.35	3.47	5.94	6.14	6.25	4.89	5.44	6.01	7.61	7.19	5.39	4.94	4.53	5.22	4.67	6.33	4.78	5.44	6.33	8.22	7.14	7.83	5.93	9
D	6.633	5.667	6.33	6.917	7.47	5.139	4.778	6.22	8	7.78	7.33	7.44	7.58	8.53	8.33	7.44	5.83	7.36	7.67	6.56	7.67	6.56	6.11	5.44	6.33	6.11	5	6.44	6.5	
E	5.667	4.778	3.44	5.444	6.58	6.472	6.278	7.25	8.14	6.44	6.56	6.56	6.81	8.36	7.83	7.83	6.28	7.36	8.44	7.22	6.89	6	7.93	4.72	5.28	4.81	6.22	5.56	6.47	6.38
F	6.833	6	6.89	8.694	9.57	7.833	7.956	8.47	8.14	7.89	6.14	7.61	8.29	8.42	7.97	7.17	7.47	9.11	11.3	9.88	8.92	6.25	7.17	4.5	5.61	6.25	8.22	7.67	6.94	6.88
G	7.5	6.111	6.89	8.361	8.94	7.972	6.556	8.42	8.39	8.78	6.14	6.56	7.89	8.78	8.26	8.36	8.68	9.14	8.96	9	9.47	8.81	8.67	7.98	6.86	5.81	8.56	8.56	9.75	4.78
H	7.25	7	8.17	8.288	6.88	5.917	4.583	9.25	9.21	13.3	7.38	7.17	9.17	9.67	10.7	8.88	10.7	9.44	8.38	8.33	10	11.2	10.1	8.38	6.54	5.83	8.67	8.5	7.42	4.38

Figure 4 : Smoothed damage profiles for the two cores examined in this study.

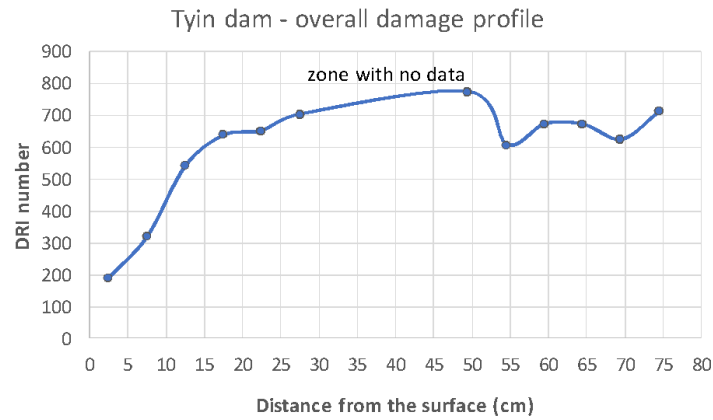


Figure 5 : Damage profile using average DRI values for zones of 40 cm², and this from the surface to the core onwards.

4. Conclusion

This report presents the results of the petrographic examination, using the Damage Rating Index method, of two cores that were provided to Laval University by Jan Lindgård of SINTEF Community. The results thus obtained indicate that the global degree of damage of the cores varies from moderate/high (core Tyin Dam 4, 0 – 300 mm) to high (core Tyin Dam 4, 470 – 770 mm) according to a damage degree chart currently used at Laval University for such investigations. The higher damage degree obtained for the former is related to higher proportions of cracks with reaction products in the coarse aggregate particles as well as cracks in the cement paste (with/without reaction products).

Applying a Damage profiling approach to the data generated reveals that a progressive increase in damage is observed from the surface to a depth of about 10 to 15 cm, and that the damage degree remains somewhat similar for the rest of the concrete core examined.

5. References

- Champagne, M. (Unpublished). *Applying the Damage Rating Index for the spatial damage assessment in concrete specimens affected by alkali-silica reaction (ASR)*. Québec City, Canada: [MSc Thesis] Department of Geology and Geological Engineering, Université Laval.
- Fournier, B., Fecteau, P.-L., Villeneuve, V., Tremblay, S., & Sanchez, L. (2015b). Description of petrographic features of damage in concrete used in the determination of the Damage Rating Index (DRI). Québec: Département de géologie et de génie géologique, Université Laval.
- Sanchez, L. F., Fournier, B., Jolin, M., Bedoya, M. B., Bastien, J., & Duchesne, J. (2016e). Use of Damage Rating Index to Quantify Alkali-Silica Reaction Damage in Concrete: Fine versus Coarse Aggregate. *ACI Materials Journal*, 395-407.
- Sanchez, L. L., Fournier, B., Jolin, M., Mitchell, D., & Bastien, J. (2017). Overall assessment of Alkali-Aggregate Reaction (AAR) in concretes presenting different strengths and incorporating a wide range of reactive aggregate types and natures. *Cement and Concrete Research*, 93, 17-31.
- Sanchez, L., Fournier, B., Jolin, M., & Duchesne, J. (2015b). Reliable Quantification Of AAR Damage Through Assessment Of The Damage Rating Index (DRI). *Cement and Concrete Research*, 74-92.
- Villeneuve, V., Fournier, B., & Duchesne, J. (2012). DETERMINATION OF THE DAMAGE IN CONCRETE AFFECTED BY ASR - THE DAMAGE RATING INDEX (DRI). *Proceedings of the 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction (ICAAR)*, (pp. 1-10). Austin (Texas).

Appendix A: Detailed results of the Damage Rating Index

ID	Page
Dam Tyin 4, 0 – 300 mm	12
Dam Tyin 4, 470 – 770 mm	16

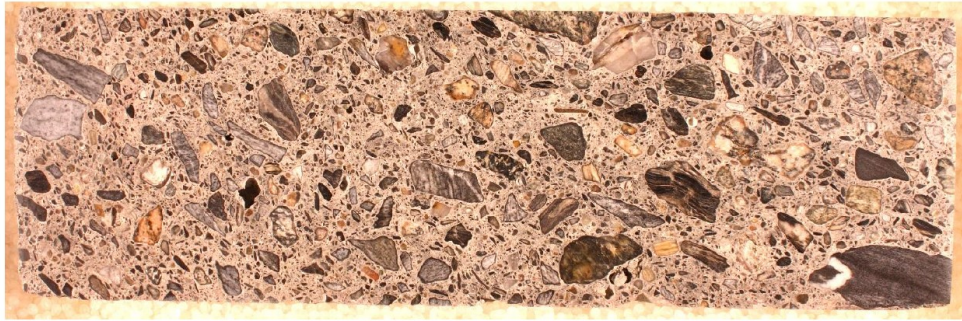


Figure A1: Polished section of the Dam Tyn 4, 0 – 300 mm specimen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
A	6	6	6	0	0	2	0	2,25	2	5	4	0,25	4	5,25	12,25	6	16	2,25	9,25	7,25	11	4,25	0	0	16	6	16	12	5	9	
B	4	0	0	0	0	10	0	3	5,75	2	4	10	2	5,25	4	3,25	6	12	6,75	7,25	10	6	4	2	5,25	5	7	3,25	10	8	
C	0	0,25	4	7	4	5,25	0	2	8	7	0,25	3	5,25	3	7,25	6	2	6	2	2	0	7	5	2	3	12	3,25	4	3		
D	0,25	2	4	3	3	4	5	0,5	4	4	7,25	0,25	0	0	2	0	6	6	5	6	5	10	7	4,25	5	7	7	10	5	10	
E	2	0	0,25	2	0	2	0,25	0	0,25	4,25	11	4	0	3,25	3	0	6	11	10	8	9	10	2	6	7	4	10	10	12,25	10	
F	0	4	4	0	0	7	2	2,25	0,5	8	6,5	6	2	10	11	2	5,4	10,5	2	6	4	4	2	2	14	10,5	3	12	7		
G	0	2	4	0	0	7	4,25	5	0	2	8	0,25	13	10,25	7	9	0,25	0	2	4	3	5	5	10	14	10,25	10	14	9		
H	0	0	4	4,25	2,25	4	6	7	2	6	6	0	5	2,75	6	0,25	7	0	0	2	3,25	10	10	5	7	2	6	0	0,25	2	4

