

Kloridbestandighet av 1980-tallets offshorebetong

30 års eksponering ved DNV GLs feltstasjon i Bergen

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 504



Tittel

Kloridbestandighet av 1980-tallets off-shorebetong

Undertittel

30 års eksponering ved DNV GLs feltstasjon i Bergen

Forfatter

Eva Rodum og Tobias Danner

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel, geologi og betong

Prosjektnummer

603318

Rapportnummer

Nr. 504

Prosjektleder

Claus K. Larsen

Godkjent av

Øyvind Bjøntegaard

Emneord

Betong, bestandighet, kloridinntrenging, marint miljø, felteksponering

Sammendrag

I perioden 1983-1988 produserte Norwegian Contractors i Hinnavågen store prøveelementer (betongsøyler) med offshore-betong for utplassering ved DNV GLs marine feltstasjon i Bergen. Søylen ble produsert i henhold til standard prosedyrer for produksjon av offshore-konstruksjoner i Nordsjøen. Søylen hadde diameter 60 cm og høyde 5 m. I 2016 skulle feltstasjonen avvikles og Statens vegvesen inngikk en samarbeidsavtale med DNV GL om dokumentasjon og sluttprøving av søylene før avhending. Totalt åtte søyer, støpt med til sammen fem forskjellige betongresepter (normaldensitets- og lettbetonger), har vært gjenstand for ulike typer prøving. Det er boret ut kjerner fra søylene som er undersøkt med tanke på kloridinntrenging og vannmetningsgrad. Det er videre utført prøving av kloridmotstand ved akselerert eksponering, porøsitet, spesifikk elektrisk motstand og trykkfasthet. All prøving er utført ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Oslo og rapporten presenterer resultatene fra disse undersøkelsene.

Title

Chloride resistance of offshore concretes from the 1980ies

Subtitle

30 years exposure at DNV GL's field station in Bergen

Author

Eva Rodum and Tobias Danner

Department

Roads Department

Section

Tunnel, geology and concrete

Project number

603318

Report number

No. 504

Project manager

Claus K. Larsen

Approved by

Øyvind Bjøntegaard

Key words

Concrete, durability, chloride ingress, marine environment, field exposure

Summary

During 1983-1988 large concrete test columns were cast with typical offshore concretes by Norwegian Contractors in Hinnavågen, to expose them in marine environment at DNV GL's field station in Bergen. The columns were produced by standard procedures for production of offshore structures in the North Sea. The diameter of the columns was 60 cm and the height was 5 m. When the field station was closed in 2016, The Norwegian Public Roads Administration (NPRA) and DNV GL agreed to cooperate on a final test programme for documentation of the concretes. A total of eight columns, cast with five different concrete recipes (normal density and light weight concretes), was examined by laboratory testing of in situ chloride ingress, in situ water content, accelerated chloride ingress, porosity, resistivity and compressive strength. The test programme was performed at the NPRA's Central Laboratory in Oslo, and the results are presented in this report.

Innhold

1	Innledning.....	3
2	Målsetning	3
3	Søyler – historikk.....	4
3.1	Bakgrunn	4
3.2	Søyler og feltstasjon	4
3.3	Resepter	6
3.4	Tidligere undersøkelser	7
4	Prøvetaking 2016	7
4.1	Planlegging.....	7
4.2	Gjennomføring	8
4.3	Utborede betongkjerner	13
4.4	Armerte søyledeler	19
5	Laboratorieundersøkelser ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium	20
5.1	Planlegging.....	20
5.2	Kloridprofiler og beregning av diffusjonskoeffisienter i felt.....	21
5.3	Akselerert kloridinntrenging iht. NT Build 443	26
5.4	Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet.....	28
5.5	Trykkfasthet og spesifikk elektrisk motstand	30
5.6	Strukturanalyser	32
6	Oppsummering av resultater	33
6.1	Kloriddiffusjon, felt vs. lab	33
6.2	Kloriddiffusjon vs. spesifikk elektrisk motstand	34
6.3	Trykkfasthet og densitet.....	35
6.4	Porøsitetsverdier.....	35
7	Vurdering av kloridbestandighet	37
8	Referanser.....	39

Vedlegg:

- 1: Prosedyre for utboring
- 2: Skisse – betongkjerner og planlagt utnyttelse

- 3: Freseplan
- 4: Kloridresultater felt – neddykket sone
- 5: Kloridresultater felt – lufteksponert sone
- 6: Kloridresultater lab – NT Build 443
- 7: Vanninnhold, porøsitet- og densitetsverdier
- 8: Målte og beregnede kloridprofiler etter ca. 30 år og estimerte kloridprofiler etter 100 års eksponering

Alle foto i rapporten er tatt av Tobias Danner, Statens vegvesen.

1 Innledning

Statens vegvesen inngikk i 2016 en samarbeidsavtale med DNV GL om prøvetaking og laboratorieundersøkelser av åtte store betongsøyler som var eid av DNV GL og som DNV GL (tidligere Det Norske Veritas Industri A/S) hadde felteksponert i marint miljø, i tilknytning til eget kaianlegg, i ca. 30 år. I forbindelse med at søylene skulle avhendes ble Statens vegvesen tilbudt tilgang til søylene for prøvetaking og analyser.

DNV GL har fremskaffet tilgjengelig bakgrunnsinformasjon om betongsøylene og sto for planlegging og ledelse av arbeidet med opptak, rengjøring og saging av søylene. Detaljert plan for utboring og utnyttelse av borkjerner ble utarbeidet av Statens vegvesen, som også bistod under feltarbeidet.

Alle undersøkelser av utborede kjerner er utført ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Oslo, finansiert av Statens vegvesen.

I forbindelse med prøveuttak ble det bestemt av midtre deler av fire søyer skulle sendes til NTNU for diverse undersøkelser der. Disse undersøkelsene er utført og rapportert innenfor post doc-prosjektet «Relevance of crack width and decompression requirements (limits) due to durability aspects of conventional reinforcement», finansiert av Statens vegvesen v/ Ferjefri E39.

Resultatene fra undersøkelsene vil gi Statens vegvesen svært relevant informasjon om ulike betongers langtids bestandighetsegenskaper i marint miljø.

2 Målsetning

Formålet med prosjektet er å se på bestandighetsegenskapene til ulike høykvalitets off-shorebetonger støpt på 1980-tallet.

Det er gjort undersøkelser av betong fra to eksponeringssoner, hhv. lufteksponert og neddykket sone, fra områder uten provosert opprissing.

Følgende bestandighetsrelaterte parametere er bestemt:

- In situ kloridprofiler og tilhørende kloriddiffusjonskoeffisienter
- Kloriddiffusjonskoeffisienter etter akselerert prøving iht. NT Build 443
- Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet
- Spesifikk elektrisk motstand
- Trykkfasthet

I denne rapporten er det ikke gjort noen vurderinger av armeringens korrosjonstilstand eller tidligere resultater fra korrosjonsmålinger.

3 Søylar – historikk

3.1 Bakgrunn

I forbindelse med bygging av betongplattformer for utvinning av olje- og gassressurser i Nordsjøen, ble det på 1980-tallet gjennomført omfattende forsknings- og utviklingsarbeider i Norge, både med tanke på konstruksjonsoppførsel og bestandighet.

Ved Det Norske Veritas Industri A/S i Bergen ble det gjennomført forsøk spesielt med tanke på å dokumentere korrosjonsoppførselen til stål innstøpt i betong eksponert i ulike miljøsoner i marint miljø. For å studere bestandigheten av armerte betongkonstruksjoner under realistiske eksponeringsbetingelser ble det i 1983, 1984 og 1988 støpt ut store armerte betongsøylar som ble eksponert for sjøvann og utsatt for dynamisk sidevegs belastning.

3.2 Søylar og feltstasjon

Et større antall søylar ble støpt ut og plassert i eget anlegg i tilknytning til DNV GLs kaianlegg, hhv. i 1983, 1984 og 1988. Denne undersøkelsen omhandler åtte av søylene.

Alle søylene ble produsert av Norwegian Contractors i Hinnavågen, med samme prosedyrer og rutiner som ved normal produksjon av offshore-konstruksjoner. Søylene har diameter 60 cm og høyde 5 m. To av søylene er hule (veggykkelse 200 mm, dog massive i bunn), seks har massivt tverrsnitt, to søylar er støpt med letttilslag /1/.

Armeringsføringen ble detaljert planlagt, med flere lag og oppdelt i ulike soner, med tanke på elektrokjemiske målinger og korrosjonsovervåking. Enkelte armeringslag har vært tilkoblet offeranoder og søylene har hatt høy grad av instrumentering. Søylar støpt i 1983–84 hadde tre armeringslag (ytre, midtre og indre) /3/. Vertikalstenger i ytre og indre lag var kontinuerlige over hele høyden, mens det midtre laget var delt i tre eller fire deler (for å studere effekt av ulike eksponeringssoner) /1/. Den initiale elektrokjemiske tilstanden til de ulike armeringslag i de ulike søylar er vist i Tabell 1 /3/.

TABELL 1 ARMERINGENS INITIELLE ELEKTROKJEMISKE TILSTAND (INFORMASJON I /3/)

Armeringslag	Overdekning	Søyle nr (opprinnelig merking i parentes)							
		1 (1)	5 (2)	2 (3)	6 (4)	4 (7)	8 (8)	3 (9)	7 (10)
Ytre	50	F	-800 mV	F()	CP	F	F	Ukjent armeringsføring og instrumentering	
Midtre (alle deler)	93	F/CP*)	CP	Steel	FCB	CP	CP		
Indre	136	F	F	Steel	F	F	F		

F = fri til å korrodere (ingen galvaniske koblinger eller påtrykte spenninger)

CP = katodisk beskyttelse ved offeranoder

Steel = armering koblet til stålplater neddykket i sjøen

FCB = armering tilkoblet sensorer installert av FCB (senere SINTEF)

-800 mV = påtrykt spenning vs. Ag/AgCl

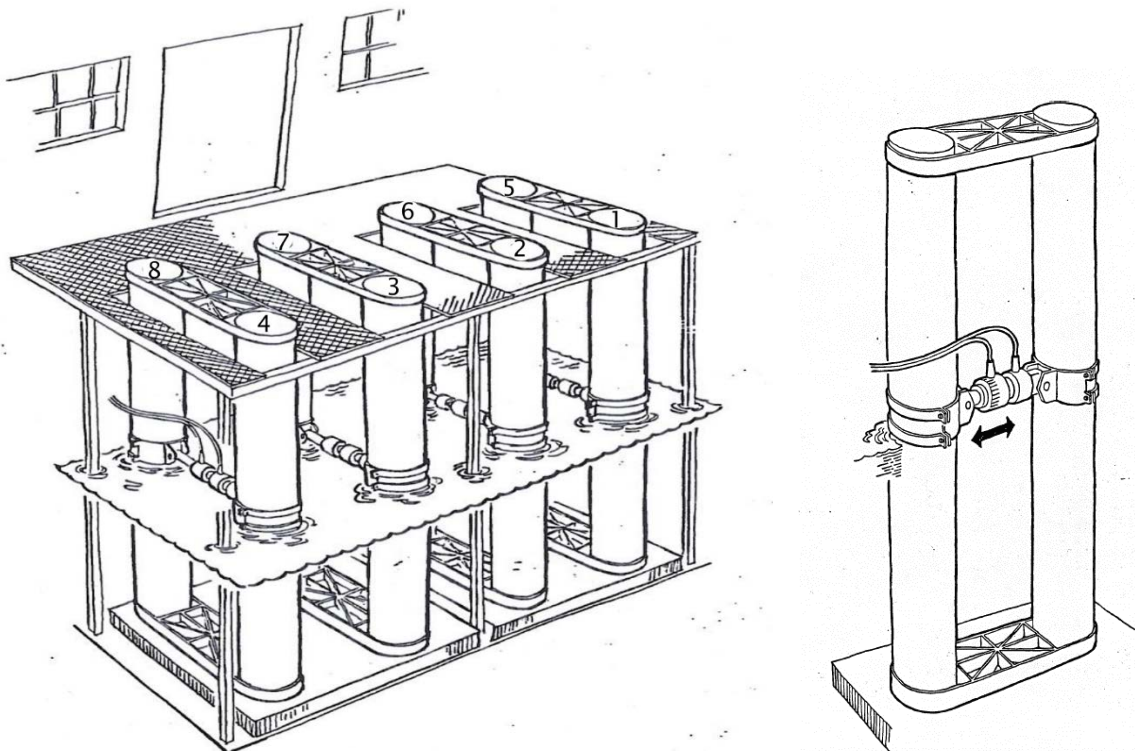
*) Armeringen ble tilkoblet offeranoder i august 1986, etter 3 års drift

Søylene ble dynamisk belastet i trepunkts bøyning. Belastningsnivået har variert mellom null og en øvre verdi tilsvarende 35–70 % av armeringens flytespenning. Lasten ble påført ved hydrauliske sylindere som ble plassert i middel vannstands nivå. Skjematisk fremstilling av prøveoppsettet og prinsipp for dynamisk belastning er vist i Figur 1 /1/.

Både dynamisk belastning og korrosjonsmålinger ble avsluttet etter noen år.

Et elektrisk spenningsfelt mellom en ekstern elektrode og armeringen vil kunne påvirke kloridinntrengingen, og hvis armeringen er tilkoblet den negative polen vil kloridionene frastøtes. Det er antatt at de initielt/tidlig monterte offeranoder/stålpater ikke har hatt betydelig påvirkning på kloridinntrengingen i luft-/neddykket sone. Dette fordi de i hovedsak er koblet til det midtre armeringslaget, som med god overdekning (93 mm) er lite korrosjonsutsatt og dermed vil generere lave korrosjons-/ beskyttelsesstrømmer. Én av søylene har offeranoder tilkoblet det ytre armeringslaget (overdekning 50 mm) og i én annen søyle har ytre armeringslag initielt vært påtrykt en spenning til -800 mV vs. Ag/AgCl. Det antas at det kun er sistnevnte (søyle 5) hvor kloridinntrengingen kan ha vært betydelig påvirket av instrumenteringen (dog uvisst i hvor mange år).

Armeringsføring, instrumentering og dynamisk belastning er ikke videre omtalt i denne rapporten. Rapporten omhandler kun betongrelaterte undersøkelser og resultater.



FIGUR 1 OPPSTILLING AV DE UNDERSØKTE SØYLER OG PRINSIPP FOR DYNAMISK BELASTNING /1/. SØYLENE ER PÅFØRT DE NUMMER DE BLE PÅFØRT VED OPPTAK FRA SJØEN I 2016. DENNE NUMMERERINGS AVVIKER FRA TIDLIGERE DNV-RAPPORTER.

3.3 Resepter

Fra DNV GL har vi fått overlevert reseptdata og tilleggsopplysninger om sementtyper m.m. som oppsummert i Tabell 2. Det er ulik detaljeringsgrad for reseptene. For søyler støpt i 1988 (søyle nr 3 og 7) er det kun angitt masseforhold og silikainnhold.

TABELL 2 RESEPTDATA OG INSTALLASJONSÅR FOR DE ULIKE SØYLER. DET ER ANGITT OM SØYLENE HAR HULE ELLER MASSIVE TVERRSNITT OG HVILKE SØYLER SOM HAR NORMAL DENSITET (ND) ELLER LETTILSLAG (LWA)

Delmaterialer	Søyle nr (<i>opprinnelig merking i parentes</i>)							
	1 (1)	5 (2)	2 (3)	6 (4)	4 (7)	8 (8)	3 (9)	7 (10)
	Hul ND		Massiv ND		Massiv LWA		Massiv ND	
Sement, kg	420 Norcem SP30-4A*)				600	385		
Naturlig tilslag, kg	1870				400	650		
Lyttag lettilslag, kg	-				684	-		
Liapor 8 lettilslag, kg	-				-	715		
Totalt vann, kg	160				199	161		
Vannreducerende TS (Betomix PA(B)), l	5				10	10		
Luftinnførende TS, kg						0,3		
Silika, kg	-				-	15	25	
v/(c+s)	0,38				0,33	0,40	0,45	0,33
Ferskdensitet, kg/m ³	2390				1970	1940		
Fersk luftinnhold, %	2,8				4,9	6,2	1,7	2,7
Våtdensitet, kg/l	2,39				1,97	1,94		
Trykkfasthet, 28 dg, MPa	65-70							
Fasthetsklasse	C60				C60	C60	C65	C95
Installert mnd/år	10/1983		06/1983		10/1984		04/1988	

*) SP30-4A har samme klinker som HS65, forløperen til Anleggssementen, ca 0,7 % alkaliinnhold

De fem ulike betongtypene er i det etterfølgende benevnt som følger:

- ND 0,38
- Lytag 0,33
- Liapor 0,40 Si
- ND 0,45 Si
- ND 0,33

Første notasjon henspeiler på tilslagstype: ND = Normal densitet, Lytag = type lettilslag, Liapor = type lettilslag, andre notasjon betegner v/(c+s)-tallet, tredje notasjon angir om det er tilsatt silika i betongen. Se nærmere detaljer i Tabell 2.

Ved uttak av prøvemateriale er betongkjerner fra søyle 1, 2, 5 og 6 betraktet som parallelle prøver fra samme betongtype (ND 0,38).

3.4 Tidligere undersøkelser

DNV GL har gjennomført ulike undersøkelser av betong og armering fra søylene i en periode etter utplassering i feltstasjonen. Noen resultater fra disse undersøkelsen er tidligere publisert /1, 2/. Denne rapporten omtaler ikke disse resultatene videre.

4 Prøvetaking 2016

4.1 Planlegging

Det ble avholdt et møte med DNV GL i Bergen 29.06.2016 hvor det ble lagt planer for det videre samarbeidet. Tilstede på møtet var: Hans-Erik Berge, Bård Espelid, Erik Krogstad Sverre og Mads Arild Eidem fra DNV GL og Claus K. Larsen og Eva Rodum fra Statens vegvesen.

Etter møtet ble det utarbeidet og underskrevet en samarbeidsavtale (saksnummer 16/96807) hvor det også inngår et detaljert prøvingsprogram, med en prioritert liste over ønskede undersøkelser og antall prøvestykker fra ulike deler av søylene (lufteksponert sone, tidevannssone og permanent neddykket sone).

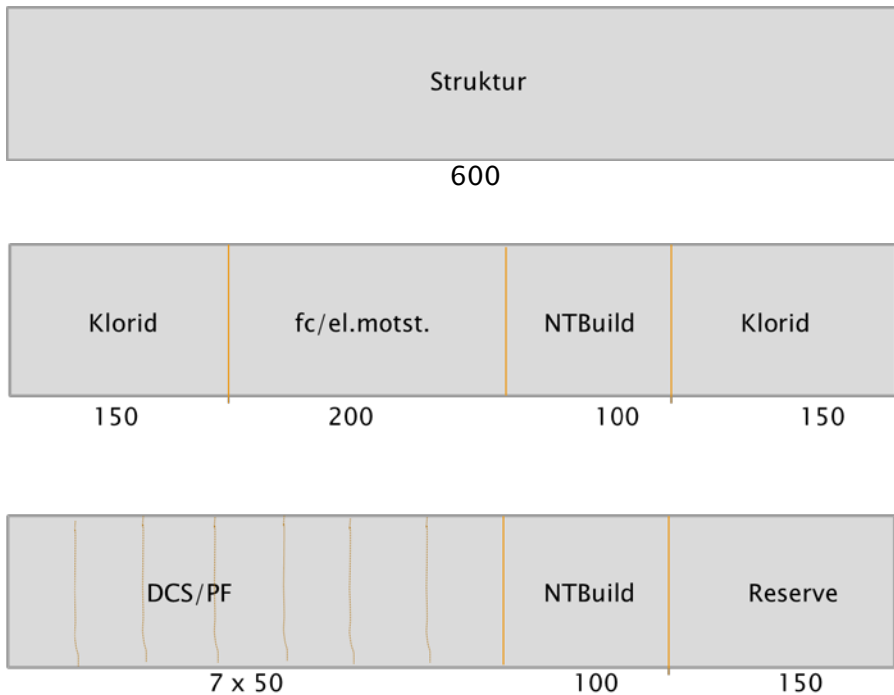
Det ble tidlig foreslått å inngå et samarbeid med NTNU som på det tidspunkt hadde et pågående prosjekt på armeringskorrosjon i riss, «Relevance of crack width and decompression requirements (limits) due to durability aspects of conventional reinforcement», finansiert av Statens vegvesen v/ «Ferjefri E39»-prosjektet. Det ble etablert en egen avtale mellom NTNU og Statens vegvesen/DNV GL knyttet til opphavsrett og bruk av resultater i prosjektet. Samarbeidet med NTNU ble bestemt å gjelde midtpartiene av relevante søyler, der riss kunne forventes å ha blitt initiert som følge av dynamisk belastning i de første årene i feltstasjonen.

Det ble planlagt uttak av 2–3 borkjerner fra henholdsvis lufteksponert sone og neddykket sone for hver av søylene. I tillegg skulle midtstykker (ø600 mm x 1200 mm) fra 4 søyler (ND 0,38 og lettbetongene) sages ut.

Alle undersøkelser av utborede betongkjerne skulle utføres ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Oslo, og inkludere bestemmelse av følgende tilstands-/bestandighetsparametere:

- In situ kloridprofiler
- Kapillær vannmetningsgrad (DCS = Degree of Capillary Saturation) og porøsitet (PF)
- Trykkfasthet (f_c)
- Spesifikk elektrisk motstand
- Akselerert kloridinntrenging iht. NT Build 443
- Strukturanalyser

Plan for tildanning av prøvestykker fra ulike kjerner er vist i Figur 2. Strukturanalyser var planlagt utført ved SINTEF, for undersøkelse av mulige alkalireaksjoner, men ble ikke utført.



FIGUR 2: PLAN FOR PRØVEUTNYTTELSE FRA ULIKE KJERNER. TILPASSES DET ENDELIGE ANTALL UTBOREDE KJERNER FRA ULIKE SØYLER OG LOKALITETER

4.2 Gjennomføring

Søylene ble tatt opp fra sjøen og lagt på kaia medio mai 2016.

Prøveuttak ble gjennomført i perioden 11.–14. juli 2016.

Tilstede under feltarbeidene var:

- Tobias Danner, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- Momodou Jobarteh, Statens vegvesen Region vest
- Andreas Tjørve, DNV GL
- 1–3 personer fra Sørheim Riveservice A/S
- En kranbil fra Dalland Bygg (tidvis)

Alle foto fra feltarbeidene er tatt av Tobias Danner, Statens vegvesen.

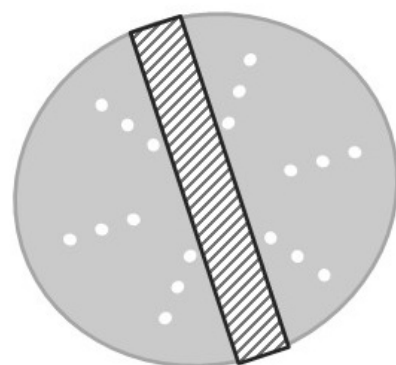
Ved oppstart av feltarbeidene lå søylene plassert på kaidekket som vist i Figur 3. Det var utarbeidet en prosedyre for utboring av kjerner, se VEDLEGG 1.



FIGUR 3: PLASSERING AV SØYLER UTENFOR DNV GL SINE LOKALER I LAKSEVÅG VED BERGEN. SØYLENE ER IDENTIFISERT MED NUMMER (NY MERKING). SØYLE 9 OG 10 INNGÅR IKKE I UNDERSØKELSENE.

Alle søylene merket 1–8 ble høytrykksspylt 11. juli. Formålet var å få fjernet begroing fra betongoverflatene, men det var fortsatt noe restmateriale igjen etter rengjøring.

Det ble merket på søylene for boring etter forutgående innmåling av vertikal- og horisontalarmering, se eksempel i Figur 4. Forhåpningen var da at gjennomgående boring skulle kunne gjennomføres uten å treffe armering, se skisse til høyre i Figur 4.



Planlagt

FIGUR 4: TIL VENSTRE: OPPRINNELIG MARKERING TIL PRØVEUTTAK (PRØVEIDENT TILLEGGSMERKET PÅ FOTO), TIL HØYRE: PLANLAGT GJENNOMGÅENDE BORING MELLOM VERTIKALARMERING (HVITE PRIKKER).

