

Intern rapport nr. 2196

Gimsøystraumen Bru

**Spesialinspeksjon 1992 -
kloridprofiler**

**Vurdering av kloridbelastning
og -diffusjonskoeffisient**

April 2001

Vegteknisk avdeling

Intern rapport nr. 2196

Gimsøystraumen Bru

Spesialinspeksjon 1992 – kloridprofiler

Vurdering av kloridbelastning og –diffusjonskoeffisient

Sammendrag

Ved spesialinspeksjonen i 1992 ble det tatt ut et stort antall (920) kloridprofiler. Deler av resultatene er presentert i rapporteringen fra OFU Gimsøystraumen bru, men en samlet behandling av alle kloridprofilene og samlet presentasjon av resultatene er ikke utført før nå.

Det ble tatt ut kloridprofiler fra både overbygningen (752) og pilarene (168). Profilene ble tatt ut konsekvent etter en på forhånd oppsatt plan fra et område som dekker omtrent halve brua. Antall prøver og det planmessige prøveuttaket gjør materialet unikt for statistisk behandling.

Resultatene viser at kloridbelastningen og -inntrengingen er mye større på le side enn på lo side. For overbygningen betyr dette at kloridinntrengingen er mindre på sørsida enn på nordsida og undersida. For pilarene er kloridinntrengingen mindre på sørsida enn på de andre sidene. Dette antas å skyldes at nedbør ”vasker” overflata på lo side, og at sjøsprøyt og turbulens gir ekstra kloridbelastning på undersida og le side. Kloridinntrengingen for overbygningen er særlig stor ved pilarene. Dette skyldes antakelig delvis at den vertikale betongoverflata er mye større ved pilarene, og at dette medfører økt turbulens.

Resultatene fra beregning av diffusjonskoeffisienter viser at diffusjonskoeffisienten for overbygningen er forskjellig fra diffusjonskoeffisienten for pilarene på grunn av forskjell i betongkvalitet for overbygning og pilarer. Det ikke er noen sammenheng mellom kloridbelastning og oppnådd diffusjonskoeffisient. Diffusjonskoeffisienten ser derfor ut til å ha en konstant verdi for en gitt betongsammensetning og alder, uavhengig av miljøbelastning.

Emneord: *betong
diffusjonskoeffisient
kloridbelastning
kloridinntrenging
variasjoner*

Kontor: *3530 – Betongkontoret*

Saksbehandler: *Ola Skjølvold*

/ olask

Dato: *April 2001*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Vegteknisk avdeling

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo

Telefon: 22 07 35 00 Telefax: 22 07 34 44

Innhold

1. INNLEDNING.....	2
2. SPESIALINSPEKSJON 1992	2
2.1. Prøvingsomfang	2
2.2. Overbygning	2
2.3. Pilarer.....	3
2.4. Kloridprofiler	3
3. UTFØRTE BEREGNINGER	4
3.1. Beregning av C_0 og D	4
3.2. Valg av eksponeringstid.....	5
3.3. Valg av verdi for opprinnelig kloridinnhold.....	5
3.4. CD-rom	6
4. OVERBYGNING (brukasse).....	7
4.1. Variasjoner i kloridbelastning (C_0)	7
4.2. Variasjoner i diffusjonskoeffisient (D)	10
5. PILARER (søyler)	13
6. VURDERING	15
6.1. Overbygning	15
6.2. Pilarer.....	15
6.3. Sammenligning med andre konstruksjoner.....	16
7. KONKLUSJON	17
8. REFERANSER	17

3 VEDLEGG + CD-ROM

1. INNLEDNING

I forbindelse med prosjektet OFU Gimsøystraumen bru, ble det ved spesialinspeksjon i 1992 utført en meget omfattende og systematisk kartlegging av bruas tilstand. Dette arbeidet er helt unikt på grunn av den mengde data av ulike slag som er samlet inn, og den systematikk som ble benyttet ved innsamlingen. Mye av disse dataene er tidligere omtalt i rapportene fra OFU Gimsøystraumen bru /1/, men en fullstendig gjennomgang av kloridprofilene er ikke utført før nå. Brua ble bygget i perioden 1979-1981, og konstruksjonen har derfor blitt eksponert i 11-13 år før prøveuttak.

2. SPESIALINSPEKSJON 1992

Følgende prøving ble utført av Ringtek AS /2/:

- 1 Uttak av støv for bestemmelse av kloridprofil
- 2 Måling av overdekning med covermeter
- 3 Opphugging; måling av overdekning og visuell vurdering av korrosjon
- 4 Potensialmålinger for armeringen
- 5 Måling av elektrisk motstand for overdekningssjiktet

I denne rapporten vil kun punkt 1 bli omtalt.

2.1. Prøvingsomfang

Det ble tatt ut prøver fra land (østsida) og ut til ca midt på brua, det vil si Felt 1-4 ("Felt 1" representerer overbygningen mellom akse 1 og 2, "Felt 2" overbygningen mellom akse 2 og 3 osv). For pilarene ble det tatt ut prøver fra Pilar 1-5 ("Pilar 1" står i akse 1, "Pilar 2" i akse 2 osv). Skisse av brua er vist i VEDLEGG 1.

Prøvene ble tatt ut etter en på forhånd oppsatt prøveplan, som beskrevet i pkt 2.2 og 2.3, uten å ta hensyn til betongens tilstand i hvert prøvepunkt. Dette, sammen med den store mengden data, gjør prøvematerialet unikt for statistisk behandling.

2.2. Overbygning

Hvert av feltene 1- 4 ble delt opp i vertikale snitt (rekker). Første snitt ("Rekke 1") ble tatt ut 1 m fra pilarveggen, mens 2. snitt ("Rekke 2") ble tatt ut 6 m fra pilarveggen. Påfølgende snitt ble tatt ut med 6 m avstand. Antall snitt ("Rekker") for Felt 1 – 4 var:

- Felt 1: 11 snitt
- Felt 2: 21 snitt
- Felt 3: 21 snitt
- Felt 4: 23 snitt

I hvert snitt ble det tatt ut 11 prøver rundt kassa som vist på figur i VEDLEGG 2. Der kassedyden er lav, ble prøve 3 og 9 sløyfet. Dette gir totalt 752 prøvesteder. Detaljer vedrørende prøveplassering er vist i /1,2/.



Figur 1 Østre del av Gimsøystraumen bru (akse 1 – 6)

2.3. Pilarer

Hver av pilarene 1 og 2 ble delt opp i to horisontale snitt henholdsvis 0,5 og 1,5 m over fundamentet (3,1 og 4,1 m over middelvannstand).

Hver av pilarene 3-5 ble delt opp i 3-6 horisontale snitt i innbyrdes vertikal avstand 4 m. Det første snittet ble plassert 1 m over fundamentet (3,6 m over middelvannstand). Antall snitt pr pilar var:

- Pilar 3: 3 snitt
- Pilar 4: 5 snitt
- Pilar 5: 6 snitt

For hvert snitt ble det tatt ut 10 prøver rundt pilaren som vist på figur i VEDLEGG 2. Dette gir totalt 168 prøvesteder. Detaljer vedr prøveplassering går fram av /1,2/.

