

**Tittel**

Arbeidsnotat: Laboratorieforsøk

**Undertittel**

-for å studere hvordan saltløsninger blandes og innlagres i ferskvann

**Forfatter**

Torbjørn Jørgensen

**Avdeling**

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

**Seksjon**

Vegteknologi

**Prosjektnummer**

602070

**Rapportnummer****Prosjektleder**

Torbjørn Jørgensen

**Godkjent av**

Kjersti Wike Kronvall

**Emneord**

Tetthet, vegsalt, akkumulering

**Sammendrag**

Målet med arbeidet var å undersøke 1) ved hvilke konsentrasjonsforskjeller i salinitet saltholdig vann vil innlagres i bunnsjiktet, 2) betydningen av temperaturforskjeller og ulike saliniteter og 3) om repetert tilførsel av salt bidrar til videre oppbygging av det saltholdige bunnsjiktet. Undersøkelsen viste at fra 200 mg/L natriumklorid tilsetning dannet det seg tydelige saltfingre. Resultatene indikerer at det utvikler seg salte fingre og at saltholdig vann synker til bunnen, men det kan ikke påvises at det dannes permanent sjiktning.

**Title**

Working paper: Laboratory experiments

**Subtitle**

-to study how the salt solutions are mixed and stored in freshwater

**Author**

Torbjørn Jørgensen

**Department**

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

**Section**

Road technology

**Project number**

602070

**Report number****Project manager**

Torbjørn Jørgensen

**Approved by**

Kjersti Wike Kronvall

**Key words**

Density, road salt, accumulation

**Summary**

The aim of the study was to investigate 1) by which concentration differences in salinity will salt water be stored in the bottom layer, 2) the importance of temperature differences and different salinity and 3) will repeated supply of salt contributes to further development of the saline bottom layer. The survey showed that from supply of 200 mg / L sodium chloride salt fingers was formed. The results indicate that salt fingers can be formed due to road salt application and the salty water sinks to the bottom, but formation of permanent stratification can not be proved.

Arbeidsnotat - Salt Smart Ap2 Miljø:

## Laboratorieforsøk for å studere hvordan saltløsninger blandes og innlagres i ferskvann.

Torbjørn Jørgensen 19.9.2011

### 1. Innledning

I 2005 ble det målt saltgradienter i 18 av 59 innsjøer i et studiet gjennomført av NIVA /1/. Innsjøene ble valgt ut fra årsgntrafikk (ÅDT), nærhet til vei (nærmer enn 200 m) og bruk av barvegstrategi. Undersøkelsen konkluderer med at avrenning fra veg kan føre til akkumulering av salt (NaCl) i innsjøvann over tid og at det kan dannes saltgradienter mot bunnen av innsjøer.

Mekanismene for hvordan salt smeltevann blandes med ferskere vann i en innsjø er viktig for å forstå resultatene fra innsjøundersøkelsen. Hvilke faktorer er kritiske for akkumulering av salt i innsjøen og hvordan vil dette påvirke innsjøen over tid. For å få en bedre forståelse av blandingsmekanismene og innlagring ble det foreslått en studie som skulle omfatte følgende punkter:

1. Litteraturgjennomgang.
2. Plan og gjennomføring av laboratorieforsøk.
3. Utvikle en matematisk modell for innblanding av salt avrenningsvann i ferskere innsjøvann.
4. Numerisk implementering og simuleringer.

I dette notatet behandles punkt 1 og 2.

### 2. Litteraturgjennomgang

Når væsker med forskjelling tetthet kommer i kontakt får vi det som kalles tetthetsdrevet strømning. I ferskvann er det stort sett temperaturen som påvirker vannets tetthet, rent vann har sin maksimale tetthet ved 3,98 °C. I sjøvann vil i tillegg saltinnholdet (salinitet) påvirke tettheten. Endringer i temperatur og salinitet er de viktigste drivkreftene bak havstrømmene.

Når salt varmt smeltevann fra vegen møter et kaldere ferskt innsjøvann kan vi få en strømning som i litteraturen kales "Salte fingre" (Stern, 1960). Dette er en strømning som drives av at salinitet og temperatur har ulik diffusjonsrate. Mer generelt er salte fingre en av de mest studerte tilfellene av det som kales "dobbel-diffusjons konveksjon". Det er mye litteratur om dette temaet som beskriver både eksperimenter og numerisk modellering. Det meste av litteraturen er innenfor fagfeltet oseanografi, vi har ikke funnet noe innenfor limnologi eller i forbindelse med vegsalt.

Salte fingre oppstår når varmt salt vann ligger over kaldt ferskvann. Prosessen drives av at salinitet diffunderer om lag 100 ganger langsommere enn temperatur. Når en varm salt "vanndråpe" kommer inn i et basseng av kaldere ferskvann vil den raskt avgi varme til omgivelsene. Dermed vil den starte og synke ettersom tettheten blir større i "dråpen" enn i omgivelsene. Tilsvarende vil "nabodråpen" med kaldt ferskvann som mottar varmen stige.

Prosessen vil dermed føre til en turbulent strømning som blander det salte vannet inn i ferskvannet raskere enn om det ikke var temperaturforskjeller tilstede.

Hvorvidt ”salte fingre” er viktig for innblanding av salt smeltevann i ferskere innsjøvann vites ikke. Dette og hvorfor det dannes sjiktninger i innsjøer er noen av de tingene vi ønsker å studere både eksperimentelt og ved numerisk modellering.