Det var imidlertid en del utfordringer som gjorde det vanskelig å bore gjennom søylene uten å treffe armering. Det var mye armering i søylene, delvis også mange kabler. Dette kan ha medført forstyrrelser under måling med covermeter. Videre må det påregnes at det er mindre avvik mellom teoretisk og virkelig plassering av armering og selv en mindre feilplassering vil kunne være nok til at armering påtreffes med kjerneboret. For enkelte søyler ble midtstykket (som skulle sendes til NTNU) saget fra før utboring av kjerner. Vertikalarmeringen ble da synlig på sagflatene og dette gjorde det enklere å foreta utboring uten å treffe jern.

Flere av de utborede kjernene som inneholdt armering gikk til brudd i nivå med armering, se eksempel i Figur 5. Detaljert oversikt over kjerneomfang og tilstanden til de utborede kjernene er vist i Tabell 3–Tabell 6.



FIGUR 5: KJERNE 4–T–2 BRAKK I TRE DELER UNDER UTBORING

De første kjernene, kjerner tatt fra nedre del (bunn) av søyle 4, ble boret med bordiameter 100 mm. Alle andre prøver ble deretter tatt med bordiameter på 90 mm.

Kjernene ble merket etter følgende system:

Søylenummer (1–8) – Søyledel (T=topp eller B=bunn) – kjernenummer (1–5)

F.eks.: 4–B–3

De kjerner som brakk i flere deler under utboring ble tilleggsmerket a, b osv.

Foto fra arbeidene er vist i Figur 6 – Figur 9.



FIGUR 6: UTBORING AV KJERNER FRA SØYLE 5 I BUNN OG MARKERING AV ARMERING PÅ SØYLE 1 I BUNN



FIGUR 7: PRØVEUTTAK FRA BUNNDELLEN AV SØYLE 4



FIGUR 8: PRØVEUTTAK FRA SØYLE 8. BORING FRA BUNNDELEN FØR FRASAGING AV MIDTDEL (VENSTRE) OG MERKET FOR BORING I TOPPDELEN ETTER FRASAGING (HØYRE). ETTER SAGING VAR DET MULIG Å LOKALISERE LENGDEARMERINGEN OG DET BLE NOE LETTERE Å BORE UT KJERNER UTEN Å TREFFE ARMERING

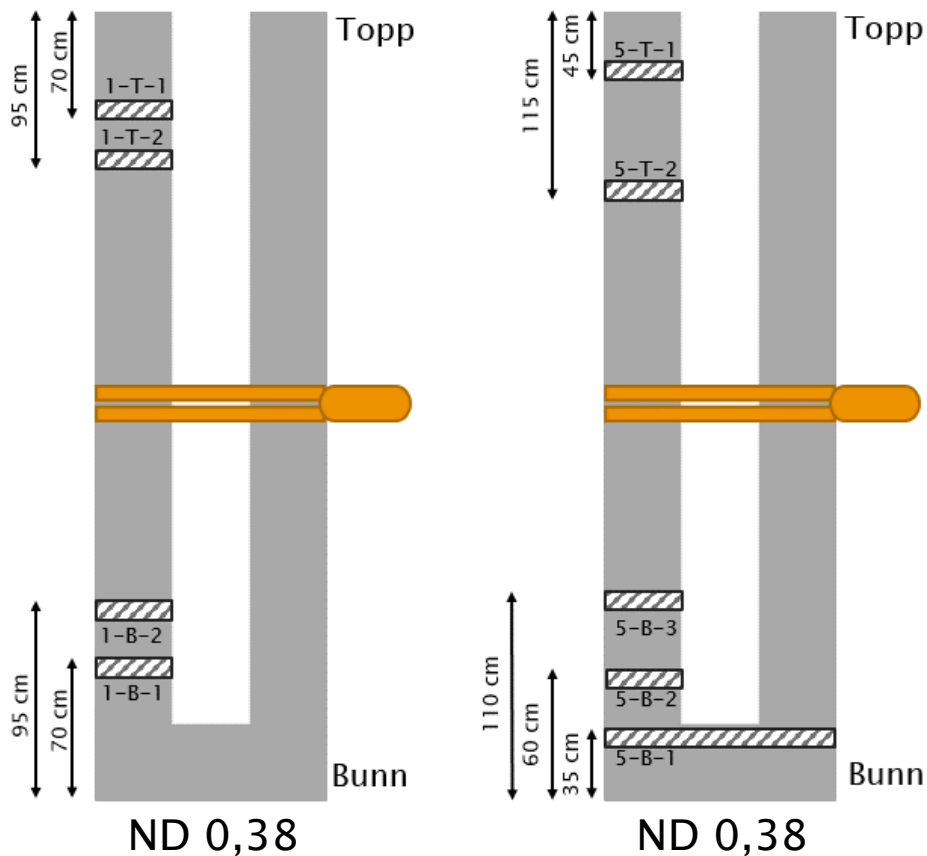


FIGUR 9: FRASAGET BUNNDEL AV SØYLE 2 (VENSTRE) OG SØYLE 6 (HØYRE) – ETTER UTBORING AV KJERNER

4.3 Utborede betongkjerner

I det etterfølgende er det gitt en beskrivelse av lokalitet (Figur 10 – Figur 13) og tilstand til utborede kjerner (Tabell 3 – Tabell 6).

Søyle 1 & 5 (hule søyler):



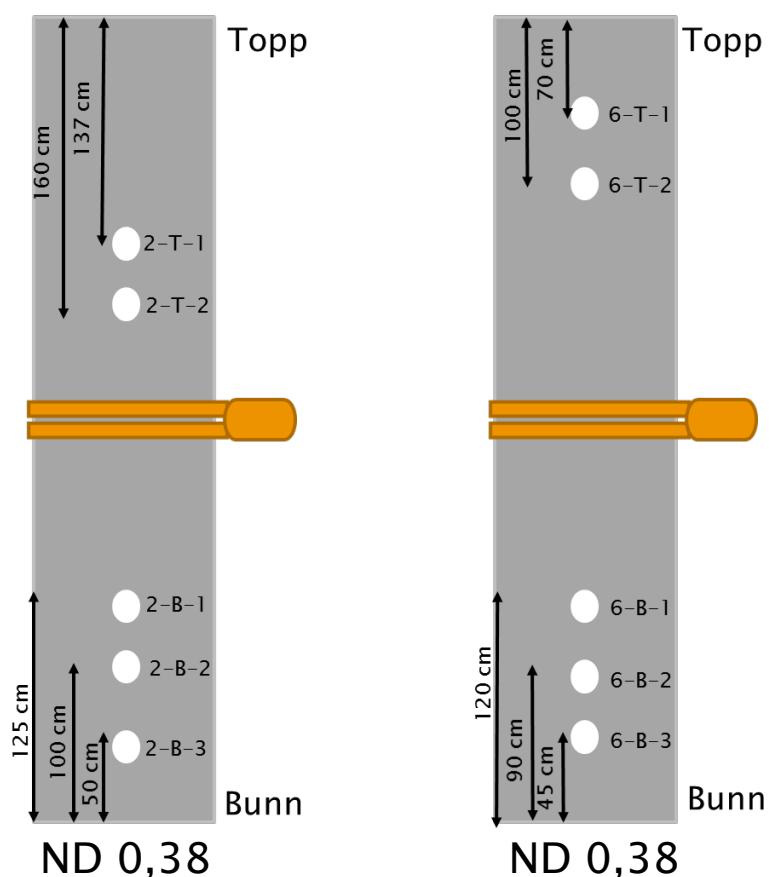
FIGUR 10: SKISSE AV SØYLE 1 (VENSTRE) OG SØYLE 5 (HØYRE)

TABELL 3: OVERSIKT OVER BETONGKJERNER TATT FRA SØYLE 1 OG 5

Søyle	Prøve	Prøvelengde	Kommentar
1	1-B-1	20 cm	Intakt, ingen armering
	1-B-2	20 cm	Traff litt av innerste armering på en side (15 cm inn i kjernen)
	1-T-1	20 cm	Bra prøve, ingen armering men brakk i to biter 
	1-T-2	20 cm	Intakt 

5	5-B-1	60 cm	Intakt, ingen armering
	5-B-2	20 cm	Intakt, ingen armering
	5-B-3	20 cm	Intakt, ingen armering
	5-T-1	20 cm	Litt horisontal armering på en side
	5-T-2	20 cm	Intakt, ingen armering

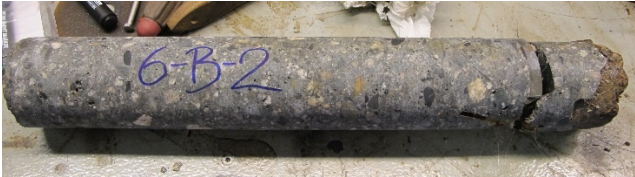
Søyle 2 og 6:



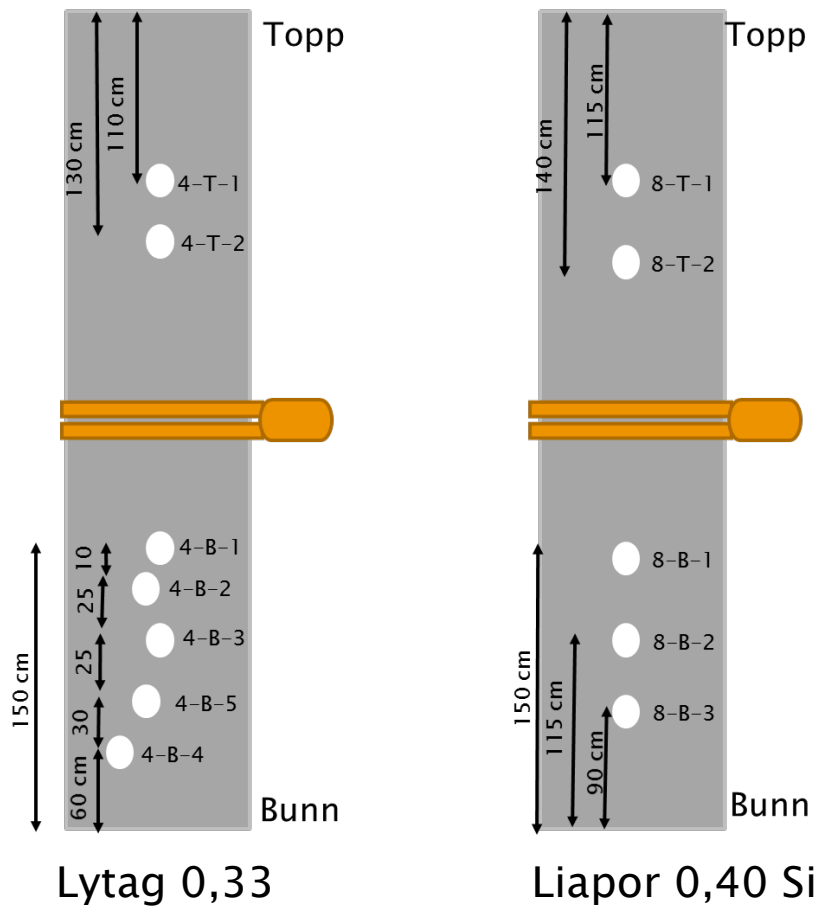
FIGUR 11: SKISSE AV SØYLE 2 (VENSTRE) OG SØYLE 6 (HØYRE)

TABELL 4: OVERSIKT OVER BETONGKJERNER TATT FRA SØYLE 2 OG 6

Søyle	Prøve	Kommentar
2	2-B-1 (a&b)	Bra, ingen armering men brakk i to deler med lengde hhv. 35 og 25 cm <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">2-B-1a</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">2-B-1b</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> 35 cm 25 cm </div>
	2-B-2	God, ingen armering, lite spor av en kabel på en side etter 10 cm
	2-B-3 (a&b)	Traff litt av innerste jern på en side, brakk i to deler <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">2-B-3a</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">2-B-3b</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> 29 cm 31 cm </div>
	2-T-1	Intakt, ingen armering
	2-T-2	Intakt, ingen armering


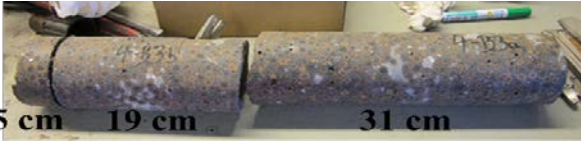

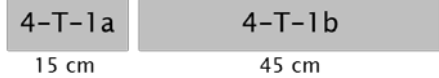


6	6-B-1 (a&b)	Bra, men brakk etter 42 cm pga. en kabel <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #cccccc; width: 60px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>6-B-1a</p> <p>42 cm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #cccccc; width: 60px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>6-B-1b</p> <p>18 cm</p> </div> </div>
	6-B-2	Bra, men brakk etter 45 cm pga. en kabel, tegn på dårlig støp på undersiden, derfor bare 53 cm lang kjerne 
	6-B-3	Intakt, ingen armering, ingen kabel
	6-T-1	Intakt, ingen armering, ingen kabel
	6-T-2	Intakt, ingen armering, ingen kabel

Søyle 4 og 8:

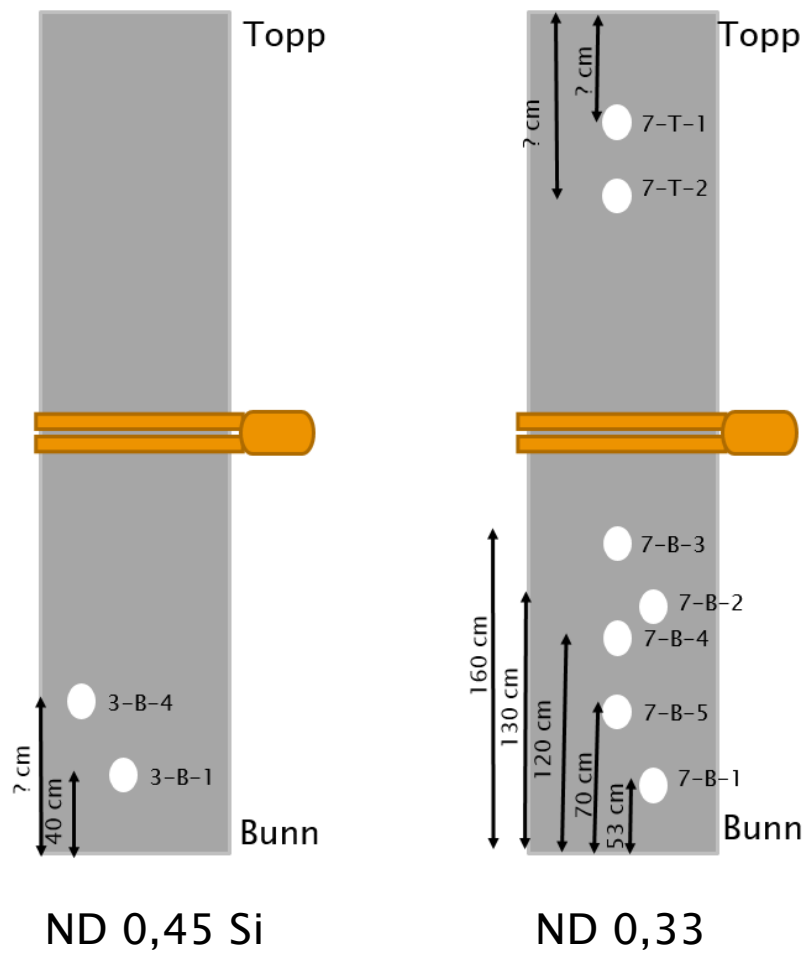


FIGUR 12: SKISSE AV SØYLE 4 (VENSTRE) OG SØYLE 8 (HØYRE)

TABELL 5: OVERSIKT OVER BETONGKJERNER TATT FRA SØYLE 4 OG 8

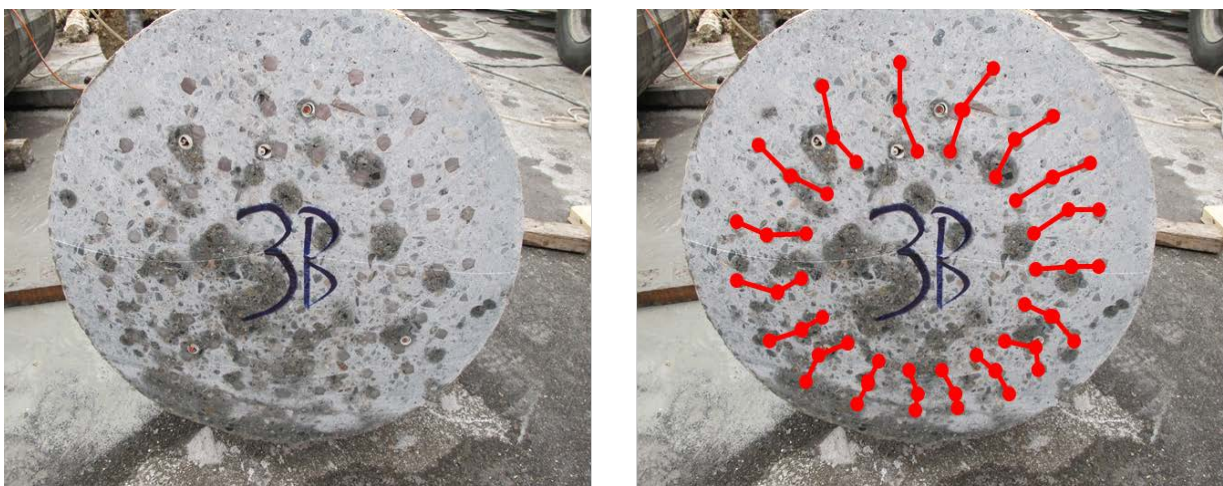
Søyle	Prøve	Kommentar
4	4-B-1	Traff litt av horisontalarmering på en side av kjernen 
	4-B-2	Intakt, ingen armering
	4-B-3 (a&b)	Traff delvis armering og kabler på en side. Endedelen av 4-B-3a (3a1) ble oppdaget etter helgen og sendt til Oslo. 
	4-B-4	Litt armering på en side
	4-B-5	Cirka 15 cm lang kjerne, brakk pga. av kabler. Kanskje nok for kloridprofil 
	4-T-1 (a&b)	Bra, ingen armering, men brakk i to deler 
	4-T-2 (a,b,c)	Traff vertikal armering på undersiden av kjernen og brakk i tre deler 
8	8-B-1 (a&b)	Bra, ingen armering i øverste delen, men brakk etter cirka 40 cm  1 b delen ble hentet ut dagen etterpå
	8-B-2 (a&b)	Bra, ingen armering, men brakk etter 42 cm som 8-B-1
	8-B-3	Intakt, ingen armering
	8-T-1	Intakt, ingen armering
	8-T-2	Intakt, ingen armering

Søyle 3 og 7:




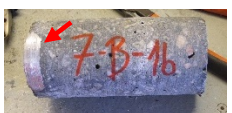
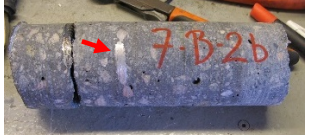


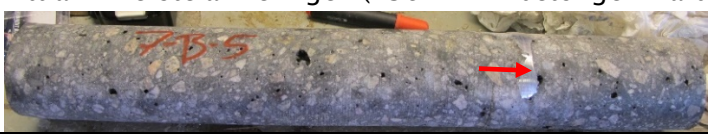

FIGUR 13: SKISSE AV SØYLE 3 (VENSTRE) OG SØYLE 7 (HØYRE)

I søyle 3 var det uvanlig mye vertikalarmering og det var umulig å få ut kjerner uten å treffe armeringen, se Figur 14. Det ble derfor bare tatt ut to borkjerner fra søyle 3.



FIGUR 14: VERTIKAL ARMERING I SØYLE 3, MARKERT I RØDT PÅ HØYRE BILDE

TABELL 6: OVERSIKT OVER BETONGKJERNER TATT FRA SØYLE 3 OG 7

Søyle	Prøve	Kommentar
3	3-B-1 (a&b)	<p>Traff mye stål og brakk i to deler</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 2px 10px;">3-B-1a</div> <p>11 cm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 2px 10px;">3-B-1b</div> <p>49 cm</p> </div> </div>
	3-B-4 (a&B)	<p>Traff mye vertikal stål og brakk etter 48 cm. 4b delen ble oppdaget etter helgen og sendt til Bergen med tre dager forsinkelse. Kjernen var ikke pakket i plast i Bergen laboratoriet</p> 
7	7-B-1 (a&b)	<p>Traff armeringen på en side og brakk i to deler</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 2px 10px;">7-B-1a</div> <p>43 cm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 2px 10px;">7-B-1b</div> <p>17 cm</p> </div> </div>  <p>1a delen ble hentet ut et par timer etterpå</p>
	7-B-2 (a&b)	<p>2a traff armering bare helt på bunn av en side, brakk i to deler 2b traff full armering</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 2px 10px;">7-B-2a</div> <p>35 cm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #cccccc; padding: 2px 10px;">7-B-3b</div> <p>25 cm</p> </div> </div>  <p>2a delen ble hentet ut et par timer senere</p>
	7-B-3	<p>Litt stål på en side, ellers bra</p> 
	7-B-4	<p>Traff full vertikal armering på en side</p> 
	7-B-5	<p>Litt av innerste armeringen (15cm inn i betongen fra bunnen)</p> 
7-T-1	<p>Traff full vertikal armering i midten og litt av innerste armering på en side</p> 	
7-T-2	Intakt	

4.4 Armerte søyledeler

Midtdelen av fire søyler (søyle nummer 2, 4, 6 og 8) ble sagt ut med en lengde på ca. 120 cm. Foto av søyledeler under og etter saging er vist i Figur 15 – Figur 17.

Søyledelene ble sendt til NTNU for videre undersøkelser. I mars 2017 ble det i tillegg overført til NTNU restmateriale etter tilkapping ved Sentrallaboratoriet, fra kjerne 2-B-2, 2-B-3 og 2-T-2. Resultater fra NTNUs undersøkelser er rapportert i én konferanseartikkel /4/ og én rapport /5/.



FIGUR 15: KUTTING AV MIDTDELEN AV SØYLE 4



FIGUR 16: KUTTING AV MIDTDELEN AV SØYLE 6 (TIL HØYRE PÅ BILDET)



FIGUR 17: ETTER KUTTING, MIDTDEL FRA SØYLE 6 (VENSTRE) OG SØYLE 2 (HØYRE)

5 Laboratorieundersøkelser ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium

5.1 Planlegging

Til sammen 40 kjerner ble boret ut fra de 8 søylene. Alle kjerner ble merket og pakket i plast og sendt til Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Oslo 15. juli 2016. Ved ankomst laboratoriet ble kjernene lagt på kjølerom (+5°C) fram til videre tildanning og prøving.

Basert på antall kjerner pr. betongvariant og tilstanden til de ulike kjerner, ble det lagt en detaljert plan for utnyttelse av hver enkelt kerne, se VEDLEGG 2. Det ble også utarbeidet en plan for fresing av kloridprofiler, se VEDLEGG 3. Det ble justert noe på prøvingsomfang undervegs, hovedsakelig pga. kjernenes beskaffenhet. Faktisk utført prøving er vist i Tabell 7.

TABELL 7: FAKTISK UTNYTTELSE AV PRØVENE, ANTALL PRØVESTYKKER/PROFILER PR BETONGTYPE

Betong	Eksponeering	Klorid- profiler	DCS- profiler ^{*)}	NT Build 443	f _c /spes.el. motstand ^{**)}
ND 0,38 (Søyle 1, 5, 2, 6)	Topp	4	2	4	4
	Bunn	4	2		
Lytag 0,33 (Søyle 4)	Topp	1	–	2	2
	Bunn	4	1		
Liapor 0,40 Si (Søyle 8)	Topp	2	–	2	2
	Bunn	3	1		
ND 0,45 Si (Søyle 3)	Topp	–	–	1	2
	Bunn	3	–		
ND 0,33 (Søyle 7)	Topp	3	1	2	2
	Bunn	4	1		

*) Kapillær vannmetningsgrad/porøsitet (DCS = Degree of Capillary Saturation). Hver prøve består av 7 sjikt à 50 mm

***) Bestemmelse av trykkfasthet (f_c) og spesifikk elektrisk motstand, gjøres på samme prøvestykker

5.2 Kloridprofiler og beregning av diffusjonskoeffisienter i felt

For hver betongtype er det fremstilt kloridprofiler fra neddykket del (B-kjerner) og lufteksponert del av søylene (T-kjerner).