2.4. Kloridprofiler

I hvert prøvepunkt ble det tatt ut støv fra 4 hull med 16 mm slagbor i følgende dybder

- pilarer: 0-15, 15-30, 30-50, 50-75 og 75-100 mm
- overbygning: 0-10, 10-20, 20-30, 30-50 og 50-75 mm

Alle støvprøver er analysert med hensyn på totalt innhold av Cl^- i % av betongvekt. Analysene ble utført med RCT, en relativt pålitelig og hurtig metode for bestemmelse av kloridinnhold. Det ble utført totalt 4600 kloridanalyser fordelt på 920 kloridprofiler systematisk fordelt over halve brua.

3. UTFØRTE BEREGNINGER

3.1. Beregning av C_0 og D

Det er foretatt beregning av “kloridparametrene”; teoretisk overflatekonsentrasjon (C_0) og diffusjonskoeffisient (D), der:

- C_0 beskriver den teoretiske konsentrasjonen av klorider (Cl^- i % av betongvekt) i overflatesjiktet. Denne konsentrasjonen vil teoretisk være i likevekt med omgivelsene, og dermed ett mål på kloridbelastningen eller klimapåkjeningen på stedet
- D beskriver hastigheten for kloridinntregningen. Hastigheten i m^2/s beregnes på grunnlag av målt kloridprofil og tida betongen har vært eksponert mot klorider

Beregning av diffusjonskoeffisient ut fra kloridprofiler utføres ved en tilnærmet løsning av Ficks 2 lov:

$$C(x) = C_0 - (C_0 - C_i) \operatorname{erf} [x/(2\sqrt{Dt})], \text{ der}$$

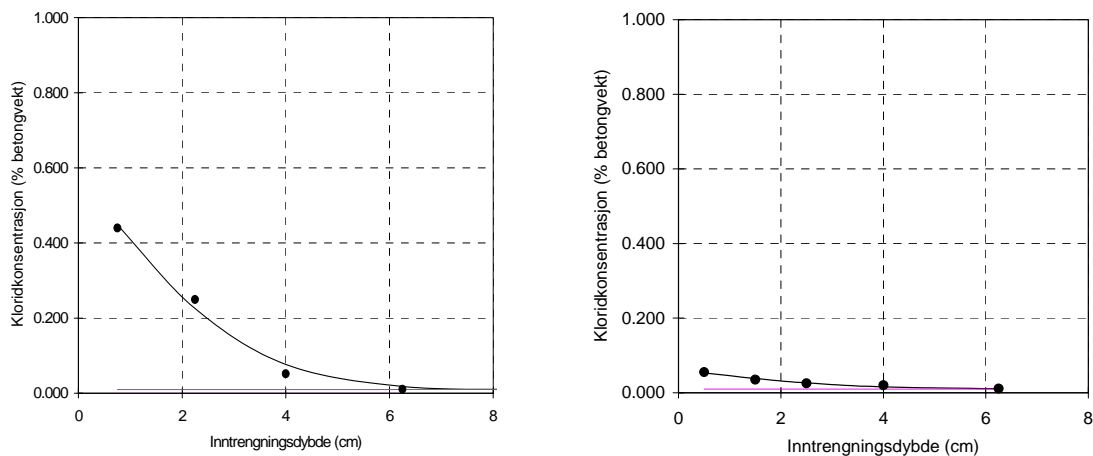
- $C(x)$ = betongens kloridinnhold i dybde x
- C_0 = teoretisk kloridinnhold i overflatesjiktet
- C_i = opprinnelig kloridinnhold i betongen
- x = sjikttybde
- D = diffusjonskoeffisient
- t = eksponeringstid

C_0 og D er bestemt ved kurvetilpassing med Excel (Cl-solv.xls, utgave 1998). Dette regnearket er utarbeidet ved SINTEF Bygg og miljøteknikk / NTNU Fakultet for Bygg og miljøteknikk av Sverre Smeplass.

Eksempel på regneark for beregning av diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon er vist i VEDLEGG 3. Det er ett regneark for hvert kloridprofil. For overbygningen er alle regneark fra samme side for hvert snitt samlet på ei Excelfil (se pkt 3.4). For pilarene er alle regneark for samme side for hver pilar samlet på ei Excelfil. Hvert regneark inneholder en tabell med

- målte verdier for kloridinnhold i % av betongvekt og tilhørende avstand fra overflata (x) i cm (kloridprofil)
- angivelse av status for hvert enkelt punkt i kloridprofilet (“ok” betyr at punktet er tatt med ved beregningen, punkter som ikke er merket “ok” er utelatt fra beregningen)
- valgt eksponeringstid i timer
- valgt bakgrunnsnivå (opprinnelig kloridinnhold) i % av betongvekt
- beregnet overflatekonsentrasjon (C_0) i % av betongvekt
- beregnet diffusjonskoeffisient (D) i $10^{-12} m^2/s$
- kvadratsumavvik (R^2) (OBS! ved en feil er formelen for beregning av kvadratsumavviket overskrevet med ”1,0000” for mange profiler)
- faktor ”k” som angir hvor langt inn en har et kloridinnhold tilsvarende 0,1 % av betongvekt etter 1 år (“k” gir ingen mening for profiler med liten inntrenging og er ikke relevant for svært mange av de profilene i denne rapporten)
- total mengde inntrengte klorider angitt i g/m^2 betongoverflate
- diagram som viser målte verdier og profil beregnet ved kurvetilpassing

To eksempler på kloridprofiler er vist i Figur 3. I figurene ser en både målte verdier (selve kloridprofilen), og kurven for den matematiske tilpassingen av D ved det aktuelle tidspunktet.



Figur 3 To forskjellige kloridprofiler (til venstre $C_0 = 0,6$ og til høyre $C_0 = 0,06$ % av betongvekt) som representerer forskjellig kloridbelastning på samme betong. Beregnet diffusjonskoeffisient er $0,9 \cdot 10^{-12}$ til venstre og $0,8 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ til høyre.

3.2. Valg av eksponeringstid

Eksponeringstida varierer noe for pilarer og overbygning. Da nøyaktig eksponeringstid for de ulike deler ikke er kjent, ble det valgt å benytte samme eksponeringstid for alle beregninger (knappt 12 år). For pilarene kan feilen i eksponeringstid være såpass stor (1 år) at det kan gi rundt 5 % avvik i beregnet diffusjonskoeffisient. I og med at overbygningen og pilarene er ikke støpt av samme betong, og resultatene er behandlet hver for seg, har denne feilen svært liten betydning.

Tidsspranget innad i seriene med prøver fra henholdsvis overbygning og pilarer er så lite at det ikke er tillagt noen betydning.

3.3. Valg av verdi for opprinnelig kloridinnhold

Det ble foretatt beregning av samtlige kloridprofiler med opprinnelig kloridinnhold satt til fast verdi (0,01 % av betongvekt). Dette er en verdi som vanligvis benyttes for opprinnelig kloridinnhold for betong der det ikke er blandet inn klorider ved blanding. Ved gjennomgang av beregningene viste det seg at partier av brua tydelig hadde høyere opprinnelig kloridinnhold enn den verdi (0,01 % av betongvekt) som var benyttet.