Figure A2: Original DRI Damage map of the Dam Tyn 4, 0 – 300 mm specimen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	4	3,5	2,33	1,333	2,67	2,5	3,375	2,5	3,33	3,79	4,54	4,38	4,79	5,46	6	7,75	7,42	8,88	7,79	7,25	5,95	4,21	5,54	6,21	9,38	8,04	7,21	6,21	6,21	5,5
B	2,708	2,876	2,36	2,111	2,56	2,694	3,059	3,14	4	4,85	4,72	4,86	3,92	4,67	5,5	7,19	6,86	7,69	6,31	5,94	4,42	3,81	5,69	7,03	7,92	7,81	8,36	7,25	6,25	4,83
C	3,083	3,613	2,14	2,667	2,31	3,694	3,519	3,71	3,92	5,33	4,97	3,97	2,89	2,5	2,11	4,39	5,61	5,64	5,11	4,67	4,25	4,56	5,93	4,61	4,83	5,92	7,35	6,14	6,14	5
D	3,775	2,417	2,95	2,583	2,33	2,611	2,111	2,58	3,22	5,75	5,11	5,53	4,11	4,5	3,98	3,92	5,14	7,44	6,44	6,11	6,22	6,78	6,69	5,93	5,36	6,89	7,78	6,93	6,25	5,71
E	3,375	3,833	2,14	1,808	2,33	2,583	2,395	2,58	1,75	4,61	4,97	5,55	4,89	5,47	4,58	4,89	5,67	9,55	9,22	8	7,11	7,33	6,47	4,36	4,14	6,78	7,33	9,36	7,25	7,71
F	3,333	3,876	3,81	3,139	2,44	1,984	2,278	3,33	3,36	4,14	4,94	8,08	7,35	8,5	7,28	7,67	8,23	9,08	8	8,89	7,66	8,22	5	5,44	5,78	8,69	8,47	3,02	8,14	9,98
G	3,5	2	2,47	2,056	2,17	3,056	3,917	3,94	2,53	3,97	4,14	5,75	6,42	7,23	2,86	8,03	7,14	6,78	4,78	6,25	5,81	5,47	5,78	6,22	5,44	7,36	7,25	8,5	7,47	8
H	0,5	0,667	2,38	2,417	2,98	3,983	4,375	3,71	3,33	4,17	3,89	5,38	5,88	7,83	5,54	7,54	5,54	4,33	3,33	4,88	5,71	8,88	7	8	7,5	7,54	6,08	6,08	6,54	7,25

Figure A3: "Smoothed" DRI Damage map of the Dam Tyn 4, 0 – 300 mm specimen.

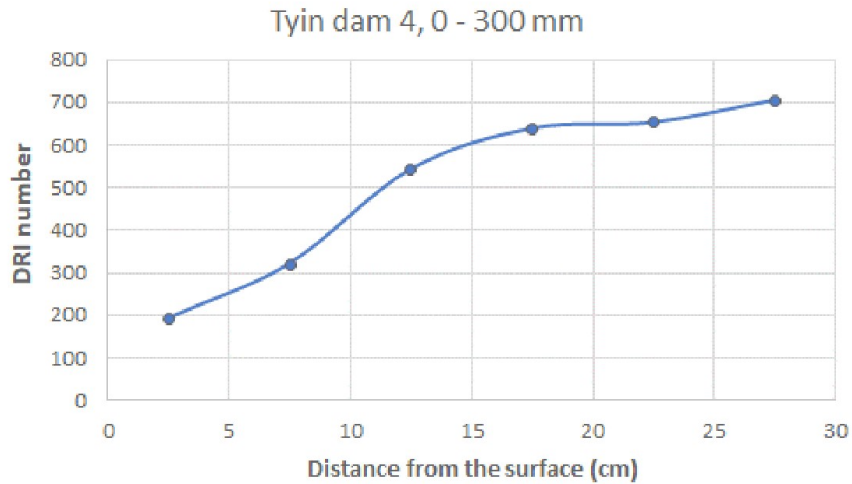


Figure A4 : Damage profile from the top to the bottom of the Dam Tyn 4, 0 – 300 mm specimen. Each data point corresponds to the average of a zone of 40 cm² (e.g. on Figure A2: columns (i.e. columns 1-5 x lines A – H; columns 6-10 x lines A – H, etc.).

Table A1 : Detailed DRI results (weighing factors according to Villeneuve et al., 2012) for the Dam Tyn 4, 0 – 300 mm specimen (the acronyms are defined in Table 1).

	CCA	OCA	CA + RP	Debon	RAP	CCP	CCP + RP	DRI
Detailed DRI (per symptom counted)	6	162	96	1	22	120	103	510
DRI weight (%)	1.2	31.8	18.8	0.2	4.3	23.5	20.2	

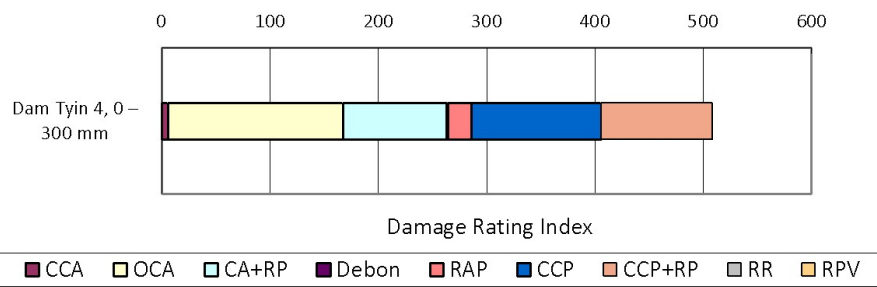
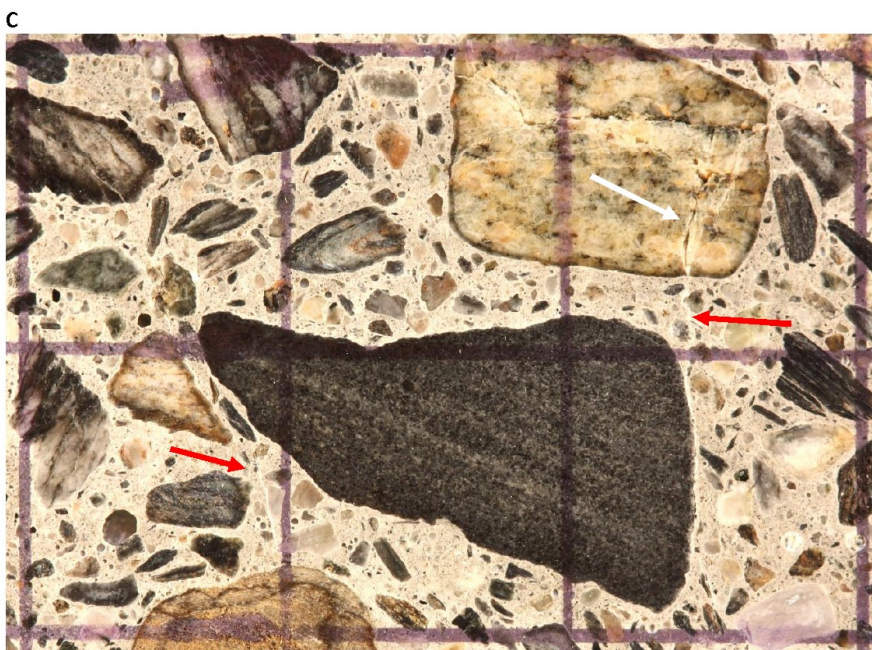
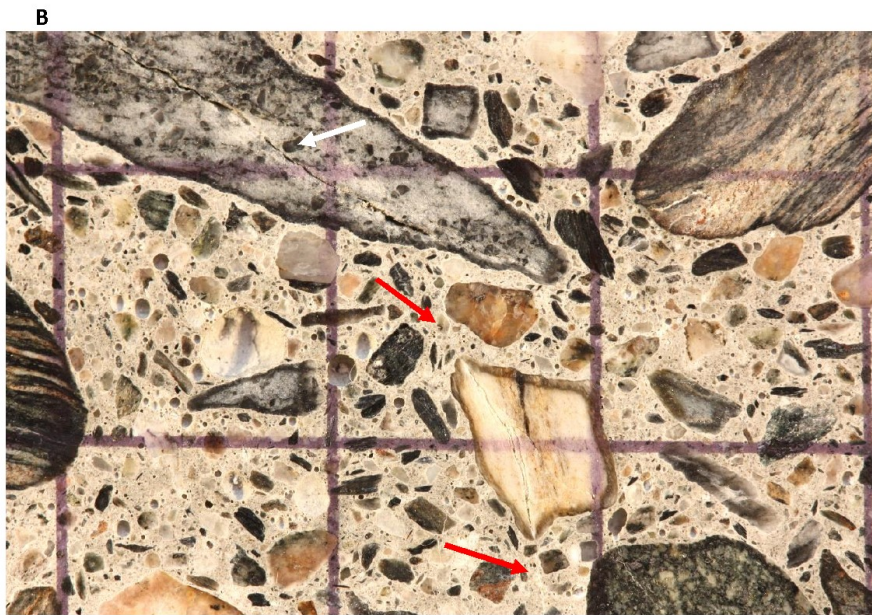


