

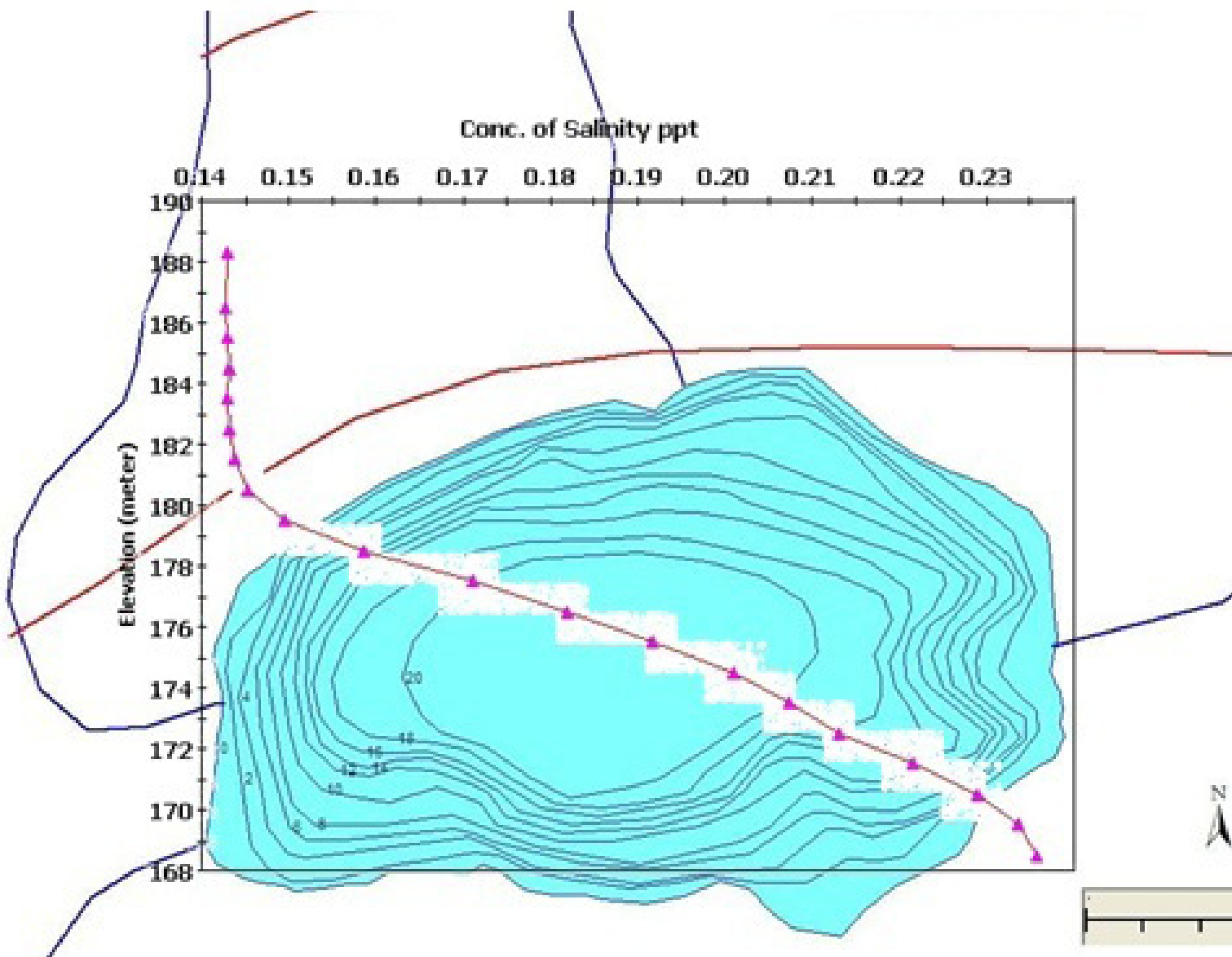


Statens vegvesen

Salt SMART Modellert påvirkning av vegsalt i Padderudvann

Statens vegvesens rapporter

Nr. 90



Tittel

Modellert påvirkning av vegsalt i Padderudvann

Undertittel**Forfatter**

Torulv Tjomsland, John Rune Selvik og Bjørn Faafeng

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Miljøseksjonen

Prosjektnummer

602070

Rapportnummer

Nr. 90

Prosjektleder

Kjersti Wike Kronvall

Godkjent av

Jørn Ingar Arntsen

Emneord

Veisalt, innsjø, matematisk modellering, Padderudvann

Sammendrag

Se side 3

Title

Modelling of road salt effects in lake Padderudvann

Subtitle**Author**

Torulv Tjomsland, John Rune Selvik and Bjørn Faafeng

Department

Traffic safety, environment and technology department

Section

Environmental assessment section

Project number

602070

Report number

No. 90

Project manager

Kjersti Wike Kronvall

Approved by

Jørn Ingar Arntsen

Key words

Road salt, Lake, Mathematical modelling, Lake Padderudvann

Summary

See page 4

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

| | | |
|---|-------------------------------------|---------------------|
| Tittel Modellert påvirkning av veisalt i Padderudvann (NIVA-rapport løpenr for bestilling: SR-10/002) | Løpenr. (for bestilling) | Dato |
| | Prosjektnr. Undernr. SR-10/002 | 15.03.2010 |
| Forfatter(e) Torulv Tjomsland | Fagområde Vannressursforvaltning | Sider Pris 21 |
| | Geografisk område Akershus | Distribusjon Fri |
| | | Trykket |

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Oppdragsgiver(e) Statens vegvesen | Oppdragsreferanse Kjersti Wike |
|--------------------------------------|-----------------------------------|

Sammendrag

Målet med prosjektet var å teste i hvilken grad veisaltpåvirkning av en innsjø kunne simuleres ved en matematisk modell. Padderudvann har et overflateareal er 0,135 km². Største dyp er 21 meter. E18 går langs nordsiden av vannet. Tilført saltmengde fra denne veien har økt fra under 20 tonn til omkring 80 tonn fra 1990 til 2008. Utviklingen av saltinnholdet i innsjøen ble simulert med en matematisk modell (GEMSS) for perioden 1990 – 2008. Simuleringene viste, i likhet med observasjonene, en betydelig økning av saltholdigheten med økende dyp. Saltgradienten førte til at innsjøen kun sirkulerte vår og høst i de øverste 10-12 meterne. Det ble simulert en situasjon for den samme perioden uten veisaltning. Forskjellene i saltholdighet mellom overflate- og bunnvann hindrer fortsatt en fullstendig vertikal blanding, hvilket tyder på at Padderudvann er en naturlig meromiktisk innsjø. Simuleringene viste så godt samsvar med observerte verdier at den er godt egnet til å beskrive saltpåvirkning av innsjøer generelt. For å oppnå pålitelige simuleringsresultater er det viktig å kjenne tilførselene av salt og hvordan disse innlagres i innsjøen.

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Fire norske emneord | Fire engelske emneord |
| 1. Veisalt | 1. Road salting |
| 2. Innsjø | 2. Lake |
| 3. Matematisk modellering | 3. Mathematical modeling |
| 4. Padderudvann | 4. Lake Padderudvann |

Torulv Tjomsland
Prosjektleder

John Rune Selvik
Forskningsleder

Bjørn Faafeng
Seniorrådgiver

Sammendrag

Målet med prosjektet var å teste i hvilken grad vegsaltpåvirkning av en innsjø kunne simuleres ved en matematisk modell.

Padderudvann ligger ca. 3 km vest for Asker sentrum i Akershus. Vannet har et overflateareal på 0,135 km² og største dyp er 21 meter. E18 går langs nordsiden av vannet. Ca. 2 km av denne veien ligger innen nedbørfeltet. Årlig tilført saltmengde fra denne veien har økt fra under 20 tonn til omkring 80 tonn fra 1990 til 2008.

Utviklingen av saltinnholdet i innsjøen ble simulert med en matematisk modell (GEMSS) for perioden 1990 – 2008. Simuleringene viste, i likhet med observasjonene, at det var en betydelig økning av saltholdigheten med økende dyp. Saltgradienten førte til at innsjøen kun sirkulerte i de øverste 10-12 meterne av innsjøen.

Det ble laget et scenarium for den samme perioden uten vegsalting. Forskjellene i saltholdighet mellom overflate- og bunnvann hindrer fortsatt en fullstendig vertikal blanding, noe som synes å ha sammenheng med høyt saltinnhold i en av bekkene som kommer fra et myrområde som ikke er påvirket av vegavrenning. Modelleringsresultatet indikerer at Padderudvann er en naturlig meromiktisk innsjø, det vil si en innsjø uten naturlig vertikal sirkulasjon vår og høst.