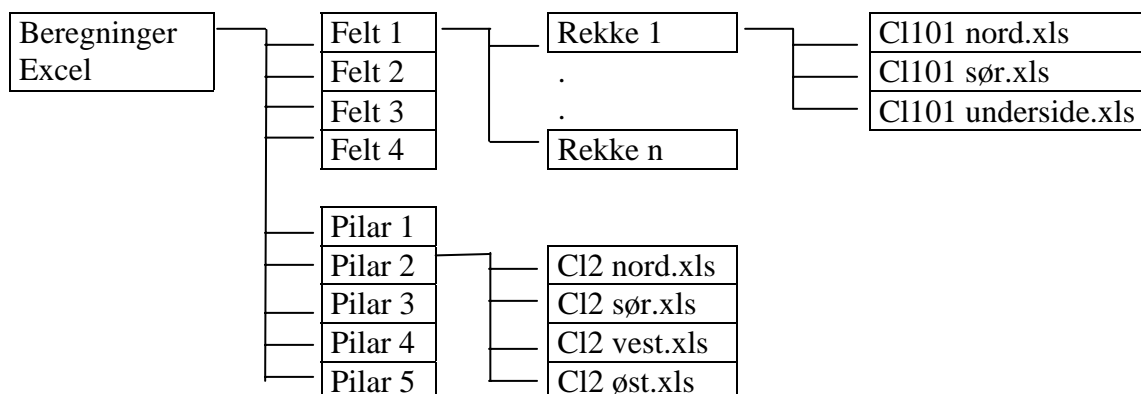
Gjennomgang av dokumentasjonen for brua viste at det ble benyttet sjøsand ved produksjon av betongen. Den anvendte sjøsand var av *svært* varierende kvalitet, der blant annet finstoff- og slaminnhold varierte innen vide grenser. Det er derfor overveiende sannsynlig at også kloridinnholdet i sanda har variert, selv om det ikke er funnet resultater fra prøvetaking under byggeperioden som påviser dette.

Det ble derfor foretatt en gjennomgang av alle beregninger, der opprinnelig kloridinnhold ble stipulert ut fra målt kloridinnhold på det nivå der profilet flatet helt ut. Dette førte til at opprinnelig kloridinnhold ble variert fra 0,01 – 0,04 % av betongvekt. Dette betyr forøvrig at opprinnelig kloridinnhold for deler av brua ligger opp mot 0,3 % av sementvekt. Dette er ikke langt under den verdi som vanligvis benyttes som grenseverdi (0,4 % av sementvekt) for *mulig* armeringskorrosjon for jern innstøpt i betong.

Alle kloridprofiler ble vurdert på nytt, og alle beregninger ble foretatt med sannsynlig verdi for opprinnelig kloridinnhold. Denne justeringen av forutsetningene for beregningene førte til betydelig mindre spredning. Resultatene fra beregningen med variert opprinnelig kloridinnhold er lagt til grunn for de sammenligninger og vurderinger som er foretatt i denne rapporten.

3.4. CD-rom

Alle Excel-filene fra siste beregningsrunde (med varierende verdi for opprinnelig kloridinnhold) er lagret på vedlagte CD-rom. Katalogstrukturen er bygd opp på følgende måte:



Under katalog "Felt 1" er det 9 underkataloger ("Rekke 1" - "Rekke 9"), mens det under hver av katalogene "Felt 2" – "Felt 4" er 21/23 underkataloger ("Rekke 1" – "Rekke 21/23"). Under hver av disse underkatalogene er det lagret 3 stk Excelfiler, der prøvene fra hhv nord-, sør- og undersida befinner seg. Eksempelvis er det under "Cl101 nord.xls" lagret verdiene for alle prøvepunktene på nordsida av Felt 1, Rekke 1.

Under hver av katalogene "Pilar 2" – "Pilar 5" er det lagret 4 stk Excelfiler, ett for hver himmelretning. Eksempelvis inneholder fila "Cl2 nord" alle prøvepunktene på nordsida av Pilar 2. For "Pilar 1" er det kun uttatt prøver på nord- og sørsida.

På grunn av problemer med feilfunksjonen i Excel (denne oversettes ikke automatisk) finnes det på CD-rom'en to utgaver av alle regneark. De som har norsk versjon av Excel må benytte filer under katalogen merket "Beregning Norsk Excel", og de som benytter engelsk versjon av Excel må benytte katalog merket "Beregning Engelsk Excel". Den eneste forskjellen på filene i de to katalogene er at filene er tilpasset ulike utgaver av Excel.

Videre er alle rådata fra Ringtek AS (kloridprofiler) lagret under egen katalog på CD-rom'en.

4. OVERBYGNING (BRUKASSE)

4.1. Variasjoner i kloridbelastning (C_0)

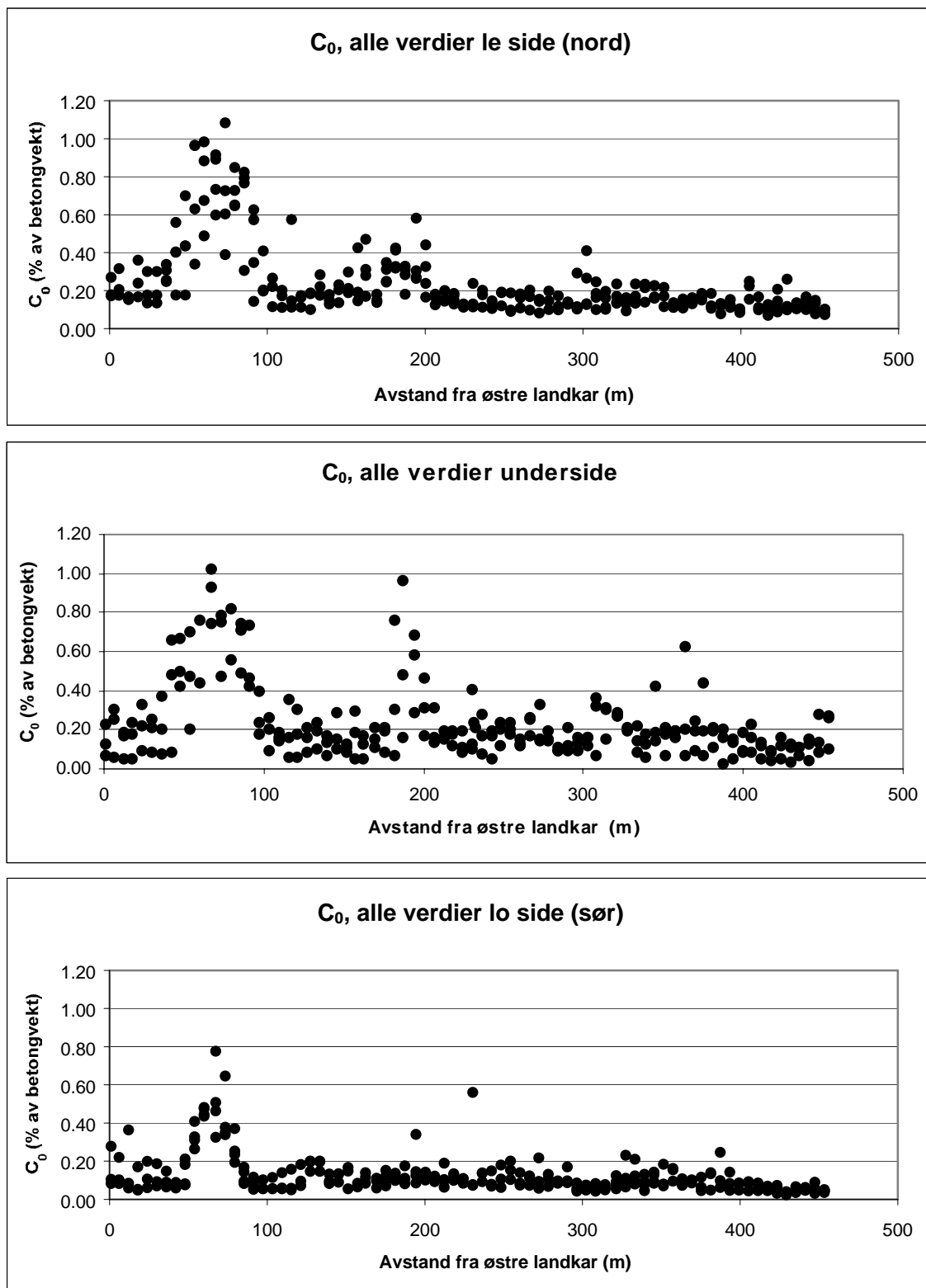
På grunnlag av eksponeringstida og målt kloridinnhold i ulike dybder beregnes diffusjonskoeffisienten som vist i VEDLEGG 3. Den tilpassede kurvens skjæringspunkt med y-aksen betegnes som C_0 (dvs beregnet kloridinnhold ved $x = 0$) eller teoretisk overflatekonsentrasjon av klorider på stedet. Overflatekonsentrasjonen, som er et uttrykk for kloridbelastningen, vil variere innen vide grenser for en konstruksjon. Dette har ikke vært dokumentert systematisk før Gimsøystraumen-prosjektet. At belastningen varierer så mye kaster nytt lys over både dimensjonering, levetidsbetraktninger og ikke minst prøveuttak for dokumentasjon av kloridinntrenging for en konstruksjon.