Figure A5 : Detailed DRI results (weighing factors according to Villeneuve et al., 2012) for the Dam Tyn 4, 0 – 300 mm specimen (the acronyms are defined in Table 1).

A





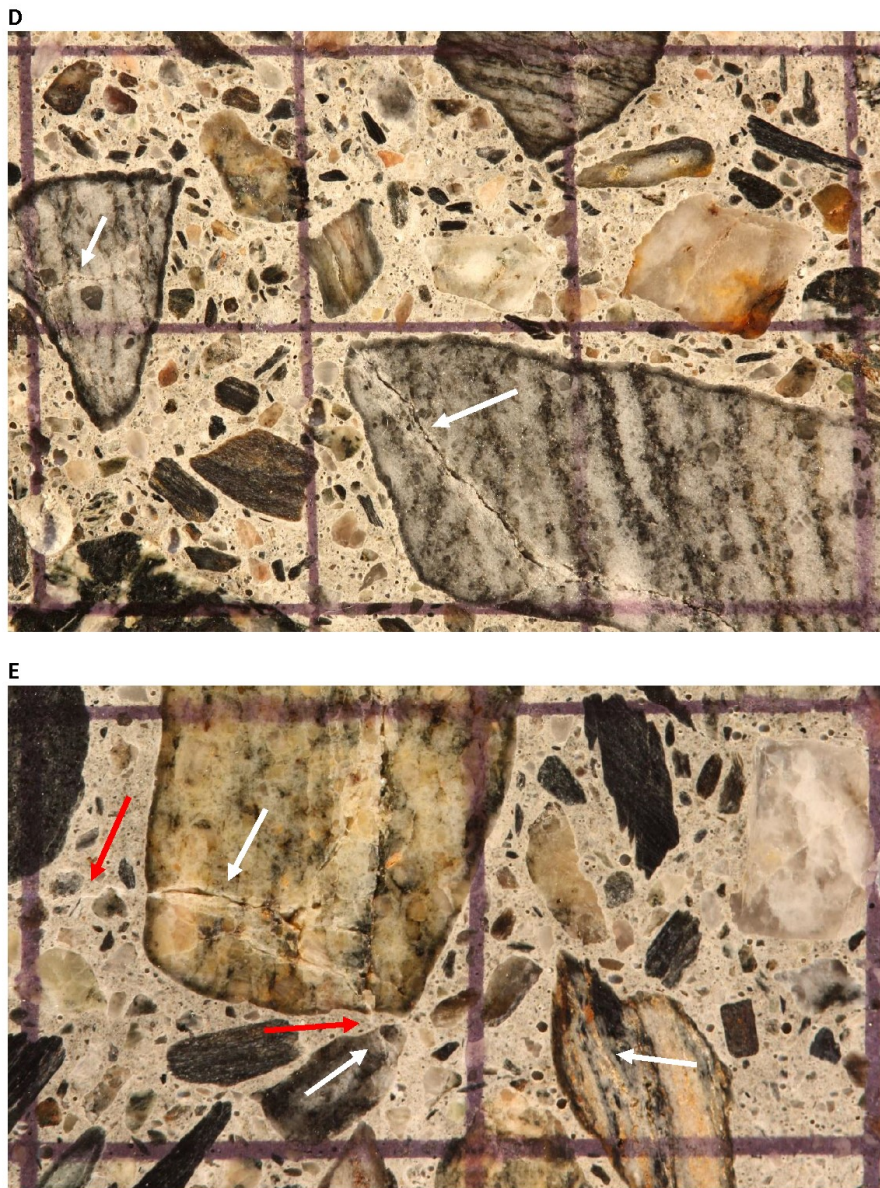


Figure A6: Micrographs of the polished concrete section of the Dam Tyn 4, 0 – 300 mm specimen. A. Less deteriorated (i.e. less cracking) section (left side of the polished section illustrated in Figure A1); B to E. Micrographs showing typical symptoms of reaction (e.g. dark rim at the periphery of reactive aggregate particles) and of damage (cracking within the aggregate particles (white arrows) and the cement paste (red arrows)). (Scale: each square is 1cm²).



Figure A7 : Polished section of the Dam Tyn 4, 470 - 770 mm specimen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
B	9.25	6	7.25	11	3	9	3	2.25	16.25	2	2	2	4	8	2	2.25	6	8	9	4	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5
C	7	11	3	11.25	11	2	5	4	10	9	8	7	8	7.5	8	3	8	7	11	4	12	9	14	5	12	7	2	7	7	
D	10	2	3	2	5	2	2	2	11	9	0	3	8	6	15	10	7.25	8	5	2	5	5	5	6	4	6	2	5	5	
E	4	7	4	9	9	2	2	15	35	3	15	8	4	7.25	10	2.25	3	10	13	7	2	13	9	8	3	9	2	5	3	
F	8	3	2	0	18.25	11.25	5	11.25	4	5	2	4	10	2	9	8	5	10	13	11.25	2	7	3	10.25	2	8	5	8	12	8
G	7	12	7	10	18.25	9	8	5	12	4	7	6.25	7.25	14	6.25	10	10	8	10	15	5	13.25	2	8	5	8	12	12	8	
H	7	3	6	2	2	5	7.25	2.25	11	11	13	3	6.5	14	6	10	11	15	6	2	17	7	10	14	5	9	15	4	5.25	