Modellen var egnet til å gi ideer om tiltak, for eksempel å samle avrenningen fra veien og lede denne til de største bekkene for derved å fortynne saltet mest mulig før det renner inn i Padderudvannet.

Simuleringene viste så godt samsvar med observerte verdier at modellen er godt egnet til å beskrive saltpåvirkning av innsjøer generelt. For å oppnå pålitelige simuleringsresultater er det viktig å kjenne både menneskeskapte og naturlige tilførsler av salt og ikke minst hvordan disse innlagres i innsjøen.

Summary

The objective of this project was to study whether the salinity of a lake exposed to road salting within its catchment could be calculated using a mathematical model.

The lake called Padderudvann near Oslo has a surface area of 0.135 km² and a maximum depth of 21 metres. A major highway (E18) runs along the north side of the lake, and about 2 km of the road is within the lake catchment. The amount of road salt used increased from about 20 to 80 tonnes a year during the period 1990 – 2008.

Development of a salt gradient in the lake was simulated by a mathematical model (GEMSS) for the period 1990-2008. Simulations showed, in accordance with observations, increasing salinity with increasing depth. Salt gradients showed circulation only in the upper 10-12 metres of the lake.

A scenario was generated for the same period without road salting. This scenario showed that salt differences in surface water and bottom water would still prevent complete vertical circulation, possibly due to high salt concentration in a nearby creek not influenced by the road. The model indicates that this lake (Padderudvann) is naturally meromictic, without natural vertical circulation during the spring and autumn.

The model can also be used to generate ideas for mitigating measures, such as collecting run-off water from the road and leading it to the largest creek for dilution before it reaches the lake.

The results of the simulations corresponded with observed situations, which mean that the model is well-suited to explain the impact of road salt on lakes. Knowledge of both anthropogenic and natural inputs, and of how salt is stored in lakes, is essential in order to achieve reliable simulation results.

Innhold

| | |
|---|-----------|
| SAMMENDRAG | 2 |
| SUMMARY | 4 |
| 1. INNLEDNING | 6 |
| 1.1 BESKRIVELSE AV OMRÅDET..... | 6 |
| 1.2 MODELL | 7 |
| 2. DATAGRUNNLAG | 9 |
| 3. RESULTATER OG DISKUSJON | 14 |
| 3.1 SIMULERING AV PERIODEN 1990-2008 | 14 |
| 3.2 SCENARIUM: NATURLIGE FORHOLD..... | 17 |
| 3.3 SCENARIUM: VEGSALTING OPPHØRER | 18 |
| 3.4 SCENARIUM: VEGSALTING OPPHØRER OG BEKKEN I SØR LEDES UT AV NEDBØRFELTET | 20 |
| 4. KONKLUSJON | 21 |
| 5. REFERANSER | 21 |
| 6. VEDLEGG | 22 |

1. Innledning

Oppdraget er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Arbeidet er del av prosjektet Salt SMART i Statens vegvesen.

Målet med prosjektet er å teste i hvilken grad vegsaltpåvirkning av en innsjø kan simuleres ved en matematisk modell. Det skal lages en innsjømodell som er kalibrert mot observerte verdier for å gi en beskrivelse av usikkerhetene i modellen.

Det ble valgt å modellere med modellen GEMSS i Padderudvann. GEMSS er en pakke med modeller for beregning av hydrodynamikk og vannkvalitet i elver, innsjøer og estuarier. Modellen beregner strøm, temperatur, saltholdighet som funksjon av meteorologiske data, tilførsler av vann med kjent temperatur og saltholdighet og utløpsvannføring, samt innsjøens topografi. Padderudvann har vært gjenstand for limnologiske undersøkelser i 60 år slik at det fantes mye egnet observasjonsmateriale både før og etter at sjøen ble påvirket av vegsalt. Det forelå mye informasjonen om Padderudvannet og dets nedbørfelt i Bækken og Færøvig (2004).

1.1 *Beskrivelse av området*

Padderudvann ligger ca. 3 km vest for Asker sentrum i Akershus. Vannet ligger 188 moh. og har et overflateareal på 0,135 km². Største dyp er 21 meter.

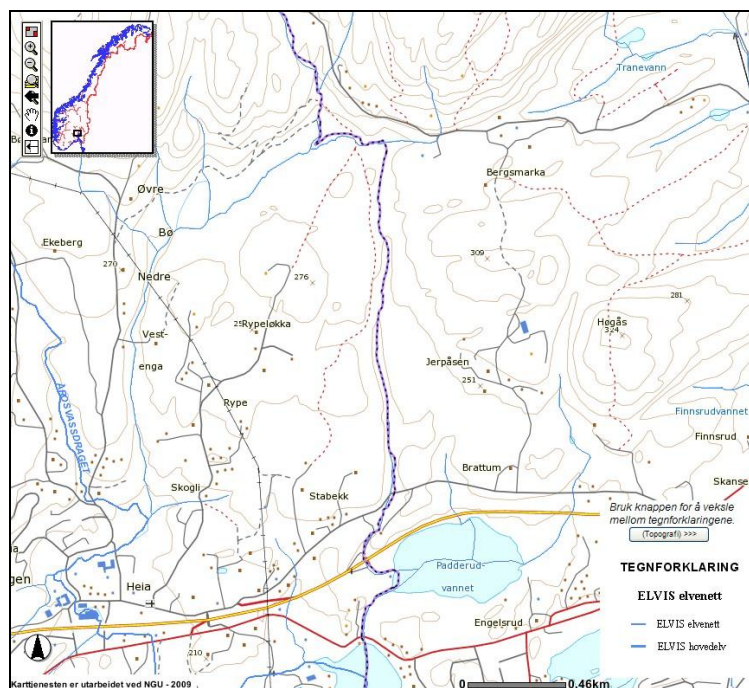
Nedbørfeltet til Padderudvann er 2,8 km². Området er dekket av skog med en del dyrket mark, Figur 1 og Figur 2. Berggrunnen i området består av kambrosiluriske bergarter bestående av mye skifer og kalkstein, Figur 3. Den marine grensen for området er 200–220 moh., dvs. like over Padderudvann. Nedbørfeltet er overveiende dekket av et tynt lag med løsmasser, se Figur 4. Like sør for vannet er det et område med myr.

E18 går langs nordsiden av vannet, ca 2 km av denne veien ligger innen nedbørfeltet. I tillegg mottar Padderudvann avrenning fra Gamle Drammensvei nord for E18 og noen hundre meter av Drammensveien sør for vannet.

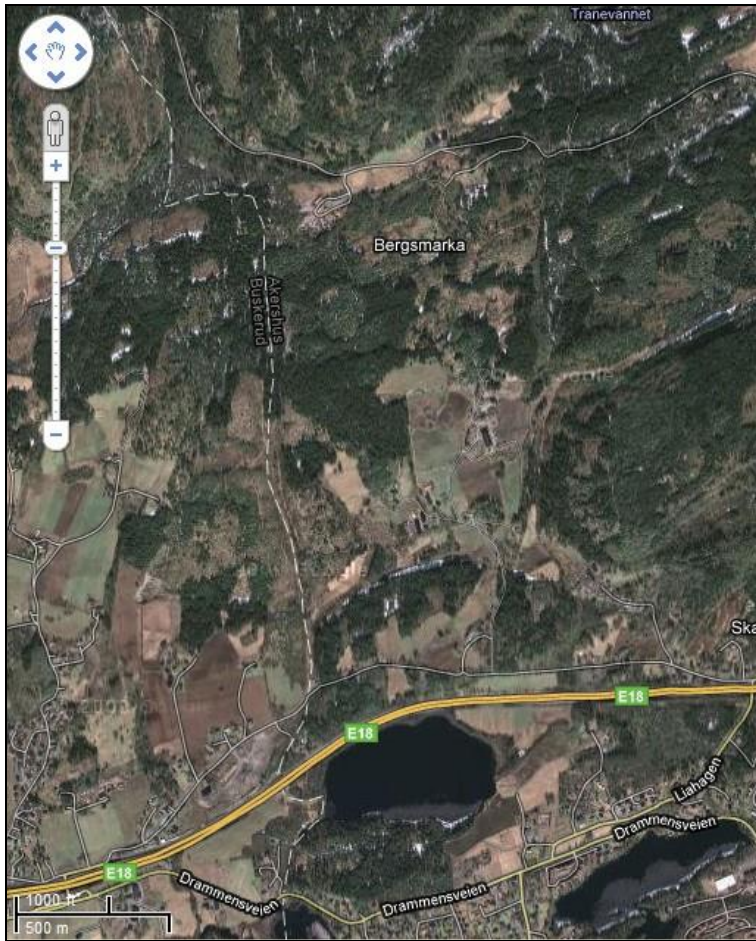
1.2 Modell

GEMMS er en pakke med modeller for beregning av hydrodynamikk og vannkvalitet i elver, innsjøer og estuarier og er utviklet av ERM i USA (www.erm-smg.com). Modellen er 3-dimensjonal og beregner strøm, temperatur, saltholdighet og vannkvalitet som funksjon av meteorologiske data, tilførsler av vann med kjent temperatur og saltholdighet, utløpsvannføring og innsjøens topografi (Tjomsland og Tryland 2008, Tjomsland 2009 og Aanes mfl. 2010).