I Figur 4 er kloridbelastningen (beregnet C_0) langs brua fra østre landkar framstilt grafisk for både brukassas nordside, underside og sørside. Som det går fram av figuren er det store variasjoner i belastningen. Belastningen på nordsida (le side) og undersida er mye større enn belastningen på sørsida (lo side). Dette skyldes i hovedsak at dominerende vindretning er omtrent normalt på brua med noe mer og sterkere vind fra sør enn fra nord. Videre gir vind fra sør/sør-vest mest nedbør. Det antas at mer turbulens (sjøvann) på nordsida kombinert med mer vasking (nedbør) av sørsida er årsaken til den store forskjellen på le og lo side.

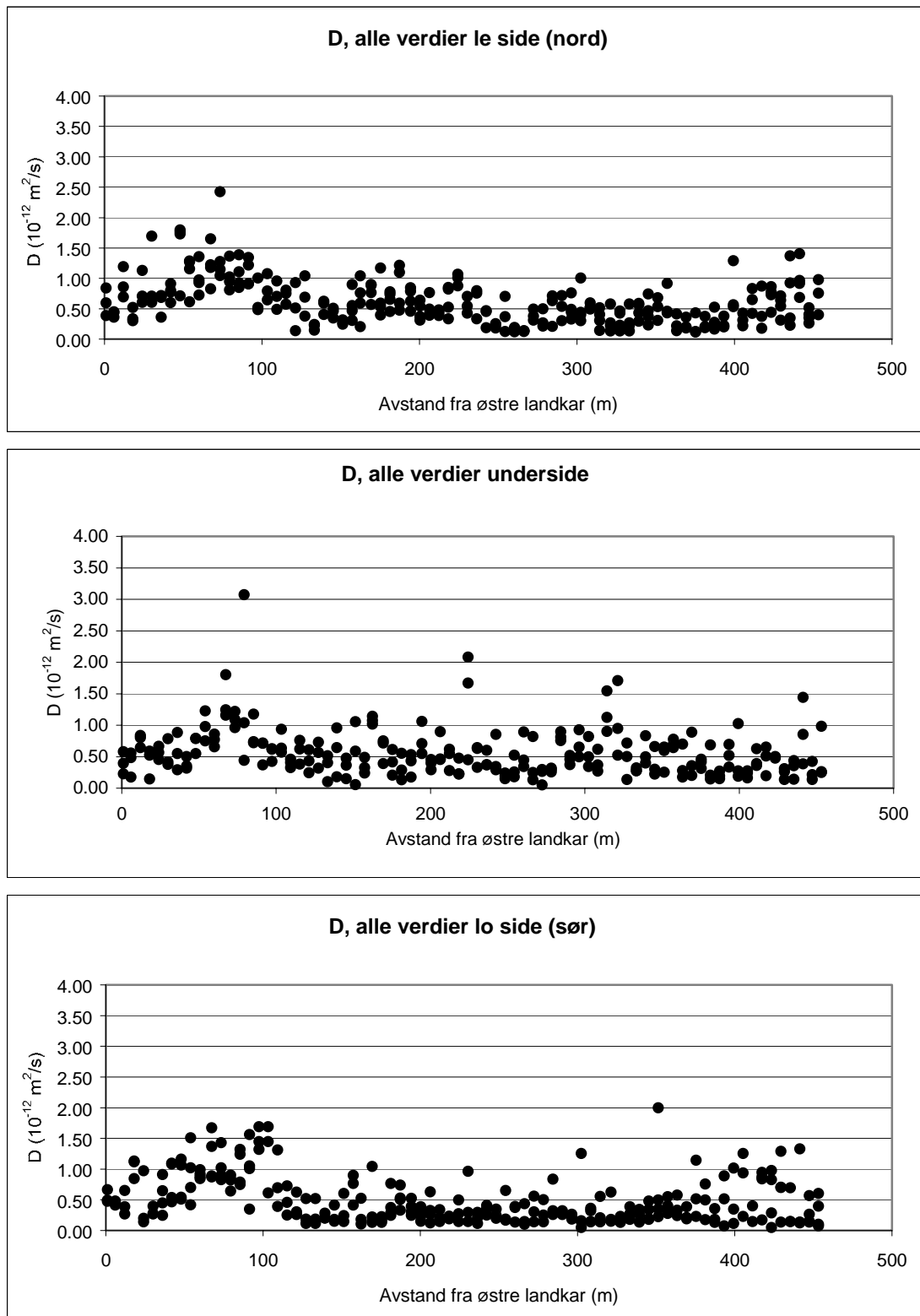
Videre er det en tydelig økning av belastningen ved Pilar 2, 3 og 4 (hhv ca 65, 191 og 317 m fra Pilar 1 / landkar). Dette skyldes både mer turbulente forhold rundt pilaren (delvis på grunn av at kassa har større vertikal betongoverflate ved pilarene), og at avstanden fra kassa til sjøen er mindre ved pilarene (særlig ved Pilar 2).

Overflatekonsentrasjonen på lo side (sør) er jevnt over svært lav, i og med at nesten alle profiler har en overflatekonsentrasjon mindre enn 0,2 %, og halvparten av profilene har en overflatekonsentrasjon mindre enn 0,1 % av betongvekt (tilsvarende 0,64 % av sementvekt). Profiler med så liten kloridinntrenging er dårlig egnet til beregning av diffusjonskoeffisient, fordi målenøyaktigheten for selve kloridanalysen ved så lave kloridinnhold ikke er bedre enn i *beste fall* 0,01 % av betongvekt. I tillegg kommer usikkerheten i selve prøveuttaket og det faktum at betong er et komposittmateriale der delmaterialene er mer eller mindre jevnt fordelt.