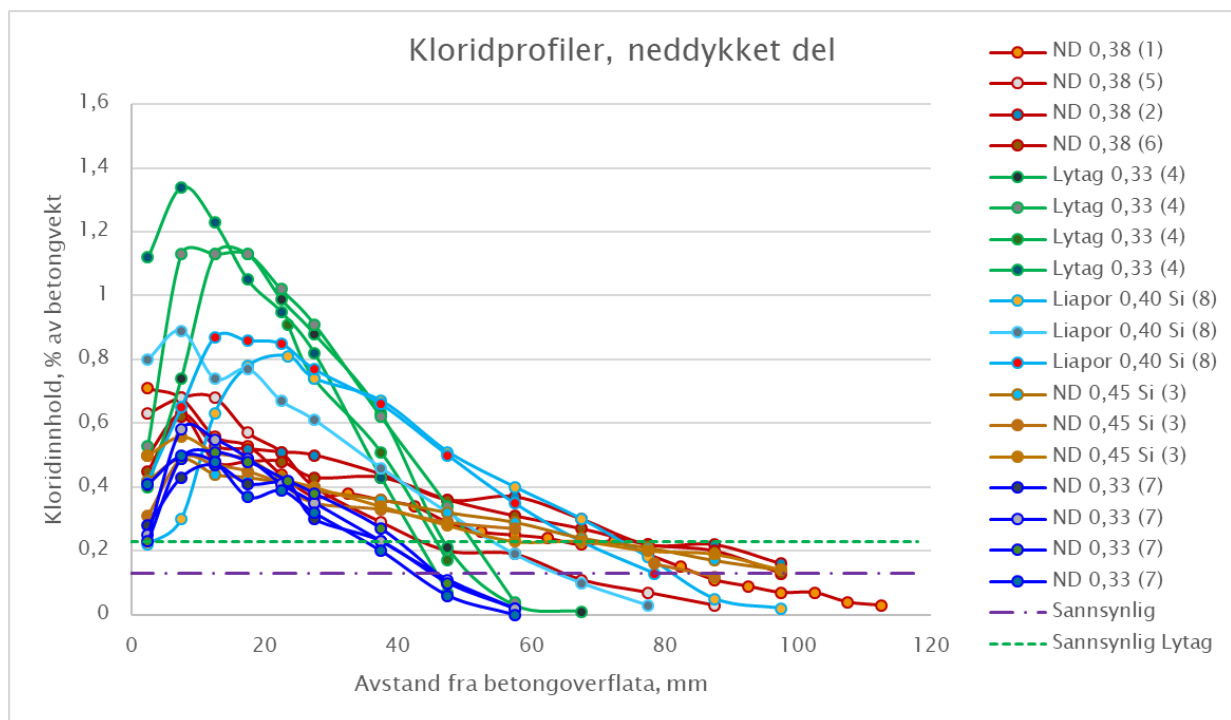
Både B-kjerner og T-kjerner er frest fra overflaten og innover i sjikt á 5 mm. Total fresedybde varierer avhengig av eksponeringsbetingelser og betongtype, men de fleste B-kjerner er frest til dybde 100 mm og T-kjerner til dybde 50 mm.

Kloridinnholdet i utvalgte sjikt er bestemt ved potensiometrisk titrering. For B-kjerner er som hovedregel alle sjikt inn til 30 mm analysert, deretter annethvert. For T-kjerner er alle freste sjikt analysert.

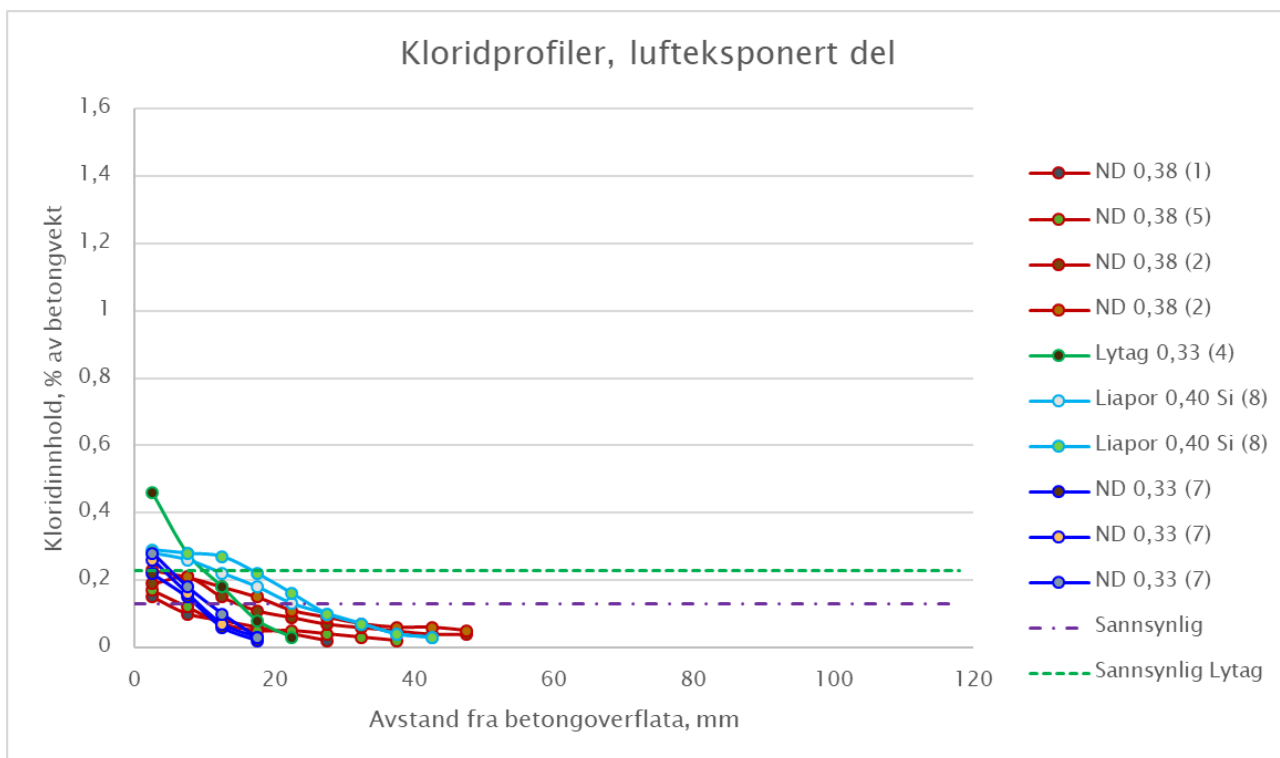
Alle kloridprofiler er fremstilt grafisk i Figur 18 (neddykket sone) og Figur 19 (lufteksponert sone). I figurene er det lagt inn grenseverdier for sannsynlig korrosjon, omregnet fra erfaringsbasert verdi for norske betongbruer på 0,72 % klorider av sementvekt /7/, basert på sementmengde og densitet. Dette gir en grenseverdi på 0,23 % klorider av betongvekt for «Lyttag 0,33»-betongen og 0,13 % for de øvrige betonger (antatt for ND 0,45 Si og ND 0,33 hvor sementinnhold er ukjent).

Tabeller med alle enkeltresultater er vist i VEDLEGG 4 og VEDLEGG 5.

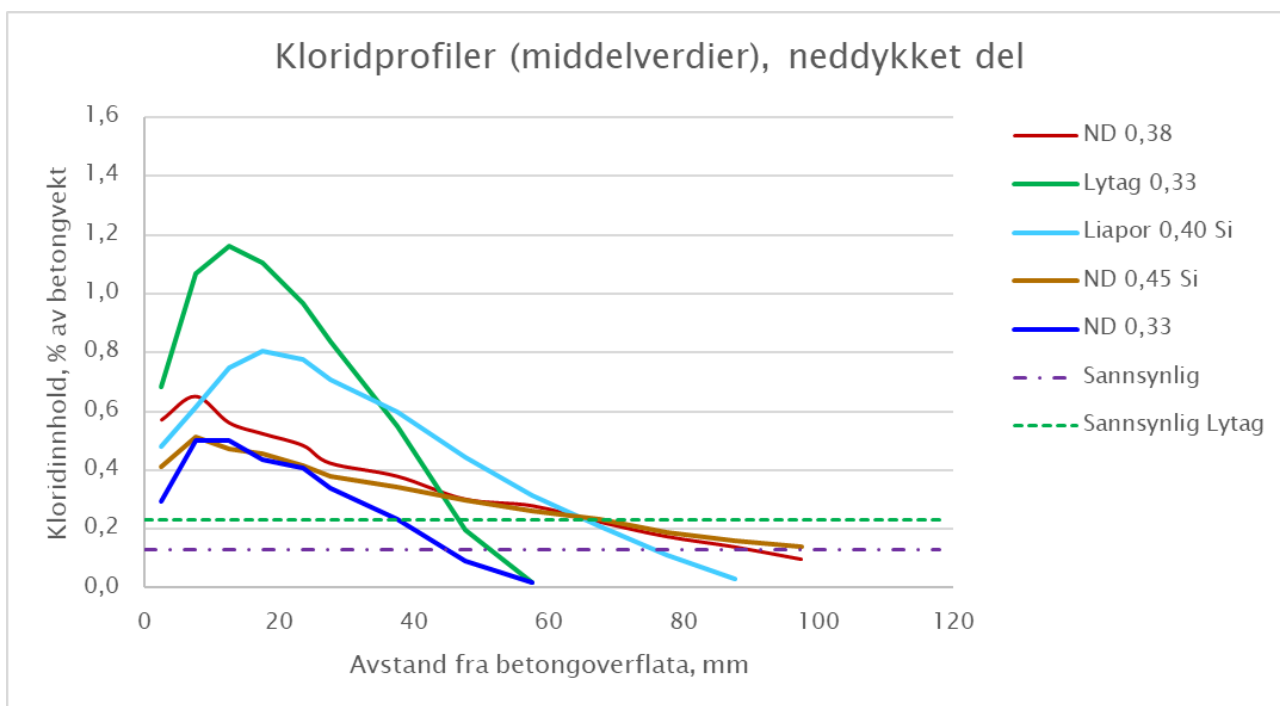
Midlere kloridprofiler pr betongtype er vist i Figur 20 og Figur 21.



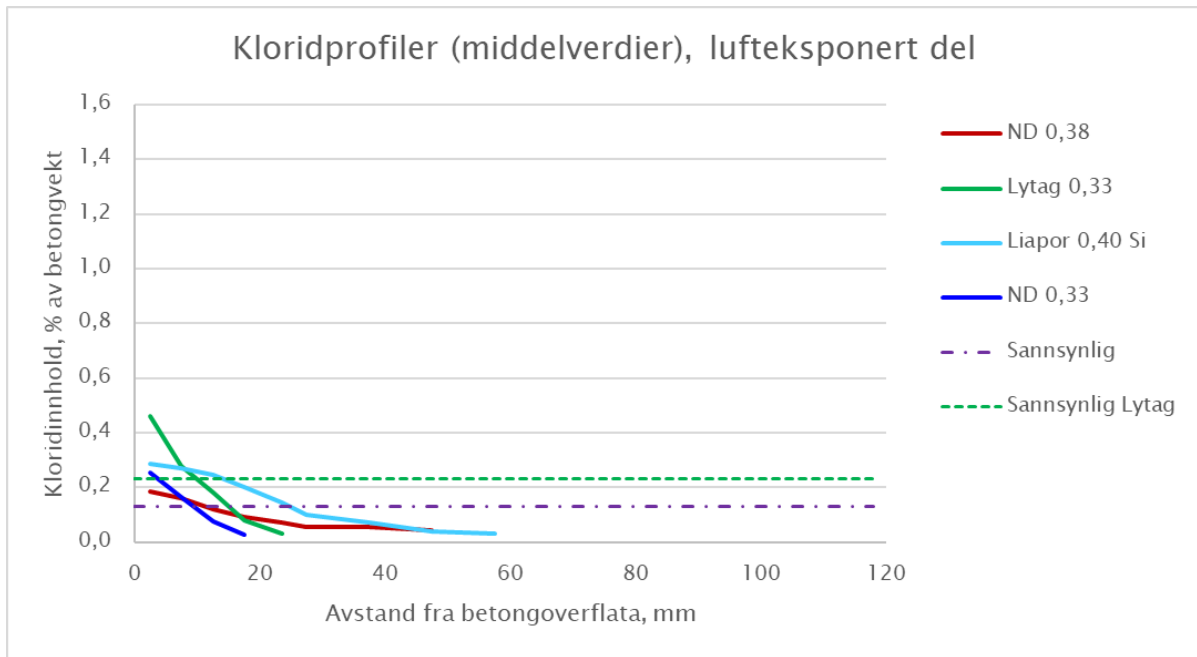
FIGUR 18: KLORIDPROFILER FRA NEDDYKKET DEL AV SØYLER (B-PRØVER). SØYLENUMMER ER ANGITT I PARENTES. EKSPONERINGSTID VARIERER FRA 28 TIL 33 ÅR, SE TABELL 8



FIGUR 19: KLORIDPROFILER FRA LUFTEKSPONERT DEL AV SØYLER (T-PRØVER) SØYLENUMMER ER ANGITT I PARENTES. EKSPONERINGSTID VARIERER FRA 28 TIL 33 ÅR, SE TABELL 8



FIGUR 20: MIDLERE KLORIDPROFILER FRA NEDDYKKET DEL AV SØYLER (B-PRØVER). EKSPONERINGSTID VARIERER FRA 28 TIL 33 ÅR, SE TABELL 8



FIGUR 21: MIDLERE KLORIDPROFILER FRA LUFTEKSPONERT DEL AV SØYLER (T-PRØVER). EKSPONERINGSTID VARIERER FRA 28 TIL 33 ÅR, SE TABELL 8

For hvert kloridprofil er det beregnet en kloriddiffusjonskoeffisient og en overflatekonsentrasjon basert på Fick's 2. lov for ren diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC}{dx} \right)$$

Løsningen av ligningen kan uttrykkes på følgende måte:

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right)$$

hvor: C_0 : Kloridkonsentrasjonen på betongoverflata, % av betongvekt
 C_i : Initielt kloridinnhold (bakgrunnsverdi), % av betongvekt
 x : Avstand fra betongoverflata, m
 t : eksponeringstiden, s
 D : kloriddiffusjonskoeffisienten, m^2/s
 erf : feilfunksjonen

Diffusjonskoeffisienten, D , og overflatekonsentrasjonen, C_0 , bestemmes ved å tilpasse ligningen til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse ved minste kvadratots metode /6/. I beregningene er det lagt til grunn følgende:

- Eksponeringstider som gitt i Tabell 8 (varierer fra 28,1 til 32,9 år)
- Bakgrunnsverdi på 0,02 %

For de aller fleste profiler er første punkt utelatt i beregningene. Unntak gjelder noen få profiler i lufteksponert sone hvor kloridinntrengingen er svært liten (få punkter på profilet). For noen profiler (med stigende kloridinnhold i de første sjiktene) er flere punkter utelatt. Sjikt som inngår i beregningen er merket med «ok» i tabellene i VEDLEGG 4 og VEDLEGG 5.

TABELL 8: OVERSIKT OVER HVOR LENGE DE ULIKE SØYLENE HAR VÆRT EKSPONERT I DNVs FELTSTASJONEN

	Søyle nr							
	1	5	2	6	4	8	3	7
	Hul ND		Massiv ND		Massiv LWA		Massiv ND	
Installert mnd/år	10/1983		06/1983		10/1984		04/1988	
Tatt opp mnd/år	05/2016		05/2016		05/2016		05/2016	
Eksponeeringstid ^{*)} , år	32,6		32,9		31,6		28,1	
Eksponeeringstid, dager	11 901		12 023		11 535		10 257	
Eksponeeringstid, timer	285 624		288 552		276 840		246 168	

^{*)} Det er tatt utgangspunkt i at søylene er installert og tatt opp den 15. i den aktuelle måneden.

Beregnete enkeltverdier (pr kloridprofil) og middelveidier (pr betongtype) for hhv diffusjonskoeffisient (D_{felt}) og overflatekonsentrasjon ($C_0 \text{ felt}$) er gitt i Tabell 9 (neddykkede søyledeler) og Tabell 10 (lufteksponerte søyledeler). Kloriddiffusjonskoeffisientene er i tillegg vist grafisk i Figur 22 (neddykkede søyledeler) og Figur 23 (lufteksponerte søyledeler).

Beregnet D_{felt} , neddykket for kjerne fra søyle 5 avviker betydelig fra de øvrige ND 0,38-kjerner. Dette kan ha sammenheng med redusert kloridinntrenging pga. påtrykt spenning (-800 mV) på ytre armeringslag, se Tabell 1. Pga. usikkerheter knyttet til hvor lenge spenningen var påtrykt, effekt og langtidsvirkning av denne beskyttelsen, er det valgt å ikke utelate denne verdien fra middelveidien i videre resultatbehandling.

TABELL 9: BEREGNEDE VERDIER FOR DIFFUSJONSKOEFFISIENT OG OVERFLATEKONSENTRASJON, NEDDYKKET DEL AV SØYLENE

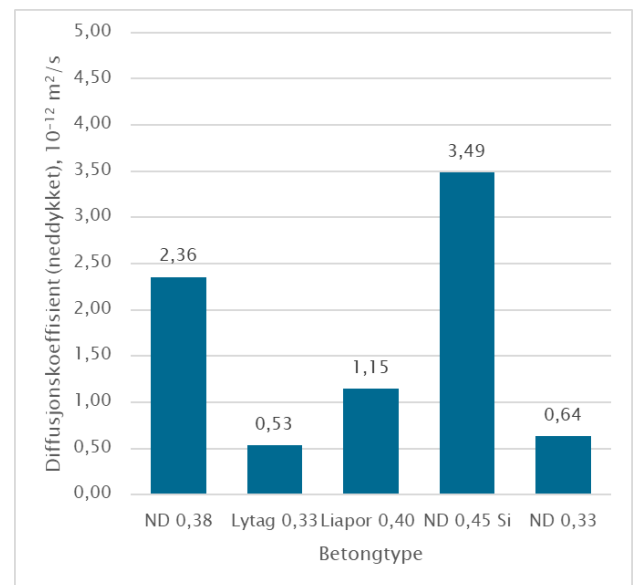
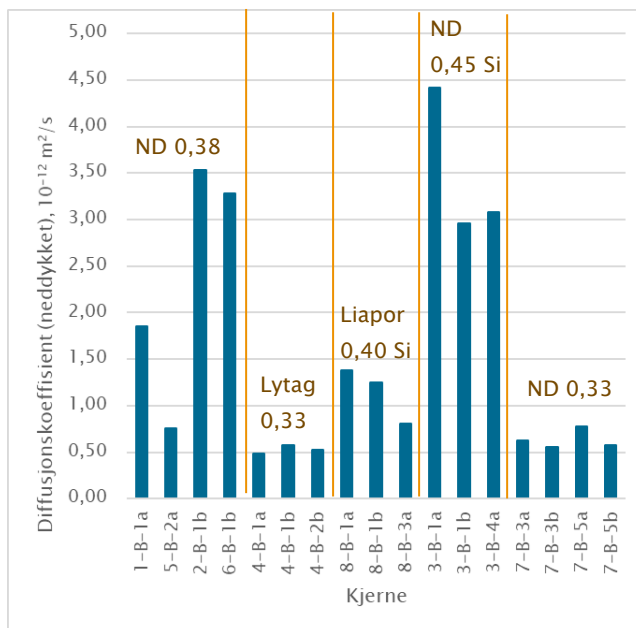
Betongtype	Kjerne	D_{felt} , neddykket [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]		$C_0 \text{ felt}$, neddykket [% av tørr betongvekt]	
		enkeltresultat	middel	enkeltresultat	middel
ND 0,38	1-B-1a	1,86	2,36 2,89 ^{*)}	0,664	0,694 0,636 ^{*)}
	5-B-2a	0,76		0,867	
	2-B-1b	3,53		0,640	
	6-B-1b	3,28		0,603	
Lytag 0,33	4-B-1a	0,49	0,50	2,077	1,989
	4-B-1b	0,58		1,966	
	4-B-2b	0,53		1,742	
	4-B-2a	0,42		2,174	
Liapor 0,40 Si	8-B-1a	1,38	1,15	1,265	1,257
	8-B-1b	1,25		1,331	
	8-B-3a	0,81		1,176	
ND 0,45 Si	3-B-1a	4,42	3,49	0,512	0,542
	3-B-1b	2,96		0,535	
	3-B-4a	3,08		0,578	
ND 0,33	7-B-3a	0,63	0,64	0,695	0,741
	7-B-3b	0,56		0,821	
	7-B-5a	0,78		0,729	
	7-B-5b	0,58		0,721	

^{*)} middelveidier dersom resultater for søyle 5 utelates.

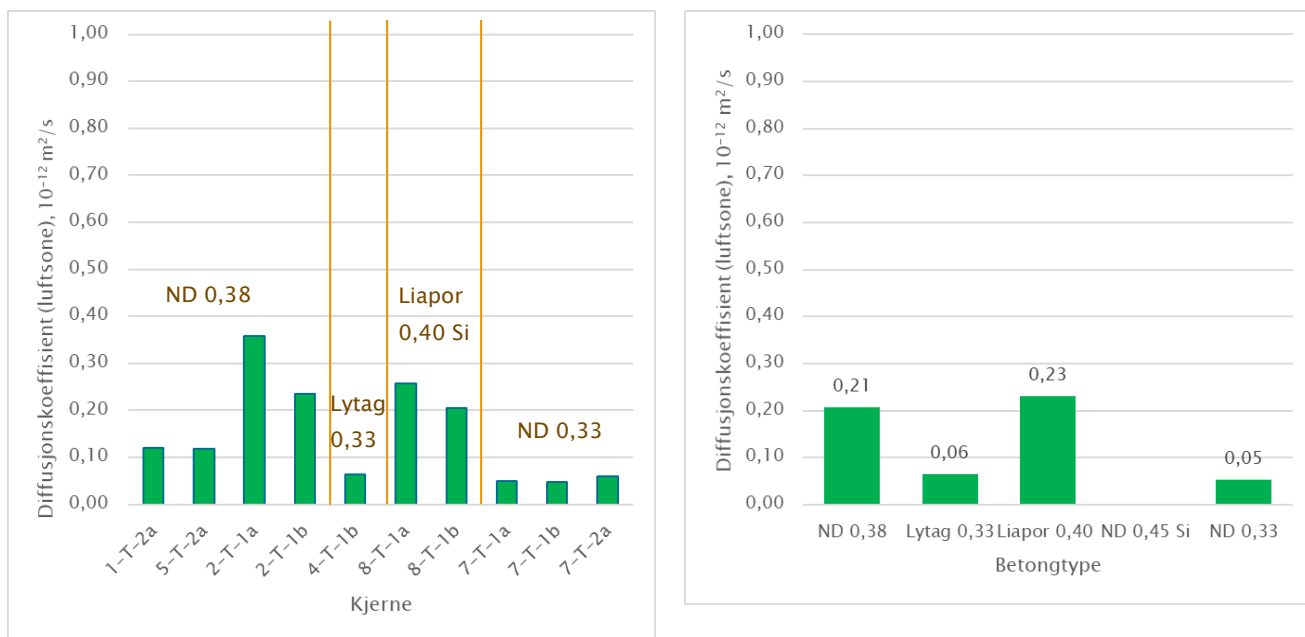
TABELL 10: BEREGNEDE VERDIER FOR DIFFUSJONSKOEFFISIENT OG OVERFLATEKONSENTRASJON, LUFTEKSPONERT DEL AV SØYLENE

Betongtype	Kjerne	D _{felt} , lufteksp. [10 ⁻¹² m ² /s]		C ₀ felt, lufteksp. [% av tørr betongvekt]	
		enkeltresultat	middel	enkeltresultat	middel
ND 0,38	1-T-2a	0,12	0,21	0,152	0,210
	5-T-2a	0,12		0,166	
	2-T-1a	0,36		0,262	
	2-T-1b	0,24		0,261	
Lyttag 0,33	4-T-1b	0,06	0,06 ^{*)}	0,552	0,552 ^{*)}
Liapor 0,40 Si	8-T-1a	0,26	0,23	0,357	0,432
	8-T-1b	0,20		0,507	
ND 0,33	7-T-1a	0,05	0,05	0,283	0,320
	7-T-1b	0,05		0,330	
	7-T-2a	0,06		0,348	

*) Kun ett prøvestykke.



FIGUR 22: BEREGNEDE DIFFUSJONSKOEFFISIENTER FRA FELTEKSPONERTE SØYLER, NEDDYKKEDE DELER. ENKELTRESULTATER TIL VENSTRE, MIDDELVERDIER PR BETONGTYPE TIL HØYRE.