Figure A8: Original DRI Damage map of the Dam Tyn 4, 470 - 770 mm specimen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	11.06	19.79	9.75	7.917	4.83	2.833	2.542	3.94	3.92	4.71	5.38	4.33	3.67	2.83	3.17	3.5	3.71	2.04	0.99	0	1.17	2.83	4.38	4.88	7.39	7	6.04	8.88	9.54	1.67
B	10.38	9.619	19.8	9.839	8.47	4.583	3.994	3.25	4.72	5.59	6.58	5.55	5	4.39	4.72	4.39	4.58	4.47	4.14	3.89	3.22	4.89	4.69	6.14	7.93	8.11	6.69	8.25	8.14	19.3
C	6.542	5.833	7.24	7.833	7.81	4.851	3.25	3.47	5.94	5.14	6.25	4.89	5.44	5.61	7.61	7.19	5.39	4.94	4.59	5.23	4.67	5.33	4.78	5.44	6.33	8.23	7.14	7.81	6.81	8
D	6.833	5.657	6.33	6.917	7.47	5.139	4.778	5.22	8	7.78	7.33	7.44	7.58	8.53	8.33	7.44	5.83	7.36	7.67	7.67	6.56	7.67	6.56	6.11	5.44	6.33	6.11	5	6.44	6.5
E	5.667	4.778	3.44	5.444	6.59	6.472	6.278	7.25	8.14	6.44	5.55	6.56	6.81	8.36	7.83	7.83	6.28	7.36	8.44	7.22	6.89	6	7.03	4.72	5.28	4.81	6.22	5.56	6.47	6.38
F	6.833	6	6.89	8.894	9.17	7.833	7.856	9.47	9.38	7.89	6.14	7.61	8.19	8.82	7.97	7.17	7.47	8.11	13.3	9.33	8.92	6.25	7.17	4.5	5.51	6.25	8.22	7.67	6.94	6.98
G	7.5	8.11	6.89	8.361	8.94	7.872	6.556	8.42	8.39	8.73	6.14	6.56	7.89	8.78	9.25	8.36	8.68	8.14	9.82	9	8.47	8.81	8.97	7.88	6.86	5.81	8.56	8.56	5.75	4.28
H	7.25	7	8.17	8.288	6.88	5.917	4.583	9.25	9.21	11.3	7.38	7.17	9.17	9.67	10.7	8.88	10.7	9.04	8.38	8.33	10	13.2	10.1	8.38	6.54	5.83	8.67	8.5	7.42	4.38

Figure A9: "Smoothed" DRI Damage map of the Dam Tyn 4, 470 - 770 mm specimen.

Tyn dam 4, 470 - 770 mm

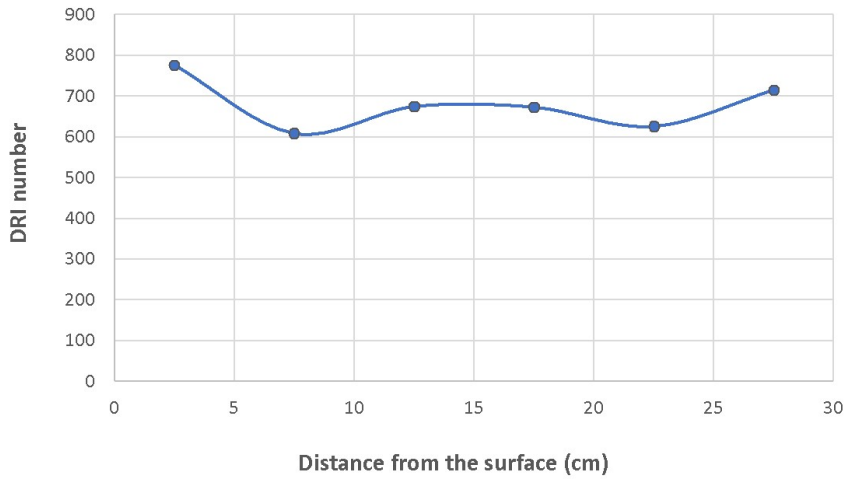


Figure A10 : Damage profile from the top to the bottom of the Dam Tyn 4, 470 - 770 mm specimen.

Table A2 : Detailed DRI results (weighing factors according to Villeneuve et al., 2012) for the Dam Tyn 4, 470 - 770 mm specimen (the acronyms are defined in Table 1).

	CCA	OCA	CA + RP	Debon	RAP	CCP	CCP + RP	DRI
Detailed DRI (per symptom counted)	3	165	134	9	13	191	164	680
DRI weight (%)	0.5	24.3	19.8	1.3	1.8	28.2	24.1	

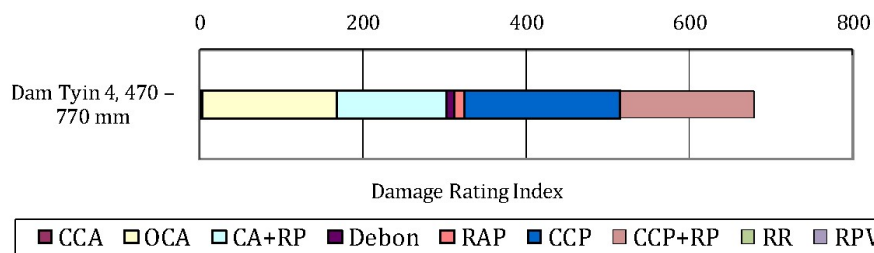
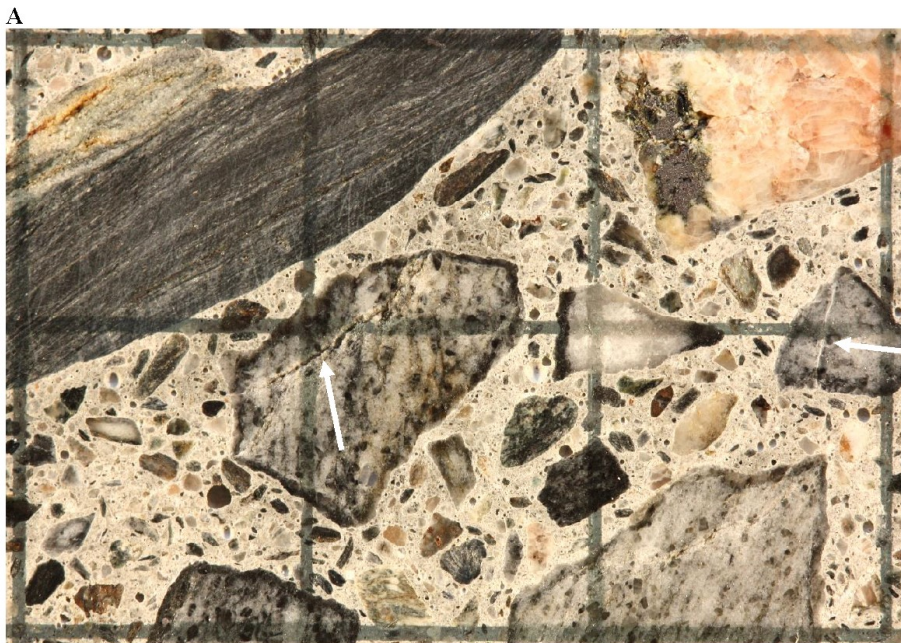
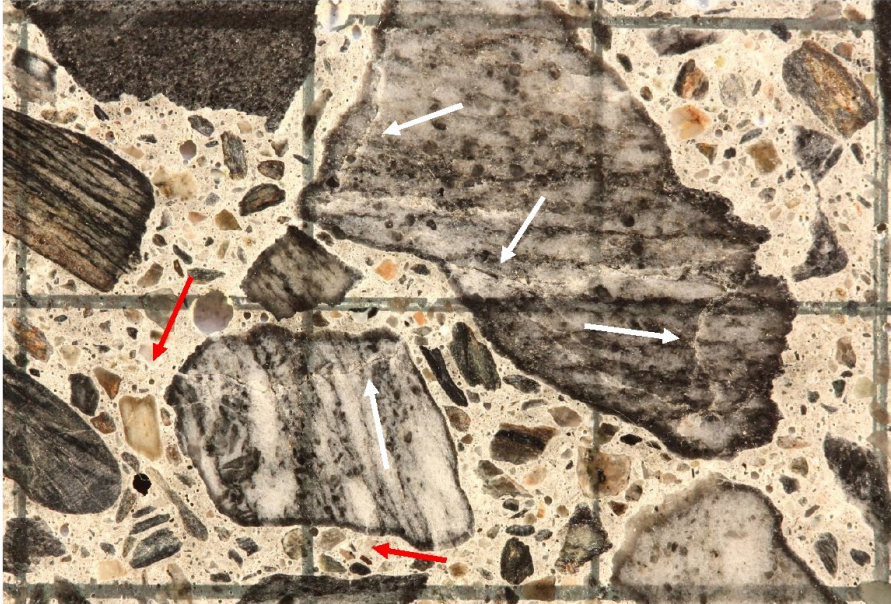