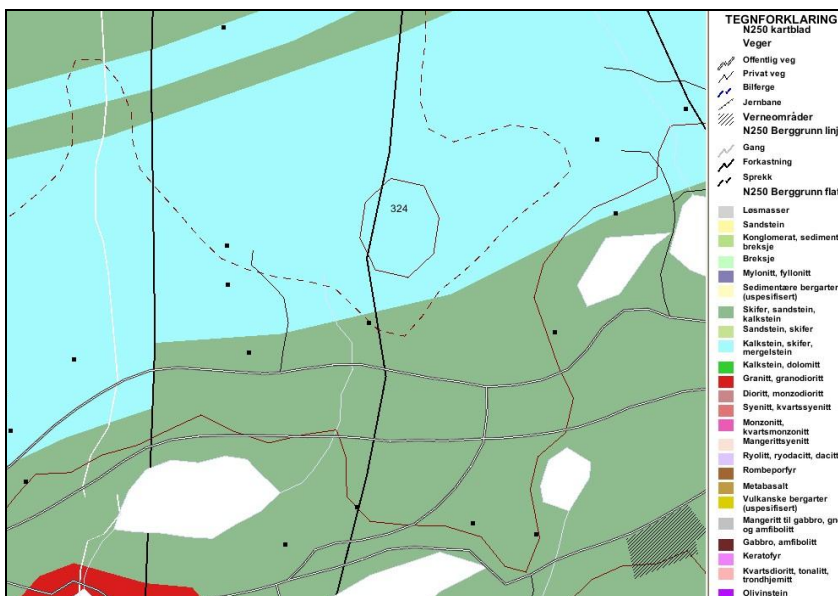
I Padderudvann-modellen blir innsjøen delt i beregningsceller. For Padderudvannet ble disse plassert i horisontalplanet som rektangler med noen 10-meters utstrekning og 1 meter i dybderetningen. For hver celle ble resultatene beregnet fremover i tid med noen minutters intervaller.



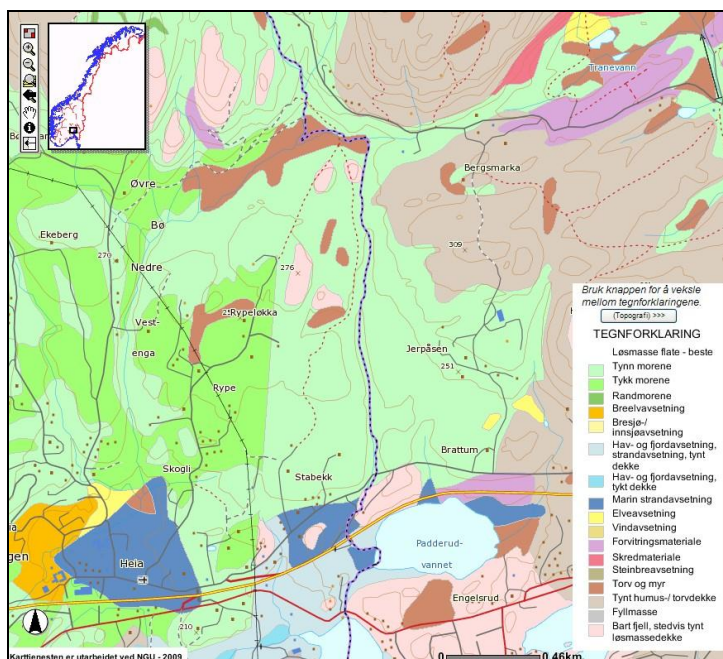
Figur 1. Topografisk kart over området rundt Padderudvann (www.ngu.no)



Figur 2. Oversikts bilde over Padderudvanns nedbørfelt (www.gulesider.no).



Figur 3. Geologisk kart som berggrunnen i området rundt Padderudvann. Padderudvann vises som hvitt areal nederst til venstre (www.ngu.no).



Figur 4. Løsmassekart som viser avsetningstype i området rundt Padderudvann. Avsetningstypene rundt Padderudvann er marine strandavsetninger, forvittringsmateriale, hav- og fjordavsetninger og bart fjell (www.ngu.no)

2. Datagrunnlag

Den modellerte perioden er 1990 – 2008.

Det ble benyttet klimatiske data fra Det norske meteorologiske institutt sin stasjon 19710 i Asker, 163 moh. Klimadataene omfatter lufttemperatur, relativ fuktighet, vindstyrke, vindretning og skydekke og er målt ca. hver 6. time.

Vannføringene ble skalert ut fra NVEs vannføringsstasjon 8.6 Sæternbekken (6,32 km²) nær Sandvika.

Mengde salt per kilometer vei er vist i Tabell 1. Data fra sesongen 1997-1998 til og med 2003-2004 ble hentet fra Bækken og Færøvig 2004. For de tre siste sesongene fantes det månedsvise verdier. Årene etter ble bestemt ut fra informasjon fra statens vegvesens saltingsrapporter: ”Oppfølging av drift og vedlikehold, Kontrakt 0201 Asker” over total saltmengde av E18 mellom Lysaker-Tranby, 29,3 km. Sesongene 1993-1994 til og med 1996-1997 ble beregnet ut fra total salting i Norge på de største veiene. Det vil si økningen i

saltmengde i disse første årene ble antatt å være den samme ved Padderudvannet som i Norge for øvrig. Saltmengde for sesongene før dette ble ekstrapolert på skjønn og det ble tatt hensyn trenden i de etterfølgende årene. Vi tok ikke hensyn til salting av andre veier med tilrenning til Padderudvann. Bidraget fra disse veiene er trolig små i forhold til avrenningen fra E18.

Som input til modellen trengte vi saltinnholdet i alle tilførslene, dvs. naturlige bakgrunnsverdier og påvirkning fra vegsaltingen adskilt. Saltholdighetsdata eksisterte kun fra selve Padderudvann og dets tilløp. De fleste av disse tilløpene kunne være påvirket av vegsalt slik at vi ikke kjente til naturlige bakgrunnsverdier. Fra veien ble tilførslene antatt jevnt fordelt innen hver måned. Øvrige tilførsler, dvs. naturlige bakgrunnsverdier, ble antatt konstante i tid. Vi gjorde en befaring med prøvetaking for analyse av vannets ioner 03.12.2009, se figur 5 og vedlegg for ionesammensetning. Oppstrøms Gamle Drammensvei, dvs. upåvirket av vegsalting, var saltinnholdet 98 mg/l og 127 mg/l. De viktigste ionene var Ca og dernest SO₄. Disse verdiene ble antatt å representere 2,3 km² av det totale nedbørfeltet på 2,8 km². Bekken i sør hadde ved innløpet til Padderudvann meget høyt innhold av salter (203 mg/l), hvilket var høyere enn ved utløpet av Padderudvann (161 mg/l). Da vi fulgte denne bekken oppover viste det seg at de høye saltholdighetsverdiene kom fra et myrområde. Andre steder i delnedbørfeltet var konsentrasjonene meget små, 13 mg/l. Dette mønsteret ble fastslått ved konduktivitetmålinger. De høye verdiene i myra skyldtes i tillegg til Ca fortrinnsvis SO₄, men også både Na og Cl var betydelige. Myra var skjernet mot Drammensveien og bebyggelsen i sør med en høyderygg slik at den ikke mottok avrenning derfra. Som input til modellen ble utløpsverdien til bekken i sør (ca. 0,2 km² nedbørfelt) på 200 mg/l benyttet. For resten av området i nærsonen til Padderudvann (ca. 0,3 km² nedbørfelt), inkludert overflaten av selve vannet, ble et saltinnhold på 20 mg/l benyttet.