FIGUR 23: BEREGNEDE DIFFUSJONSKOEFFISIENTER FRA FELTEKSPONERTE SØYLER, LUFTEKSPONERTE DELER. ENKELTRESULTATER TIL VENSTRE, MIDDELVERDIER PR BETONGTYPE TIL HØYRE.

5.3 Akselerert kloridinntrenging iht. NT Build 443

For hver betongtype er det tildannet prøvestykker fra indre deler av kjerner både fra neddykkede deler (B-kjerner) og lufteksponte deler av søylene (T-kjerner). Prøvestykkene er tildannet med minimum 150 mm avstand fra eksponert overflate, slik at betongen skal være helt uten inntrengte klorider. Se prinsippsskisse i Figur 2.

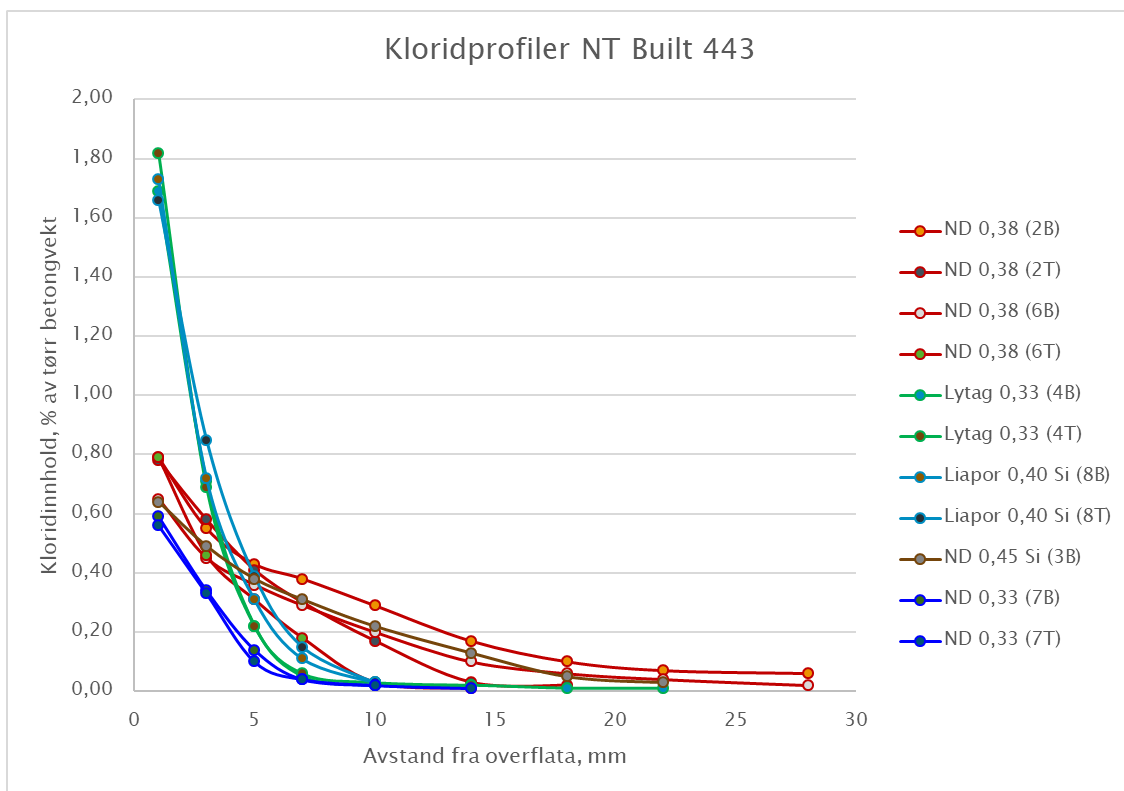
Det ble tilstrebet å tildanne minst tre prøvestykker pr betongtype, men dette lot seg ikke gjennomføre for alle betongtyper, se Tabell 7 og Figur 24.

Tildannede prøvestykker ble preparert i henhold til Statens vegvesen Håndbok R210: metode 441 (NT Build 443), med eksponering ved neddykking i 16,5 % NaCl-løsning i 35 døgn.

Fresing er utført umiddelbart etter avsluttet eksponering, i følgende sjikt: 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-12, 12-16, 16-20, 20-24, 24-26 mm.

Kloridinnholdet i alle sjikt er bestemt ved potensiometrisk titrering.

Alle kloridprofiler er fremstilt grafisk i Figur 24. Tabeller med alle enkeltresultater er vist i VEDLEGG 6.



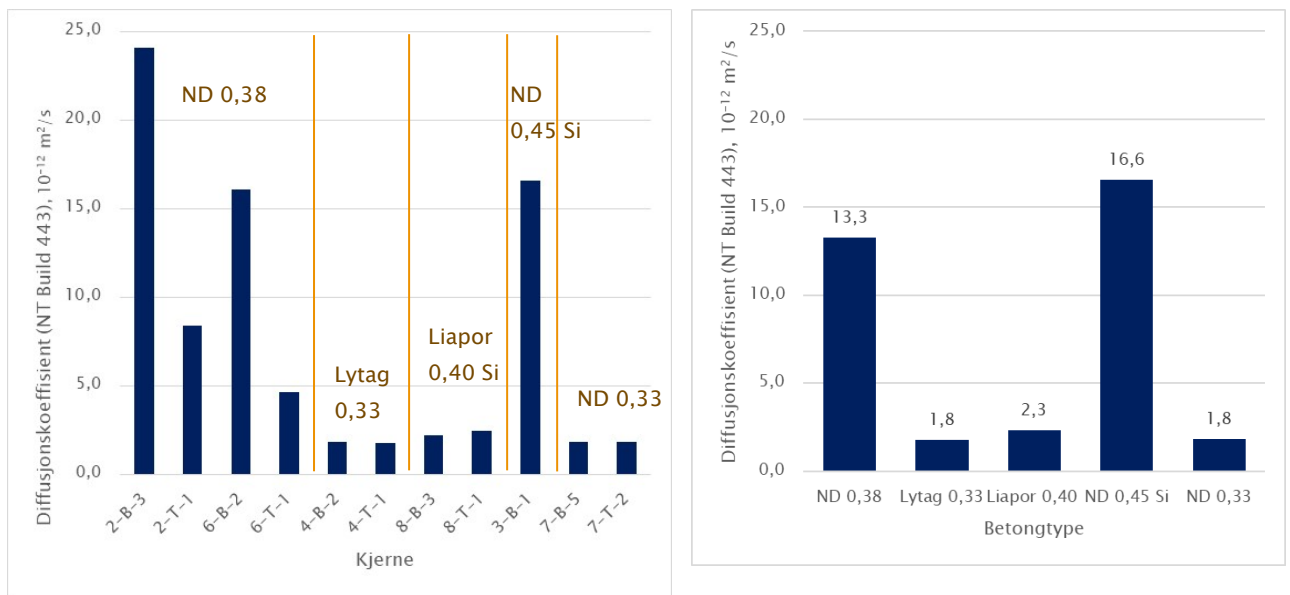
FIGUR 24: KLORIDPROFILER ETTER EKSPONERING I 16,5 % NaCl-LØSNING I 35 DØGN IHT. PRØVINGSMETODEN NT BUILD 443.

På samme måte som for feltprofilene, se avsnitt 5.2, er diffusjonskoeffisienten, D_{lab} , og overflatekonsentrasjonen, $C_{0\ lab}$, bestemt for de ulike profiler og betongtyper. Resultatene er presentert i Tabell 11. Beregnede diffusjonskoeffisienter er presentert grafisk i Figur 25.

TABELL 11: BEREGNEDE VERDIER FOR DIFFUSJONSKOEFFISIENT OG OVERFLATEKONSENTRASJON, PRØVESTYKKER EKSPONERT IHT. NT BUILD 443

Betongtype	Kjerne	$D_{lab, NT\ Build\ 443}$ [10^{-12} m ² /s]		$C_{0\ lab, NT\ Build\ 443}$ [% av tørr betongvekt]	
		enkeltresultat	middel	enkeltresultat	middel
ND 0,38	2-B-3	24,09	13,3	0,659	0,726
	2-T-1	8,37		0,850	
	6-B-2	16,08		0,583	
	6-T-1	4,61		0,812	
Lytag 0,33	4-B-2	1,80	1,8	1,868	1,864
	4-T-1	1,76		1,860	
Liapor 0,40 Si	8-B-3	2,18	2,3	1,735	1,835
	8-T-1	2,43		1,934	
ND 0,45 Si	3-B-1	16,57	16,6 ^{*)}	0,624	0,624
ND 0,33	7-B-5	1,84	1,8	0,890	0,861
	7-T-2	1,84		0,831	

*) Kun ett prøvestykke.



FIGUR 25: BEREGNEDE DIFFUSJONSKOEFFISIENTER IHT. NT BUILD 443. ENKELRESULTATER TIL VENSTRE, MIDDELVERDIER PR BETONGTYPE TIL HØYRE.

5.4 Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet er bestemt på prøvestykker tildannet fra betongkjerner utboret både fra neddykkede deler og lufteksponerte deler av de ulike søyler og betongtyper.

Prøvestykker er tildannet ved splitting av «skiver» med tykkelse ca 50 mm, fra overflaten til dybde 350 mm (midt i søylen). Prøving er utført i henhold til Statens vegvesen Håndbok R210 metode 426, pkt 4.3.

Tildannede prøvestykker er veid i følgende tilstand:

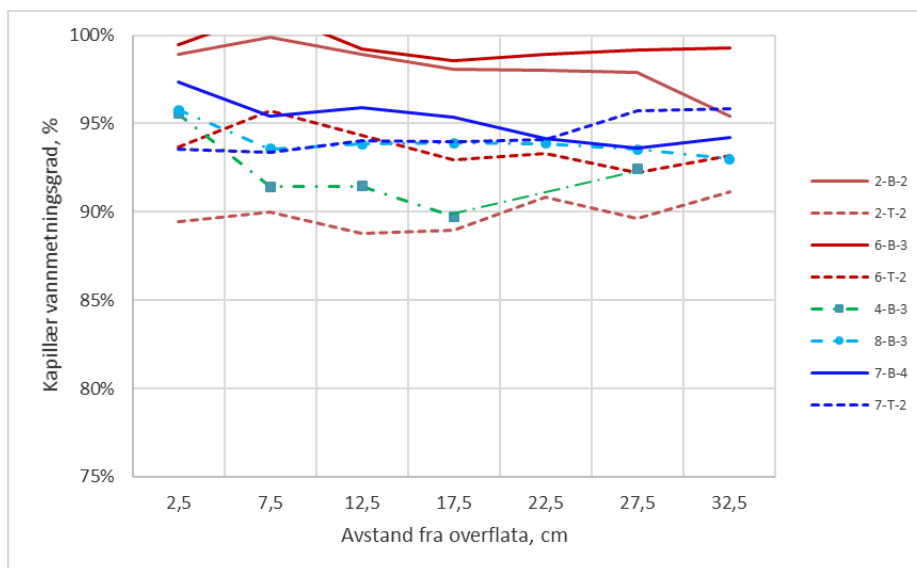
- Umiddelbart etter utpakking og splitting, g_0
- Etter neddykking i vann i 7 døgn, g_6
- Etter tørking ved 105 °C i 7 døgn, g_1
- Etter neddykking i vann i 7 døgn (vekt i luft, g_2 og vekt i vann, g_3)
- Etter trykkmetning i 2 døgn, g_4

Følgende størrelser er beregnet:

- Kapillær vannmetningsgrad: $DCS = \frac{g_0 - g_1}{g_6 - g_1}$
- Sugporøsitet: $p_s = \frac{g_2 - g_1}{V \cdot \rho_w}$
- Makroporøsitet: $p_m = \frac{g_4 - g_2}{V \cdot \rho_w}$
- Sugmettet densitet: $\rho_s = \frac{g_2}{V}$
- Faststoffdensitet: $\rho_{fs} = \frac{g_1}{V - (g_4 - g_1) / \rho_w}$

ρ_w = vannets densitet (settes lik 1000 kg/m³)

Alle enkeltresultater fra alle beregninger er gitt i tabeller i VEDLEGG 7. Profiler for kapillær vannmetningsgrad er vist i Figur 26. Porøsitets- og densitetsverdier er gitt i Tabell 12.



FIGUR 26: KAPILLÆR VANNMETNINGSGRAD I ULIKE DYBDER FRA OVERFLATA, PROFILER PR KJERNE

TABELL 12: BEREGNEDE VERDIER FOR PORØSITET (SUG- OG MAKRO-) OG DENSITET (SUGMETTET OG FASTSTOFF)

Betongtype	Kjerne	Sugporøsitet [%]		Makroporøsitet (luftinnhold) [%]		Sugmettet densitet [kg/m ³]		Faststoffdensitet [kg/m ³]	
		middel kjerne	middel betong	middel kjerne	middel betong	middel kjerne	middel betong	middel kjerne	middel betong
ND 0,38	2-B-2	11,7	11,2	1,3	1,8	2440	2430	2670	2670
	2-T-2	11,2		2,4		2420		2670	
	6-B-3	11,7		1,8		2430		2670	
	6-T-2	10,3		1,5		2450		2660	
Lyttag 0,33	4-B-3	20,6	20,6 ^{*)}	9,5	9,5 ^{*)}	2000	2000 ^{*)}	2570	2570 ^{*)}
Liapor 0,40 Si	8-B-3	21,3	21,3 ^{*)}	7,7	7,7 ^{*)}	2010	2010 ^{*)}	2530	2530 ^{*)}
ND 0,33	7-B-4	10,2	9,8	1,9	1,7	2440	2460	2660	2670
	7-T-2	9,5		1,5		2470		2670	

*) Kun én kjerne, lettbetong

Letttilslag i en konstruksjon er omsluttet av pasta (tett overgangssone mot tilslag), og vannopptaket i betongen vil skje i pastaen, ikke i porer i tilslaget. Ved boring og splitting vil det indre av tilslagskornene bli frilagt og tilslaget vil kunne suge vann direkte fra brudd-/sylinderflater. Beregnede sugporøsiteter vil dermed også inkludere en andel av tilslagsporøsiteten, og dermed rapporteres mye høyere enn den faktiske pastaporøsiteten. Tilsvarende vil kapillær vannmetningsgrad bli rapportert lavere enn faktisk vannmetningsgrad i pastaen. Ved trykkmetning av betong med letttilslag vil det videre kunne skje at vann presses inn i porer i tilslaget, og derigjennom medføre overrapportering av betongens (pastaens) luftinnhold.

5.5 Trykkfasthet og spesifikk elektrisk motstand

For hver betongtype er det tildannet prøvestykker fra indre deler av kjerner både fra neddykkede deler (B-kjerner) og lufteksponerte deler av søylene (T-kjerner). Prøvestykkene er tildannet med minimum 150 mm avstand fra eksponert overflate, slik at betongen skal være helt uten inntrengte klorider. Se prinsippsskisse i Figur 2.

Prøvestykkene er saget og planslipt for trykkfasthetsprøving (iht. Statens vegvesens Håndbok R210, metode 462), med tilstrebet forhold lengde:diameter = 2:1. Før bestemmelse av trykkfasthet er det utført måling av elektrisk motstand mellom prøvestykkenes endeflater og beregnet spesifikk elektrisk motstand, ρ , som følger:

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l}$$

hvor:

R = målt elektrisk motstand i Ω

A = prøvestykkets tverrsnittsareal i m^2

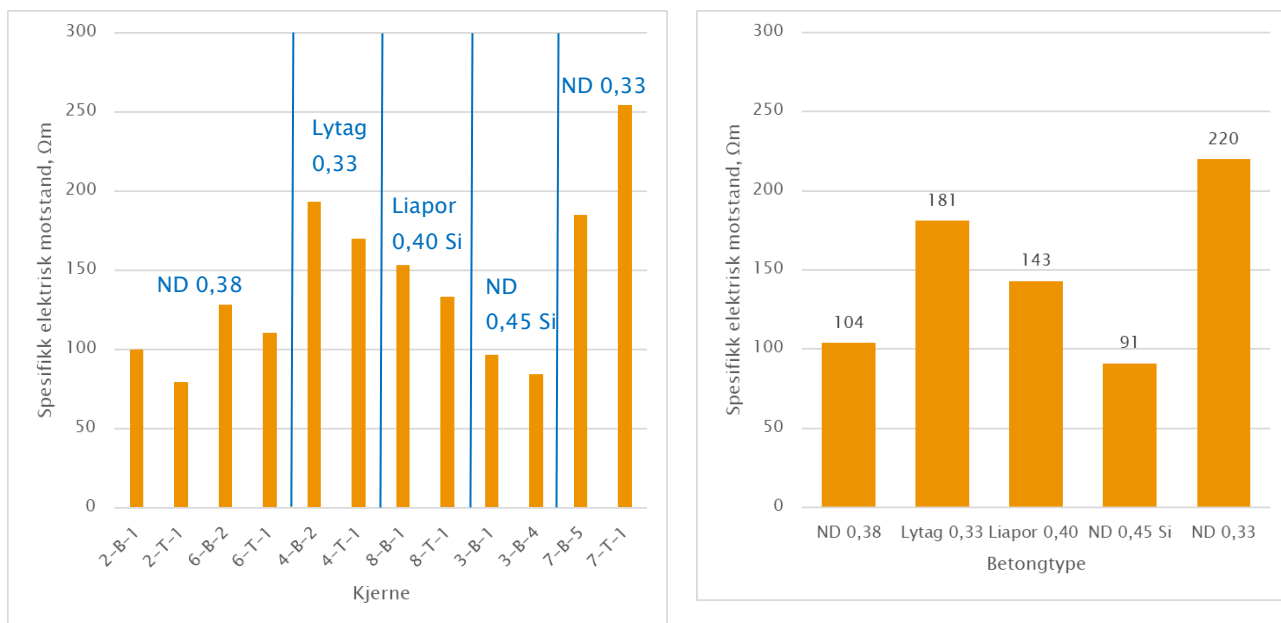
l = avstanden mellom prøvestykkets måleflater i m

Prøvingen er utført i henhold til Statens vegvesen Håndbok R210 metode 443, etter minimum 3 døgns vannlagring.

De tildannede prøvestykkenes geometri, målt elektrisk motstand og beregnet spesifikk elektrisk motstand er gitt i Tabell 13. De ulike prøvestykkenes og betongtypenes spesifikke elektriske motstand er vist grafisk i Figur 27.

TABELL 13: PRØVESTYKKENES GEOMETRI OG MÅLTE OG BEREGNEDE VERDIER FOR ELEKTRISK MOTSTAND

Betongtype	Kjerne	Prøvestykkets geometri [m]		Målt motstand [Ω]	Spesifikk elektrisk motstand [Ωm]	
		Diameter	Lengde		Enkeltresultat	Middel
ND 0,38	2-B-1	0,083	0,161	2963	100	104
	2-T-1	0,083	0,152	2225	79	
	6-B-2	0,083	0,159	3751	128	
	6-T-1	0,083	0,160	3255	110	
Lytag 0,33	4-B-2	0,094	0,158	4530	193	181
	4-T-1	0,083	0,160	5094	170	
Liapor 0,40 Si	8-B-1	0,083	0,160	4510	153	143
	8-T-1	0,083	0,160	3948	133	
ND 0,45 Si	3-B-1	0,081	0,150	2804	97	91
	3-B-4	0,083	0,155	2413	85	
ND 0,33	7-B-5	0,083	0,145	4898	185	220
	7-T-1	0,083	0,111	5150	254	



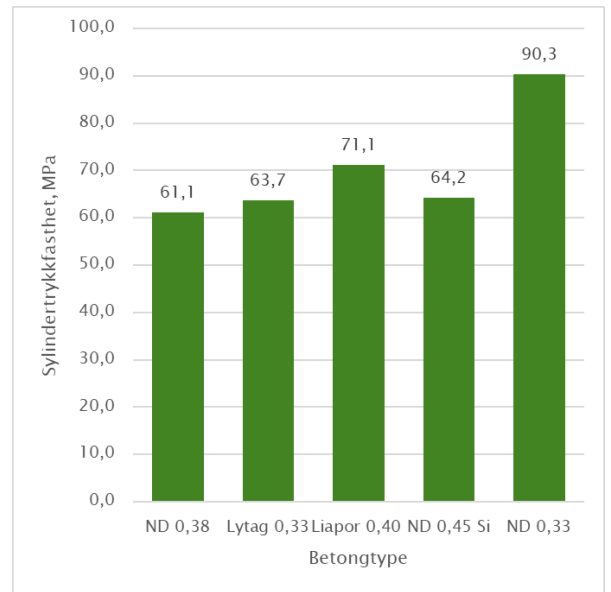
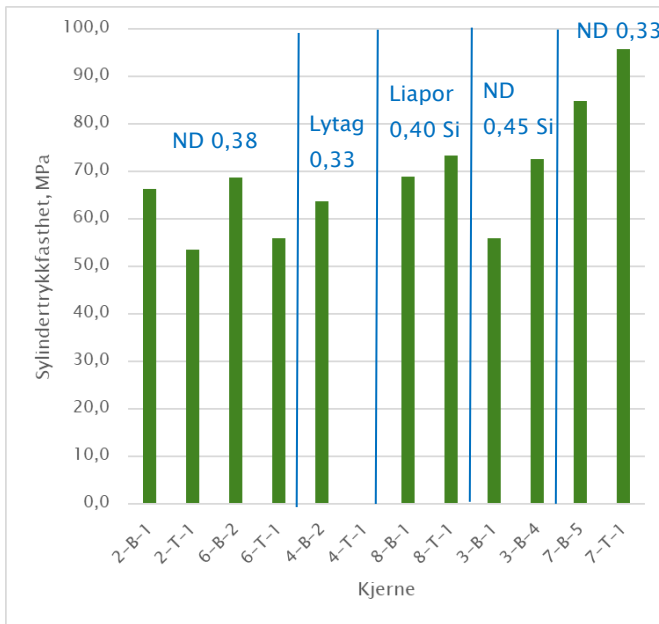
FIGUR 27: SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND. ENKELTRESULTATER TIL VENSTRE, MIDDELVERDIER PR BETONGTYPE TIL HØYRE.

Etter måling av elektrisk motstand er prøvestykkene benyttet til bestemmelse av trykkfasthet og densitet (iht. Statens vegvesens Håndbok R210, metode 421 og 422). Resultatene er gitt i Tabell 14. Trykkfasthetsresultatene er vist grafisk i Figur 28.

TABELL 14: DENSITET OG TRYKKFASTHET

Betongtype	Kjerne	Densitet [kg/m ³]		Trykkfasthet [kN], omregnet til h:d=2:1	
		Enkeltresultat	Middel	Enkeltresultat	Middel
ND 0,38	2-B-1	2430	2450	66,3	61,1
	2-T-1	2430		53,6	
	6-B-2	2470		68,6	
	6-T-1	2470		55,9	
Lytag 0,33	4-B-2	1990	2000	63,7	63,7 ^{*)}
	4-T-1	2000		-	
Liapor 0,40 Si	8-B-1	2010	2020	68,9	71,1
	8-T-1	2040		73,3	
ND 0,45 Si	3-B-1	2510	2500	55,9	64,2
	3-B-4	2500		72,6	
ND 0,33	7-B-5	2440	2460	84,9	90,3
	7-T-1	2480		95,7	

*) Kun ett prøvestykke



FIGUR 28: TRYKKFASTHET. ENKELTRESULTATER TIL VENSTRE, MIDDELVERDIER PR BETONGTYPE TIL HØYRE.

5.6 Strukturanalyser

To kjerner fra hver av lettbetongsøylene, hhv én fra bunndel og én fra toppdel, ble sendt til SINTEF for strukturanalyser i mars 2019. Det har foreløpig ikke vært finansiering til å gjennomføre strukturanalyser med tanke på å avdekke mulige tegn på alkalireaksjoner.

6 Oppsummering av resultater

6.1 Kloriddiffusjon, felt vs. lab

De beregnede kloriddiffusjonskoeffisienter, hhv. $D_{\text{felt, neddykket}}$, $D_{\text{felt, lufteksponert}}$ og $D_{\text{lab, NT Build 443}}$ er sammenstilt i Tabell 15. Tilhørende beregnede overflatekonsentrasjoner, C_0 , er sammenstilt i Tabell 16.