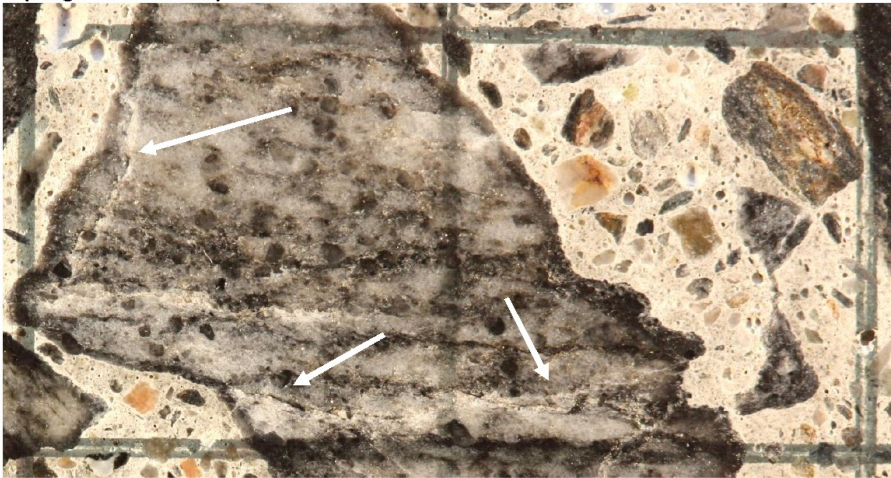
Figure A11 : Detailed DRI results (weighing factors according to Villeneuve et al., 2012) for the Dam Tyn 4, 470 - 770 mm specimen (the acronyms are defined in Table 1).

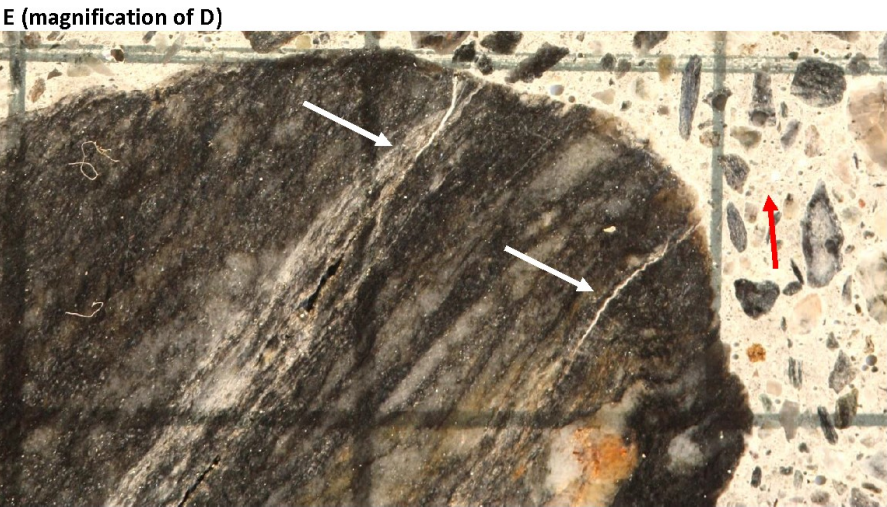


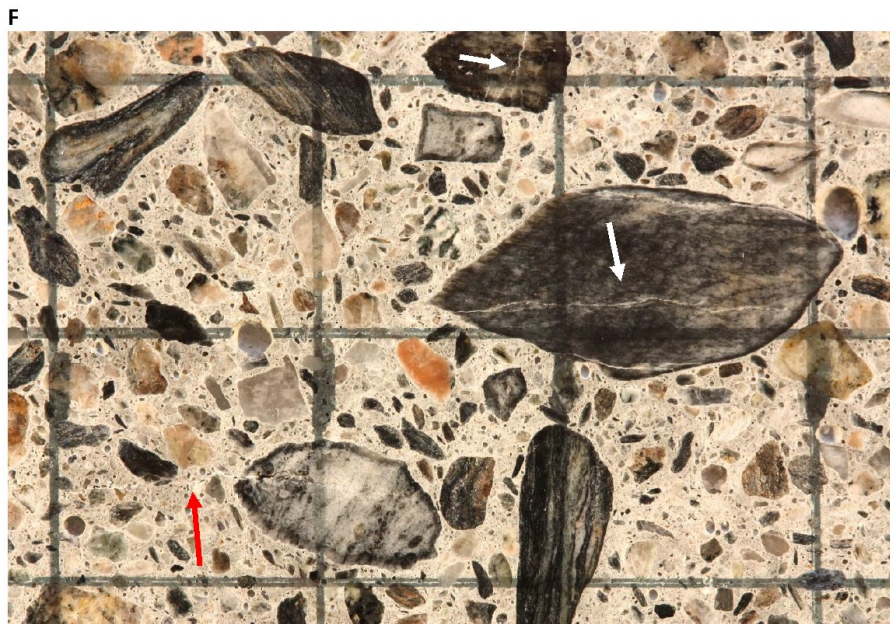
B



C (Magnification of B)







G (magnification of F)

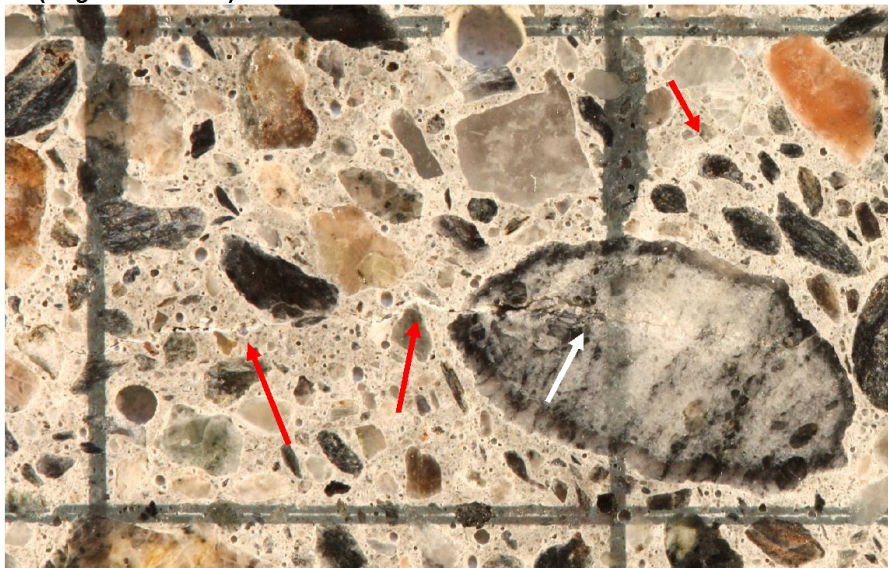


Figure A12: Micrographs of the polished concrete section of the Dam Tyn 4, 470 - 770 mm specimen. A to G. Micrographs showing typical symptoms of reaction (e.g. dark rim at the periphery of reactive aggregate particles) and of damage (cracking within the aggregate particles (white arrows) and the cement paste (red arrows)). (Scale: each square is 1cm²).