Daglige verdier av salttilførsler som ble benyttet ved modelleringen fra de ulike kildene er vist i Figur 6. Midlere årlig transport i simuleringsperioden 1990 – 2008 var 230 tonn salter. Av disse kom 37 tonn fra E18. Vann som renner inn i Padderudvann blir innlagret i samsvar med tettheten i innsjøen korrigert for fortykning pga. blanding med innsjøvann. Som hovedregel gjelder at vann fra veien og bekken i sør strømmer relativt konsentrert et stykke nedover mot bunnen pga. stort saltinnhold, mens de øvrige tilløpene lagres inn nær overflaten.

For å finne saltinnholdet ved simuleringens start, og også for kontroll av simuleringresultatene, benyttet vi ledningsevne målinger fra 1991 – 1992, figur 6. For å finne

saltinnholdet benyttet vi koeffisientene for hvert enkelt ion, tabell 3. Disse er standard koeffisienter brukt på NIVA for kontroll av kjemiske analyser av ioner. Slike koeffisienter varierer imidlertid i ulike vitenskapelige kilder. Saltinnhold er det samme som totalmengde løste salter. For den kombinasjonen av ioner som var aktuelt i denne sammenheng gjaldt:

Ledningsevne ved 18 °C: $K18_{\mu S/cm} = 1,81 * Saltinnhold_{mg/l}$.

eller

$Saltholdighet_{mg/l} = 0,55 * K18_{\mu S/cm}$.

Verdiene ble satt lik 160 mg/l og 210 mg/l i henholdsvis overflate og bunn ved simuleringens start i 1990, Figur 7.

Tabell 1. Vegsalt per kilometer på E18. Avrenning til Padderudvann 2 km.

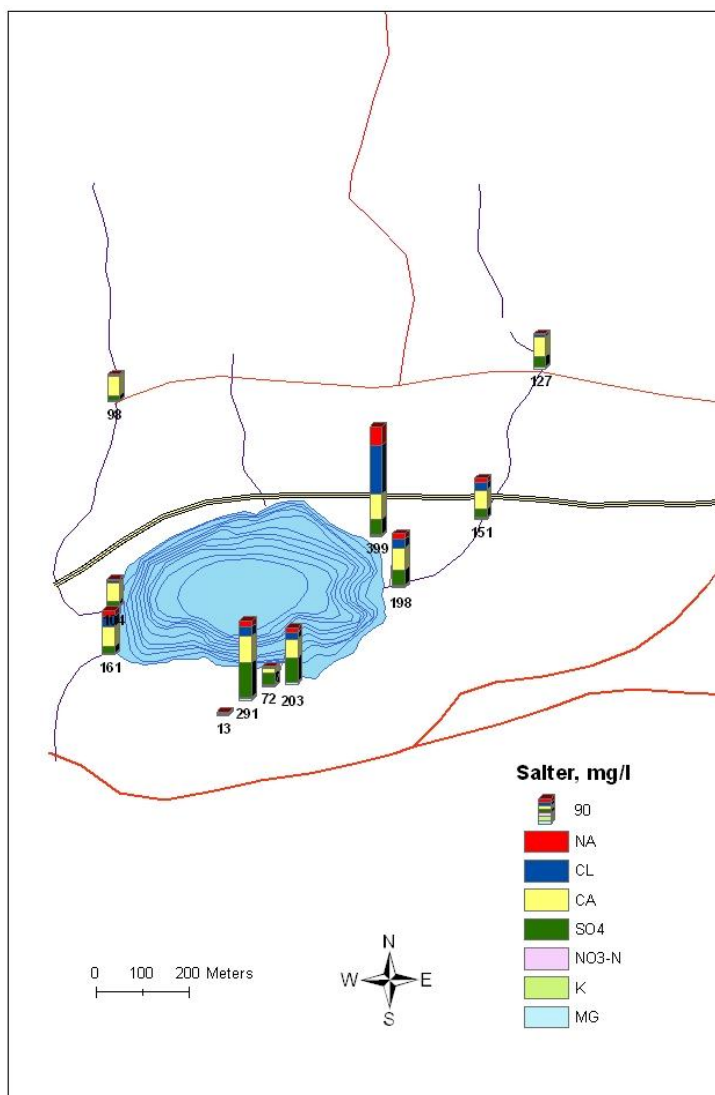
| Sesong | okt tonn/km | nov tonn/km | des tonn/km | jan tonn/km | feb tonn/km | mars tonn/km | april tonn/km | Sum_sesong tonn/km |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1990-1991 | 0.1 | 0.8 | 1.9 | 1.6 | 1.5 | 1.0 | 0.1 | 7.0 |
| 1991-1992 | 0.2 | 0.9 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.2 | 0.1 | 8.0 |
| 1992-1993 | 0.2 | 1.0 | 2.4 | 2.1 | 1.9 | 1.3 | 0.1 | 9.0 |
| 1993-1994 | 0.2 | 1.1 | 2.7 | 2.3 | 2.1 | 1.5 | 0.1 | 10.0 |
| 1994-1995 | 0.4 | 2.0 | 4.8 | 4.2 | 3.7 | 2.6 | 0.2 | 18.0 |
| 1995-1996 | 0.2 | 1.1 | 2.7 | 2.3 | 2.1 | 1.5 | 0.1 | 10.0 |
| 1996-1997 | 0.2 | 1.3 | 3.2 | 2.8 | 2.5 | 1.7 | 0.1 | 12.0 |
| 1997-1998 | 0.2 | 1.2 | 2.9 | 2.6 | 2.3 | 1.6 | 0.1 | 11.0 |
| 1998-1999 | 0.2 | 1.3 | 3.2 | 2.8 | 2.5 | 1.7 | 0.1 | 12.0 |
| 1999-2000 | 0.2 | 1.3 | 3.2 | 2.8 | 2.5 | 1.7 | 0.1 | 12.0 |
| 2000-2001 | 0.1 | 0.3 | 2.6 | 2.3 | 5.1 | 1.1 | 0.4 | 11.9 |
| 2001-2002 | 0.0 | 1.8 | 4.4 | 3.8 | 4.0 | 1.1 | 0.0 | 15.1 |
| 2002-2003 | 1.3 | 4.8 | 5.5 | 3.4 | 2.2 | 1.4 | 0.4 | 19.0 |
| 2003-2004 | 0.3 | 1.7 | 4.4 | 3.9 | 3.3 | 2.5 | 0.2 | 17.6 |
| 2004-2005 | 0.0 | 9.9 | 13.9 | 2.9 | 2.5 | 10.9 | 0.0 | 40.1 |
| 2005-2006 | 2.7 | 3.1 | 27.3 | 12.3 | 17.3 | 9.4 | 1.0 | 73.1 |
| 2006-2007 | 0.4 | 2.4 | 2.3 | 13.7 | 10.4 | 1.7 | 0.3 | 31.4 |
| 2007-2008 | 0.0 | 2.8 | 5.1 | 14.8 | 6.0 | 7.5 | 0.7 | 36.9 |

Tabell 2. Tilførsler av salter til Padderudvann fra ulike kilder

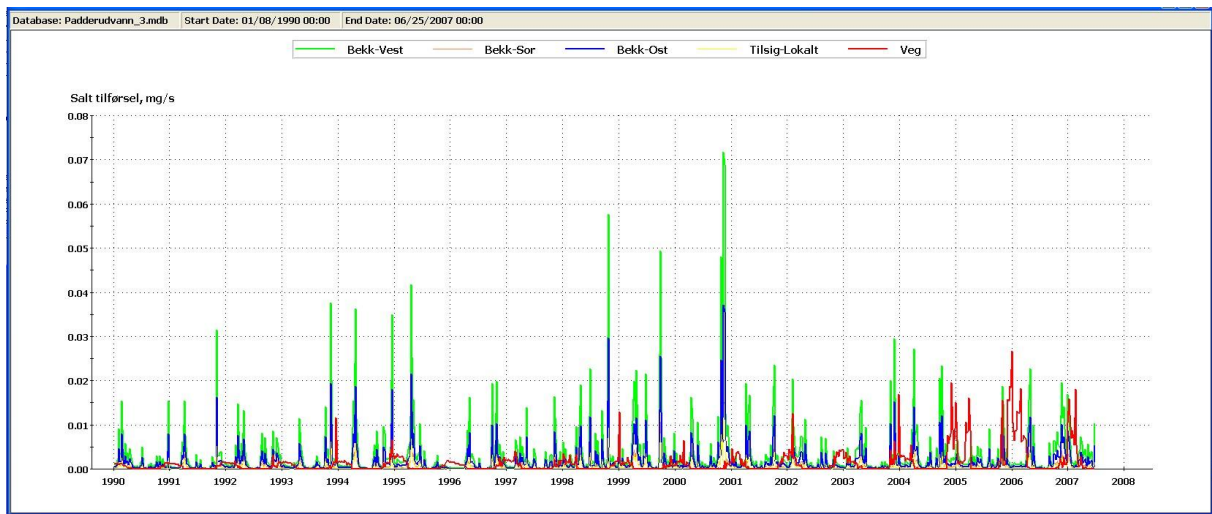
| Kilde | tonn/år |
|---------------------|----------------|
| Bekk i sør | 24 |
| Lokalt rundt vannet | 4 |
| Oppstrøms E18 | 167 |
| Vei | 37 |
| Sum | 231 |