Med få punkter i profilet vil derfor usikkerheten i beregningen bli stor (flere punkter i profilet ville ha redusert betydningen av hvert enkelt punkt). Endring av opprinnelig kloridinnhold i betongen og ett par punkter i profilet tilsvarende 0,01 % kan gi en endring av diffusjonskoeffisienten med en faktor 10 eller mer.



Figur 4 Beregnet overflatekonsentrasjon langs brukassa fra østre landkar til omtrent midt på brua



Figur 5 Beregnet diffusjonskoeffisient langs brukasse fra østre landkar til omtrent midt på brua

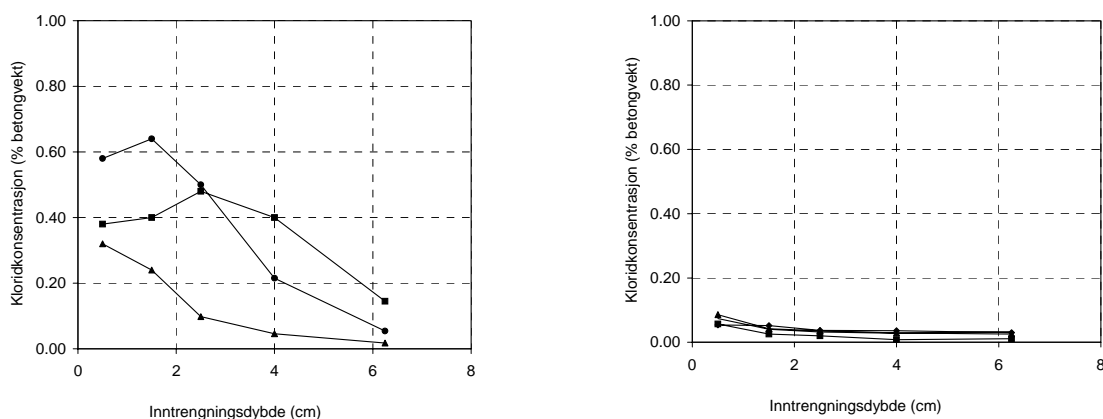
4.2. Variasjoner i diffusjonskoeffisient (D)

Beregnet diffusjonskoeffisient for alle tre sider er framstilt grafisk i Figur 5. Som det går fram av figuren er diffusjonskoeffisienten rimelig konstant. Bortsett fra noen slengere kan det dog observeres ett parti med noe høyere verdier rundt Pilar 2, og en noe større spredning på lo side (sør).

Ved Pilar 2 er kloridinntrengingen og overflatekonsentrasjonen spesielt høy for alle sider. Dette skyldes sannsynligvis spesielt høy kloridbelastning, særlig på grunn av liten avstand fra vannflata og ekstra turbulens i området rundt pilaren. Kloridprofilene for dette partiet er, i tillegg til høyt kloridnivå, preget av lite ideell form som vanskelig kan tilpasses et teoretisk profil. Dette kan skyldes utvasking av klorider i det ytre sjiktet, eller andre uregelmessigheter. Ved beregningen av D må det utelates både ett og to punkter lengst ut mot overflata, slik at D i verste fall er beregnet ut fra to eller tre punkter. Dette gjør beregningen av D svært usikker.

En stor del av profilene, særlig på lo side (sør), har svært liten kloridinntrenging. Også slike profiler er lite egnet til beregning av diffusjonskoeffisient fordi usikkerheten i selve kloridanalysene får så stor betydning når de målte verdiene er små.

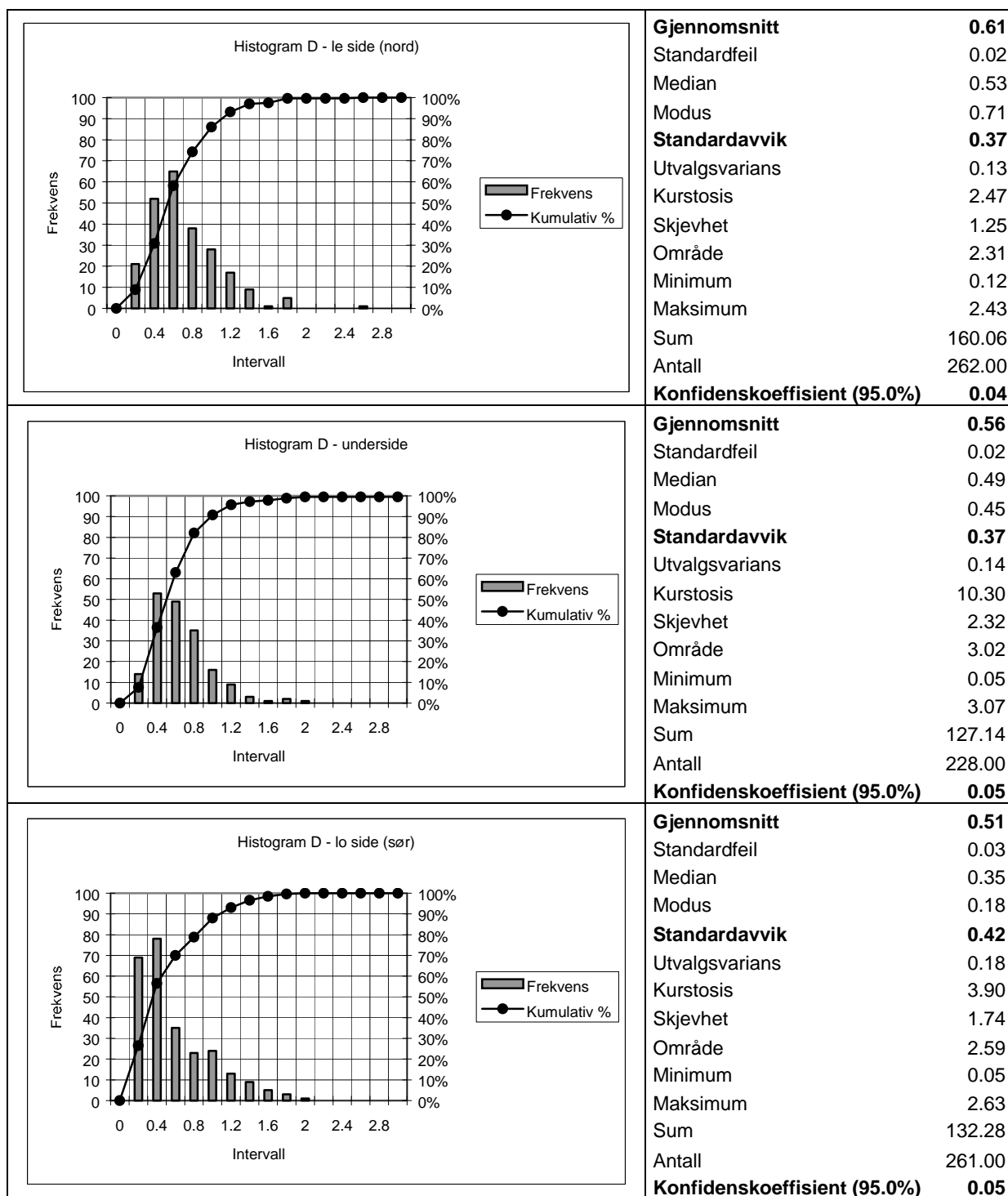
Eksempler på kloridprofiler med mye og lite kloridinntrenging som er dårlig egnet for beregning av diffusjonskoeffisient er vist i Figur 6.