Vedlegg 20 – Rapport tynn- og planslip SINTEF



SINTEF Byggforsk
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim

Besøksadresse:
Richard Birkelands veg 3
Trondheim
Sentralbord: 400 05 100

Info@sintef.no
http://www.sintef.no/Byggforsk/
Foretaksregister:
NO 919303808 MVA



Sertifisert laboratorium U16

Prøvingsrapport

Plan- og tynnslipanalyse av betongkjerne fra Tyin Dam 3

Betonglaboratoriet

Prosjektleder/forfatter(e):
Marit Haugen

Oppdragsgiver(e):
Hydro Aluminium AS
Hydro Energi Sogn
Tyin Kraftverk
6884 ØVRE ÅRDAL

Prosjektnummer:
102007752-19

Sammendrag:

SINTEF Byggforsk bistår NTNU-student Kristen Rocklånd Aærethun med undersøkelser av borkjerner fra Tyin Dam 3. Som et ledd i dette er Kjerne 4 fra dammen undersøkt ved hjelp av plan- og tynnslip. Hensikten med undersøkelsen er å dokumentere en eventuell forekomst av alkalireaksjoner.

Studentens prosjektoppgave inkluderer en visuell undersøkelse av kjernematerialet.

Prøvingen som er beskrevet i denne rapporten ble utført i perioden 2019-03-06--04-24. Det er påvist alkalireaksjoner i betongen fra den undersøkte kjernen, og reaksjonene er vurdert som rissdannende.

Utstyrs ID	B-242, B-295
-------------------	--------------

Data:
2019-04-25

Oppdragsgivers referanse:
Kristen Rocklånd
Aærethun/Johnny Bruheim

Antall sider og vedlegg:
8 + 0 vedlegg

Prosjektleder/forfatter:
Marit Haugen

Signatur  Haugen Marit Kristin
2019.04.25 11:05:20
+02'00'

Kontrollert av:
Jan Lindgård

Signatur  Jan Lindgård
2019.04.25 12:20:36
+02'00'

Rapportnr:
7752-19

Gradering:
Fortrolig

Prøveresultatene gjelder kun de objekter som er prøvd.
Rapporten er oppdragsgivers eiendom og kan ikke uten vedkommendes skriftlige tillatelse overlates til tredjepart. Uten SINTEF sin skriftlige godkjenning kan rapporten kun reproduseres i sin helhet.

1 av 8



1 PRØVEMATERIALET

Både damkonstruksjonen, lokalitet og tilstanden (visuell kontroll) til de utborede kjernene er beskrevet i prosjektrapport "Konstruktiv svekking av dammer med alkalireaksjon, Tyin Dam 3 og Votna Dam 1" datert 19.12.2018 av student Kristen Rockland Aarehun. Rapporten er utgitt ved NTNU, Fakultet for Bygg- og miljøteknikk, Institutt for Vassdragsteknikk. Kjerne 4, med diameter 92 mm, hadde en lengde på 930-940 mm og var intakt.

2 UTFØRTE UNDERSØKELSER

Det er utført følgende analyser av kjerne 4 fra Tyin Dam 3:

- * Makroanalyse av plønslip undersøkt i UV-lys. Det ble framstilt 2 stk plønslip fra kjernen, i dybde hhv 0-300 mm og 470-770 mm
- * Mikroanalyse av tynnslip undersøkt i polarisasjonsmikroskop påmontert UV-filtre. Tynnslipet ble plassert 470 mm fra kjernens overflate, vinkelrett på kjernens lengdeakse

3 RESULTATER

3.1 Plønslipanalyse

Det ble framstilt 2 stk fluorescensimpregnert plønslip fra kjernen. Resultatene fra plønslipobservasjonene er presentert i Tabell 1 og 2, samt i foto nr 1-4.

Tabell 1 Observasjoner i plønslip

Plønslip fra	Kjerne 4 fra Tyin Dam 3 (foto nr 1 og 2)
Plassering av plønslip	0-300 mm fra overflaten
Riss i overflaten	Ikke observert
Riss i betongen	Mange riss i mørtelandel, mange riss i tilslag og mange riss som går fra tilslag og ut i sementpastaen
Steintilslaget	Pukk og singel. Normalt innhold, maks tverrmål 40 mm
Tegn på alkalireaksjoner	Riss i mange tilslagskorn samt mange riss fra tilslag og ut i sementpastaen

Tabell 2 Observasjoner i plønslip

Plønslip fra	Kjerne 4 fra Tyin Dam 3 (foto nr 3 og 4)
Plassering av plønslip	470-770 mm fra overflaten
Riss i betongen	Mange riss i mørtelandel, mange riss i tilslag og mange riss som går fra tilslag og ut i sementpastaen
Steintilslaget	Pukk og singel. Normalt innhold, maks tverrmål 32 mm
Tegn på alkalireaksjoner	Riss i mange tilslagskorn samt mange riss fra tilslag og ut i sementpastaen. Hvit utfelling i enkelte luftporer

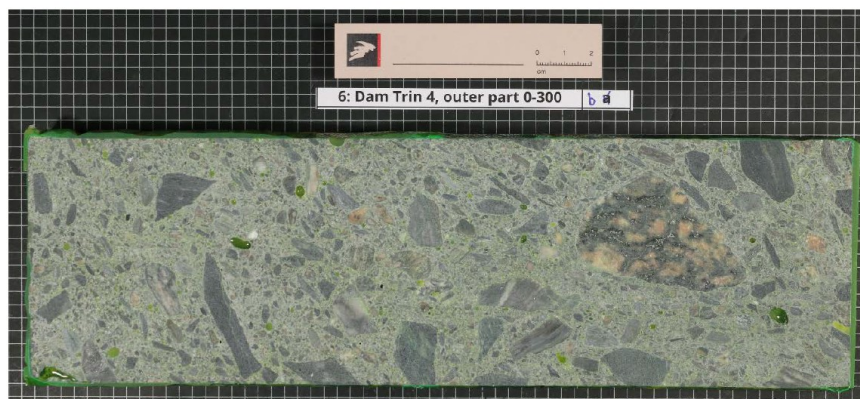


Foto nr 1. Planslipet i dybde 0-300 mm fra kjerne 4 fra Tyn Dam 3. Overflaten til venstre på bildet.

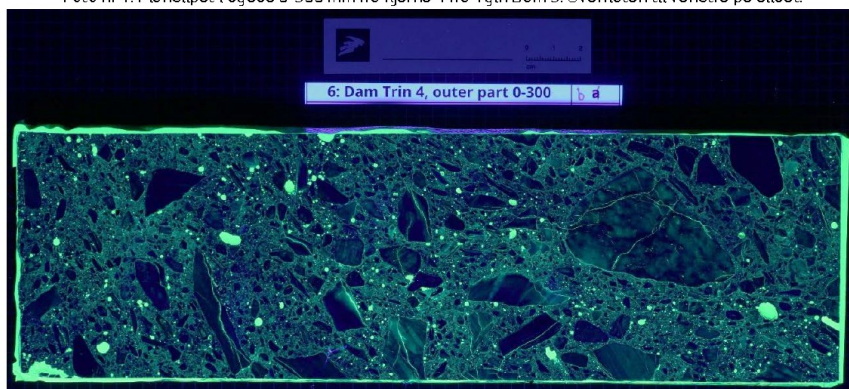


Foto nr 2. Planslipet over fotografert i UV-lys (overflaten til venstre på bildet). Bildet viser at det er mange fine riss i tilslegskorn. Flere av disse rissene går også ut i sementpastaen.