Tabell 3. Karakteristisk forhold mellom saltholdighet og ledningsevne

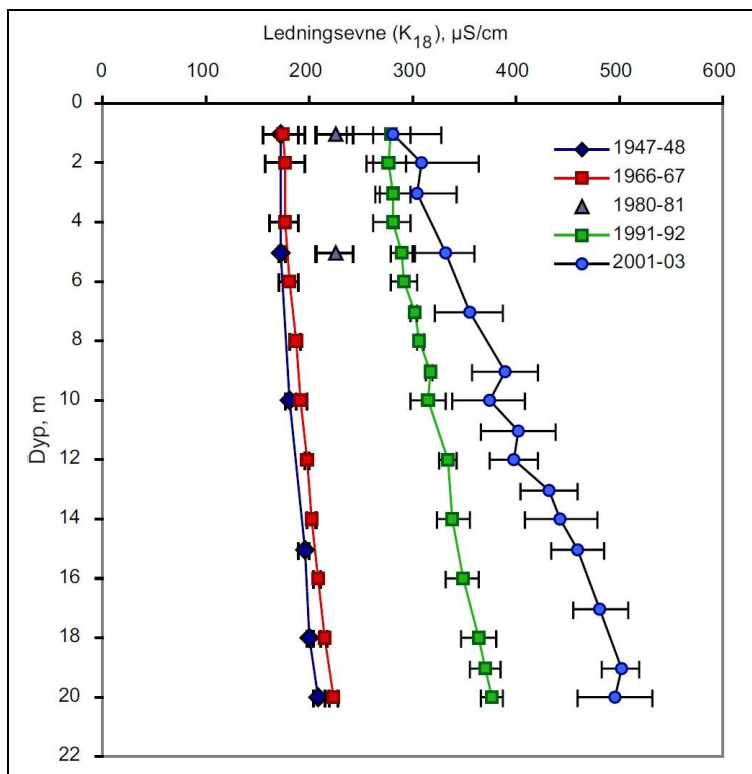
| | <i>Salt_mg/l = K18_μS/cm =</i> | |
|-------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| <i>Ion</i> | <i>Koeff x K18</i> | <i>Koeff x Salt</i> |
| NO ₃ N | 0,61 | 1.65 |
| Cl | 0,65 | 1.54 |
| SO ₄ | 0,68 | 1.47 |
| Ca | 0,52 | 1.93 |
| K | 0,64 | 1.56 |
| Mg | 0,46 | 2.16 |
| Na | 0,44 | 2.28 |



Figur 5. Total mengde ioner i vannprøver tatt oppstrøms E18 og i sør, 03.12.2009. viser naturlige bakgrunnsverdier.



Figur 6. Figuren viser salttilførsler som er benyttet som input til modellen. Det er betydelige mengder naturlige salttilførsler.

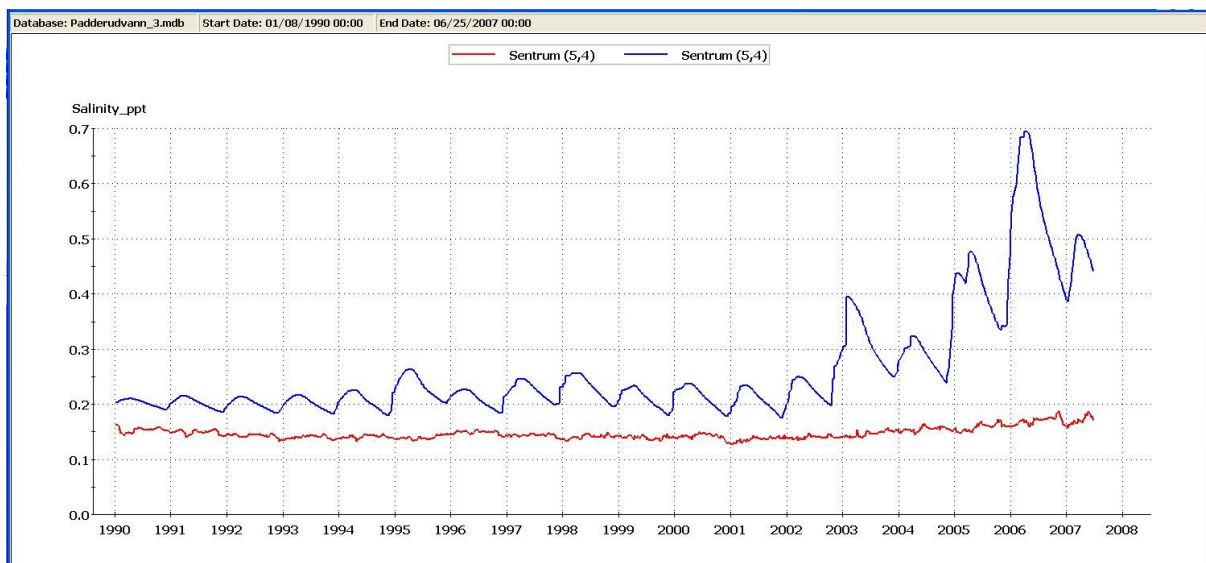


Figur 7. Ledningsevne profiler i Padderudvann 1947-2003 (Bækken og Færøvik 2003).