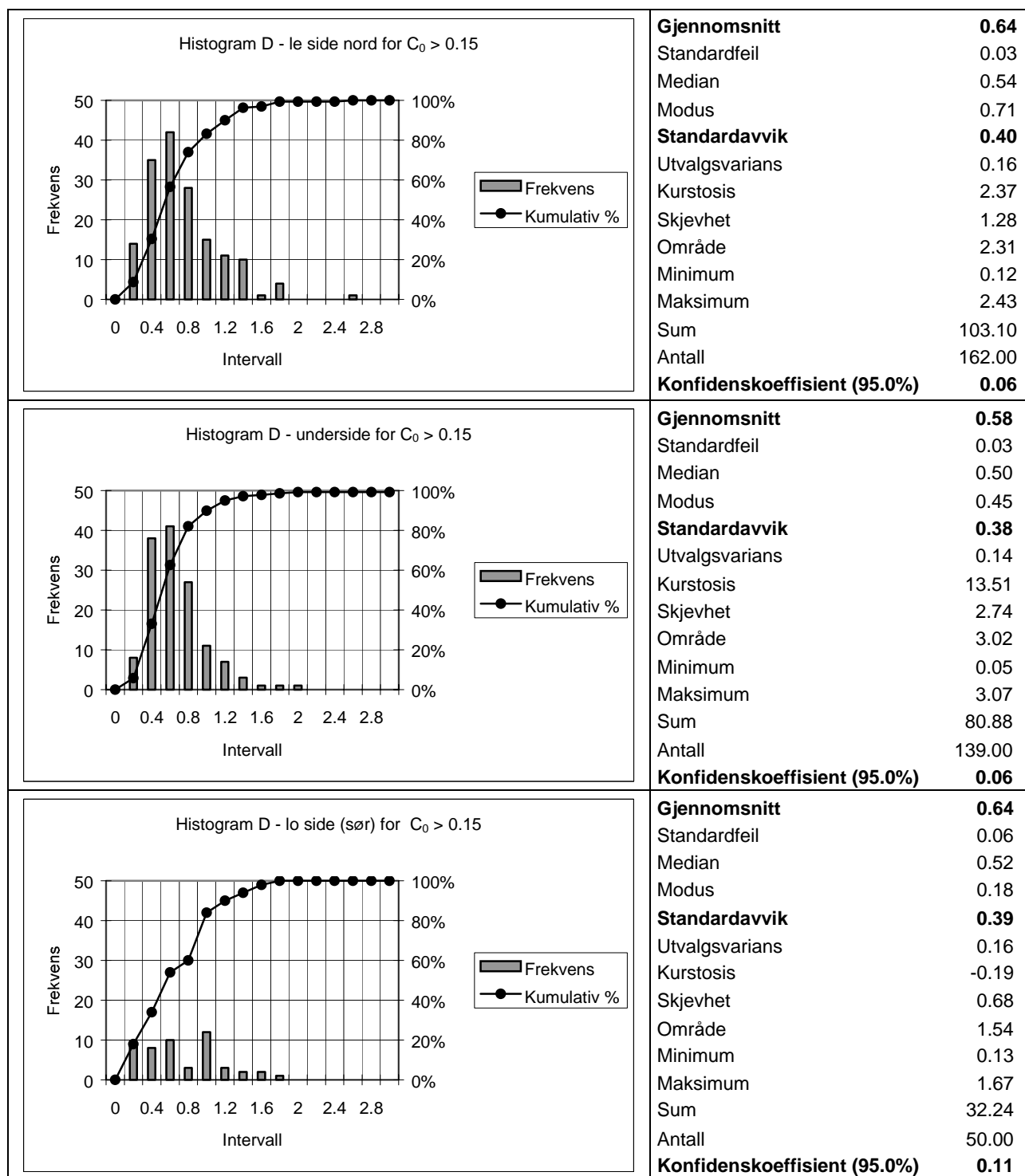
Figur 6 Eksempler på kloridprofiler som er dårlig egnet for beregning av D. Til venstre profiler tatt ut nær Pilar 2. Figuren til høyre viser profiler tatt ut fra lo sida (sør) av kassa omtrent midt i Felt 2.

Det er foretatt beregning av midlere diffusjonskoeffisient, standardavvik og variasjonskoeffisient (standardavvik i % av middelerverdi) for alle sider av brukassa. Ved beregning av middelerverdi er også verdier som er beregnet ut fra ugunstige profiler tatt med (kun 1 ekstrem verdi fra sørsida er utelatt). Resultatene er gjengitt i Tabell 1.

Histogram som viser fordelingen av beregnede diffusjonskoeffisienter er vist i Figur 7a. Her er også gjengitt resultatene fra statistisk behandling (deskriptiv statistikk i Excel) av tallmaterialet.



Figur 7a Fordeling (histogram) og statistikk for beregnede diffusjonskoeffisienter (D) for le, under- og lo side (alle verdier)



Figur 7b Fordeling (histogram) og statistikk for beregnede diffusjonskoeffisienter (D) for le, under- og lo side (kun verdier med $C_0 > 0.15$)

Som nevnt under pkt 4.1 gir profiler med liten kloridinntrenging svært usikker beregning av diffusjonskoeffisienter. Det er derfor fortatt en siling av resultatene der alle profiler med beregnet overflatespenning lik eller mindre enn 0,15 % er fjernet. Histogram og deskriptiv statistikk etter at alle profiler med beregnet overflatekonsentrasjon mindre enn 0,15 % er fjernet, er vist i Figur 7b.

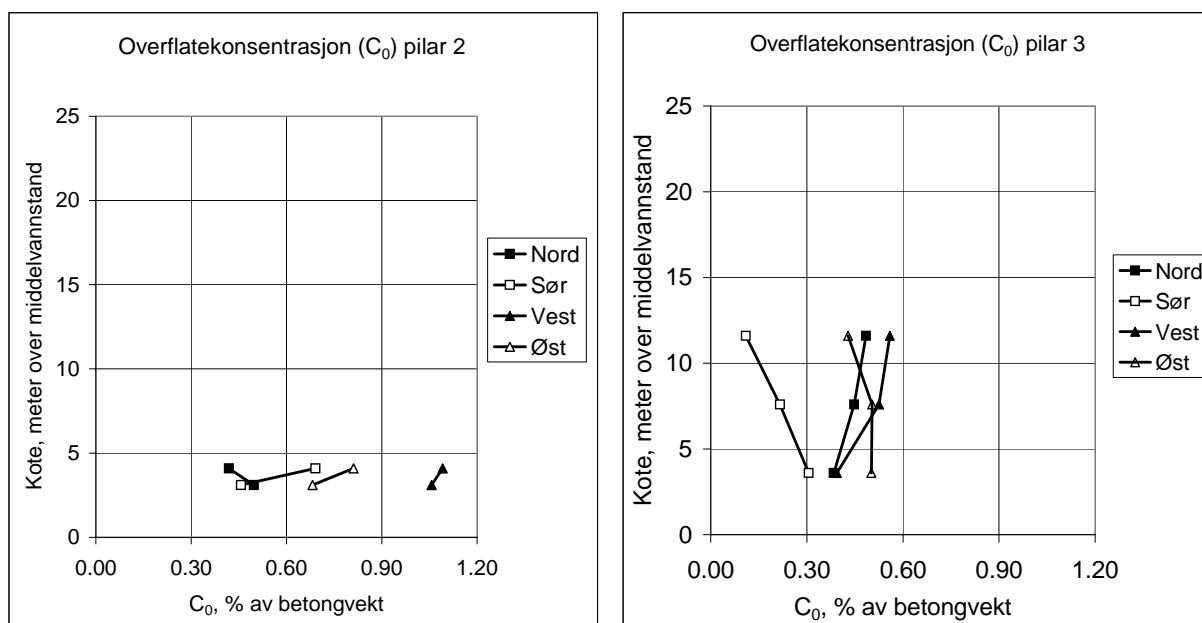
Tabell 1 Midlere overflatekonsentrasjon og diffusjonskoeffisient etter 12 år (alle verdier)