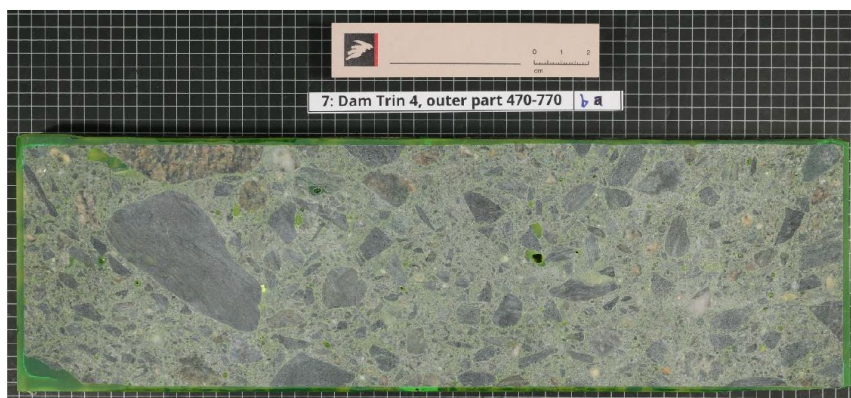


Foto nr 3. Plenslipet i dybde 470-770 mm fra kjerne 4 fra Tjin Dam 3. Kjernedelen som er nærmest overflaten til venstre på bildet. Til høyre for den store steinen til venstre på bildet er det hvit utfelling i to små luftporer.

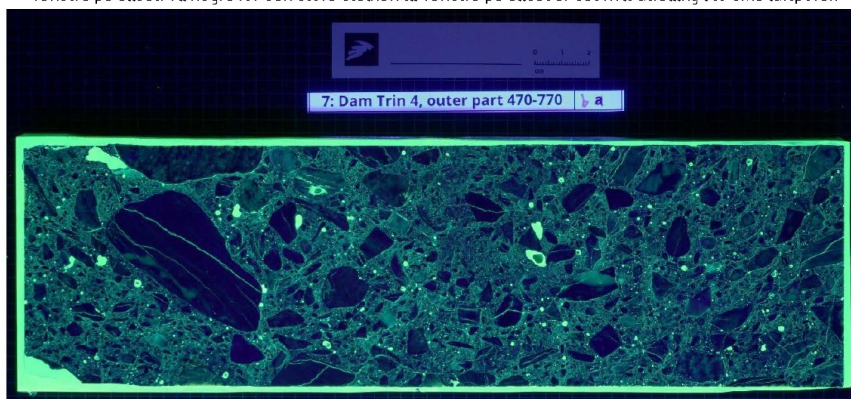


Foto nr 4. Foto nr 2. Plenslipet over fotografert i UV-lys (kjernedelen nærmest overflaten til venstre på bildet). Bildet viser at det er mange fine riss i tilslagskorn. Flere av disse rissene går også ut i sementpastaen.



3.2 Tynnslipanalyse

Det ble framstilt 1 stk fluorescensimpregnert tynnslip fra kjernen. Tynnslipets størrelse er 45 mm x 30 mm, og det ble plassert 470 mm fra overflaten, vinkelrett på kjernens lengdeakse. Resultatene fra tynnslipobservasjonen er presentert i Tabell 3, samt i foto nr 5-9.

Tabell 3 Observasjoner i tynnslip

Tynnslip fra	Kjerne 4, Tyn Dam 3 (foto nr 5-9)
Dybde fra overflaten	470 mm inn i betongen
Porøsitet i mørtelfasen	Relativt homogen
Luftinnbløndet	Nei
Mikroriss	Noe
Fine riss i betongen	Mange
Grove riss	Enkelte
Utfelling i luftporer og riss	Mye ettringitt, litt portlanditt
Type steintilslag	Mylonitt/kataklesitt, kvartsrik berggert, fyllitt, gråvåkke, mørk berggert og breksje
Alkalireaksjoner	Ja
Reagert tilslag	Metagråvåkke, mylonitt, fyllitt og breksje
Reaksjonsprodukter	Alkali-silika-geler observert i flere små luftporer samt i riss
Vurdering av reaksjonsomfang i tynnslip	Alkalireaksjonene vurderes som rissdannende

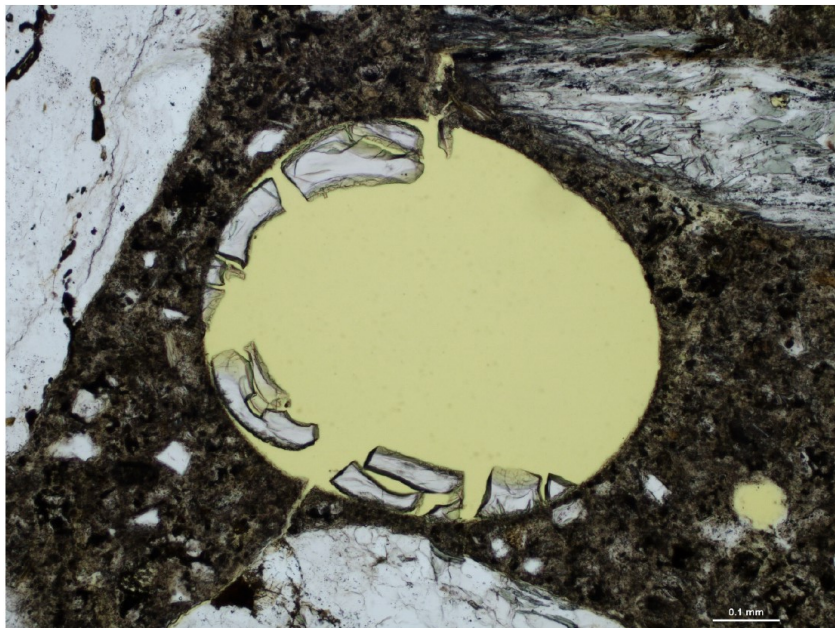


Foto nr 5. Utsnitt av tynnslipet. Bildet viser alkali-silika-gel i luftpore ved kvartsrik berggort.

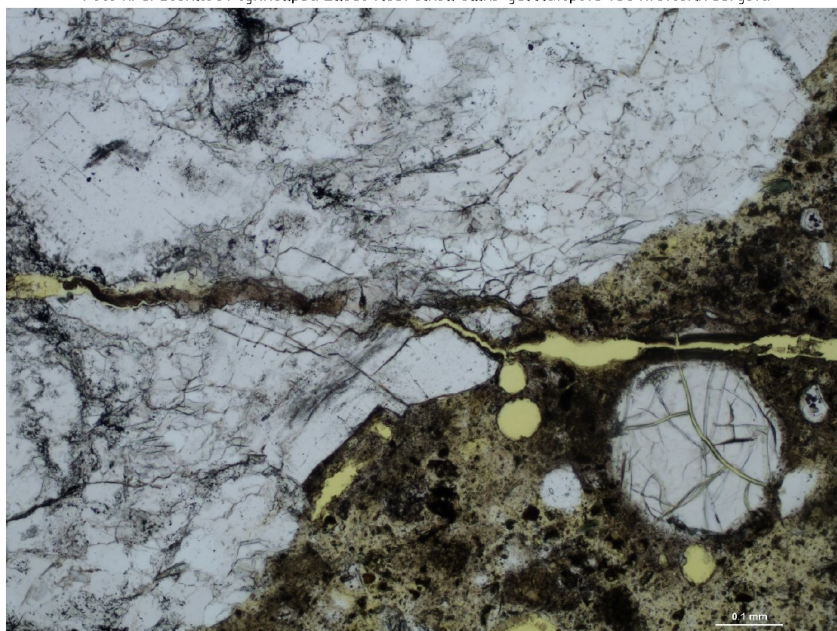


Foto nr 6. Utsnitt av tynnslipet. Bildet viser alkali-silika-gel i riss og luftpore ved metagråvække.