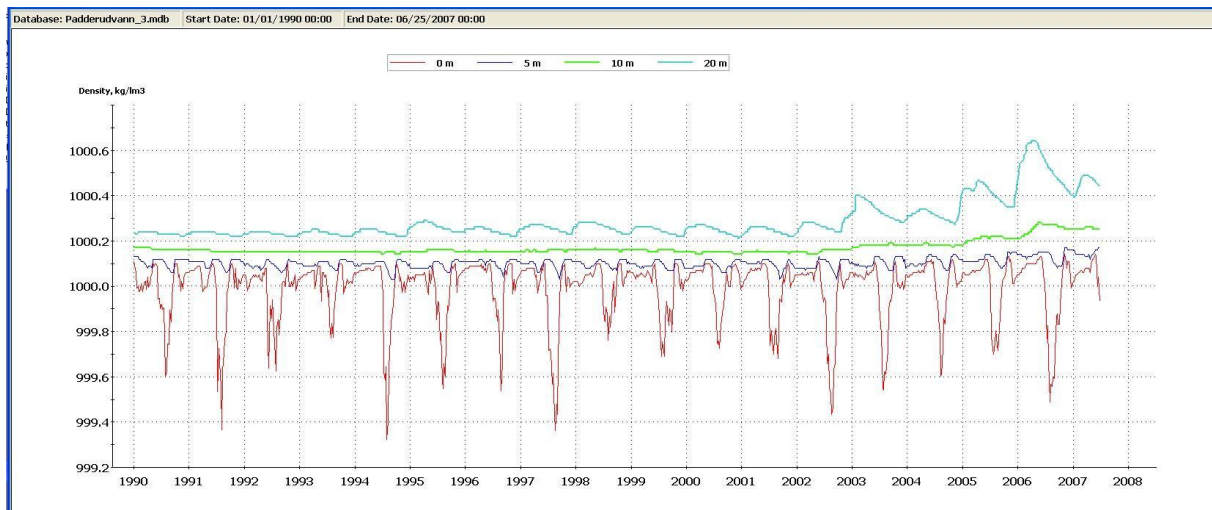
3. Resultater og diskusjon

3.1 Simulering av perioden 1990-2008

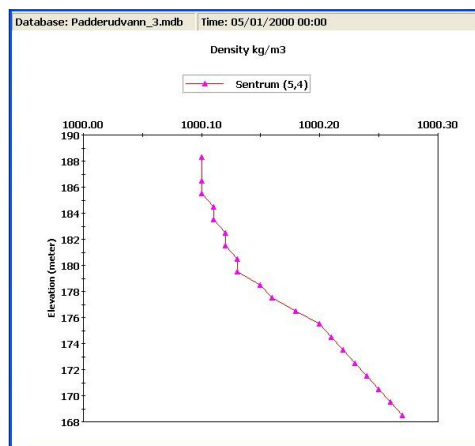
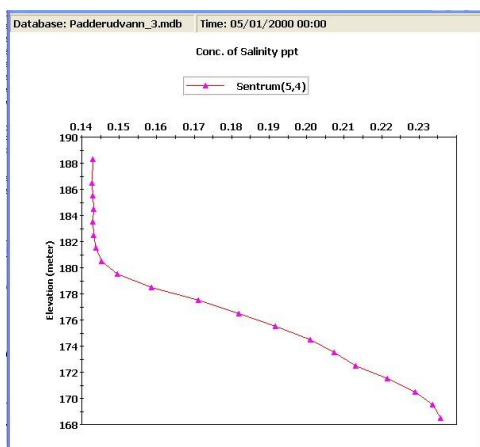
Simulert saltholdighet i overflaten økte svakt i simuleringssperioden fra 0,160 ppt = 0,160 g/l = 160 mg/l til nær 0,180 ppt, Figur 8. Økningen var større i bunnlagene 0,210 ppt til over 0,500 ppt. Det var kun en liten økning fram til 2003, deretter ble verdiene betydelig større. Økt saltholdighet med dypet førte til tilsvarende tetthetsforskjeller og tilhørende stabile forhold og redusert vertikal sirkulasjon, Figur 9. Saltholdighet og tetthetskurvene viser at vannet jevnlig sirkulerte minst ned til 5 meters dyp både vår og høst, og i blant også til nær 10 meters dyp, Figur 8– Figur 11. På større dyp var det hele tiden såpass store tetthetsforskjeller at vannet ikke kunne sirkulere på grunn av årstidsvariasjoner i temperatur. I korte perioder med svak tetthetsgradient kombinert med kraftig vind vil imidlertid vertikal blanding kunne skje til større dyp.



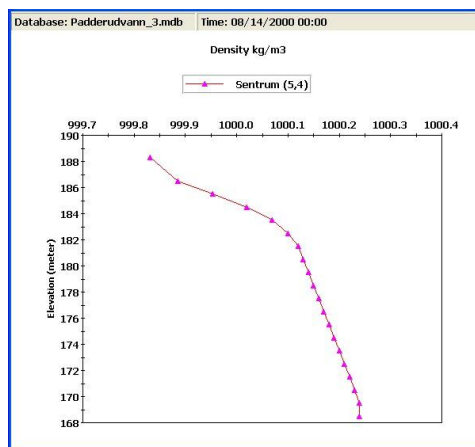
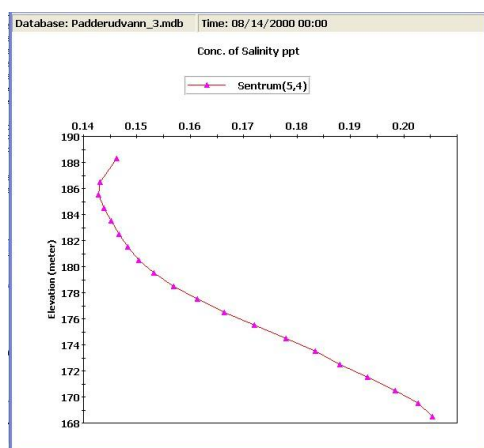
Figur 8. Simulert saltholdighet ved "dagens" forhold, det vil si forholdene som har vært fra 1990-2008. Det var større saltholdighet i bunnlaget enn ved overflaten. Forskjellen økte med tiden.



Figur 9. Simulert tetthet ved ”dagens” forhold, det vil si forholdene som har vært fra 1990-2008. Figuren viser simulerte tetthetsforskjeller ved 4 ulike dyp (0m, 5m, 10m og 20m). De simulerte tetthetsforskjellene ved ulike dyp viste at det kun er sirkulasjon i de øverste meterne av vannmassene.



Figur 10. Profiler av saltholdighet og tetthet 1. april 2000 ved ”stor” sirkulasjon i vannmassene. Raskt økende tetthetsverdier, det vil si økt stabilitet, under 10 meter.



Figur 11. Profiler av saltholdighet og tetthet 14. august 2000 ved stabile forhold i vannmassene. Stabiliteten i vertikal retning er større enn om våren med tilhørende redusert vertikal blanding av vannmassene.

Simuleringsresultatene var i rimelig godt samsvar med observerte verdier. I perioden 2001-2003 ble det observert ledningsevne ved 18 °C (K18) på ca. 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ henholdsvis i overflaten og på bunnen. Multiplisert med 0,55/1000 gir dette saltholdighetsverdier av simulert størrelse. Simuleringene viser, i likhet med observasjonene, en riktig utvikling i vertikal retning hvor det var en betydelig økning med økende dyp.

Observasjoner av oksygen i 2001-2003 viser at det gjennomgående var oksygenvinn hele året dypere enn 12 meter, hvilket tyder på at vannet sirkulerte til dette dypet. Simuleringene viste samme forløp, eventuelt med noe redusert sirkulasjonsdyp.

Saltavrenningen økte betydelig i 2004-2005 sesongen og i 2005-2006 sesongen var verdiene spesielt høye, hvilket førte til betydelig høyere saltholdighets verdier i bunnvannet. Noe av dette kan skyldes beregningsgrunnlaget. Kildene for datainnsamling var forskjellig før og etter 2003-2004 sesongen. Vi har ikke målinger fra bunnlaget i denne perioden til å verifisere dette. Analyser av utløpsvannet desember 2009 forventes å gi de samme resultatene som fra overflatevannet i Padderudvann. Konsentrasjonene var av samme størrelse som i 2003 og i samsvar med simulerte verdier for 2008.

Vi gjorde enkelte simuleringer hvor tilførselene fra veien og bekken i sør ble blandet inn i overflatelaget. Dette førte til at det ikke ble permanent vertikal saltholdighetssjiktning i

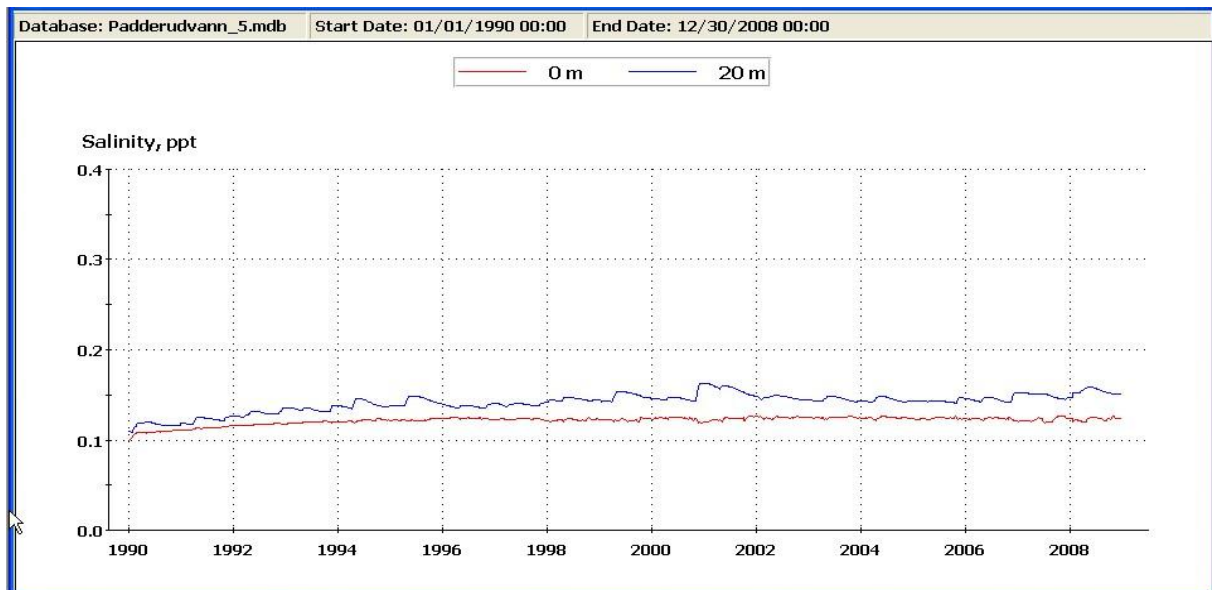
vannmassene. Dersom disse tilførselene ble ledet direkte til maksimum dybde, ble sjiktningen betydelig større enn hva som er vist i figurene. Disse scenariene tyder at innlagingsdypet er viktig. Generaliserer vi resultatene betyr det at dersom alt vann fra en vei kan ledes til hovedelva og dermed tilføres en innsjø godt fortynnet, vil innsjøen tåle betydelig større mengder salt enn ved direkte avrenning med høye konsentrasjoner via diverse grøfter og grunnvann. For Padderudvann vil det i så måte være en fordel om man kunne samle opp vannet langs veien og lede det til hovedbekkene i øst og vest.