Kloridprofiler fra		Le side	Underside	Lo side
Antall		262	228	261
Overflatekonsentrasjon, C_0 , % av betongvekt	Middel	0,24	0,24	0,12
	Standardavvik	0,19	0,21	0,10
	Var.koeffisient	79	88	83
Diffusjonskoeffisient, D , 10^{-12} m ² /s	Middel	0,6	0,6	0,5
	Standardavvik	0,37	0,37	0,42
	Var.koeffisient	59	64	82

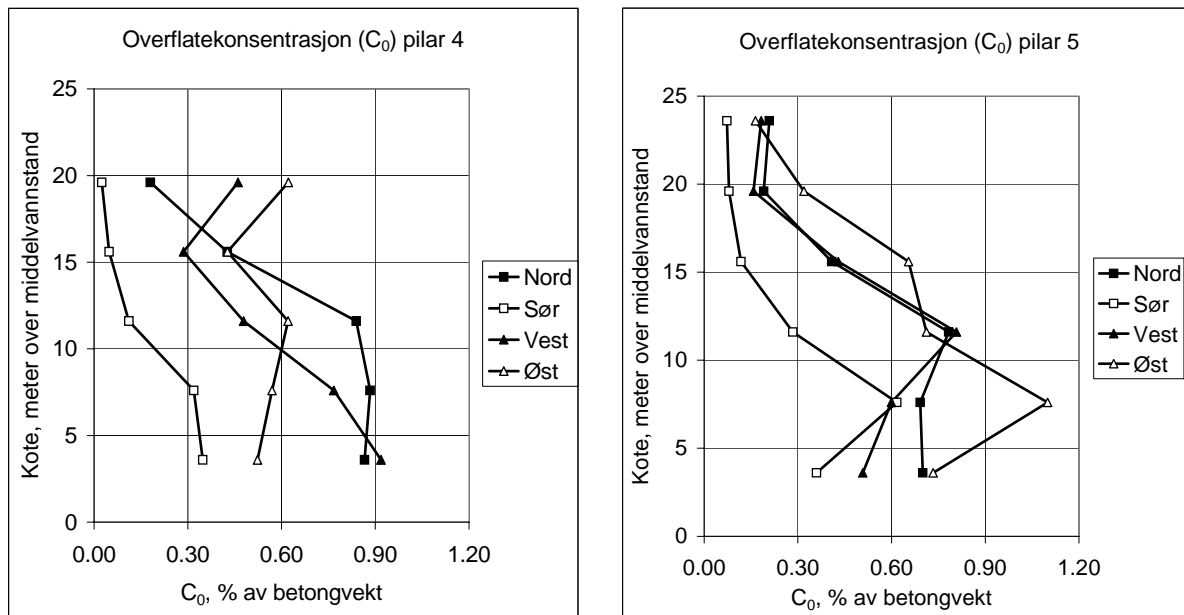
5. PILARER (SØYLER)

For pilarene ble det tatt ut kloridprofiler fra alle sider og i ulike høyder (fra 3,1 opp til maks 23,6 m - begrenset av pilarenes høyde - over middelvannstand). Beregnet overflatekonsentrasjon for Pilar 2 – 5 er vist i Figur 8 og 9, mens beregnet diffusjonskoeffisient for alle pilarer samlet er vist i Figur 10. For Pilar 1/landkar er det få punkter. Resultatene avviker såpass mye at disse punktene er utelatt ved vurdering av pilarene.

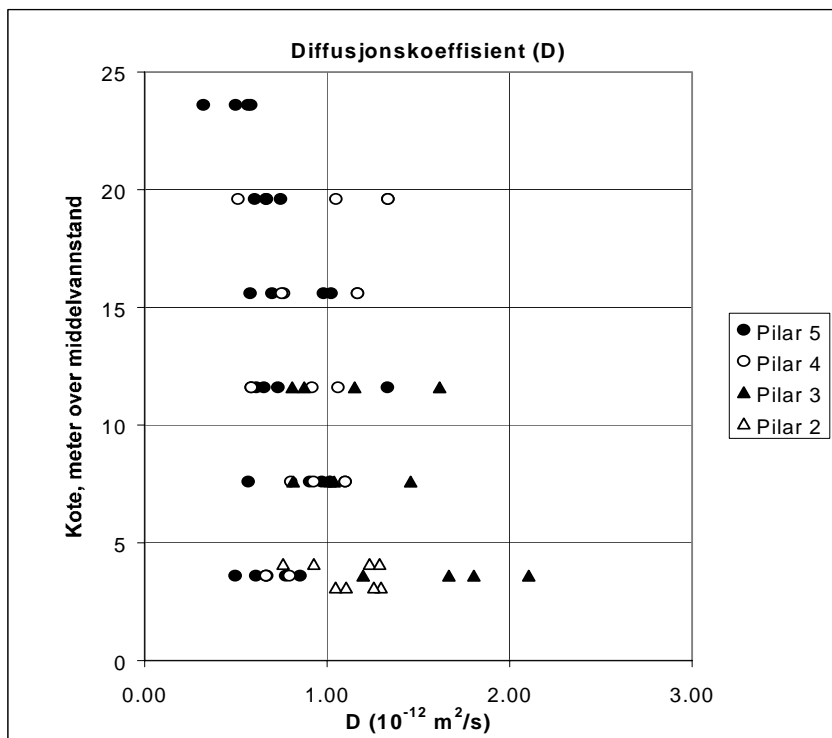
Middelverdier og spredning for pilarene er oppsummert i Tabell 2.



Figur 8 Beregnet overflatekonsentrasjon for Pilar 2 og 3



Figur 9 Beregnet overflatekonsentrasjon for Pilar 4 og 5



Figur 10 Beregnet diffusjonskoeffisient for Pilar 2-5

Tabell 2 Overflatekonsentrasjon og diffusjonskoeffisient for Pilar 2-5

Side		Nord (le)	Vest	Sør (lo)	Øst
Antall prøver		32	48	32	48
Overflatekonsentrasjon, C ₀ , % av betongvekt	Middel	0,52	0,58	0,26	0,59
	Std.avvik	0,27	0,37	0,22	0,30
	Var.koeffisient	52	64	85	51
Diffusjonskoeffisient, D, 10 ⁻¹² m ² /s	Middel	0,9	0,9	0,9	0,9
	Std.avvik	0,38	0,44	0,42	0,42
	Var.koeffisient	40	50	46	45

6. VURDERING

De oppnådde diffusjonskoeffisienter ligger på et nivå som må anses som normalt for betong av fasthetsklasse C35-C40 og eksponeringstid 10-12 år. Spredningen i resultatene er betydelig, men ikke større enn det en kan forvente når en tar i betraktning lokale materialvariasjoner og usikkerhet i prøveuttak og analyse.