TABELL 15: DIFFUSJONSKOEFFISIENTER, FELTEKSPONERING OG AKSELERERT LABORATORIEPRØVING

Betongtype	$D_{\text{felt, neddykket}}$ [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	$D_{\text{felt, lufteksponert}}$ [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	$D_{\text{lab, NT Build 443}}$ [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]
ND 0,38	2,4	0,21	13,3
Lyttag 0,33	0,5	0,06	1,8
Liapor 0,40 Si	1,1	0,23	2,3
ND 0,45 Si	3,5	-	16,6
ND 0,33	0,6	0,05	1,8

TABELL 16: OVERFLATEKONSENTRASJONER, FELTEKSPONERING OG AKSELERERT LABORATORIEPRØVING

Betongtype	C_0 felt, neddykket [% av betongvekt]	C_0 felt, lufteksponert [% av betongvekt]	C_0 lab, NT Build 443 [% av betongvekt]
ND 0,38	0,694	0,152	0,726
Lyttag 0,33	1,928	0,166	1,864
Liapor 0,40 Si	1,257	0,262	1,835
ND 0,45 Si	0,542	0,261	0,624
ND 0,33	0,741	0,552	0,861

Av verdiene kan man se at kloriddiffusjonskoeffisientene fra neddykkede deler av søylene er i størrelsesorden ti ganger høyere enn tilsvarende koeffisienter fra lufteksponerte deler. Betongen er den samme, så forskjellene skulle i utgangspunktet kun indikere forskjeller i kloridbelastning.

Resultater i Tabell 11 viser imidlertid, for ND 0,38-betongen, store forskjeller i beregnet $D_{\text{lab, NT Build 443}}$ for kjerner boret ut fra hhv. lufteksponert sone og neddykket sone (fra 4,6 til $24,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$). Det er uvisst hva dette skyldes. Kjernene er boret ut fra indre deler av kjernene, som ikke har vært klorideksponert, og det er ikke målt signifikante forskjeller i spesifikk elektrisk motstand (Tabell 13). Det er noe høyere in situ vanninnhold i betong fra neddykket sone, men prøvestykkene blir lagt til vannmetning (vektendring $<0,1$ vekt-% pr døgn) før eksponering i 16,5 % NaCl-løsning, så det er heller ikke en nærliggende forklaring på de store forskjellene. Sugporøsitetsverdiene indikerer imidlertid en høyere porøsitet i neddykket sone enn i lufteksponert sone – og spesielt én kerne fra luftsonen (6-T) har særlig lav sugporøsitet (10,2 % i den aktuelle dybden, mot en middelvei på 11,5 % for de øvrige

tre kjerner). Det ville imidlertid vært forventet at forskjeller i sugporøsitet også ville gitt seg utslag i forskjeller i betongens resistivitet, hvilket den altså ikke gjør.

Basert på de ovenstående verdier for kloriddiffusjonskoeffisienten $D_{\text{felt, neddykket}}$ og overflatekonsentrasjon $C_{0 \text{ felt, neddykket}}$ er det gjort enkle beregninger av framtidig kloridinntrenging, til 100 års levetid, se avsnitt 7.

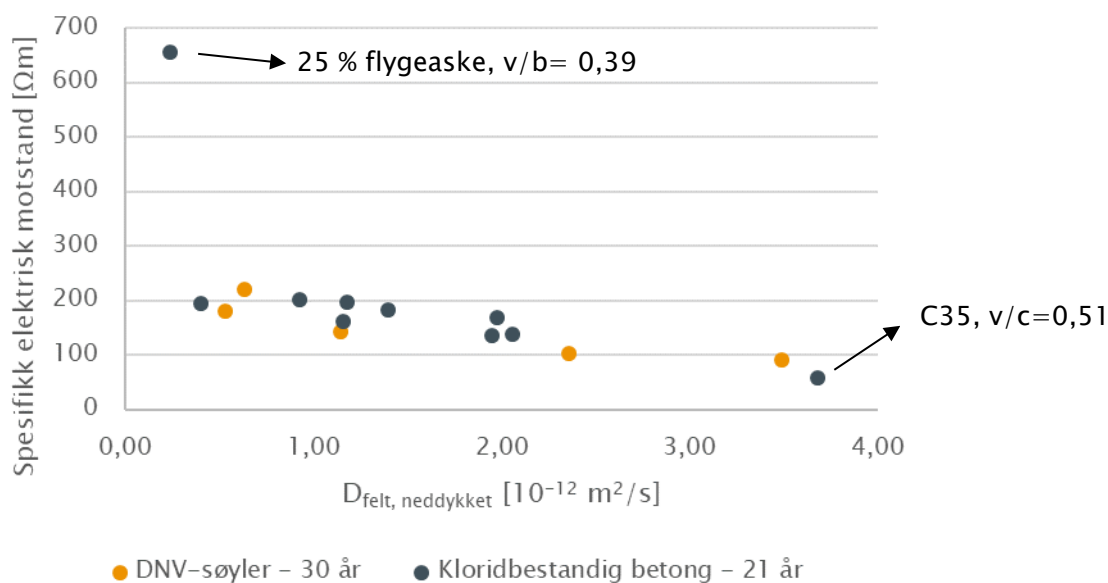
6.2 Kloriddiffusjon vs. spesifikk elektrisk motstand

Betongens spesifikke elektriske motstand (resistivitet) er en materialparameter som er uavhengig av konstruksjonens geometri. I betongen vil strømmen ledes i porevæsken. Høyt innhold av porevæske (våt betong) og høy porøsitet (høyt masseforhold) gir lav resistivitet. Generelt kan man si at resistiviteten øker med økende innhold av silika/flygeaske/slagg og med avtakende masseforhold. Resistiviteten øker også med økende alder – kun i tidlig fase for betong med CEM I, over flere år for betonger med flygeasketilsetning. Resistiviteten er relatert til betongens bestandighetsegenskaper, både i initieringsfasen (motstand mot kloridinntrenging) og i propageringsfasen (korrosjonshastighet). Forsøk har vist at det er en invers sammenheng mellom resistivitet og kloriddiffusjonshastighet. Tabell 17 viser sammenhengen mellom beregnede feltdiffusjonskoeffisienter fra neddykket sone og målt resistivitet for prøver fra DNV-søylene.

TABELL 17: FELTDIFFUSJONSKOEFFISIENTER OG SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND (RESISTIVITET)

Betongtype	$D_{\text{felt, neddykket}}$ [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Resistivitet ρ [Ωm]
ND 0,38	2,4	104
Lytag 0,33	0,5	181
Liapor 0,40 Si	1,1	143
ND 0,45 Si	3,5	91
ND 0,33	0,6	220

I Figur 29 er $D_{\text{felt, neddykket}}$ plottet mot resistivitet (gule punkter). Verdiene er plottet sammen med tilsvarende verdier for sammenlignbare betonger (varianter av C45 MA iht. Prosesskode 2, 1988 utgaven) + én referansebetong (C35, v/c 0,51) fra Statens vegvesens FoU-prosjekt «Kloridbestandig betong fase I», etter 21 års eksponering (svarte punkter, hvert punkt representerer en betongresept). I «Kloridbestandig betong» er måling av resistivitet utført på prøver med in situ fuktinnhold, dvs. uten forutgående vannlagring /9/. In situ fuktinnhold i betong i neddykket sjøvann vil være høyt (jfr også Figur 26), men det er uansett grunn til å anta at noen dagers vannlagring før prøving ville redusert resistiviteten noe (dvs. senket de svarte punktene). Det er godt samsvar mellom resultatene fra de to prosjektene. De to ytterpunktene for den svarte serien er spesielle pga. hhv. innhold av flygeaske (25 %) og høyere masseforhold (v/c=0,51 mot v/b =0,37–0,40 for de resterende) – dette er angitt i Figur 29.



FIGUR 29: SPESIFIKK ELEKTRISK MOTSTAND VS. FELTDIFFUSJONSKOEFFISIENT.

6.3 Trykkfasthet og densitet

De oppnådde trykkfastheter tilfredsstillers spesifisert fasthetsklasse med god margin, se sammenstilling i Tabell 18. Det er små forskjeller mellom betongene, med unntak av ND 0,33-betongen som har spesifisert fasthetsklasse C95 og målt sylindetrykkfasthet på 90 MPa.

I Tabell 18 er densitetsverdier målt på vannlagrede prøvestykker (middelverdier fra Tabell 12 og Tabell 14) sammenstilt med oppgitt ferskdensitet (Tabell 2). Det er godt samsvar mellom oppnådd densitet i søylene og målt ferskdensitet ved støping.

TABELL 18: SYLINDERTRYKKFASTHETER OG DENSITETER

Betongtype	Trykkfasthet, MPa		Densitet, kg/m ³	
	Fasthetsklasse/karakteristisk sylindetrykkfasthet	Målt sylindetrykkfasthet	Fersk densitet	Sugmettet densitet ^{*)}
ND 0,38	C60/ $f_{cck}=50$	61	2390	2440
Lyttag 0,33	C60/ $f_{cck}=50$	64	1970	2000
Liapor 0,40 Si	C60/ $f_{cck}=50$	71	1940	2020
ND 0,45 Si	C65/ $f_{cck}=54$	64	-	2500
ND 0,33	C95/ $f_{cck}=84$	90	-	2460

*) middel av verdier fra Tabell 12 og Tabell 14

6.4 Porøsitetsverdier

Betongens sugporøsitet kan benyttes til å sjekke eller estimere v/c-tallet for en normaldensitetsbetong (dette er ikke mulig for lettbetonger i og med at sugporøsiteten inkluderer et ukjent omfang av tilslagsporøsitet, se kommentar i avsnitt 5.4).

Pastaporøsiteten beregnes ut fra betongens sugporøsitet, p_s , og pastaens volumandel i betongen, V_{pasta} , som følger:

$$\varepsilon_{pasta} = \frac{p_s}{\left(\frac{V_{pasta}}{1000}\right)}$$

Under hydratiseringen, for betonger uten silika/flygeaske, er pastaporøsiteten gitt som funksjon av v/c-tall og hydratiseringsgrad, α /11/:

$$\varepsilon_{pasta} = \frac{\frac{v}{c} - 0,172 \cdot \alpha}{0,318 + \frac{v}{c}}$$

når sementens densitet settes til 3,15 g/cm³.

Ut fra ovenstående ligning får man følgende uttrykk for v/c-tallet:

$$v/c = \frac{0,318 \cdot \varepsilon_{pasta} + 0,172 \cdot \alpha}{1 - \varepsilon_{pasta}}$$

Pastavolumet har stor innflytelse på estimert v/c-tall og bør derfor baseres på faktisk betongresept. Ved ukjent betongresept antas ofte $V_{pasta} = 300$ l/m³. For ND 0,38 kjenner vi pastavolumet = 293 (basert på resepten), for ND 0,33 er dette ukjent. Vi har valgt å sette pastavolumet for begge betonger til 300 l/m³. For betong uttatt fra eksisterende konstruksjoner er det vanlig å benytte en $\alpha = 0,80$.

Dette gir estimerte v/c-tall for de to betongene som vist i Tabell 19.

TABELL 19: BEREGNEDE SUGPORØSITETER OG LUFTINNHOLD, SAMMENSTILT MED ESTIMERT/TEORETISK V/C-TALL OG MÅLT LUFTINNHOLD I FERSK BETONG

Betongtype	Sugporøsitet [%]	v/c-tall		Luftinnhold [%]	
		Teoretisk, basert på resept	Estimert, basert på sugporøsitet	Fersk	Herdet
ND 0,38	11,2	0,38	0,41	2,8	1,8
ND 0,33	9,8	0,33	0,36	2,7	1,7

De estimerte v/c-tall samsvarer godt med de teoretiske (dog noe høyere), hvilket underbygger at støpt betongkvalitet er iht. resept.

Betongens luftinnhold i herdet tilstand er for ND-betongene 1 % lavere enn målt i fersk betong. Det er ikke systematiske forskjeller på luftinnhold bestemt på kjerner fra lufteksponert sone og neddykket sone (Tabell 11), det er derfor ingen indikasjoner på at det noe lavere luftinnholdet i herdet betong skyldes eksponeringsforholdene/neddykking i sjø. Noe lavere luftinnhold i konstruksjonen er ikke unormalt og kan f.eks. skyldes at noe av luften er vibrert ut under støping.

7 Vurdering av kloridbestandighet

Prøving ved akselerert klorideksponering av betong utføres for å estimere betongs kloridbestandighet over levetiden. I Norge har slik prøving i stor grad, gjennom flere tiår, vært utført ved bruk av NT Build 443 (neddykking i 16,5 % NaCl-løsning i 35 døgn). I NA til NS-EN 206 ble det i 2014 innført en metode for klorideksponering som bygger på NS-EN 12390-11, men med forhøyet kloridinnhold i eksponeringsvæsken til 6 % NaCl (neddykking i 6 % NaCl-løsning i 90 døgn). Etter at denne metoden ble introdusert, har det gradvis skjedd en overgang mot denne metoden. Statens vegvesen stiller krav om dokumentasjon og godkjenning av sementtyper/bindemiddelkombinasjoner til bruk i betong i brukonstruksjoner. Som del av dokumentasjonsordningen skal de aktuelle bindemidlene dokumenteres i en SV Standard-betong (iht. Håndbok R762 Prosesskode 2, 2018-utgaven, masseforhold = 0,40), blant annet med tanke på kloridbestandighet iht. NA til NS-EN 206. Prøvingen gjennomføres ved 91 ± 1 døgn alder og skal tilfredsstillende et krav til $D_{lab, NA \text{ til NS-EN 206}} \leq 2,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Statens vegvesens erfaring er at kloriddiffusjonskoeffisienten for SV Standard-betonger blir noe lavere ved testing iht. NA til NS-EN 206 enn ved testing iht. NT Build 443.

Det er forventet en reduksjon i D_{lab} med økende alder/modenhet utover 90 døgn (spesielt de første 1–2 år /12/). Til tross for at prøving er utført på 30 år gammel betong, har ND 0,38 og ND 0,45 Si begge D_{lab} - verdier som ligger langt over det som tilfredsstillende dagens krav til SV Standard-betonger i Statens vegvesen ved 90 døgn. Begge lettbetongene og ND 0,33 har 30-årsresultater som ligger under Statens vegvesens 90-døgnskrav, men det er høyst usikkert om de ved prøving ved 90 døgn alder ville passert kravet.

Kloriddiffusjonskoeffisienten for betong eksponert i marint miljø reduseres over tid på grunn av at det skjer en modning/aldring av betongen og kjemiske/fysiske endringer i overflatesjiktet. I en rapport fra SINTEF /8/ er det gått igjennom en stor mengde kloriddata fra flere norske feltkonstruksjoner, med tanke på å vurdere tidsavhengigheten for diffusjonskoeffisienten for betong med ulik sammensetning og ulike eksponeringsbetingelser. Oppgaven ble (i SINTEF-rapporten) begrenset til vurdering av den utviklingen som skjer etter at betongen er eksponert for klorider i felt, definert ved aldringsfaktoren α . Det er funnet store forskjeller i aldringsfaktoren, avhengig av type betong (lettbetong og normaldensitetsbetong) og type bindemiddel. Tidsavhengigheten er funnet mye mindre for betong med ren portlandsement enn for betong tilsatt silikastøv og/eller flygeaske, dette i tråd med tidligere rapporterte data. Basert på foreliggende datamateriale (med lite langtidsdata), har SINTEF antydnet at aldringseffekten avtar eller opphører for lengre eksponering enn 5–10 år. Statens vegvesen har også erfaring fra feltstasjonen i Sandnessjøen (Kloridbestandig betong, fase I) som underbygger at det ikke skjer en entydig reduksjon i feltdiffusjonskoeffisienten fra 10 til 20 års eksponering /10/ (det registreres tvert imot både positive og negative endringer).

Med bakgrunn i ovenstående refererte erfaringer fra SINTEF /8/ og Statens vegvesen /10/ er det antatt at det ikke vil skje en ytterligere endring i diffusjonskoeffisienten for DNV-søylene.

Det er gjort enkle beregninger av framtidig kloridinntrenging basert på de beregnede 30-årsverdier ($D_{\text{felt, neddykket}}$ og $C_0_{\text{felt, neddykket}}$) for en antatt eksponeringsperiode på 100 år. Estimerte kloridprofiler etter 100 år er vist i figurer i Vedlegg 8. I figurene er det lagt inn en sannsynlig grenseverdi for korrosjon på 0,72 % klorider av sementvekt /7/, omregnet til % klorider av betongvekt (hhv 0,23 % for Lytag, 0,13 % for de øvrige). Av figurene kan en se at dybde hvor kritisk kloridinnhold overskrides i de ulike betonger er som vist i Tabell 20.

TABELL 20: DYBDE HVOR KRITISK KLORIDINNHOOLD OVERSKRIDES ETTER 100 ÅR, ESTIMERT BASERT PÅ BEREGNET D_{FELT}/C_0 ETTER 30 ÅR. NEDDYKKET SONE.

Betongtype	Dybde hvor kritisk kloridinnhold (0,72 % av sementvekt) overskrides etter 100 år [mm]
ND 0,38	>120 mm
Lytag 0,33	90 mm
Liapor 0,40 Si	>120 mm
ND 0,45 Si	>120 mm
ND 0,33	90 mm

Det er tidligere rapportert at spesifisert minimumsoverdekning til armering for betongplattformer i Nordsjøen er i området 50–75 mm /13/ (uspesifisert for ulike byggetidspunkt fra ca. 1980–1995) og at prosjektert levetid for disse konstruksjonene er 50 år. Etter 30 års levetid er dybde hvor kritisk kloridinnhold overskrides for DNV-søylene som vist i Tabell 21.

TABELL 21: DYBDE HVOR KRITISK KLORIDINNHOOLD OVERSKRIDES ETTER 30 ÅR, BASERT PÅ MIDDELKURVER I FIGUR 20. NEDDYKKET SONE.

Betongtype	Dybde av kritisk kloridinnhold (0,72 % av sementvekt) etter 30 år [mm]
ND 0,38	90
Lytag 0,33	55
Liapor 0,40 Si	75
ND 0,45 Si	100
ND 0,33	45

Av de undersøkte betonger, i neddykket sone, er det kun betong ND 0,33 som fortsatt ikke (etter 30 år) har nådd grenseverdi for sannsynlig korrosjon i dybde 50 mm.

8 Referanser

- 1 Andersen, J.H. og Espelid, B.: «Armeringskorrosjon og lettbetong. Erfaringer fra FoU-prosjektet «Dynamisk belastning av betongkonstruksjoner»», Kurskompendium, NIF-kurs 34419020 Konstruksjoner i lettbetong – prosjektering og produksjon, mars 1993
- 2 Espelid, B.: “Corrosion behaviour of steel in marine concrete structures”, ukjent publiseringssted og -dato
- 3 Andersen, J.H.: “Project results from three years of exposure in the project “Reinforcement Corrosion – Dynamic Loading II””, utdrag av teknisk rapport BGN-5051-87, 25.01.87
- 4 Danner T., De Weerd K., Geiker M.: “ μ -XRF – Characterisation of chloride ingress and self-healing in cracked concrete”, XXIIIth Symposium on Nordic Concrete Research & Development, Aalborg, Denmark, August 2017
- 5 Danner, T., et al. (2019). Self-healing and Chloride Ingress in Cracked Cathodically Protected Concrete Exposed to Marine Environment for 33 Years; Report No.:R-1-2019. Trondheim, Norway, Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- 6 Smeplass, S.: Excel regneark «Kloriddiffusjon (mm)», ©2012-01-09 ss
- 7 Helland, S., Maage, M. og Fluge, F.: «Service life design of concrete structures», Betongkonstruksjoners livsløp, rapport nr 19, 2003
- 8 Skjølsvold, O.: «Kloriddiffusjon i betong. Vurdering av aldringseffekten ved felteksponeering», COIN P4 Operational service life design, SP 4.1 Service life modelling, COIN Project report no 11, SINTEF 2009
- 9 SINTEF prøvingsrapport nr 3041-16: «Kloridbestandig betong Fase 1», 2015
- 10 Statens vegvesen, FoU-prosjektet «Kloridbestandig betong – fase I», upubliserte data fra 10 og 21 års eksponering av 17 betongresepter ved feltstasjonen i Sandnessjøen.
- 11 Sellevold, E.: «Sementhydratisering. Porøsitet. PF-metoden», forelesningskompendium UM8, TKT 4215 Betongteknologi 1, NTNU, 2004
- 12 Bjøntegaard, Ø. og Rodum, E.: «Effekt av flygeaske på betongegenskaper. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015», Statens vegvesen rapport nr. 275, 2014
- 13 Helland, S. et.al.: «In-field performance of North Sea platforms with regard to chloride resistance”, Structural Concrete, journal of fib, 2010, 11, No 1

FoU-samarbeid med DNV GL – utboring fra søyler juli 2016

PROSEDYRE FOR UTBORING, MERKING OG INNPAKING AV KJERNER

- Bøylearming og vertikalarming lokaliseres med **covermeter**. Armeringslokaliteter merkes med tusj på overflaten. Kjerner skal bores **midt mellom to vertikalkjerner** og med **god avstand til bøylearming**.
- Det **merkes på betongoverflaten** hvor hver enkelt kerne skal bores ut, og hvilken prøveidentifikasjon kjernen skal merkes med, samt «pil opp» i retning topp søyle. (Eksempel på merking: 7 = søyle nr 7, B = bunnområdet, 1 = kerne nr 1 i område 7-B). Lokaltitet av hver kerne **angis på egen skisse**, med avstand fra bunn/topp søyle, posisjon i forhold til lastrigg og avstand fra eventuelle andre «uregelmessigheter», f eks gamle borhull, spor etter gamle stålbånd m.m. Dokumenter også med foto.



- Kjernen **bores ut med jevn hastighet og vanntilførsel**, uten unødig stans. Kjernen bores gjennomgående, dvs med lengde 600 mm i søyler med massive tverrsnitt, ca 225 mm i søyler med hule tverrsnitt. *(NB! Hvis det oppstår problemer med at kjerner bores fra hule søyler faller inn i hulrom, må boring avsluttes med borybde 180-200 mm).*

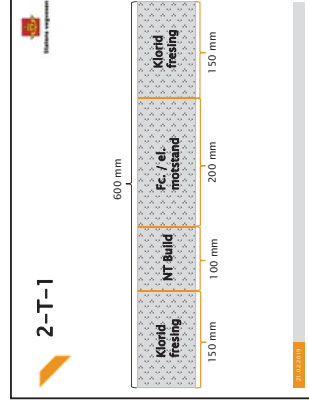
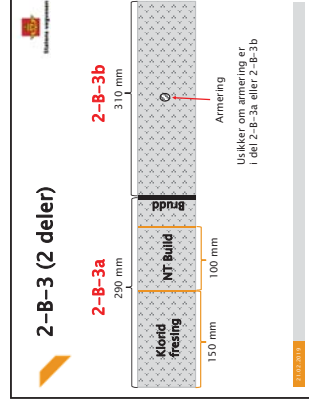
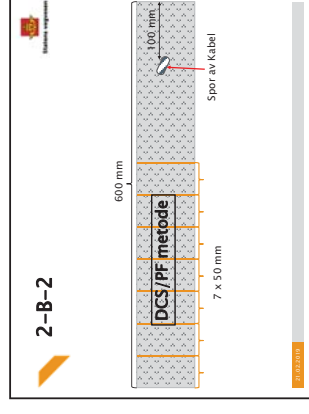
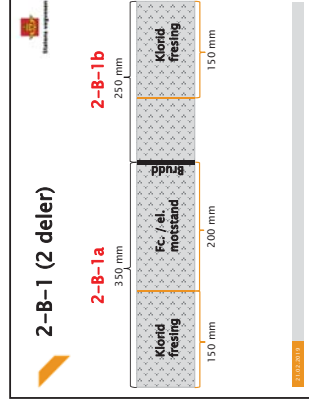
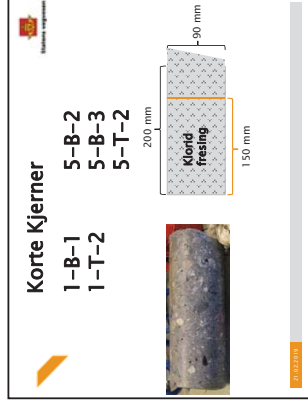
- Kjernen **tørkes av** med tørkepapir slik at det ikke er fritt vann på sylinder-/endeflatene.