*Litteraturundersøkelsen ble gjort av Elisabeth Gundersen på TMT-avdelingen.*

### 3. Laboratorieforsøk

Laboratorieforsøk skal visualisere hvordan saltholdig vegavrenning kan føre til sjiktdannelse i sjøer nær veger og om mulig skaffe tallverdier for parametere til bruk i modellering (numerisk studie).

Det vi i første omgang ønsker å vise i lab-forsøkene er:

- 1) Ved hvilke konsentrasjonsforskjeller i salinitet ( $\Delta S$ ) vil saltholdig vann skape sjiktning i et basseng, dvs. at saltholdig vann innlagres i bunnsjiktet
- 2) Betydning av temperaturforskjeller, f.eks.  $\Delta T = 5$  og  $\Delta T = 15$  °C, og ulike saliniteter
- 3) Om repetert tilførsel bidrar til videre oppbygging og konsolidering av det saltholdige bunnsjiktet

Ved modellering av innlagring av saltholdig vann i sjøer kan det være aktuelt å vurdere ulike tilførselsveger:

- I) Tilførsel til overflaten (overflateavrenning, bekker m v.)
- II) Tilførsel i halv dybde (grunnvann)
- III) Tilførsel fra bunnivå (grunnvann)

Tetthetsforskjeller pga. temperatur og saltinnhold (salinitet) er de drivende kreftene for innlagringen. Et interessant poeng er at saltholdig vann kan innlagres i en såkalt *dobbel diffusiv konveksjon* dersom det er forskjell både i salinitet og temperatur mellom sjøvannet og det tilførte saltholdige vannet. Varme diffunderer ca. 100 gg. raskere enn saltinnholdet.

Lab-forsøkene vil prøve å demonstrere om dobbel diffusiv konveksjon og dannelse av ”saltfingre” kan bidra til innlagring/sjiktdannelse ved lavere salinitet enn forventet ved kun å se på densitetsforskjeller.

Da det kan tenkes et utall av forsøkssituasjoner tas lab-arbeidet i etapper.

- A) Etablere lab-rutiner (lokaler, utstyr og prøvingsmetoder) for gjennomføring av forsøkene
- B) Gjennomføre innledende enkle forsøk
- C) Gjennomføre forsøk med tanke på hypotesetesting og skaffe ev. input-data til modellering

Framdriften vurderes hele tiden ut fra behov og tilgang på ressurser. I dette notatet behandles innledende lab-arbeid etter pkt. A) og B).

I en fortsettelse av lab-arbeidet pkt. C) kan det være aktuelt å studere:

- 1) Effekt av hastigheten til det tilførte saltholdige vannet
- 2) Undersøkelser på etablert sjikt  
Trenger tilført saltholdig vann gjennom eller legger seg på sjiktet, eller blir det en rekyl?
- 3) Dobbel diffusjon og ”saltfingre”  
Bestemme eksperimentelle parametere: termisk ekspansjonskoeffisient ( $\alpha$ ) og salinitet kontraksjonskoeffisient ( $\beta$ ) ut fra observasjoner i lab-forsøk. Parameterne kan benyttes i modellering av innlagring.

#### 4. Sammenhenger salinitet, elektrisk konduktivitet og densitet

Salinitet defineres på en enkel måte som oppløst saltinnhold i en mengde vann, og angis i ‰ eller mg/l. Den vitenskapelige definisjonen på salinitet bygger på konduktivitetsforholdet mellom en havvannsprøve og en standard kaliumklorid-oppløsning. “Standard” havvann har en salinitet på ca. 35 ‰ eller 35 g/l. Saliniteten eller *haliniteten* til havvann varierer med havområde, havdyp, årstid mv.

Salinitet er koblet til mengde oppløst salt. Ikke-ioniske stoffer (som organiske molekyler) vil ikke bidra til elektrisk konduktivitet selv om de bidrar til økt densitet. Dette kan ha betydning når det er svært liten mengde oppløste salter i vannet og samtidig en del oppløst organisk/uorganisk materiale. Problemstillingen er aktuell ved salinitet lavere enn 100 mg/l.

Elektrisk konduktivitet (elektrisk ledningsevne, EC) er svært temperaturavhengig. To vanlig brukte referansetemperaturer er 18 °C og 25 °C (betegnes her EC18 og EC25).

Densitetsverdier for oppløsninger av blandede produkter og handelsvarer er vanskelig å finne i tabellverk. Det er noen ganger behov for å sjekke påliteligheten til web-kalkulatorer for densitet med egne målinger.

Totalinnhold Løst Stoff (TLS) settes i denne undersøkelsen tilnærmet lik salinitet. Ved hjelp av kalkulatoren “SG Water Density Calculator” kan en beregne densitet ( $\text{kg/m}^3$ ) for en saltløsning ved å legge inn TLS (mg/l) og temperatur (°C).

T. Tjomsland (NIVA-rapport SR-10/002) benytter en enkel formel for å estimere TLS når konduktiviteten ved 18 °C er kjent:

$$\text{TLS} = \text{EC18} \cdot 0,55 \text{ (mg/l)} \quad (1)$$

I andre referanser benyttes litt forskjellig verdi for omregningsfaktoren. Når NaCl er det dominerende saltet i vannprøven, ligger faktoren på ca. 0,5.