Vi har som tidligere omtalt ikke målt tilført vegsalt. Total mengde ble beregnet ut fra arbeidsrapporter. I Padderudvann ble vegsaltet tilført via små grøfter og grunnvann i tillegg til de større bekkene. Vi har ikke data om vannføring og konsentrasjon i alle disse tilløpene. Slik informasjon ville ha gjort simuleringene enda mer pålitelige. Vi er usikre på konsentrasjonsfordelingen i tilsigene og tilhørende innlagingsdyp. Historiske data om saltinnholdet i Padderudvann er fortrinnsvis beregnet ut fra konduktivitetmålinger. Denne sammenhengen er ikke helt entydig. Selv om man kunne ønske bedre data med hensyn til input og kontroll av resultatene, var de eksisterende dataene likevel gode for å teste modellen. På bakgrunn av rådende usikkerhet har det liten hensikt å lage nye kjøring for å forbedre simuleringsresultater uten å gjøre ytterligere feltmålinger.

3.2 Scenarium: Naturlige forhold

Vi laget et scenarium for å studere naturlige forhold. Ved simuleringens start var saltinnholdet som i 1947, dvs. 0,100 ppt på overflaten og 0,110 ppt ved bunn. Verdiene ble stipulert ved omregning fra målt konduktivitet. Avrenning av vegsalt ble satt lik null, ellers benyttet vi samme inputdata og simuleringsperiode som før.

Saltholdigheten under naturlige forhold ble 0,130 ppt i overflaten og ca. 0,150 på bunnen, (se figur 12). Dette var litt høyere enn initialverdiene og representerer usikkerhet i omregning fra ledningsevne til saltholdighet så vel som i simuleringene. Det som er viktig er imidlertid forskjellene i saltholdighet mellom overflate og bunn og tilhørende tetthetsforskjeller hindrer en fullstendig vertikal blanding, hvilket tyder på at Padderudvann er en naturlig meromiktisk innsjø.

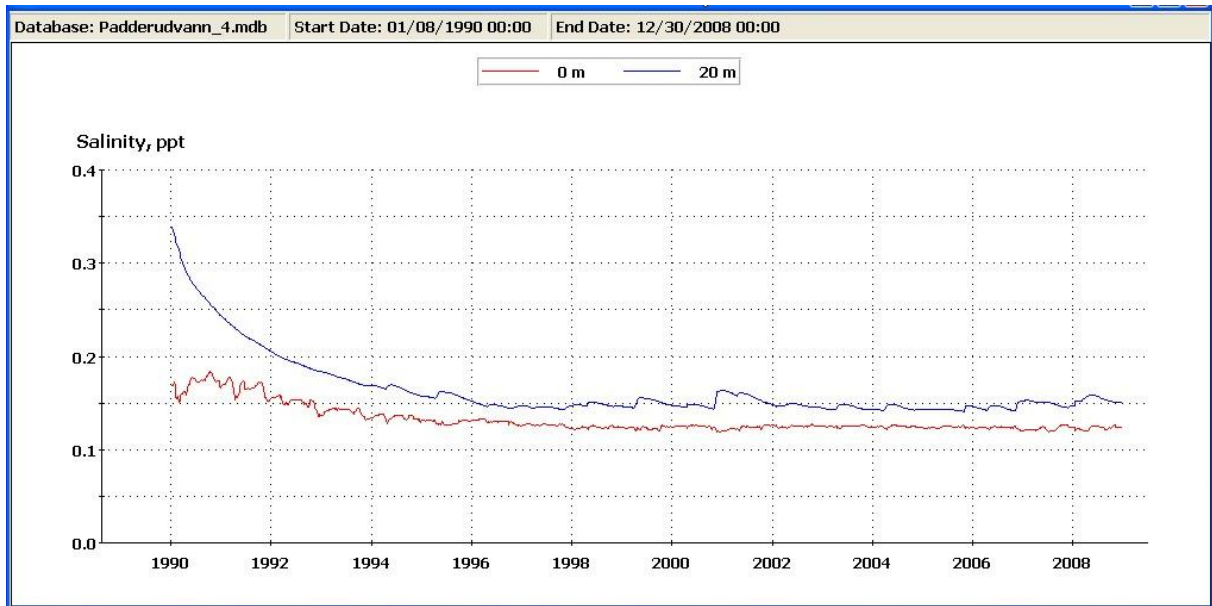


Figur 12. Simulert saltholdighet ved naturlige forhold.

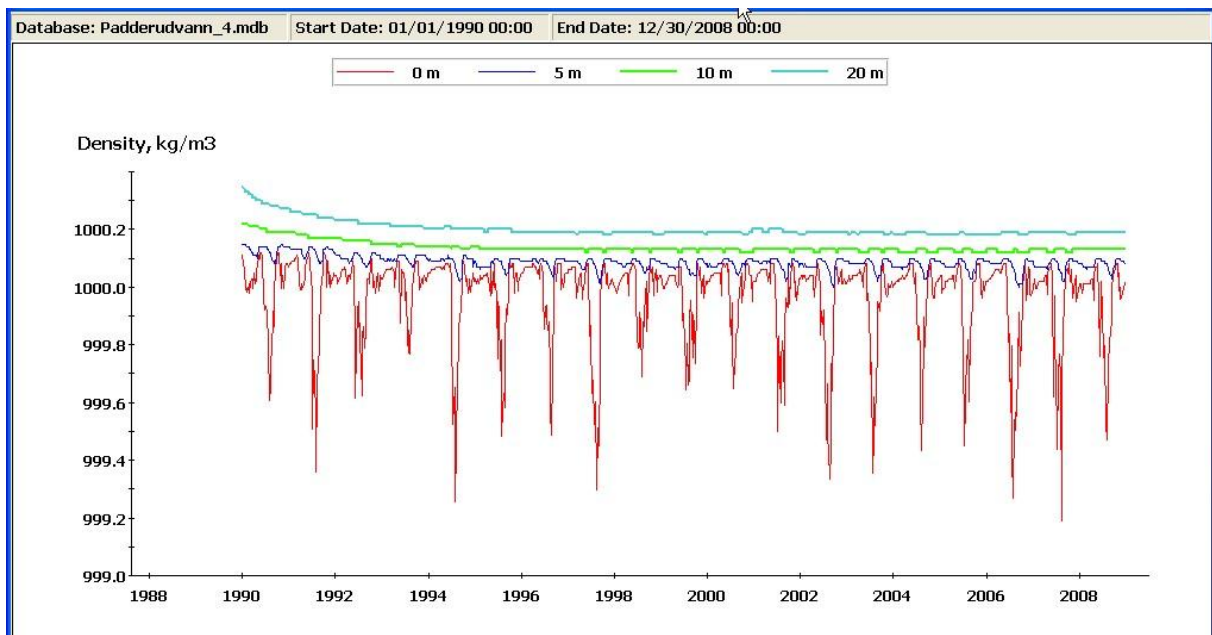
3.3 Scenarium: Vegsalting opphører

Vi laget et scenarium for å finne hva som vil skje om saltingen opphører. Vi startet simuleringen med saltinnhold som 1. januar 2006. Simuleringen ble deretter kjørt med samme klima og vannføringer som ved simuleringene for 1990-2008.

I løpet av tre år ble saltinnholdet noenlunde konstant både i overflaten (0,130 ppt) og ved bunnen (0,150 ppt), Figur 13. Etter 18 år var det fortsatt tilstrekkelig stor vertikal gradient til at vi må forvente meget liten sirkulasjon under 10 meters dyp med tilhørende oksygenvinn, Figur 13 og Figur 14. De saltholdighetene som fant sted etter noen år var den samme som i scenariet for naturlige forhold.



Figur 13. Simulert saltholdighet dersom veksalting opphører. Det var større saltholdighet i bunnlaget enn ved overflaten. Etter få år ble saltholdigheten nær de naturlige.



Figur 14. Simulert tetthet dersom veksalting opphører. Tetthetsforskjeller førte til at bunnlagene ikke sirkulerte.