PROSJEKTNR
102007752-19

RAPPORTNR
7752-19

6 av 8

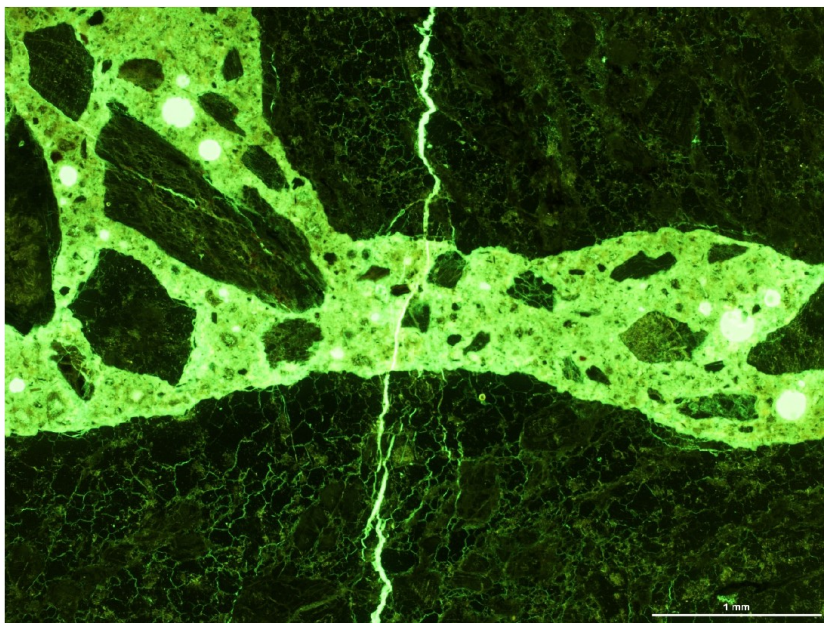


Foto nr 7. Utsnitt fra tynnslipet fotografert i fluorescerende lys. Bildet viser riss mellom meta-gråvåkke og kvartssrik bergart.

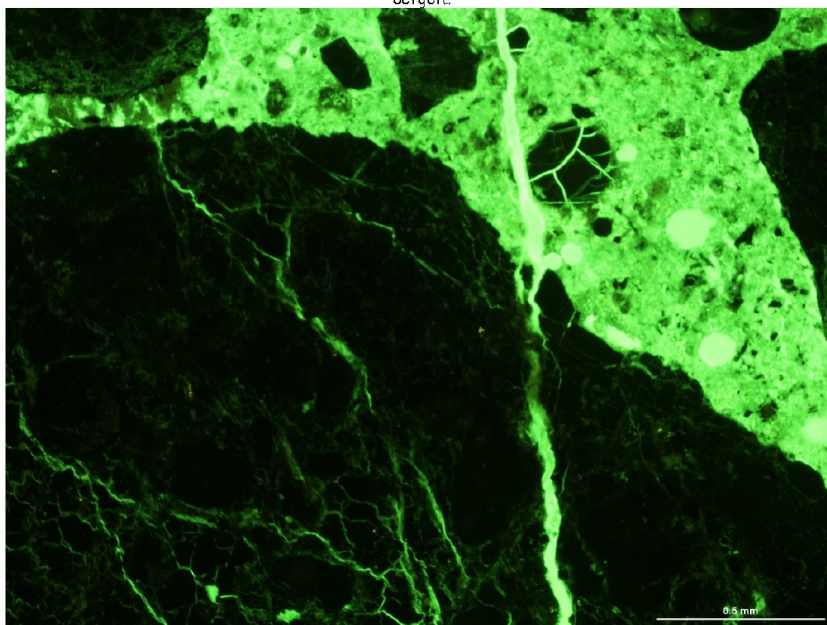


Foto nr 8. Utsnitt av tynnslipet fotografert i fluorescerende lys. Bildet viser riss i meta-gråvåkke samt alkali-silika-gel (opprisset) i en luftpore utenfor (oppe til høyre på bildet).

PROSJEKTNR
102007752-19

RAPPORTNR
7752-19

7 av 8

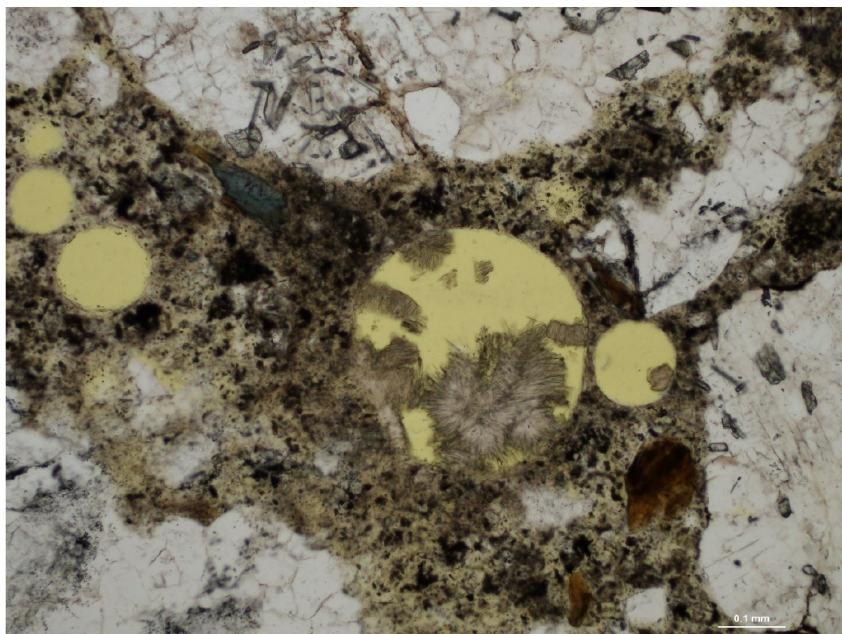


Foto nr 9. Utsnitt av tynnslipet. Bildet viser ettringitnåler i den gule luftporen ca midt på bildet.

4 VURDERING AV LABORATORIERESULTATER

Det er påvist alkalireaksjoner i betongen fra Kjerne 4 fra Tyin Dam 3. Reaksjonene er rissdannende,

Mye ettringitt i luftporer og riss viser at betongen er fuktbelastet.

Vedlegg 21 – Ekspansjonsmålinger og SDT referansesyndrar

Oseland 2018								
Prøve ID	Dagar	Ekspansjon [%]	f _c [MPa]	E _c [MPa]	SDI	PDI	NLI	SDI _{alt}
FP20	52	0,002	42,7	32045	0,102	0,129	1,047	0,437
	83	0,014	46,7	34081	0,076	0,081	1,061	0,324
	118	0,020	46,8	33715	0,063	0,053	1,059	0,268
	160	0,012	50,7	34340	0,057	0,037	1,05	0,243
FP60	52	0,090	50	24745	0,176	0,277	1,051	0,73
	83	0,182	46,7	19465	0,223	0,299	1,118	0,874
	118	0,221	44	17996	0,218	0,291	1,171	0,879
	160	0,300	41,7	16477	0,234	0,325	1,201	0,94
RP60-Y	52	0,067	49,4	27629	0,155	0,235	1,052	0,653
	83	0,108	50,4	22069	0,215	0,324	1,077	0,869
	118	0,209	46,4	20027	0,217	0,301	1,142	0,867
	160	0,226	45,6	18476	0,217	0,281	1,135	0,858
RP60-Z	52	0,028	45,2	28059	0,122	0,165	1,038	0,517
	83	0,083	45,6	25576	0,14	0,197	1,04	0,599
	118	0,094	44,8	24543	0,146	0,2	1,06	0,608
	160	0,080	44,6	24079	0,141	0,169	1,053	0,589
2019								
Prøve 3	42	0,296	48,4	21248,73	0,220	0,307	1,094	1,070
Prøve 4	42	0,344	48,0	21477,65	0,182	0,340	1,100	0,852
Prøve 5	42	0,360	48,6	21278,93	0,181	0,318	1,092	0,797

Vedlegg 22 – Arbeidsdiagram