6.1. Overbygning

Som det går fram av Figur 7a er det svært liten forskjell på undersiden og le side av brukassa, mens lo side skiller seg ut med en litt annen fordeling av de beregnede verdiene (større dominans av diffusjonskoeffisienter i området $< 0,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$). Forskjellen på oppnådde middelveier (0,51-0,61 $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$) og standardavvik (0,37-0,42 $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$) er imidlertid så liten at det ikke kan sies å være forskjell på diffusjonskoeffisienter for lo og le side, til tross for at kloridbelastningen (beregnet overflatekonsentrasjon) er helt forskjellig for de to sidene.

Fjerning av verdier beregnet ut fra de mest usikre profilene (Figur 7b) har medført at både middelveier og standardavvik har blitt nesten helt identiske. Antall måleverdier er imidlertid blitt sterkt redusert på lo side, og fordelingen har fjernet seg fra klassisk normalfordeling.

Tallmaterialet kunne vært vurdert ut fra andre fordelingsfunksjoner, eksempelvis log-normalfordeling. Dette er ikke utført her, men slik behandling av tallmaterialet er utført i /4/.

6.2. Pilarer

Som for overbygningen er overflatekonsentrasjonen (kloridbelastningen) for pilarene også mindre på lo side (sør) enn på de øvrige sidene. Det er en tendens til at belastningen er størst et stykke opp på pilarene (høyere overflatekonsentrasjon 7,6 m over middel vannstand enn 3,6 m over middel vannstand).

Det ble benyttet sjøsand av svært varierende kvalitet i betongen. For Pilar 3 er det generelt ”målt” høyere opprinnelig kloridinnhold (kloridprofilene flater ut på et høyere nivå) enn tilfellet er for de øvrige pilarene. Sanda som ble levert varierte svært med hensyn på slam- og finstoffinnhold, og det er sannsynlig at det er en sammenheng mellom høyt kloridinnhold og høyt

slam/finstoffinnhold. Det er derfor ikke unaturlig å anta at det av denne grunn kan ha vært problemer med betongproduksjonen (vannbehovet) ved støping av Pilar 3. En hypotese er således at de avvikende verdier for D som ble målt for alle himmelretninger for nedre del av Pilar 3 (se Figur 10), rett og slett skyldes dårligere betongkvalitet.

Bortsett fra de omtalte verdiene som ble oppnådd for nedre del av Pilar 3, er diffusjonskoeffisienten en rimelig konstant verdi også for pilarene (se Figur 10 og Tabell 2). Som nevnt i pkt 5 avviker (lave verdier) resultatene fra Pilar 1/landkar fra de øvrige pilarene, og disse verdiene er utelatt ved vurdering av pilarer. De avvikende resultatene kan skyldes at det er en annen betongkvalitet i landkaret.

6.3. Sammenligning med andre konstruksjoner

I årenes løp er det tatt ut mengder av kloridprofiler i forbindelse med hoved- og spesialinspeksjoner for kystbruer /3/. En del av disse dataene er sammenstilt i Tabell 3.

Tabell 3 Midlere overflatekonsentrasjon og diffusjonskoeffisient for kystbruer

Konstruksjon	Alder	Antall verdier	C ₀ , % av betongvekt			D, 10 ⁻¹² m ² /s		
			Middel	Std. avvik	Var. koeff	Middel	Std. avvik	Var. koeff
Hadsel Bru	13	101	0,60	0,22	37	2,85	1,50	53
Stokksund Bru (1992)	16	68	0,37	0,20	54	1,46	0,95	65
Stokksund Bru (1993)	17	45	0,19	0,16	84	0,97	0,67	69
Ulvsundet Bru	19	42	0,14	0,07	50	0,86	0,56	65
Nore Straumsundet Bru	16	37	0,24	0,19	79	0,79	0,56	71
Søre Straumsundet Bru	20	26	0,19	0,13	68	0,55	0,39	71
Herøy Bru	16	63	0,26	0,15	58	1,22	0,79	65
Torsetsund Bru	16	28	0,31	0,11	35	2,19	1,34	61

Verdiene i Tabell 3 kommer fra inspeksjoner utført av ulike firma/personer og med ulik praksis for prøveuttak og kloridanalyse. Diffusjonskoeffisientene er også beregnet av flere personer. Allikevel er det interessant å merke seg at det oppnås omtrent samme spredning i diffusjonskoeffisient for alle bruer i Tabell 3 (variasjonskoeffisient rundt 65 %). Spredningen ligger på samme nivå som det som ble oppnådd for overbygningen ved spesialinspeksjonen på Gimsøystraumen (Tabell 1 og 2), til tross for at dette i utgangspunktet må anses som data av "høyere kvalitet" enn dataene fra de øvrige bruene (Tabell 3).

Spredningen i overflatekonsentrasjon må tillegges mindre vekt, da det i denne spredningen inngår at prøvene er tatt ut fra betong som er eksponert i ulik høyde over havnivå og vendt mot forskjellige himmelretninger. Det er imidlertid verdt å merke seg at gjennomsnittlig overflatekonsentrasjon på Gimsøystraumen er dobbelt så stor på le side og undersida som det den er på lo side. Spredningen i % (variasjonskoeffisienten) er imidlertid like stor for alle sider.

7. KONKLUSJON

Kloridbelastningen (beregnet overflatekonsentrasjon) varierer svært mye avhengig av le og lo side, høyde over middelvannstand og lokal turbulens (mikroklima). Denne variasjonen er mye større enn det en var klar over før denne undersøkelsen ble gjennomført.

Diffusjonskoeffisienten for klorider ser ut til å være en noenlunde konstant verdi for en konstruksjon ved gitt betongsammensetning og alder, uavhengig av miljøbelastning. Videre ser diffusjonskoeffisienten ut til å være en noe mer robust parameter med hensyn på prøveuttak og prøving enn det som tidligere er antatt.

8. REFERANSER

1. Kompen R. m fl: "Publikasjon 85. OFU Gimsøystraumen bru – Sluttrapport. Klimapåkjønning og tilstandsvurdering" Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Oslo 1998
2. Østvik, J.M. og Normann, D. "Rapport nr 9301, Bru nr 1837 GIMSØYSTRÅUMEN BRU. Prøvetaking 1992", Narvik 1993
3. Østmoen T.: "Bestandige betongkonstruksjoner, Rapport 2.1, Erfaringer fra bruer", Oslo 1999
4. Leira, B. m fl: "Betongkonstruksjoners Livsløp Rapport DP1 B.1 Eksempler på statistisk beregning av levetid for betongkonstruksjoner utsatt for kloridinntrenging", Oslo 2001

VEDLEGG 1

Oppriss og grunnriss for Gimsøystraumen bru

VEDLEGG 2

Snitt av brukasse og pilar med angivelse av steder for prøveuttak

VEDLEGG 3

Regneark for beregning av D og C_0 vedlagt på CD

Eksempel på Excel-plott vedlagt for *Felt 1, Rekke 1*.
(Jfr. beskrivelse av katalogstruktur kapittel 3.4).