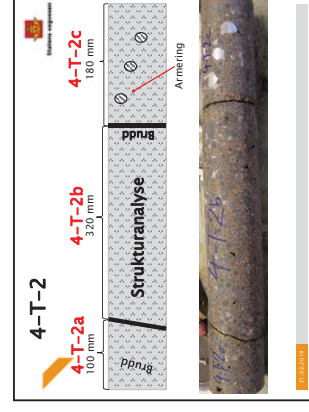
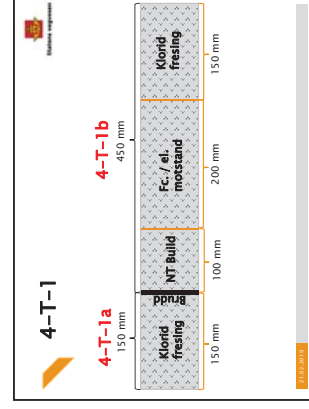
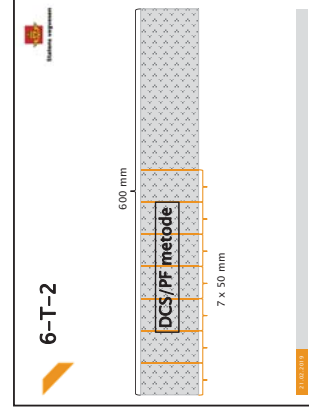
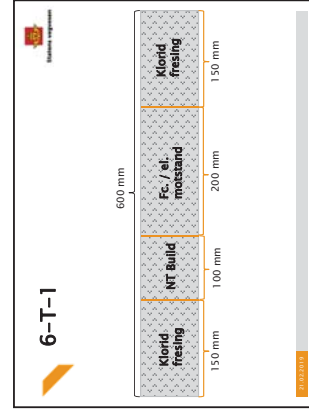
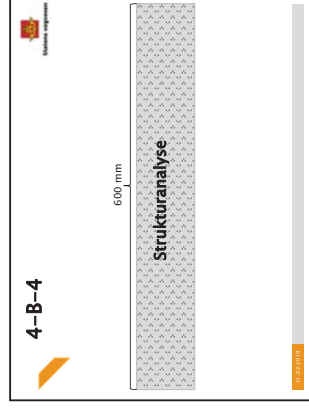
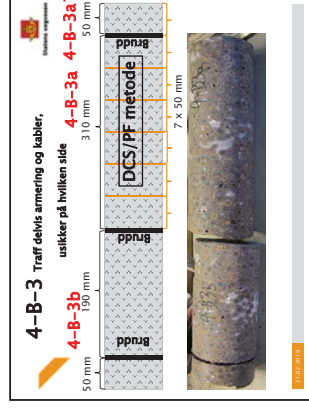
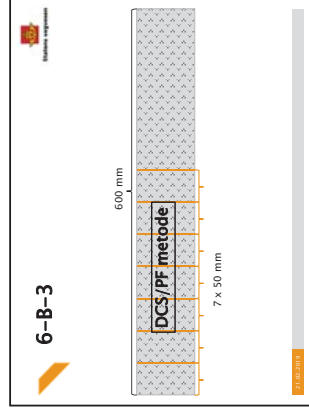
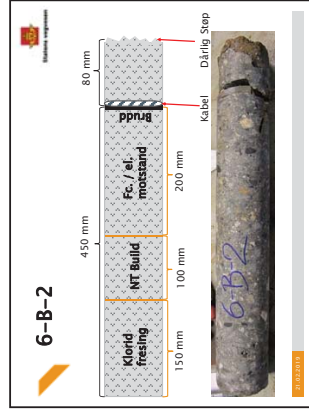
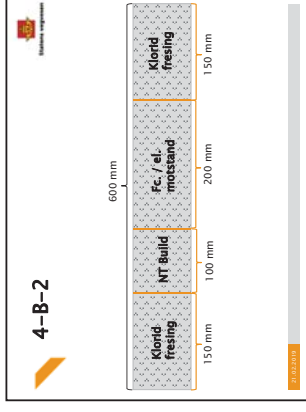
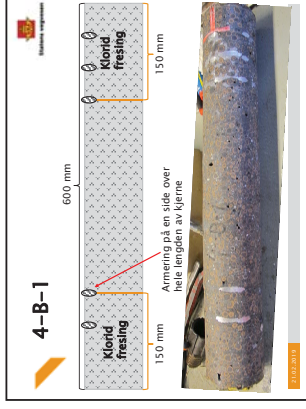
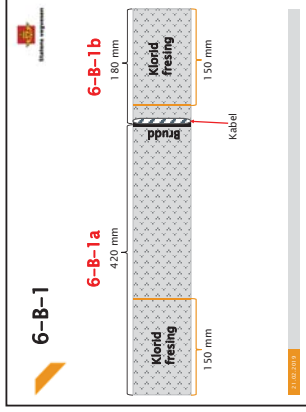
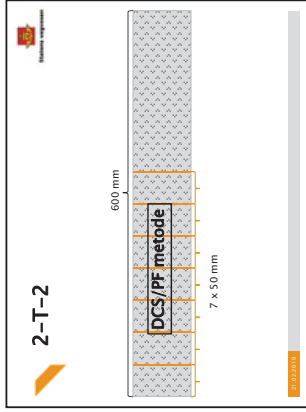
- Kjernen **merkes på sylinderflaten** med samme prøveidentifikasjon som angitt på uttaksstedet.

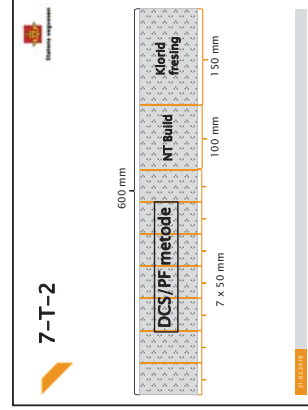
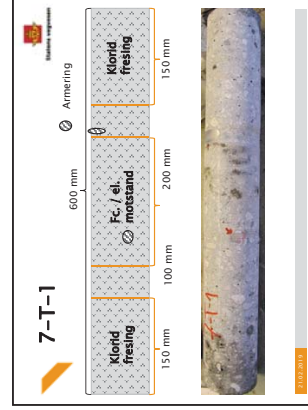
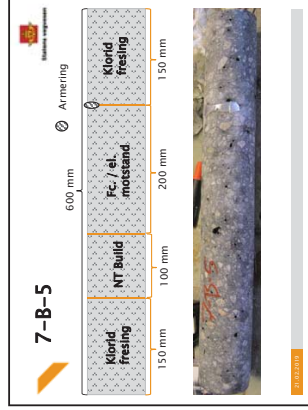
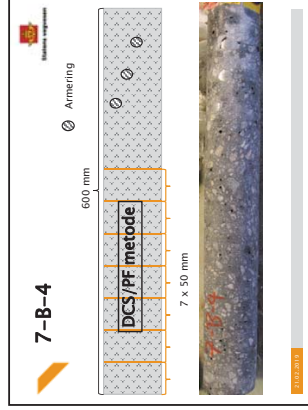
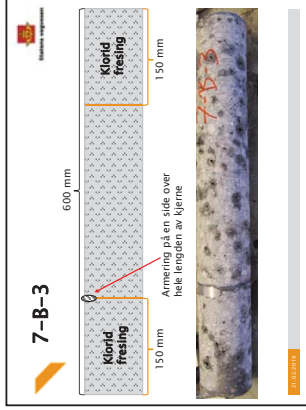
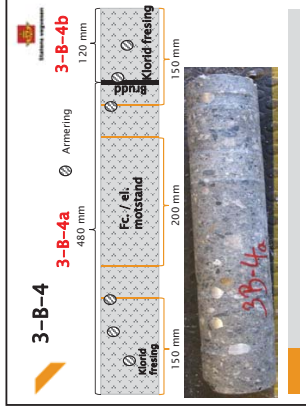
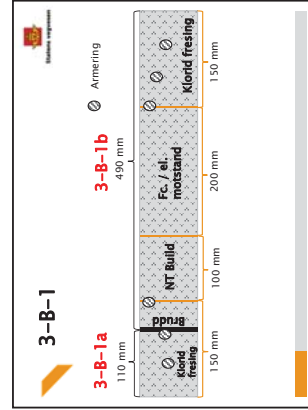
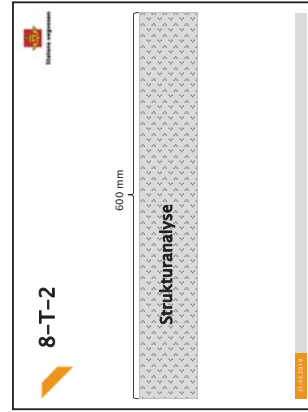
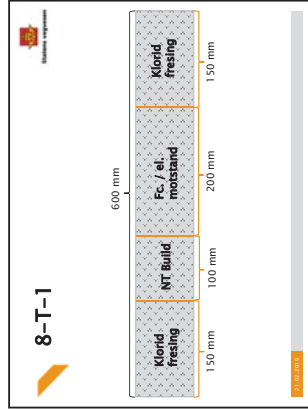
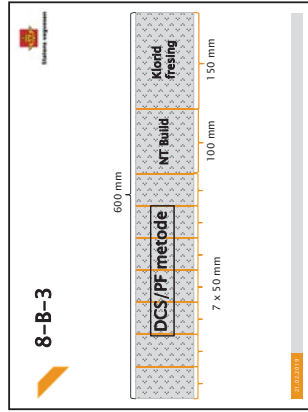
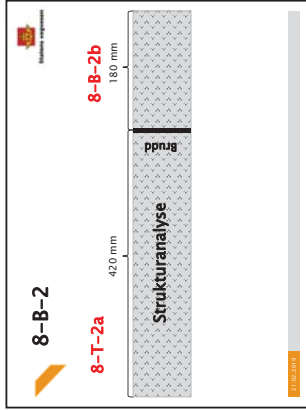
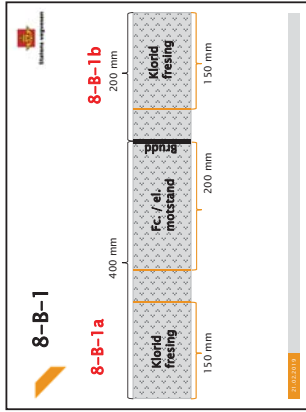
- **Umiddelbart** etter avtøking og merking **pakkes kjernen inn i tynnfilmplast** (type Glad-pack). Platen skal slutte tett inntil kjernen, også endeflatene. Deretter pakkes prøven inn i **tykkere plastpose** (eventuelt en bobleplastpose). Det pakkes slik at det blir minimalt med luft mellom plast og prøvestykke og det benyttes tape til forsegling, både i ringretning og lengderetning. **Prøveidentifikasjon merkes på platen/tapen** med tusj.

Lagring av prøvene i Statens vegvesens Sentrallaboratorium:

Samtlige kjerner pakkes i pallekasse og sendes Sentrallaboratoriet i Oslo. Ved ankomst her skal de lagres på Sentrallabbens kjølerom (+5 °C).







Kjerner/kjernerdelmerket	Kommentar
Fresing inn til 50 mm	
1-T-2	Gjennomgående korte kjerner. Freses fra den overflata hvor kjerneboret har gått inn («bor inn»).
5-T-2	Freses fra kjernerdel med lengde ca 250 mm ¹⁾
2-B-1b	Freses fra kjernerdel med lengde ca 180 mm ¹⁾
6-B-1b	
2-T-1 (a)	
2-T-1 (b)	
7-B-3 (a)	Først kappes av en kjernerdel fra hver ende ²⁾ . «Bor inn» tilleggsmerkes «a», «bor ut» tilleggsmerkes «b». Deretter freses begge kjernerdelene.
7-B-3 (b)	
7-B-5 (a)	
7-B-5 (b)	
7-T-1 (a)	
7-T-1 (b)	
7-T-2	Først kappes av en kjernerdel fra én ende ²⁾ . Freses. Vurder om kjernerdel med lengde ca 110 mm ¹⁾ er lang nok for oppspenning i rigg og fresing inn til 80 mm.
3-B-1a	Kjernerne inneholder armering. Det må feres isjikt inn til armering, deretter plukkes armering ut før det freses videre. Hold dybden fra overflata.
3-B-1b	Først kappes av en kjernerdel fra én ende ²⁾ . Freses.
3-B-4a	
3-B-4b	Vurder om kjernerdel med lengde ca 120 mm ¹⁾ er lang nok for oppspenning i rigg og fresing inn til 80 mm.
4-B-1 (a)	Først kappes av en kjernerdel fra hver ende ²⁾ . «Bor inn» tilleggsmerkes «a», «bor ut» tilleggsmerkes «b». Deretter freses begge kjernerdelene.
4-B-1 (b)	
4-B-2 (a)	Først kappes av en kjernerdel fra hver ende ²⁾ . «Bor inn» tilleggsmerkes «a», «bor ut» tilleggsmerkes «b». Deretter freses begge kjernerdelene.
4-B-2 (b)	
4-T-1a	Freses fra kjernerdel med lengde ca 150 mm ¹⁾
4-T-1b	
8-B-1a	Først kappes av en kjernerdel fra eksponert overflate ²⁾ . Freses.
8-B-1b	Freses fra kjernerdel med lengde ca 200 mm ¹⁾ . (Kappes først hvis behov).
8-B-3	Først kappes av en kjernerdel fra én ende ²⁾ . Freses. Først kappes av en kjernerdel fra hver ende ²⁾ . «Bor inn» tilleggsmerkes «a», «bor ut» tilleggsmerkes «b». Deretter freses begge kjernerdelene.
8-T-1	

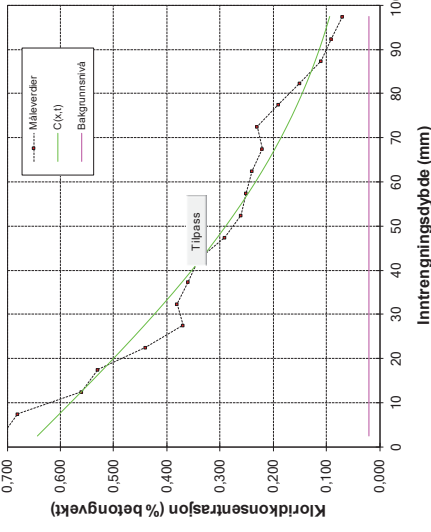
1) Se skisse fra Tobias

2) Det er angitt en lengde på 150 mm på skissen¹⁾, vurder behovet for kjernelengde i forhold til innspenning i freserigg og fresedybde.

Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil: 1-B-1a ND.0.38

Exponert tid	285624	timer	
Bakgrunn	0.020	% betong	
C ₀	0.664	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	1.86	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0.9786		ok
Inntrengning	763.2	g/m ²	
k(0.1 %)	18.6	mm	

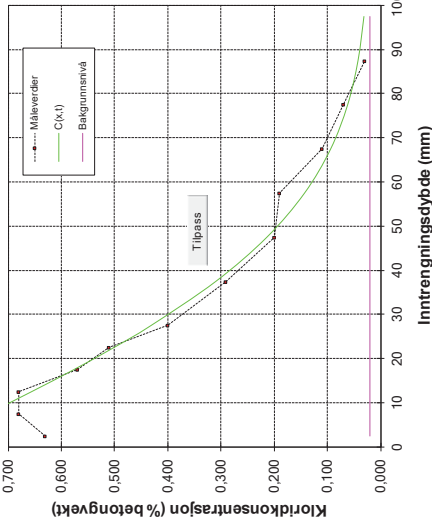
x	målt	status
2.5	0.710	ok
7.5	0.680	ok
12.5	0.550	ok
17.5	0.530	ok
22.5	0.440	ok
27.5	0.370	ok
32.5	0.380	ok
37.5	0.360	ok
42.5	0.340	ok
47.5	0.280	ok
52.5	0.260	ok
57.5	0.240	ok
62.5	0.240	ok
67.5	0.220	ok
72.5	0.230	ok
77.5	0.190	ok
82.5	0.150	ok
87.5	0.110	ok
92.5	0.090	ok
97.5	0.070	ok



Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil: 5-B-2a ND.0.38

Exponert tid	285624	timer	
Bakgrunn	0.020	% betong	
C ₀	0.867	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	0.76	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0.9946		ok
Inntrengning	670.5	g/m ²	
k(0.1 %)	11.6	mm	

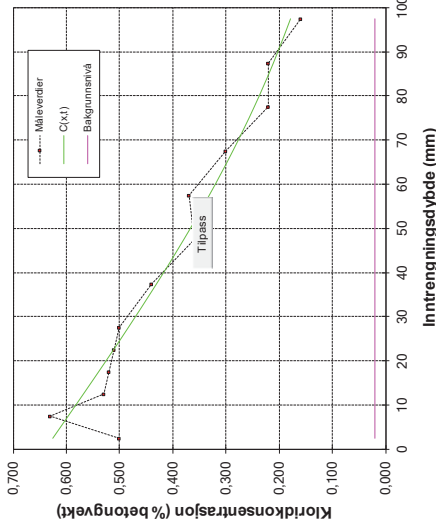
x	målt	status
2.5	0.630	ok
7.5	0.680	ok
12.5	0.680	ok
17.5	0.570	ok
22.5	0.510	ok
27.5	0.400	ok
32.5	0.280	ok
37.5	0.260	ok
42.5	0.190	ok
47.5	0.190	ok
52.5	0.070	ok
57.5	0.070	ok
62.5	0.070	ok
67.5	0.070	ok
72.5	0.070	ok
77.5	0.070	ok
82.5	0.070	ok
87.5	0.070	ok
92.5	0.070	ok
97.5	0.070	ok



Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** DNV **Profil:** 2-B-1b ND.0.38

Eksponeert tid Bakgrunn	288552 0,020	limer % betong	ok
C ⁰	0,640	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	3,53	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0,9866		ok
Inntrengning k (0,1 %)	891,1 2247	g/m ² mm	ok

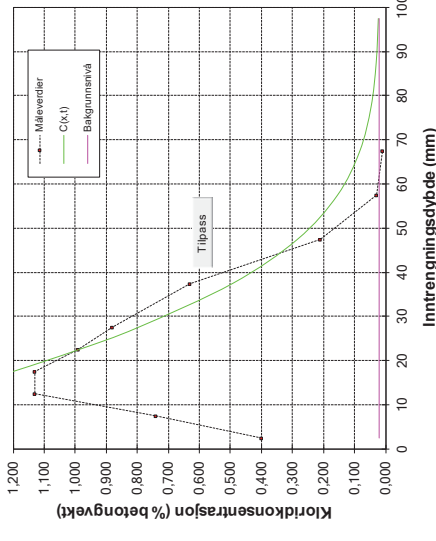
x	målt	status
2,5	0,650	ok
7,5	0,630	ok
12,5	0,530	ok
17,5	0,520	ok
22,5	0,510	ok
27,5	0,500	ok
37,5	0,440	ok
47,5	0,360	ok
57,5	0,370	ok
67,5	0,300	ok
77,5	0,220	ok
87,5	0,260	ok
97,5	0,160	ok



Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** DNV **Profil:** 4-B-1a Lyvig 0

Eksponeert tid Bakgrunn	276840 0,020	limer % betong	ok
C ⁰	2,077	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	0,49	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0,9898		ok
Inntrengning k (0,1 %)	929,7 11,9	g/m ² mm	ok

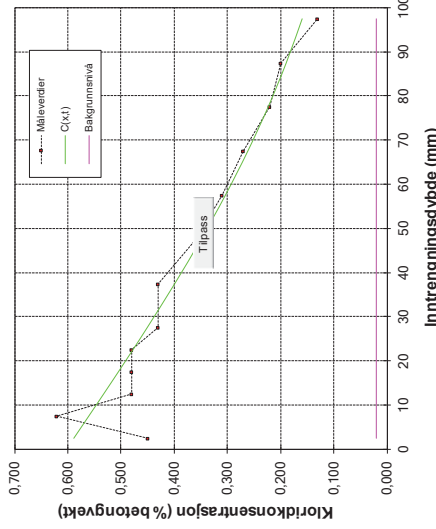
x	målt	status
2,5	0,450	ok
7,5	0,740	ok
12,5	1,130	ok
17,5	1,130	ok
22,5	0,990	ok
27,5	0,880	ok
37,5	0,630	ok
47,5	0,210	ok
57,5	0,030	ok
67,5	0,010	ok
77,5		ok
87,5		ok
97,5		ok



Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** DNV **Profil:** 6-B-1b ND.0.38

Eksponeert tid Bakgrunn	288552 0,020	limer % betong	ok
C ⁰	0,603	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	3,28	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0,9790		ok
Inntrengning k (0,1 %)	811,5 211,4	g/m ² mm	ok

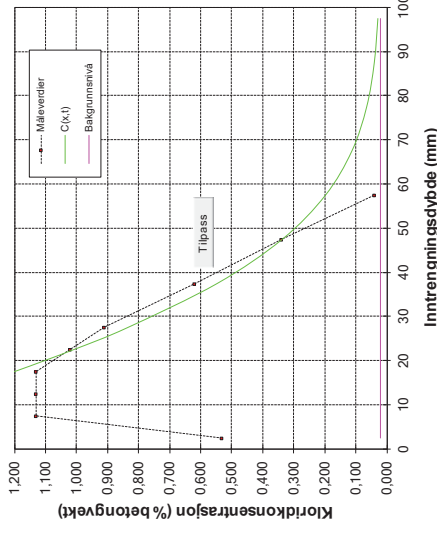
x	målt	status
2,5	0,450	ok
7,5	0,620	ok
12,5	0,480	ok
17,5	0,480	ok
22,5	0,480	ok
27,5	0,430	ok
37,5	0,360	ok
47,5	0,310	ok
57,5	0,270	ok
67,5	0,220	ok
77,5	0,200	ok
87,5	0,200	ok
97,5	0,130	ok



Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** DNV **Profil:** 4-B-1b Lyvig 0

Eksponeert tid Bakgrunn	276840 0,020	limer % betong	ok
C ⁰	1,966	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	0,58	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0,9788		ok
Inntrengning k (0,1 %)	1039,5 12,4	g/m ² mm	ok

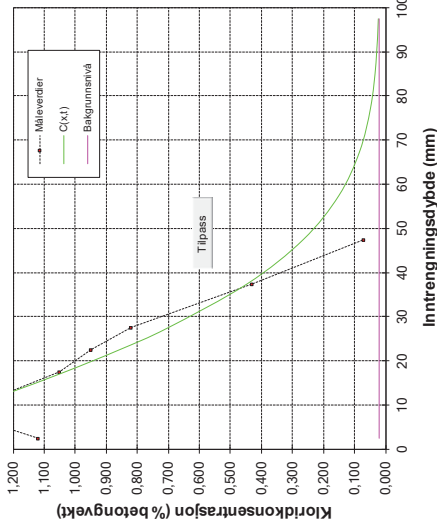
x	målt	status
2,5	0,520	ok
7,5	1,130	ok
12,5	1,130	ok
17,5	1,130	ok
22,5	1,020	ok
27,5	0,910	ok
37,5	0,620	ok
47,5	0,340	ok
57,5	0,040	ok
67,5		ok
77,5		ok
87,5		ok
97,5		ok



Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil 4-B-2b Lytag 0.3

Eksponeert tid	276840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	1,742	10 ⁻⁶ m ² /s
D	0,53	10 ⁻⁶ m ² /s
R ²	0,9783	
Inntrengning	1023,9	g/m ²
k (0,1 %)	115	mm

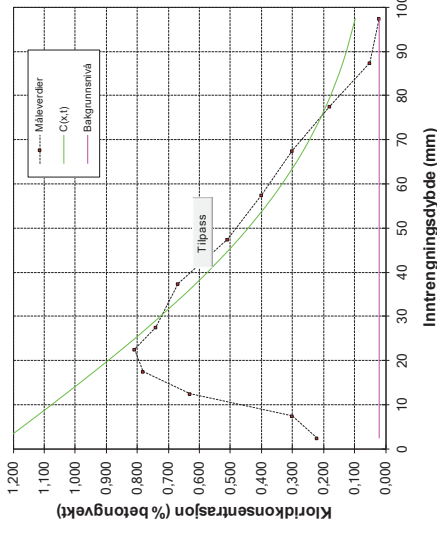
x	målt	status
2,5	1,120	ok
7,5	1,340	ok
12,5	1,220	ok
17,5	1,050	ok
22,5	0,950	ok
27,5	0,820	ok
37,5	0,430	ok
47,5	0,070	ok
57,5		
67,5		
77,5		
87,5		
97,5		



Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil 8-B-1a Liapor 0

Eksponeert tid	276840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	1,265	10 ⁻⁶ m ² /s
D	1,38	10 ⁻⁶ m ² /s
R ²	0,9841	
Inntrengning	979,5	g/m ²
k (0,1 %)	172	mm