I disse forsøkene måles konduktivitet ( $\mu\text{S/cm}$ ) ved 25 °C. EC18 omregnes til EC25 ved bruk av tabellverdiene for kalibrering av konduktivimeteret. Forholdet EC18/EC25 er 0,872. Formelen for estimert TLS som benyttes i undersøkelsen blir da:

$$\text{TLS} = \text{EC18} \cdot 0,55 = \text{EC25} \cdot 0,48 \text{ (mg/l)} \quad (2)$$

## 5. Innledende laboratorieforsøk

Lab-arbeidet ble utført på Region østs laboratorium i Oslo. Bente E. McGonnell har utført densitetsmålingene og Torbjørn Jørgensen har utført blandingsforsøk, EC-målinger mv.

### 5.1 Utstyr og kjemikalier

- Glassbeger 1000 ml
- Glasspyknometere til densitetsmålinger
- Termostatbad, Julabo F30-C, arbeidsområde 0-30 °C ± 0,1 °C
- Laboratorievekt, nøyaktighet: 1 mg
- Vanlig laboratorieglassutstyr (begerglass, målekolber mv)
- Lab-pipette for dosering av fargestoff
- Konduktivimeter, Eijkelkamp 18.28 multimeter med EC-elektrode og temperaturføler
- Digitalt termometer
- Natriumklorid (analytisk kvalitet)
- Destillert vann og vanlig springvann
- Fargestoff Rhodamin B, (C<sub>28</sub>H<sub>31</sub>N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Cl, Cas-nr. 81-88-9)

### 5.2 Saltløsninger og forsøksoppsett

Innledningsvis gjøres innblandingsforsøk i 1000 ml glassbegere. Det ble utviklet en forholdsvis enkel påføringsteknikk for å legge saltholdig vann (ca. 55 ml) ovenpå kaldt vann fra springen (900 ml) uten at det synker ned pga. farten det får når det helles på. Jo mer saltholdig vannet er jo vanskeligere er det å unngå en slik "helle-effekt".

Et 105 liters akvarium ble innkjøpt for blandings-/innlagringsforsøk på et seinere tidspunkt.

#### Prøveløsninger

Innledningsvis ble det laget to serier med saltløsninger tilsatt NaCl:

- a) med destillert vann
- b) med springvann og tilsatt 10 mg/fargestoff Rhodamin B (5 ml 0,10 % Rhod. B) tilsettes saltløsningen i en 500 ml kolbe). Springvann uten salttilsetning er uten fargestoff.

Ved estimering av løsningsenes densitet tas det hensyn til bakgrunnsverdi i springvann og at fargestoff bidrar til TLS i tillegg til saltet. TLS til springvann (estimert ut fra konduktivitet) ble innledningsvis estimert til 55 mg/l, mens fargestoffet skulle bidra med 10 mg/l. Bakgrunnsverdi for klorid i springvannet ble målt til 12 mg/l. Dette tilsvarer ca. 8 mg/l natrium og kalsium i springvannet.

Tabell 1 viser beregnede densiteter for ulike prøveløsninger i de innledende blandingsforsøkene.

Tabell 1. Tabellverdier for densitet på prøveløsninger. I springvann uten NaCl-tilsetning er det ikke tilsatt fargestoff

Innhold NaCl * mg/l	Salinitet (TSL) mg/l	Temperatur °C	Densitet ** kg/m <sup>3</sup>
0 (springvann)	55	7,0	1000,0
0 (springvann)	55	10,0	999,8
50	115	20,0	998,3
100	165	20,0	998,4
200	265	20,0	998,4
500	565	20,0	998,7
1000	1065	20,0	999,0
2500	2565	20,0	1000,2
5000	5065	20,0	1002,1

\* NaCl-løsning tilsatt 10 mg/l fargestoff

\*\* Fra densitetskalkulator ([www.csgnetwork.com](http://www.csgnetwork.com))

Tabell 1 antyder at saltløsninger ved 20 °C må ha en salinitet over 2100 mg/l for å få høyere densitet enn springvann ved 7-10 °C.

I tabell 2 er det vist ved hjelp av densitetskalkulator ved hvilken temperatur og konsentrasjon saltløsninger med fargestoff har densitet 1000,0 kg/m<sup>3</sup>.

Tabell 2. Konsentrasjon av saltløsninger tilsatt 10 mg/l fargestoff som ved gitt temperatur har densitet 1000,0 kg/m<sup>3</sup>.

Temperatur, °C	Kons. Tilsatt NaCl, mg/l	Bidrag fra springvann og Rhod B, mg/l	Estimert TSL når dens. er 1000,0 kg/m <sup>3</sup> , mg/l
7	0	65	55
10	280	65	345
15	1062	65	1127
20	2253	65	2318

Ut fra dette forventes f.eks. at en saltløsning med TSL 1000 mg/l og temperatur 20 °C som tilføres ovenpå springvann med temperatur 7 °C, vil blande seg/diffundere svært langsomt.

De innledende forsøkene skal vise om og hvor raskt denne innblandingen skjer, og demonstrere at temperaturdiffusjon har betydning for innblandingen.

Når NaCl-konsentrasjon øker, forventes en raskere/spontan nedsynking når et lag saltløsning legges ovenpå springvann, som er 10-15 °C kaldere.