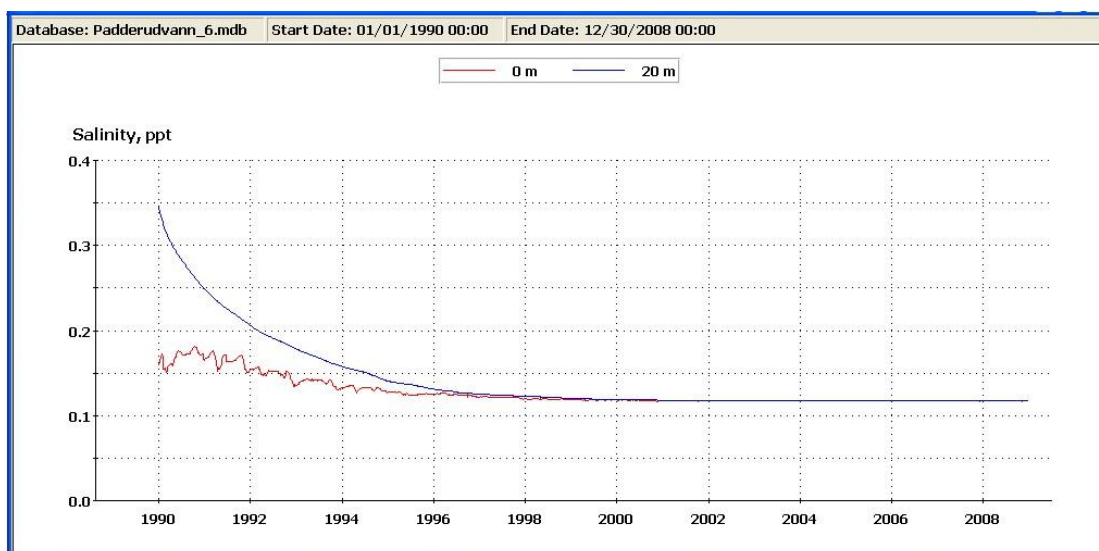
3.4 Scenarium: Vegsalting opphører og bekken i sør ledes ut av nedbørfeltet

Vi laget et scenarium hvor bekken i sør, som hadde høyt saltinnhold ble ledet ut av nedbørfeltet. Dette ble gjort i tillegg til at vegsaltingen opphørte. Startverdier var som i 2006 slik som i forrige scenarium.

Resultatet ble at saltinnholdet i både overflate og bunn fikk nær samme verdier, ca. 0,120 ppt eller 120 mg/l, Figur 15. Det ble ingen gradient fra overflaten mot bunnen, dvs. at vannet sirkulerte regelmessig vår og høst.

I følge dette scenariet er det først og fremst avløpet fra myra i sør som er årsaken til Padderudvannet dårlige sirkulasjonsforhold under naturlige forhold. Vi forutsetter her at det er riktig at høye saltholdighetsverdier fører dette tilsiget ned på dypt vann. Det som er avgjørende for sjiktning er ulike konsentrasjoner med tilhørende ulike innlagringsdyp.

Scenariet er ment som et eksempel på bruk av modellen til å beskrive effekter av tilførsler med ulike saltkonsentrasjoner og innlagringsdyp, samt å peke på et mulig tiltak. Det vil være enkelt å pumpe avløpet fra myra ut av nedbørfeltet. I praksis vil en slik overføring i dette tilfelle formodentlig kun forskyve problemene til innsjøene nedstrøms.



Figur 15. Dersom vegsalting opphørte og bekken i sør (avløpet fra myra i sør) ble ledet ut av nedbørfeltet ville saltinnholdet i Padderudvannet blitt jevnt fordelt i vertikal retning og innsjøen ville ha sirkulert vår og høst.

4. Konklusjon

Vi mener at simuleringene viser et tilstrekkelig godt samsvar med observerte verdier til at den kan betegnes som godt egnet til å beskrive saltpåvirkning av innsjøer. For å oppnå pålitelige simuleringresultater er det viktig å kjenne tilførselene og ikke minst hvordan disse innlagres i innsjøen.

5. Referanser

Bækken T. og Færøvig P.J. 2004. Effekter av vegforurensninger på vannkvalitet og biologi i Padderudvann. 93 sider. Publikasjon nr 106 fra Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Oslo.

Hjemmesiden til modellutvikler ERM: www.erm-smg.com

Tjomsland, T. og Tryland, I. 2008. Sårbarhetsanalyse av vanninntakene til de kommunale vannverkene i Mjøsa: Biri, Moelv, Gjøvik og Østre Toten
Simulering av bakteriologiske forhold ved bruk av strøm- og spredningsmodeller. 58 sider. Løpenr. 5610-2008, Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

Tjomsland 2009. Utbygging av Valhall friområde Strøm, vannutskiftning og sandflukt i planlagt badeområde. 29 sider. Løpenr. 5843. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

Aanes K.J., Tjomsland, T., Tryland, I., Vogelsang C. 2010. Risiko for forurensning av råvannet til Oppegård vannverk ved akutt utslipp til Gjersjøen. 94 sider. Løpenr. 5932-2010. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

6. Vedlegg

Saltinnhold i vannprøver ved Padderudvannet tatt 3. desember 2009

| Lokalitet | NO3-N mg/l | Cl mg/l | SO4 mg/l | Ca mg/l | K mg/l | mg/l | NA mg/l | Sum_salter mg/l | K18 uS/cm | Temp oC |
|------------------|---------------|------------|-------------|------------|-----------|------|------------|--------------------|--------------|------------|
| Elv_Øst_innløp | 1,5 | 31,2 | 54,0 | 81,0 | 1,7 | 7,0 | 21,4 | 197,8 | 352,8 | 4,9 |
| Bekk_Sør_Innløp | 1,1 | 23,6 | 86,7 | 68,6 | 0,9 | 6,2 | 16,0 | 203,1 | 349,2 | 1,0 |
| Sør | 1,5 | 4,4 | 41,5 | 18,0 | 0,8 | 2,8 | 3,1 | 72,1 | 119,4 | 0,0 |
| Sør | 0,5 | 2,7 | 3,7 | 3,5 | 0,2 | 0,5 | 1,7 | 12,8 | 22,3 | 0,0 |
| Sør_myr | 1,3 | 34,1 | 125,0 | 96,5 | 1,2 | 8,9 | 23,5 | 290,5 | 499,2 | 2,0 |
| Grøft_NV | 2,4 | 179,0 | 53,6 | 90,1 | 2,0 | 4,4 | 67,0 | 398,5 | 697,6 | 1,3 |
| Grøft_Nord | 2,0 | 25,8 | 29,4 | 71,0 | 1,3 | 4,3 | 17,1 | 150,9 | 273,5 | 2,9 |
| Elv_Vest_innløp | 1,8 | 7,5 | 19,7 | 66,5 | 0,9 | 3,1 | 4,8 | 104,3 | 190,8 | 1,3 |
| Elv_Øst_opp_vei | 1,3 | 3,5 | 16,8 | 69,6 | 0,9 | 3,4 | 2,8 | 98,3 | 181,7 | 0,5 |
| Elv_Vest_opp_vei | 2,0 | 5,6 | 34,3 | 74,2 | 1,0 | 4,8 | 4,8 | 126,7 | 228,3 | 2,5 |
| Utløp | 0,8 | 38,4 | 25,7 | 70,8 | 1,4 | 4,1 | 20,2 | 161,4 | 292,0 | 1,2 |

Prøvetakingssted

| Lokalitet | Bredde grad | Lengde grad | Bredde UTMsone 33 | Lengde UTMsone 33 |
|------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Elv_Øst_innløp | 59,82207 | 10,36389 | 240156 | 6640754 |
| Bekk_Sør_Innløp | 59,82035 | 10,35961 | 239911 | 6640546 |
| Sør | 59,82030 | 10,35936 | 239896 | 6640541 |
| Sør | 59,81969 | 10,35806 | 239818 | 6640478 |
| Sør_myr | 59,81999 | 10,35856 | 239849 | 6640510 |
| Grøft_NV | 59,82335 | 10,36311 | 240130 | 6640866 |
| Grøft_Nord | 59,82382 | 10,36709 | 240356 | 6640902 |
| Elv_Vest_innløp | 59,82161 | 10,35323 | 239563 | 6640711 |
| Elv_Øst_opp_vei | 59,82505 | 10,35275 | 239565 | 6641158 |
| Elv_Vest_opp_vei | 59,82544 | 10,36789 | 240483 | 6641229 |
| Utløp | 59,82069 | 10,35320 | 239554 | 6640609 |



Statens vegvesen

Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162