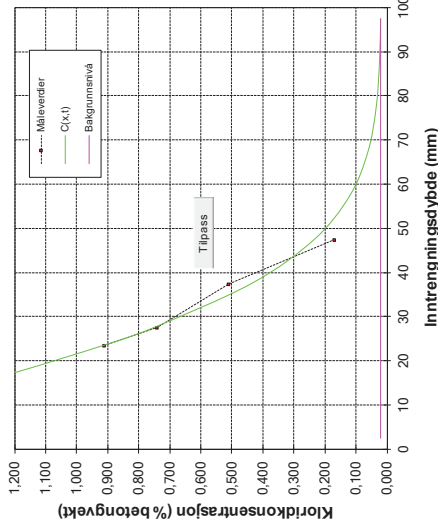
x	målt	status
2,5	0,220	
7,5	0,300	
12,5	0,630	
17,5	0,780	
22,5	0,810	ok
27,5	0,740	ok
37,5	0,670	ok
47,5	0,510	ok
57,5	0,400	ok
67,5	0,300	ok
77,5	0,180	ok
87,5	0,160	ok
97,5	0,020	ok



Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil 4-B-2a Lytag 0.3

Eksponeert tid	276840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	2,174	10 ⁻⁶ m ² /s
D	0,42	10 ⁻⁶ m ² /s
R ²	0,9846	
Inntrengning	398,4	g/m ²
k (0,1 %)	10,7	mm

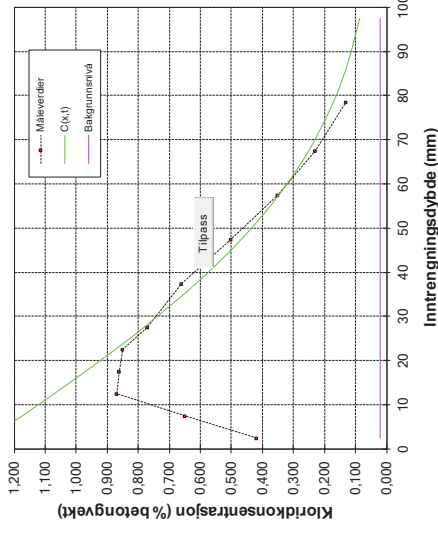
x	målt	status
2,5		
7,5		
12,5		
17,5		
23,5	0,910	ok
27,5	0,740	ok
37,5	0,910	ok
47,5	0,170	ok
57,5		
67,5		
77,5		
87,5		
97,5		



Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil 8-B-1b Liapor 0

Eksponeert tid	276840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	1,331	10 ⁻⁶ m ² /s
D	1,25	10 ⁻⁶ m ² /s
R ²	0,9934	
Inntrengning	1055,1	g/m ²
k (0,1 %)	16,6	mm

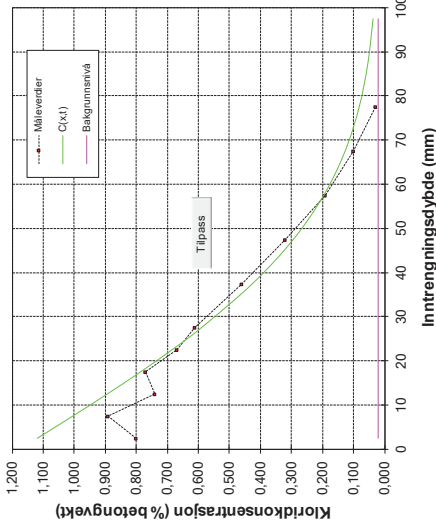
x	målt	status
2,5	0,420	
7,5	0,650	
12,5	0,870	
17,5	0,860	
22,5	0,850	ok
27,5	0,770	ok
37,5	0,660	ok
47,5	0,350	ok
57,5	0,230	ok
67,5	0,130	ok
77,5		
87,5		
97,5		



Beregning av C_0 og D Prosjekt: DNV Profil: 8-B-3a Liapor 0.45

Eksponeert tid	276840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	1,176	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
D	0,81	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9848	
Inntrengning	877,8	g/m^2
k (0.1 %)	130	mm

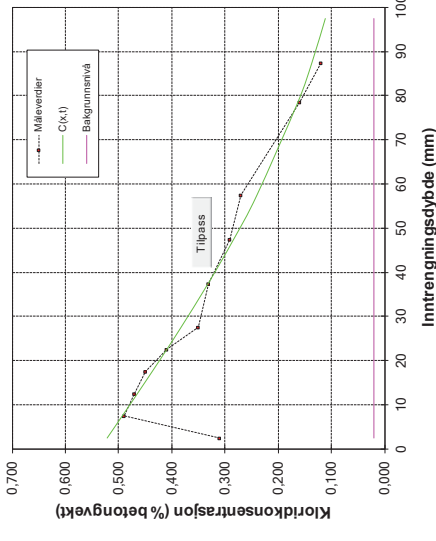
x	målt	status
2,5	0,800	ok
7,5	0,880	ok
12,5	0,740	ok
17,5	0,770	ok
22,5	0,670	ok
27,5	0,610	ok
37,5	0,460	ok
47,5	0,320	ok
57,5	0,190	ok
67,5	0,100	ok
77,5	0,030	ok
87,5		ok
97,5		ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: DNV Profil: 3-B-1b ND 0.45

Eksponeert tid	246168	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,535	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
D	2,96	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9913	
Inntrengning	647,9	g/m^2
k (0.1 %)	354	mm

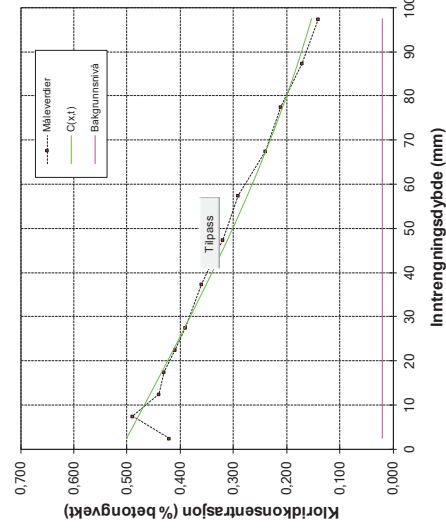
x	målt	status
2,5	0,310	ok
7,5	0,490	ok
12,5	0,470	ok
17,5	0,450	ok
22,5	0,410	ok
27,5	0,350	ok
37,5	0,330	ok
47,5	0,280	ok
57,5	0,270	ok
67,5	0,160	ok
77,5	0,120	ok
87,5		ok
97,5		ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: DNV Profil: 3-B-1a ND 0.45

Eksponeert tid	246168	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,512	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
D	4,42	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9861	
Inntrengning	715,2	g/m^2
k (0.1 %)	23,4	mm

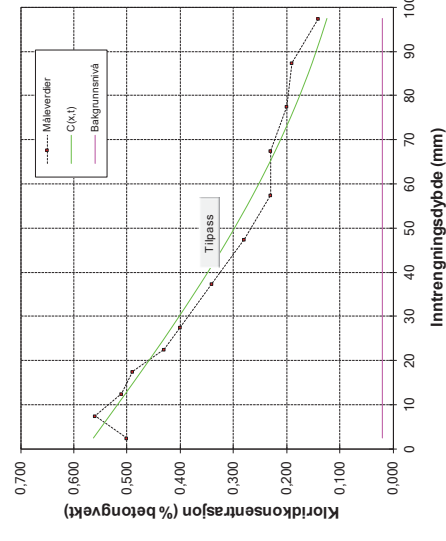
x	målt	status
2,5	0,420	ok
7,5	0,490	ok
12,5	0,440	ok
17,5	0,430	ok
22,5	0,410	ok
27,5	0,380	ok
37,5	0,320	ok
47,5	0,230	ok
57,5	0,240	ok
67,5	0,210	ok
77,5	0,170	ok
87,5	0,140	ok
97,5		ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: DNV Profil: 3-B-4a ND 0.45

Eksponeert tid	246168	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,578	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
D	3,08	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9865	
Inntrengning	728,7	g/m^2
k (0.1 %)	20,4	mm

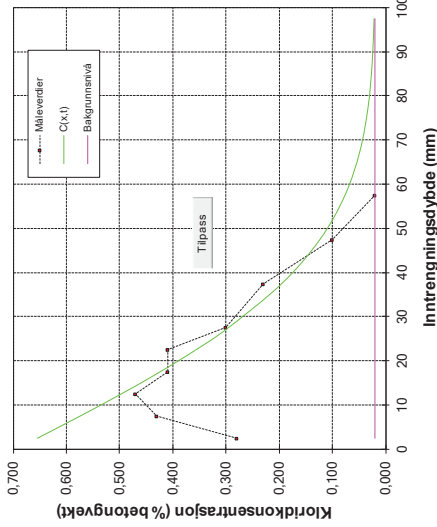
x	målt	status
2,5	0,500	ok
7,5	0,560	ok
12,5	0,510	ok
17,5	0,490	ok
22,5	0,430	ok
27,5	0,400	ok
37,5	0,290	ok
47,5	0,260	ok
57,5	0,230	ok
67,5	0,200	ok
77,5	0,190	ok
87,5	0,140	ok
97,5		ok



Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** DNV **Profil:** 7-B-3a ND.0.33

Exponenttid Bakgrunn	246168 0,020	limer % betong
C ⁰	0,695	10 ⁻¹² m ² /s
D	0,63	
R ²	0,9762	
Inntrengning k (0,1 %)	369,3	g/m ² mm

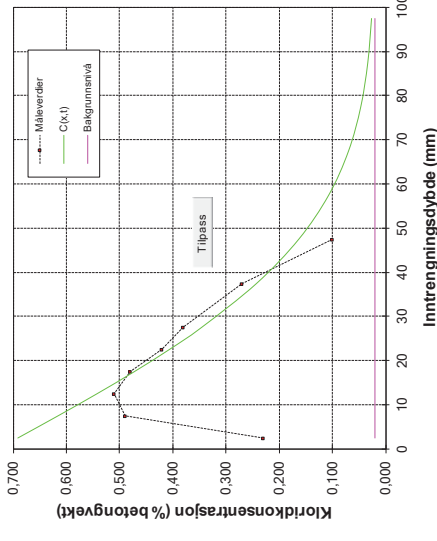
x	målt	status
2,5	0,250	
7,5	0,430	
12,5	0,470	ok
17,5	0,410	ok
22,5	0,410	ok
27,5	0,300	ok
37,5	0,230	ok
47,5	0,100	ok
57,5	0,020	ok
67,5		
77,5		
87,5		
97,5		



Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** DNV **Profil:** 7-B-5a ND.0.33

Exponenttid Bakgrunn	246168 0,020	limer % betong
C ⁰	0,729	10 ⁻¹² m ² /s
D	0,78	
R ²	0,9896	
Inntrengning k (0,1 %)	403,8	g/m ² mm

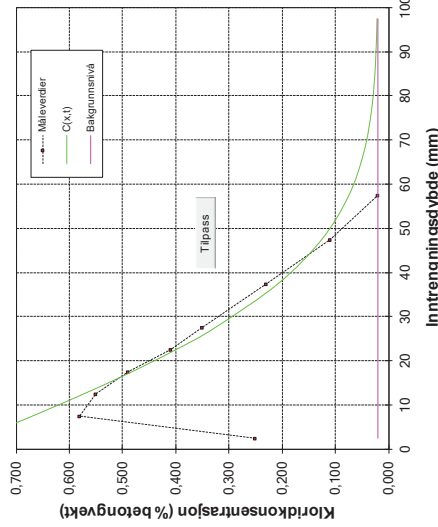
x	målt	status
2,5	0,250	
7,5	0,490	
12,5	0,510	ok
17,5	0,480	ok
22,5	0,420	ok
27,5	0,380	ok
37,5	0,270	ok
47,5	0,100	ok
57,5		
67,5		
77,5		
87,5		
97,5		



Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** DNV **Profil:** 7-B-3b ND.0.33

Exponenttid Bakgrunn	246168 0,020	limer % betong
C ⁰	0,821	10 ⁻¹² m ² /s
D	0,56	
R ²	0,9605	
Inntrengning k (0,1 %)	414,0	g/m ² mm

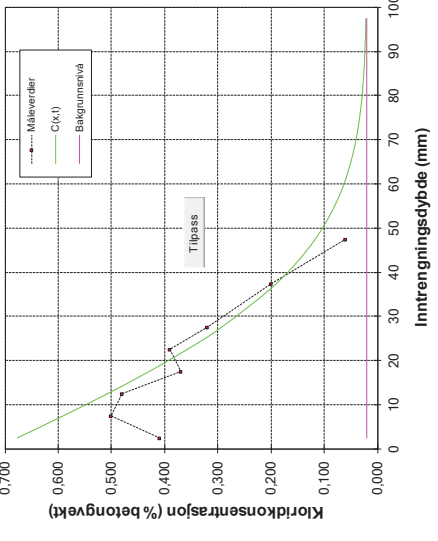
x	målt	status
2,5	0,250	
7,5	0,580	
12,5	0,550	ok
17,5	0,490	ok
22,5	0,410	ok
27,5	0,350	ok
37,5	0,230	ok
47,5	0,100	ok
57,5	0,020	ok
67,5		
77,5		
87,5		
97,5		

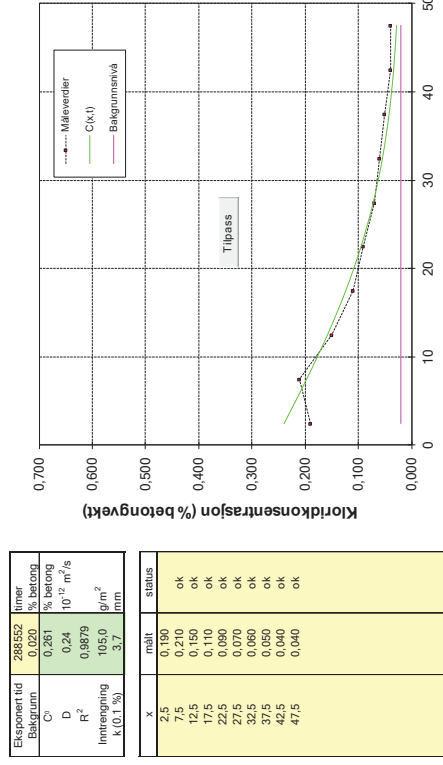
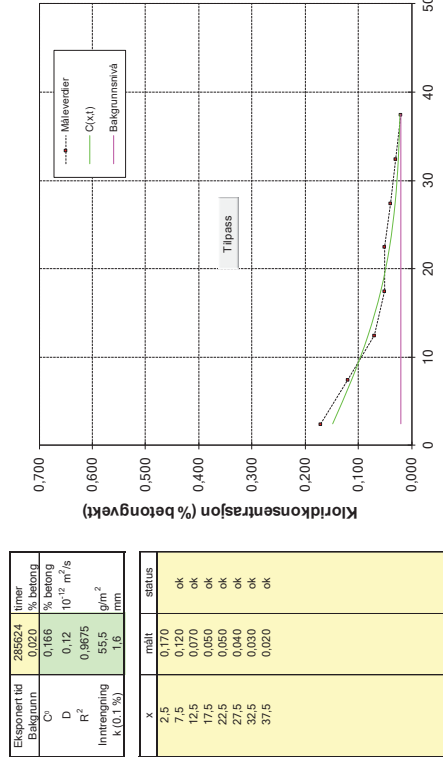
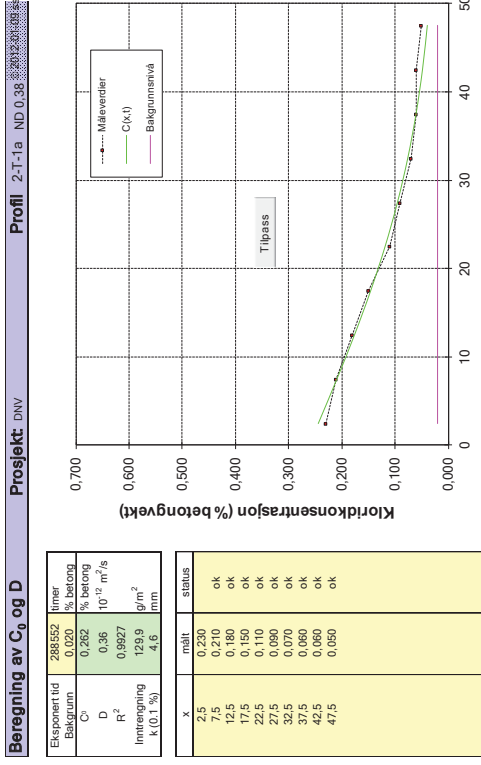
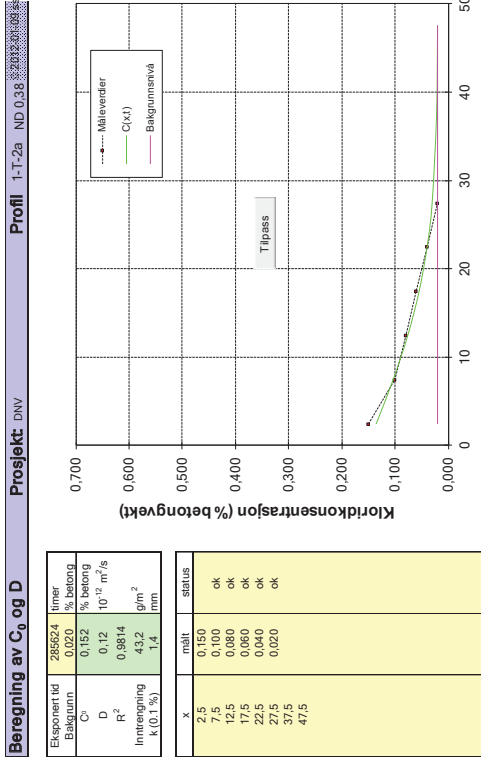


Beregning av C₀ og D **Prosjekt:** DNV **Profil:** 7-B-5b ND.0.33

Exponenttid Bakgrunn	246168 0,020	limer % betong
C ⁰	0,721	10 ⁻¹² m ² /s
D	0,58	
R ²	0,9742	
Inntrengning k (0,1 %)	377,1	g/m ² mm

x	målt	status
2,5	0,410	
7,5	0,500	
12,5	0,480	ok
17,5	0,370	
22,5	0,390	ok
27,5	0,320	ok
37,5	0,200	ok
47,5	0,060	ok
57,5		
67,5		
77,5		
87,5		
97,5		





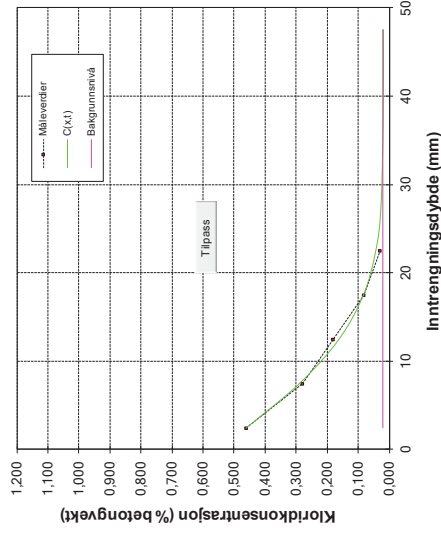
Beregning av C_0 og D

Prosjekt: DNV

Profil: 4-T-1b Lytag 0.3

Eksposertid	276840	timer
Bakgrunn	0.020	% betong
C	0.06	$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
D	0.9975	
R ²	128.3	g/m ²
Inntrengning	2.9	mm
k (0.1 %)		

x	målt	status
2.5	0.460	ok
7.5	0.280	ok
12.5	0.180	ok
17.5	0.080	ok
22.5	0.030	ok
27.5		
32.5		
37.5		
42.5		
47.5		



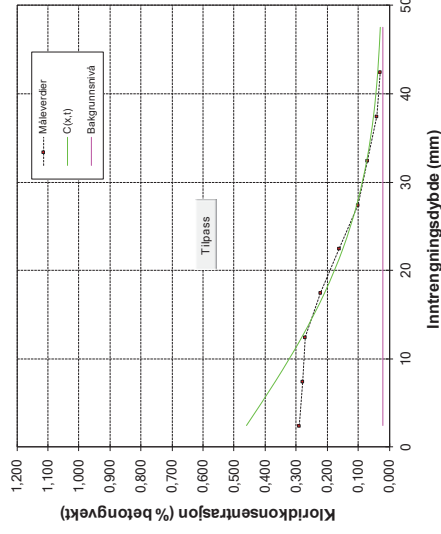
Beregning av C_0 og D

Prosjekt: DNV

Profil: 8-T-1b Liapor 0.3

Eksposertid	276840	timer
Bakgrunn	0.020	% betong
C	0.20	$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
D	0.9949	
R ²	168.9	g/m ²
Inntrengning	5.0	mm
k (0.1 %)		

x	målt	status
2.5	0.290	
7.5	0.280	ok
12.5	0.270	ok
17.5	0.220	ok
22.5	0.160	ok
27.5	0.100	ok
32.5	0.070	ok
37.5	0.040	ok
42.5	0.030	ok
47.5		



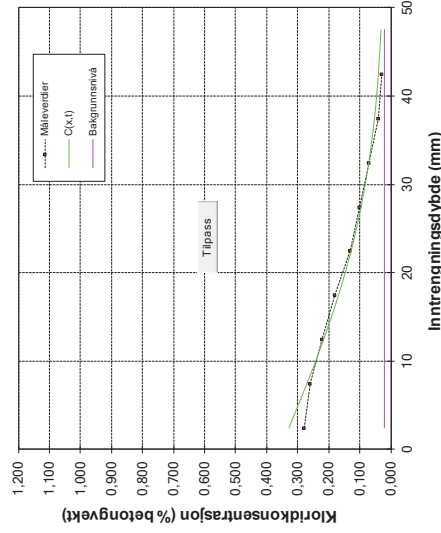
Beregning av C_0 og D

Prosjekt: DNV

Profil: 8-T-1a Liapor 0.3

Eksposertid	276840	timer
Bakgrunn	0.020	% betong
C	0.26	$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
D	0.9951	
R ²	150.3	g/m ²
Inntrengning	4.8	mm
k (0.1 %)		

x	målt	status
2.5	0.280	ok
7.5	0.260	ok
12.5	0.220	ok
17.5	0.180	ok
22.5	0.130	ok
27.5	0.090	ok
32.5	0.040	ok
37.5	0.030	ok
42.5		
47.5		