Densiteten på de to seriene med saltløsninger ble bestemt ved 5 °C, 10 °C og 20 °C med glasspyknometre (beskrevet i NS-EN 1097-7), se fig. 1. Bakgrunnen for å utføre egne densitetsmålinger er at det ikke alltid finnes pålitelig tabellverdi for densitet til aktuell løsning ved en gitt konsentrasjon og temperatur. Resultatene fra densitetsmålingene er vist i kap. 4.



Figur 1. Glasspyknometer, 50 ml

### Påføringsteknikk

Til blandeforsøkene i begerglass ble det til å begynne med prøvd ut flere måter på å overføre 55 ml saltløsning ovenpå springvannet i begeret uten at løsningen dykker ned pga. farten den får når man heller.

En forholdsvis tettporet, 5-10 mm tykk skumplast kan benyttes. Man klipper til en skive som passer til begerets diameter, og legger den halvt nedsenket i vannoverflaten. Saltløsningen helles forsiktig over skumplasten og diffunderer etter hvert ned i vannet under. Denne teknikken ble likevel ikke valgt, da det kan være vanskelig å beskrive kvalitet og permeabilitet til skumplasten.

*Etter en del utprøving ble følgende påføringsteknikk valgt:*

En plastkrage ble laget til som en fals og plassert øverst innvendig i et 1000 ml glassbeger. Begeret ble deretter fylt med ca. 900 ml springvann med temperatur 7-10 °C opp til kanten av falsen. Det ble så lagt over matfolie av plast (Gladpack) i kontakt med vannflaten. Deretter ble ca. 55 ml farget saltløsning (ca. 18 °C) helt forsiktig på plastfolien. Plastfolien trekkes deretter forsiktig av, slik at saltløsningen strømmer veldig sakte ut i begeret. Med litt trening kan man legge ut et jevnt, 15-20 mm tykt lag av saltløsningen i starten av diffusjonsforsøket. Se også figur 2.

Det ble laget til 500 ml porsjoner med saltløsninger med NaCl-konsentrasjon:

50 mg/l      100 mg/l      200 mg/l      500 mg/l

Saltløsningene ble tilsatt 10 mg/fargestoff Rhodamin B. I tette flasker tåler løsningene lang lagringstid.



Figur 2. Farget saltløsning påført ovenpå en tynn plastfolie

## 6. Resultater

### 6.1 Bestemmelse av densitet og elektrisk konduktivitet

Resultatene i tabell 3 er gitt sammen med tabellverdier fra CRC Handbook of Chemistry and Physics samt CSG Water Density Calculator. Det ble benyttet destillert vann uten fargestoff i saltløsningene.

Tabell 3. Resultater densitet målt med glasspyknometer

Prøve	Densitet, kg/m <sup>3</sup>					
	5 °C		10 °C		20 °C	
	Pyknometer	Tabellverdi	Pyknometer	Tabellverdi	Pyknometer	Tabellverdi
Destillert vann	1000,0	1000,0	999,7	999,8	998,2	998,2
500 mg/l NaCl	1000,3	1000,4	1000,1	1000,2	998,6	998,6
1000 mg/l NaCl	1000,6	1000,8	1000,4	1000,7	998,8	998,9
2500 mg/l NaCl	1001,7	1002,0	1001,6	1001,7	1000,0	1000,0
5000 mg/l NaCl	1003,6	1004,0	1003,4	1003,6	1001,7	1001,8

Det er bra samsvar mellom målte verdier og tabellverdier. Hvis verdiene oppgis til nærmeste kg/m<sup>3</sup> i h.t. prøvingsmetoden, blir samsvaret nesten perfekt. Det konkluderes med at metoden for å måle densitet til aktuelle saltløsninger ved ulike temperaturer er brukbar. Ved bruk av 0,1 mg vekt og ev. tre paralleller, kan densiteten bestemmes til nærmeste 0,1 kg/m<sup>3</sup> med bedre nøyaktighet.



Tabell 4. Resultater densitet målt med glasspyknometer på løsninger med springvann og tilsatt fargestoff (10 mg/l Rhodamin-B)

Prøve tilsatt fargestoff	Densitet, kg/m <sup>3</sup>		
	5 °C	10 °C	20 °C
	Pyknometer	Pyknometer	Pyknometer
Springvann	999,9	999,7	998,3
100 mg/l NaCl	1000,0	999,7	998,3
200 mg/l NaCl	1000,0	999,7	998,3
500 mg/l NaCl	1000,3	1000,0	998,6
1000 mg/l NaCl	1000,6	1000,4	998,9

Det ble registrert luftbobler i løsningene ved måling av densitet. Pyknometre med prøveløsninger ble derfor satt i ultralydbad i 30 minutter for å fjerne luftbobler før temperering i termostatbad.

Det finnes ikke tabellverdier for densitet til saltløsninger med springvann tilsatt fargestoff. Densitetsverdier ble derfor estimert etter:

- måling av elektrisk konduktivitet 25 °C
- omregning til Totalinnhold Løst Stoff (TLS)
- bruk av CSG web-kalkulator til å finne densitet ved aktuell temperatur.

Densitetsverdiene er vist i tabell 5. Verdiene fra tabell 3, 4 og 5 er vist i figur 3, 4 og 5. Figur 6 viser målt konduktivitet mot tilsatt mengde natriumklorid i springvann.

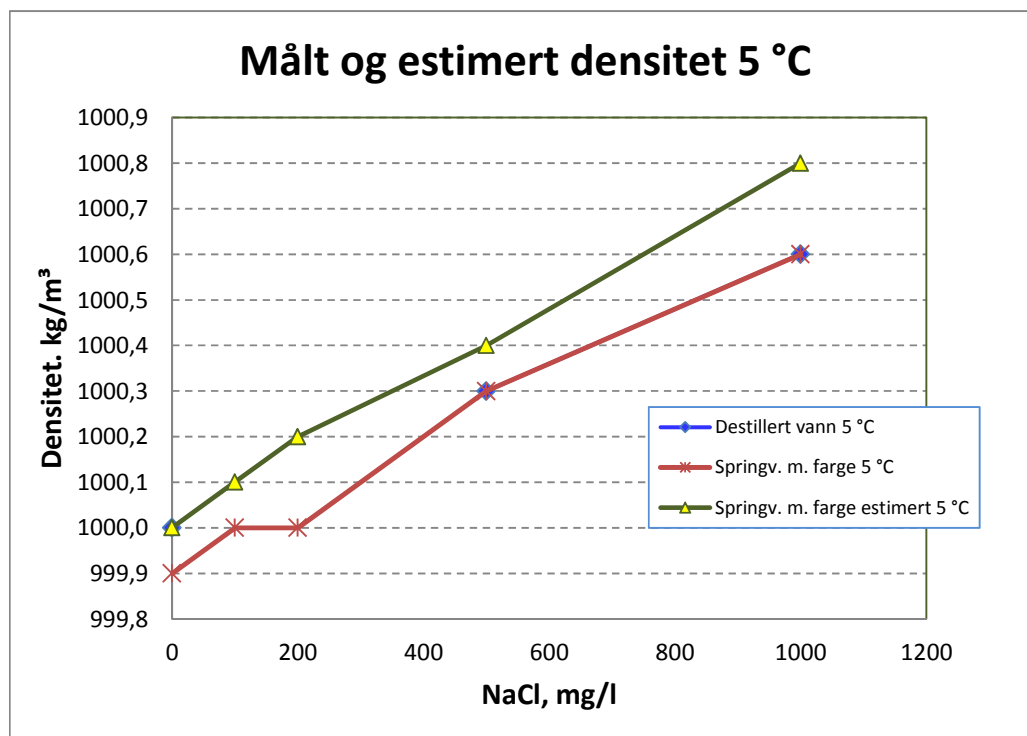
Tabell 5. Estimert densitet på løsninger med springvann tilsatt 10 mg/l fargestoff på grunnlag av målt konduktivitet (EC25), beregnet TLS samt verdi fra densitetskalkulator

Prøve	Målt EC25, µS/cm	Beregnet TLS, mg/l	Estimert densitet, fra web-kalkulator		
			5 °C kg/m <sup>3</sup>	10 °C kg/m <sup>3</sup>	20 °C kg/m <sup>3</sup>
Springvann	140	67	1000,0	999,8	998,3
100 mg/l NaCl	331	159	1000,1	999,9	998,4
200 mg/l NaCl	517	248	1000,2	999,9	998,4
500 mg/l NaCl	1130	542	1000,4	1000,2	998,6
1000 mg/l NaCl	2000	960	1000,8	1000,5	999,0

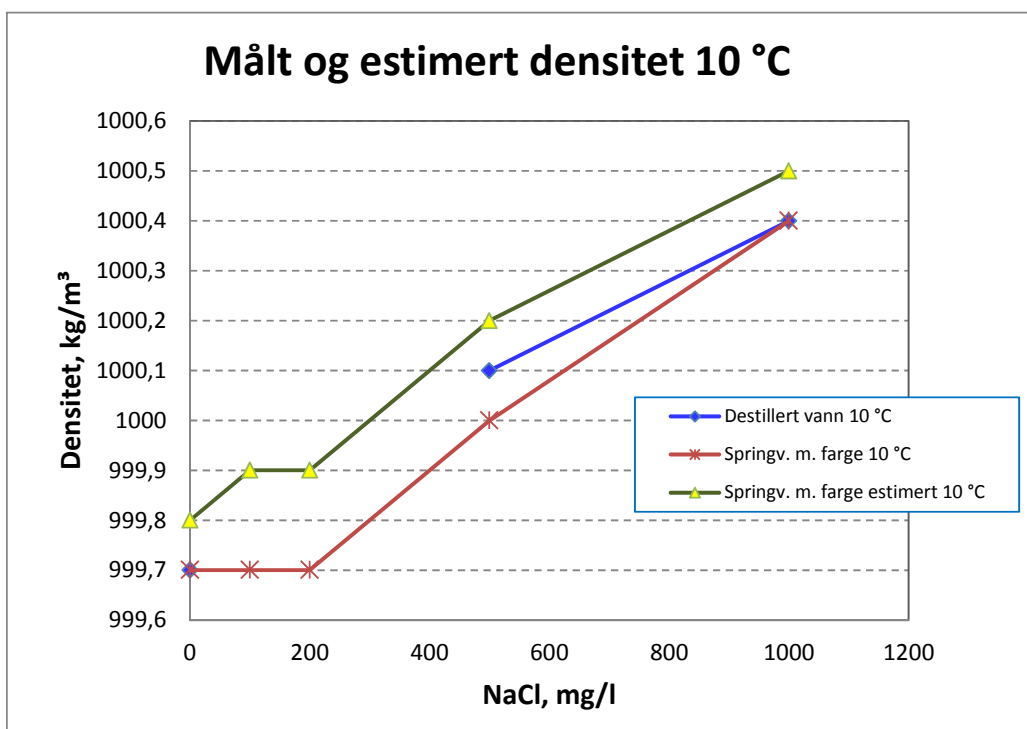
De estimerte densitetene lå i snitt 0,15 kg/m<sup>3</sup> høyere enn de målte ved 5 og 10 °C, og 0,06 kg/m<sup>3</sup> høyere for 20 °C. Om avviket kommer av unøyaktighet i omregningsformel fra EC til TLS, EC25-målingene, densitetsmålingene eller begrensning i densitetskalkulatoren er ikke avklart. Estimert for densitet vurderes å ha en usikkerhet på 0,2 kg/m<sup>3</sup>. Konduktiviteten til springvannet varierer også noe fra dag til dag og kan ha bidratt til avvikene.

Saltløsninger med springvann tilsatt fargestoff og saltløsninger med destillert vann fikk noenlunde lik densiteter i pyknometermålingene. Samsvaret med tabellverdier var også akseptabelt.

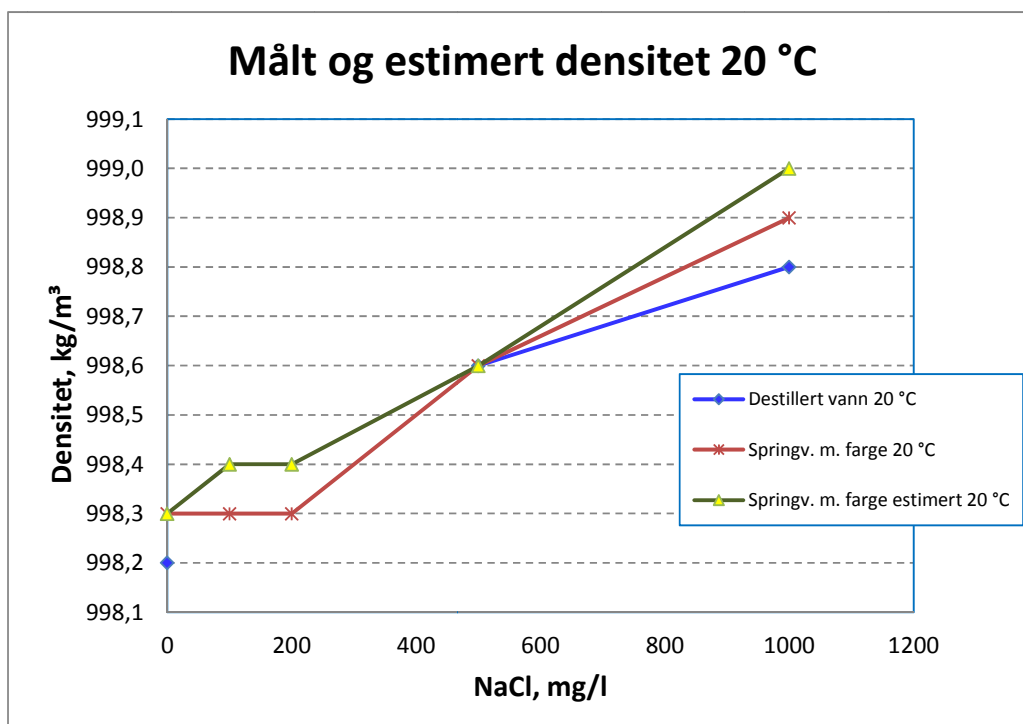
Å estimere densitet ved å måle konduktivitet ved 25 °C, beregne TLS, og deretter legge inn aktuell temperatur i densitetskalkulatoren, synes å gi noenlunde riktige verdier.



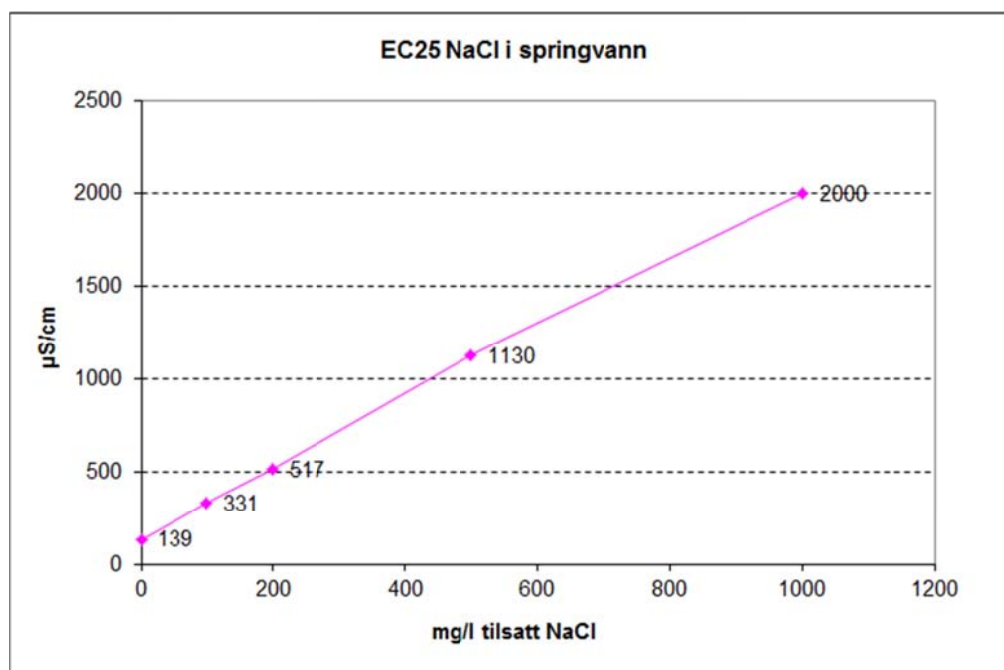
Figur 3. Densitet 5 °C mot tilsatt NaCl: a) i destillert vann b) i springvann tilsatt fargestoff c) estimert etter målt EC25, beregnet TLS og densitetskalkulator



Figur 4 Densitet 10 °C mot tilsatt NaCl: a) i destillert vann b) i springvann tilsatt fargestoff c) estimert etter målt EC25, beregnet TLS og densitetskalkulator



Figur 5. Densitet 20 °C mot tilsatt NaCl: a) i destillert vann b) i springvann tilsatt fargestoff c) estimert etter målt EC25, beregnet TLS og densitetskalkulator



Figur 6. Konduktivitet ved 25 °C (EC25) som funksjon av tilsatt NaCl i springvann

## 6.2 Blandeforsøk i begerglass

### 4.2.1 Eksperiment 1

I et 1000 ml begerglass tilsettes ca. 900 ml kaldt springvann (7,0 °C) slik at vannspeilet står i nivå med plastkragen. Tynn plastfolie legges over vannflaten, og deretter påføres ca. 55 ml farget saltløsning (ca. 20 °C). Plastfolien trekkes deretter forsiktig av, slik at saltløsningen legger seg i de øverste 2 cm i vannsøylen. Total høyde på vannsøylen er 12 cm (figur 6).

Temperatur måles med digitalt termometer øverst og nederst i vannsøylen, ved start og avslutning av forsøket. Tiden det tar for ev. saltfingre å vandre 5 cm noteres, likeså når de når bunnen av vannsøylen og når det etter hvert dannes en farget, homogen søyle (timeglassfasong) i begeret.

Temperaturen i rommet der forsøkene ble utført var 20 °C. Resultater fra blandeforsøket er vist i tabell 6.

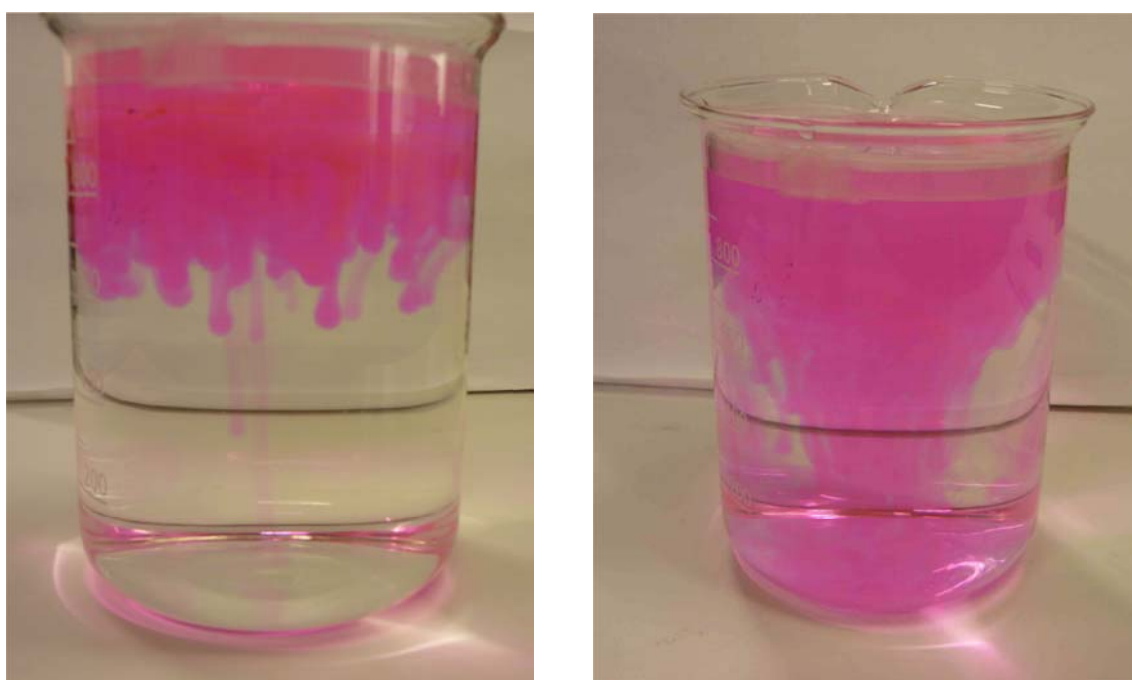


Figur 6. Beger med rødfarget natriumkloridløsning (100 mg/l) like etter at plastfolien er fjernet.

Tabell 6. Resultater fra blandeforsøk nr.1

NaCl-løsning mg/l	Salinitet TLS, mg/l	Temp. saltløsn. øverst, °C		Temp. vann nederst, °C		Tid til dannelse av saltfingre, minutter			Kommentar
		Start	Slutt	Start	Slutt	5 cm	12 cm	søyle	
50	105	18	13,5	7	11,5	-	20	70	Saltløsningen synker svært langsomt. Ikke saltfingre
			11,5		10,5	-	-	70	
100	165	18	11,5	7	11,0	(20)	?	(10)	Dårlig påføring Vellykket påføring
			-		-	7	45	60	
			-		10	30	60		
200	265	18	-	7	-	2	10	30	Vellykket påføring
			-		-	2	10	25	
			-		-	2	8	25	

Figur 7 viser utviklede saltfingre samt søyle en stund etter at saltfingrene har nådd bunnen.



Figur 7. Påføring av 200 mg/l saltløsning (18 °C) på springvann (8 °C). Saltfingre 2 min etter påføring (venstre). Farget søyle 10 min etter påføring (høyre)

#### Konklusjon eksperiment 1:

- 50 mg/l NaCl (18 °C, densitet 998,8) danner ikke tydelige saltfingre ved påføring over springvann (7 °C, densitet 1000). Diffusjonen går langsomt.
- 100 mg/l og 200 mg/l NaCl (18 °C, densitet 998,8 og 998,9) danner saltfingre ved påføring over springvann (7 °C, densitet 1000).
  - 100 mg/l NaCl dannet saltfingre etter 8 min. som nådde bunnen etter 60 min.
  - 200 mg/l NaCl dannet saltfingre etter 2 min. som nådde bunnen etter 10 min.
- Diffusjonshastigheten øker med konsentrasjon av NaCl og salinitet.

## 7. Diskusjon og videre arbeid

### 7.1 Utvikling av saltfingre

Det ble utviklet en teknikk for påføring av farget saltvannsløsning ovenpå springvann, som er 10-15 °C kaldere. Høyere temperatur gjør at densiteten til saltvannsløsningen er lavere enn det kalde springvannet rett etter påføring, og det fargede vannet legger seg øverst i begerglasset.

Etter en tid vil temperaturdiffusjon føre til at det saltholdige vannet avkjøles og synker ned i begeret, samtidig som det kalde springvannet varmes opp og får oppdrift. Det dannes saltfingre og kuleformede fargesoner som går mot bunnen av begeret. Etter hvert dannes en rødfarget timeglasstruktur, deretter et rødfarget bunnsjikt og til slutt farges hele innholdet lyserødt.

Fra 200 mg/l natriumkloridtilsetning dannet det seg tydelige saltfingre, og man kunne se at rødfarget, saltholdig vann sank ned mot bunnen i begerglasset. Synkehastigheten økte med økende saltkonsentrasjon.

#### Videre arbeid

Det ble ikke tid til å studere hvordan fargestoff og saltløsning endte opp til slutt, dvs. om det ble en midlertidig eller varig sjiktning for høye saltkonsentrasjoner. Dette ville vært interessant å undersøke i en fortsettelse.

### 7.2 Dokumentasjon av at sjiktning finner sted

Det er ikke sikkert at fargestoff og natriumklorid diffunderer med samme hastighet og at de følges ad over tid. Det kan ha skjedd en sjiktning med natriumklorid nederst i begerglasset selv om hele innholdet etter noen timer har fått en jevn, lyserød farge.

#### Videre arbeid

Ved å ta opp vannprøver fra topp og bunn av begerglasset med en pipette og måle konduktivitet på disse, kan det dokumenteres om det har blitt en sjiktning eller ikke. Konduktivitetsverdien benyttes til å beregne mg/l TLS, som igjen kan benyttes til å estimere densitet i topp og bunn av begerglasset.

Repetert tilførsel av farget saltløsning kan visualisere hvordan et stabilt, saltholdig bunnsjikt bygges opp.

Man kan også gjøre tilsvarende laboratorieforsøk med f.eks. 50 cm høye målesylindere for å studere innlagring på noe større dyp.

Bestemmelse av hastighetsparametre for nedsynkingen ved utvalgte temperaturer og saltkonsentrasjoner vil være mulig når man har fått bedre kontroll på hvordan saltløsninger innlagres i laboratorieforsøk. Slike parametre kan benyttes til modellering av salttilførsel til innsjøer.

### 7.2 Blir det tid til videre arbeid?

Denne undersøkelsen tok mer tid enn forutsatt, og andre oppgaver har fått høyere prioritet. Om mulig vil det bli målt konduktivitet i topp/bunn av forskjellige blandinger for å få bekreftet om det dannes en stabil sjiktning i begerglass eller i høye målesylindere.

**Referanser**

/1/ Kjemisk tilstand i vegnære innsjøer. Påvirkning fra avrenning av vegsalt, tungmetaller og PAH. Statens vegvesen, nr: UTB 2006/06.

/2/ Buoyancy – induced flows and transport. B. Gebhart, Y. Jaluria, R. L. Mahajan og B. Sammakia, Texbook Edition, 1988.

/3/ Evolution of Salt-Finger Convection as Indicated by Numerical Experiments. L. N. Karlin and A. G. Filimonov, Leningrad Hydrometeorological Institute, Vol 31, No 2, 1991

/4/ Buoyancy Effects in Fluids, J. S. Turner, Cambridge monographs on mechanics & applied mathematics, 1973.