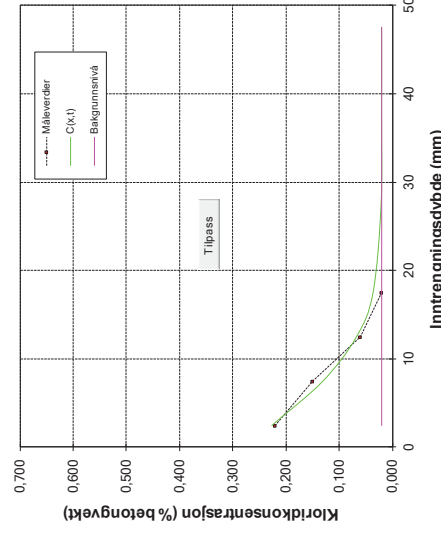
Beregning av C_0 og D

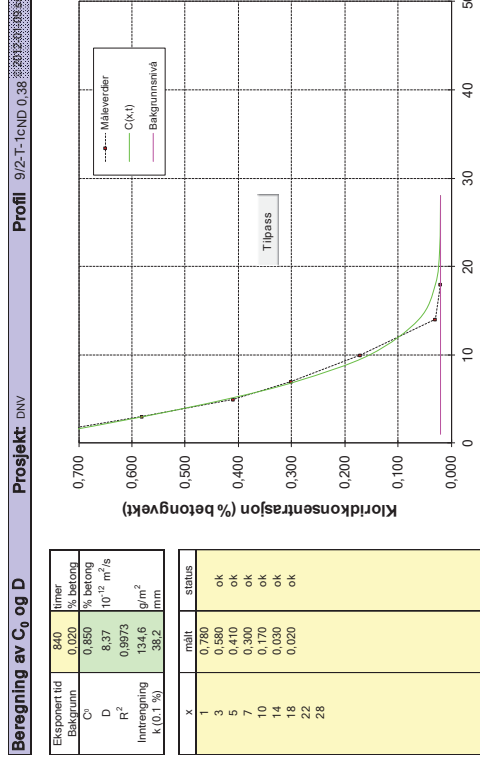
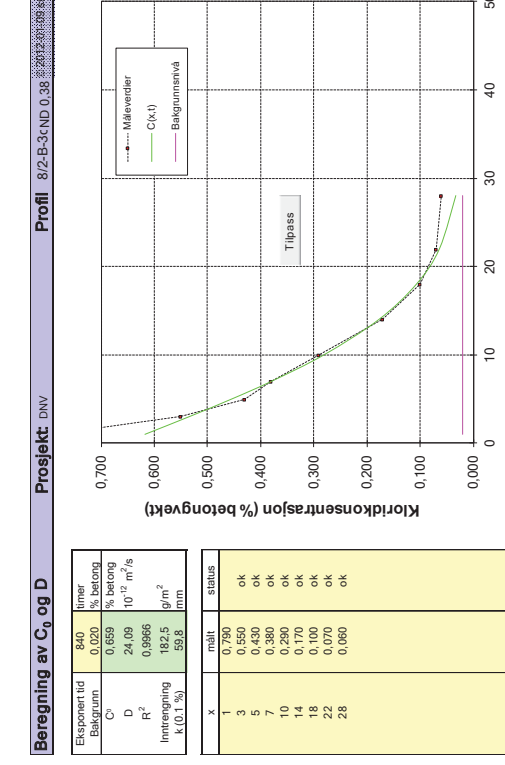
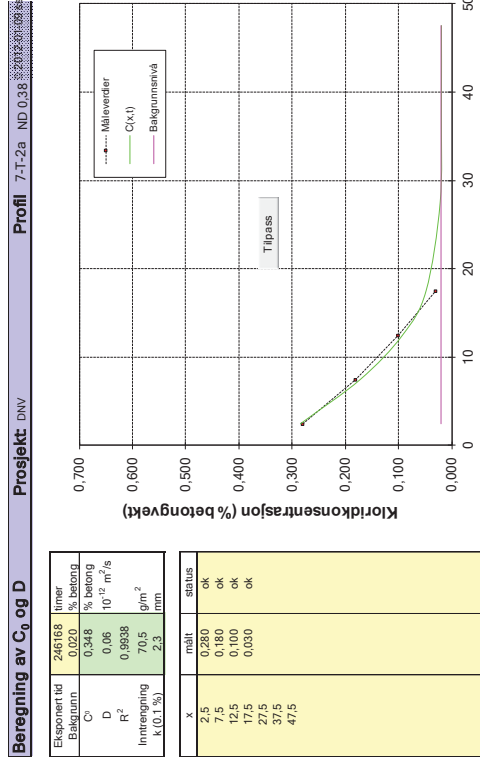
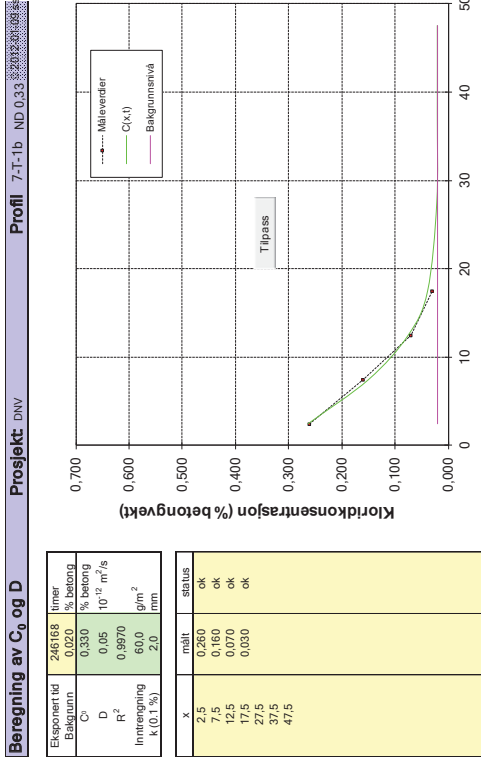
Prosjekt: DNV

Profil: 7-T-1a ND 0.33

Eksposertid	246168	timer
Bakgrunn	0.283	% betong
C	0.05	$10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
D	0.9868	
R ²	48.0	g/m ²
Inntrengning	1.8	mm
k (0.1 %)		

x	målt	status
2.5	0.220	ok
7.5	0.150	ok
12.5	0.060	ok
17.5	0.020	ok
22.5		
27.5		
32.5		
37.5		
42.5		
47.5		

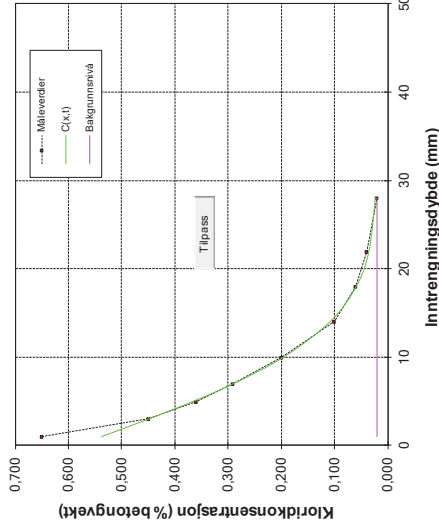




Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil 12/6-B-2-ND.0.38

Eksponeert tid Bakgrunn	840 0.020	linær % betong	
C ⁰	0.583	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	16.08	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0.9986		ok
Inntrengning k(0.1 %)	133.9	g/m ² mm	ok

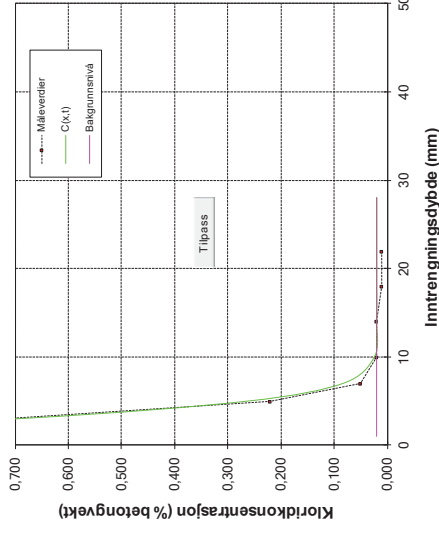
x	mølt	status
1	0.650	ok
3	0.450	ok
5	0.360	ok
7	0.290	ok
10	0.200	ok
14	0.100	ok
18	0.060	ok
22	0.040	ok
28	0.020	ok



Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil 17/4-B-2-Lyveg 0

Eksponeert tid Bakgrunn	840 0.020	linær % betong	
C ⁰	1.868	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	1.80	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0.9975		ok
Inntrengning k(0.1 %)	163.6	g/m ² mm	ok

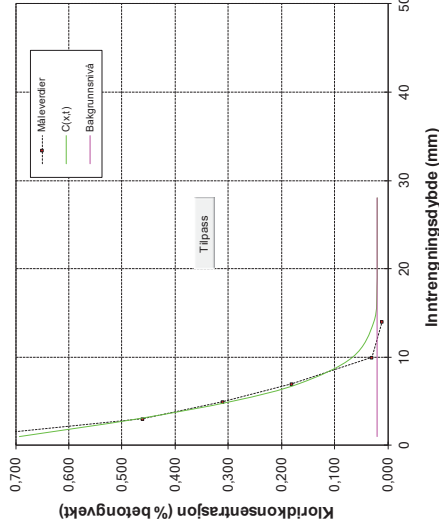
x	mølt	status
1	1.850	ok
3	0.710	ok
5	0.220	ok
7	0.050	ok
10	0.020	ok
14	0.020	ok
18	0.010	ok
22	0.010	ok
28	0.010	ok



Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil 14/6-T-1-ND.0.38

Eksponeert tid Bakgrunn	840 0.020	linær % betong	
C ⁰	0.812	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	4.61	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0.9840		ok
Inntrengning k(0.1 %)	98.9	g/m ² mm	ok

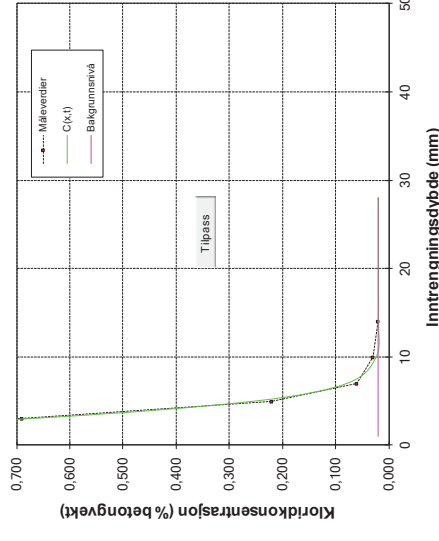
x	mølt	status
1	0.750	ok
3	0.460	ok
5	0.310	ok
7	0.180	ok
10	0.030	ok
14	0.010	ok
18		ok
22		ok
28		ok



Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil 19/4-T-1-Lyveg 0

Eksponeert tid Bakgrunn	840 0.020	linær % betong	
C ⁰	1.860	10 ⁻¹² m ² /s	ok
D	1.76	10 ⁻¹² m ² /s	ok
R ²	0.9982		ok
Inntrengning k(0.1 %)	171.5	g/m ² mm	ok

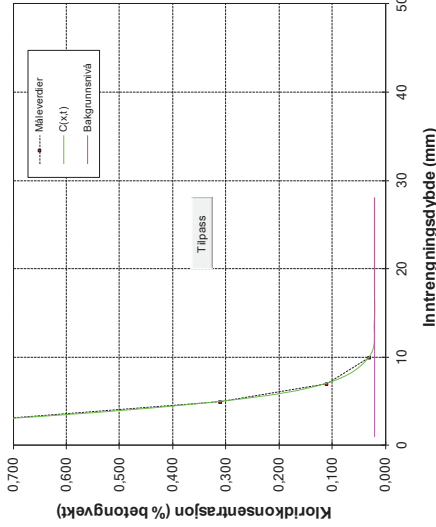
x	mølt	status
1	1.820	ok
3	0.220	ok
5	0.220	ok
7	0.060	ok
10	0.030	ok
14	0.020	ok
18		ok
22		ok
28		ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: DNV Profil: 21/8-B-3-Lappor 0.3

Exponenttid Bakgrunn	840 0,020	timer % betong
C_0	1,735	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
D	2,18	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	1,0000	
Inntrengning x (0,1 %)	173,0	g/m^2
	233,3	mm

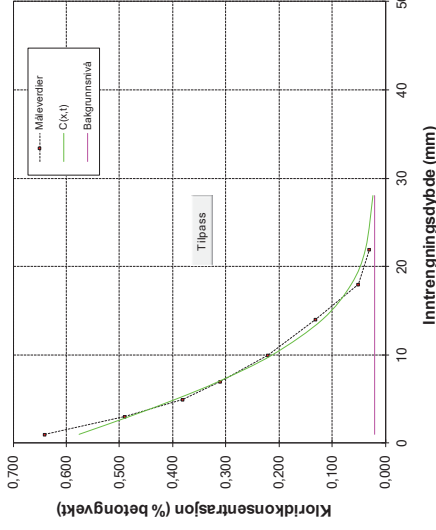
x	målt	status
1	1,750	ok
3	0,720	ok
5	0,310	ok
7	0,110	ok
10	0,030	ok
14		
18		
22		
28		



Beregning av C_0 og D Prosjekt: DNV Profil: 23/3-B-1-ND 0.45

Exponenttid Bakgrunn	840 0,020	timer % betong
C_0	0,624	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
D	16,57	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9982	
Inntrengning x (0,1 %)	133,6	g/m^2
	45,6	mm

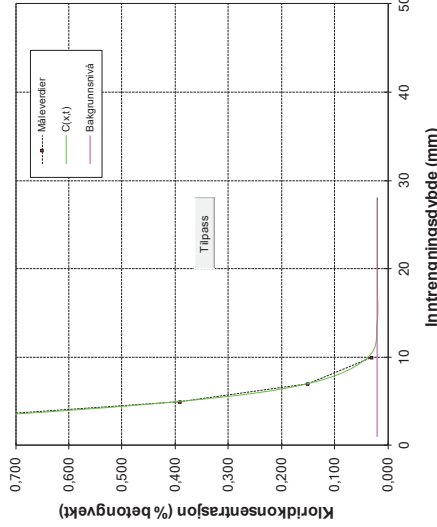
x	målt	status
1	0,640	ok
3	0,490	ok
5	0,380	ok
7	0,310	ok
10	0,220	ok
14	0,130	ok
18	0,050	ok
22	0,030	ok
28		



Beregning av C_0 og D Prosjekt: DNV Profil: 22/8-T-1-Lappor 0.3

Exponenttid Bakgrunn	840 0,020	timer % betong
C_0	1,934	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
D	2,43	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	1,0000	
Inntrengning x (0,1 %)	191,4	g/m^2
	232	mm

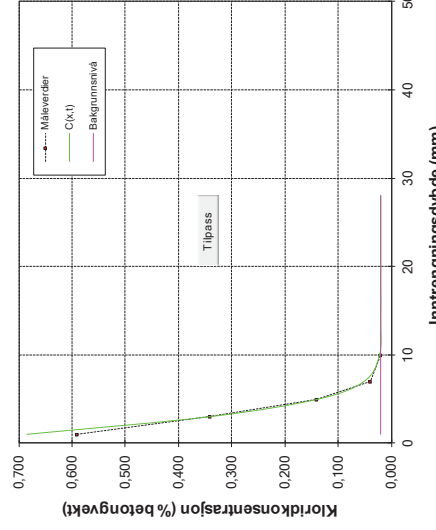
x	målt	status
1	1,960	ok
3	0,960	ok
5	0,390	ok
7	0,150	ok
10	0,030	ok
14		
18		
22		
28		



Beregning av C_0 og D Prosjekt: DNV Profil: 27/7-B-E-ND 0.33

Exponenttid Bakgrunn	840 0,020	timer % betong
C_0	0,890	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
D	1,84	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9993	
Inntrengning x (0,1 %)	57,6	g/m^2
	18,2	mm

x	målt	status
1	0,590	ok
3	0,340	ok
5	0,140	ok
7	0,040	ok
10	0,020	ok
14		
18		
22		
28		



Kapillær vannmetningsgrad, %

Dybde, mm	ND 0,38						Lyttag 0,33	Liapor 0,40 Si	ND 0,33
	2-B-2	2-T-2	6-B-3	6-T-2	8-B-3	7-B-4			
2,5	98,9	89,4	99,5	93,7	95,5	97,4	93,6	93,6	
7,5	99,9	90,0	101,3	95,7	91,4	93,6	93,3	93,3	
12,5	98,9	88,8	99,2	94,4	91,5	93,8	94,0	94,0	
17,5	98,1	89,0	98,5	92,9	89,7	93,9	93,9	93,9	
22,5	98,0	90,8	98,9	93,3		94,2	94,1	94,1	
27,5	97,9	89,6	99,2	92,2	92,4	93,6	95,7	95,7	
32,5	95,4	91,1	99,3	93,2		93,0	94,2	95,8	

Supporøsitet, %

Dybde, mm	ND 0,38						Lyttag 0,33	Liapor 0,40 Si	ND 0,33
	2-B-2	2-T-2	6-B-3	6-T-2	8-B-3	7-B-4			
2,5	11,3	10,7	11,7	10,3	22,6	21,1	9,8	9,5	
7,5	11,6	11,3	12,3	10,3	20,2	21,1	10,4	9,9	
12,5	11,8	11,4	11,8	10,6	19,7	21,0	10,3	9,2	
17,5	12,1	11,8	11,7	10,7	20,5	21,3	10,0	9,2	
22,5	11,9	11,1	11,7	10,2		21,6	10,3	9,9	
27,5	11,6	11,1	11,4	9,9	19,7	21,6	10,2	9,5	
32,5	12,0	10,9	11,4	10,1		21,7	10,0	9,3	
Middel	11,2						20,6	21,3	9,8
stdavvik	0,66						1,19	0,28	0,42

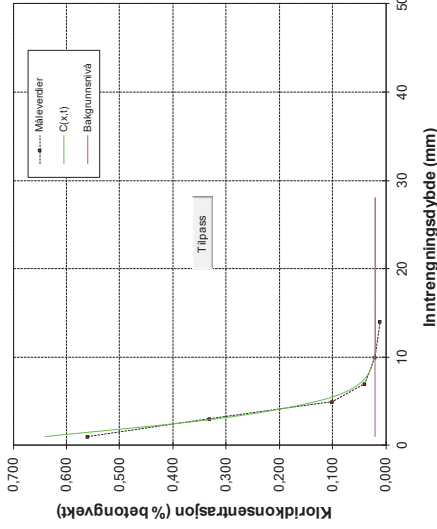
Makroporøsitet (luftinnhold), %

Dybde, mm	ND 0,38						Lyttag 0,33	Liapor 0,40 Si	ND 0,33
	2-B-2	2-T-2	6-B-3	6-T-2	8-B-3	7-B-4			
2,5	1,2	2,6	2,0	1,4	8,2	8,0	1,6	1,9	
7,5	1,1	2,4	1,9	1,5	9,8	7,3	1,7	1,7	
12,5	1,1	2,3	1,7	1,4	9,8	8,3	2,0	1,5	
17,5	1,3	2,6	1,6	1,4	9,7	6,7	2,1	1,5	
22,5	1,7	2,3	2,1	1,4		7,7	1,9	1,3	
27,5	1,3	2,2	1,9	1,5	9,9	7,9	2,1	1,4	
32,5	1,4	2,2	1,6	2,0		7,7	2,1	1,3	
Middel	1,8						9,5	7,7	1,7
stdavvik	0,45						0,72	0,50	0,29

Beregning av C₀ og D Prosjekt: DNV Profil: 29/7-T-2Nd 0.33

Eksposeertid	840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	1,84	10 ⁻⁶ m ² /s
D	0,9947	
R ²	53,8	g/m ²
Inntrengning Δ(C ₀ t ^{0,5})	17,8	mm

x	relt	status
1	0,560	ok
3	0,330	ok
5	0,100	ok
7	0,040	ok
10	0,020	ok
14	0,010	
18		
22		
28		

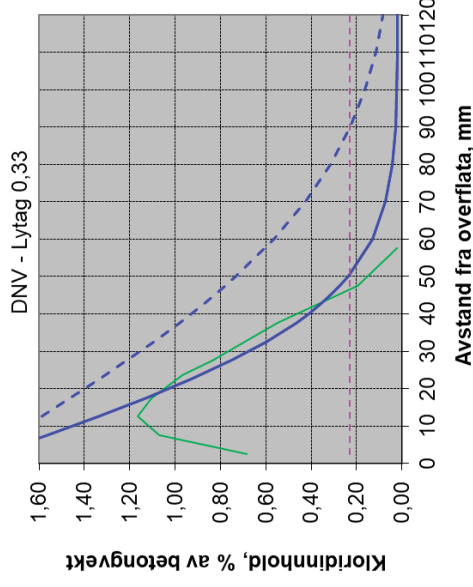
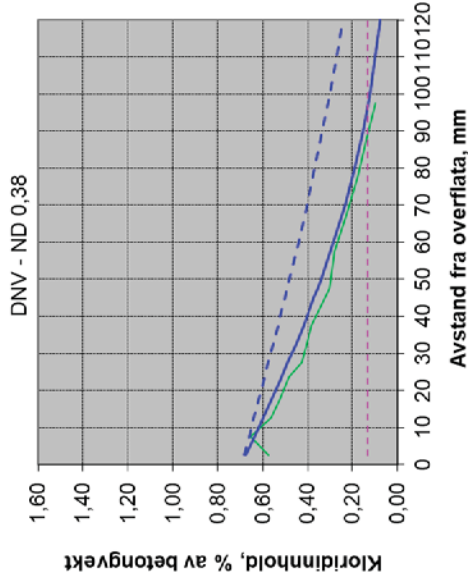


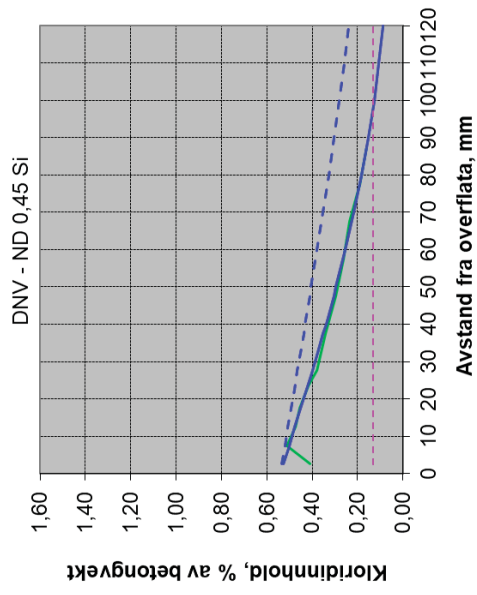
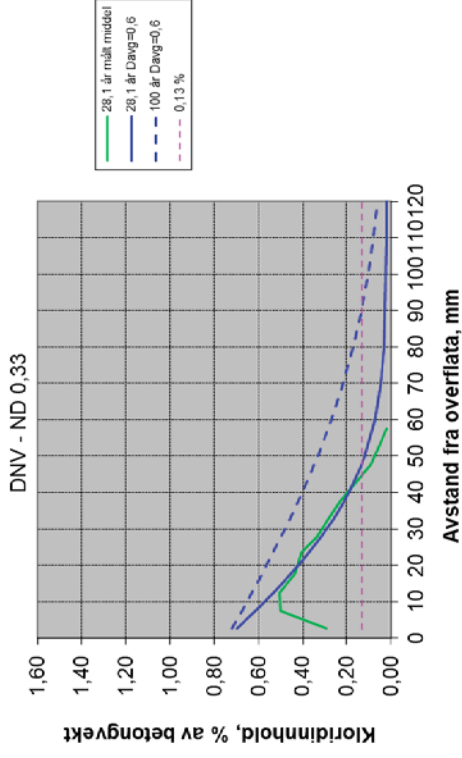
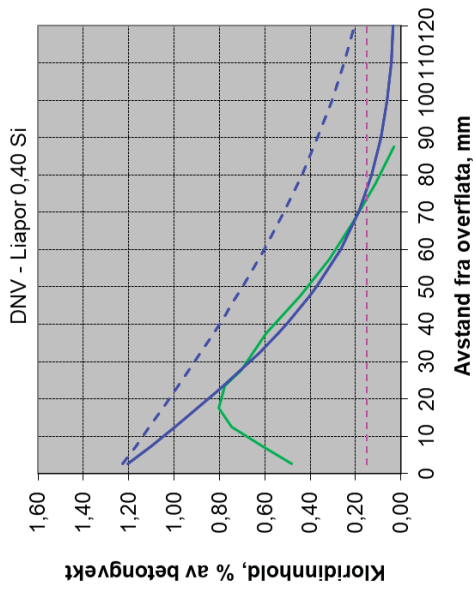
Sugnettet densitet, kg/m³

Dybde, mm	ND 0,38						ND 0,33		
	2-B-2	2-T-2	6-B-3	6-T-2	Lyttag 0,33 4-B-3	Liapor 0,40 Si 8-B-3	7-B-4	7-T-2	
2,5	2450	2425	2421	2458	2017	2015	2450	2461	
7,5	2445	2409	2409	2453	1996	2010	2448	2444	
12,5	2459	2411	2428	2438	1998	1989	2433	2474	
17,5	2438	2402	2430	2452	2000	2030	2437	2478	
22,5	2426	2430	2418	2461		2002	2452	2471	
27,5	2438	2426	2428	2456	1996	1996	2433	2470	
32,5	2429	2432	2442	2447		2007	2441	2485	
Middel	2434						2007	2455	
stdavvik	17						9	13	17

Faststoffdensitet, kg/m³

Dybde, mm	ND 0,38						ND 0,33		
	2-B-2	2-T-2	6-B-3	6-T-2	Lyttag 0,33 4-B-3	Liapor 0,40 Si 8-B-3	7-B-4	7-T-2	
2,5	2674	2672	2669	2668	2588	2543	2655	2672	
7,5	2668	2663	2664	2664	2564	2513	2666	2652	
12,5	2687	2664	2672	2650	2556	2516	2657	2667	
17,5	2673	2668	2668	2669	2572	2524	2659	2670	
22,5	2672	2677	2669	2667		2526	2676	2672	
27,5	2667	2671	2670	2659	2558	2524	2659	2665	
32,5	2665	2674	2676	2669		2534	2663	2676	
Middel	2669						2568	2665	
stdavvik	7						13	10	8







Statens vegvesen
Postboks 6706 Etterstad
0609 OSLO

Tlf: (+47) 22073000
firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen