

Påvirkning fra vegsalting langs E6 på Flagstadelva i Hamar



RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
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

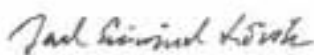
Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

| | | |
|--|---------------------------------------|---------------------|
| Tittel Påvirkning fra vegsalting langs E6 på Flagstadelva i Hamar | Løpenr. (for bestilling) 6484-2013 | Dato 25.2.2013 |
| | Prosjektnr. Undernr. O-12124 | Sider Pris 23 |
| Forfatter(e) Jarl Eivind Løvik | Fagområde Vannressursforvaltning | Distribusjon Fri |
| | Geografisk område Hedmark | Trykket NIVA |

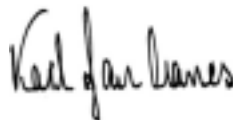
| | |
|---|---|
| Oppdragsgiver(e) Statens Vegvesen Region Øst | Oppdragsreferanse Claire Bant og Grete Sponga |
|---|---|

| |
|---|
| <p>Sammendrag</p> <p>Rapporten omhandler tilførsler av salt (NaCl) til nedre del av Flagstadelva, basert på målinger i perioden fra februar 2012 til januar 2013. Middelerdiene for konsentrasjoner av Na og Cl økte med faktorene 2,5 og 3,3 på en ca. 4,5 km lang strekning fra referansestasjonen til utløpet i Åkersvika. Transporten av NaCl var på 263 tonn/år ved referansestasjonen og 809 tonn/år ved utløpet i Åkersvika (3,1 ganger økning). Det vil si at Flagstadelva ble tilført 546 tonn NaCl på den aktuelle strekningen. Undersøkelsen tyder på at tilførslene var spesielt store i perioden juli-november 2012 pga. store nedbørmengder og stor vanntransport. Avrenning fra E6 pga. salting i den kalde årstiden er sannsynligvis den viktigste enkeltkilden mht. NaCl-tilførsler til Flagstadelva. Andre mulige kilder kan være: forvitring av jord, avrenning fra dyrka mark (mineralgjødsel inneholder bl.a. klorid), salting av andre vegger, salt i strøsand og evt. utsig eller lekkasjer av avløpsvann fra husholdninger og/eller kommunale avløpssystemer.</p> |
|---|

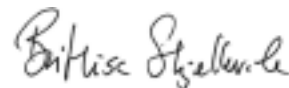
| | |
|---|---|
| <p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Vegsalting 2. E6 3. Flagstadelva 4. Salttilførsler | <p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Road deicing salts 2. E6 3. The river Flagstadelva 4. Inputs of salt |
|---|---|



Jarl Eivind Løvik
Prosjektleder



Karl Jan Aanes
Forskningsleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsdirektør

**Påvirkning fra vegsalting langs E6
på Flagstadelva i Hamar**

Forord

Rapporten omhandler påvirkningen fra vegsalting langs E6 på Flagstadelva i Hamar. Undersøkelsen er gjort på oppdrag fra Statens Vegvesen Region øst, og kontaktpersoner hos oppdragsgiver har vært Claire Bant og Grete Sponga.

Prosjektleder for NIVA har vært Jarl Eivind Løvik ved NIVAs Østlandsavdeling. Han har gjennomført feltarbeidet med innsamling av vannprøver, og han har utarbeidet denne rapporten.

Vannkjemiske analyser ble utført ved LabNett Hamar og ved ALcontrol AB i Umeå. Vannføringsmålinger er utført av NVE Region Øst ved Rolf Steinar Olstad. Svein Ole Åstebøl i COWI, Torgeir Vaa i Statens vegvesen og Torleif Bækken i NIVA har gitt verdifulle innspill til diskusjonen av resultatene. Mette-Gun Nordheim ved NIVAs Østlandsavdeling har bistått med tilrettelegging av kart.

Samtlige takkes for godt samarbeid.

Ottestad, 25. februar 2013

Jarl Eivind Løvik

Innhold

| | |
|--|-----------|
| | 1 |
| Sammendrag | 5 |
| Summary | 6 |
| 1. Innledning | 7 |
| 2. Materiale og metoder | 8 |
| 3. Resultater | 11 |
| 3.1 Meteorologiske og hydrologiske forhold | 11 |
| 3.2 Saltkonsentrasjoner i Flagstadelva | 13 |
| 3.3 Tilførsler av salt til Flagstadelva | 17 |
| 4. Sammenfattende diskusjon | 19 |
| 5. Litteratur | 21 |
| 6. Vedlegg | 23 |

Sammendrag

Hensikten med denne undersøkelsen har vært å få en oversikt over saltkonsentrasjoner i nedre del av Flagstadelva, samt å få et mål for årlig tilført mengde salt (NaCl) til Flagstadelva på den strekningen som kan antas å være påvirket pga. salting av E6 i den kalde årstiden.

Det har blitt foretatt målinger av konduktivitet (ledningsevne) samt konsentrasjoner av natrium og klorid i ett år fra februar 2012 til januar 2013, ved én stasjon nær Flagstadelvas utløp i Åkersvika i Mjøsa (Fl 5) og én referansestasjon ved Arnkværn ca. 4,5 km oppstrøms (Fl 2). Strekningen av E6 som drenerer til Flagstadelva er 8,4 km lang og har en ÅDT (årsdøgntrafikk) på ca. 14 600 kjøretøyer (Løvik og Åstebøl 2011).

Middelkonsentrasjonen av løste mineralsalter, uttrykt ved konduktivitet, økte med en faktor på 2,7 i Flagstadelva på strekningen mellom Fl 2 og Fl 5. På den samme strekningen økte middelverdiene for natrium med en faktor på 2,5 og klorid med en faktor på 3,3. Ved Fl 5 varierte konsentrasjonene av natrium og klorid i intervallene 0,97-16,6 mg Na/l og 1,5-31,0 mg Cl/l med middelverdier på henholdsvis 4,6 mg Na/l og 8,0 mg Cl/l. Dette er ikke spesielt høye konsentrasjoner sammenlignet med nivåer funnet ved andre undersøkelser av bekker i urbane områder som er påvirket fra vegsalting. Flagstadelva kan karakteriseres som ei middels stor elv. Fortynningsevnen er derfor god, og dette er trolig hovedårsaken til at det ikke ble målt høyere konsentrasjoner her. Høye konsentrasjoner av klorid er skadelig for vannlevende organismer. De registrerte konsentrasjonene i Flagstadelva var betydelig lavere enn EUs vannkvalitetsstandard for klorid med tanke på beskyttelse av miljøet (250 mg/l). Undersøkelser har imidlertid vist at sensitive algearter kan påvirkes ved langt lavere konsentrasjoner (ca. 25 mg Cl/l) (Haugen mfl. 2010).

De høyeste konsentrasjonene av Na og Cl ble målt i forbindelse med relativt lav vannføring, enten i forbindelse med mildvær og snøsmelting i de lavere delene av nedbørfeltet i februar-mars eller i perioder med lav vannføring i september og desember. I situasjoner med stor avrenning og høy vannføring skjedde det en fortynning slik at konsentrasjonene ble lavere.

Salttransporten i Flagstadelva var størst i perioder med høy vannføring under snøsmeltingen om våren (mars-mai) og i perioden juli-november. Ut fra konsentrasjonsmålinger og beregnet vanntransport ble det tilført 546 tonn NaCl på strekningen fra referansestasjonen til utløpet i Åkersvika. Transporten av NaCl økte med en faktor på 3,1 (fra 263 tonn/år til 809 tonn/år) på denne strekningen, og økningen var noe større for klorid enn for natrium.

Salting av E6 er tidligere beregnet å tilføre Flagstadelva ca. 100 tonn NaCl årlig (Løvik og Åstebøl 2011). Dette er å betrakte som et gjennomsnitt, og det er rimelig å anta at både saltforbruket og tilførsene til Flagstadelva vil kunne variere betydelig fra år til år bl.a. som følge av ulike vær- og føreforhold. Saltforbruket kan trolig variere i området ca. 85-235 tonn per saltingssesong på denne strekningen av E6. De store nedbørmengdene og den store avrenningen i perioden juli-november er sannsynligvis én av årsakene til at salttransporten i Flagstadelva var spesielt høy i 2012. Dette kan også forklare noe av forskjellen mellom salttilførselen beregnet ut fra konsentrasjonsmålinger og ut fra saltforbruk på E6. Videre kan det være andre kilder til salttilførsler til Flagstadelva enn salting av E6, slik som: forvitring av jord, avrenning fra dyrka mark (klorid i mineralgjødsel bl.a.), salting av andre veger og parkeringsplasser etc. i nedbørfeltet, salt tilsatt i strøsand (for å unngå klumping) og evt. utslipp eller lekkasjer av avløpsvann fra husholdninger og/eller kommunale avløpssystemer. Salttilførselen på den aktuelle strekningen av Flagstadelva skyldes trolig hovedsakelig menneskelige aktiviteter, og salting av E6 i den kalde årstiden er sannsynligvis den største enkeltkilden.

Summary

Title: Influence from deicing road salt along E6 on the river Flagstadelva in Hamar, southeast Norway.

Year: 2013

Author: Jarl Eivind Løvik

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6219-3

The total concentration of mineral salts, expressed as mean value of conductivity, increased by a factor of 2.7 in the river Flagstadelva from the reference station (F1 2) to the outlet into the delta area Åkersvika in Lake Mjøsa (F1 5). The mean values for sodium and chloride increased by factors 2.5 and 3.3 respectively between these two sampling stations. Mean values at station F1 5 were 4.6 mg Na/l and 8.0 mg Cl/l, and the observed maximum concentrations at F1 5 were 16.6 mg Na/l and 31.0 mg Cl/l. The concentrations of chloride in river Flagstadelva were significantly lower than the water quality standard for chloride in the EU directive on surface water regulations (250 mg Cl/l). However, studies have shown that sensitive species of phytoplankton can be negatively affected at significantly lower concentrations (approximately 25 mg Cl/l).

The yearly input of NaCl to the lower part of river Flagstadelva (between stations F1 2 and F1 5) was estimated to 546 tons of NaCl. These calculations are based on measured salt-concentrations and water discharge for the period February 2012 – January 2013. According to these calculations the NaCl transport was 3.1 times higher at F1 5 than at the reference station F1 2. The large rainfalls during summer and autumn months caused high water discharge and high inputs of NaCl to the river this year. Road deicing salt from E6 is supposed to be the main source of NaCl inputs to the lower parts of the river Flagstadelva. Weathering of rocks and soil, farming, deicing salts from other roads than E6, salt in sand used for gritting and effluents of domestic waste water are other possible sources.

1. Innledning

Salting har vært en vanlig metode for å bedre framkommelighet og øke sikkerheten på veger vinterstid i kalde områder gjennom flere tiår. Metoden ble først introdusert med tanke på snøsmelting på 1930-tallet og ble utbredt i forbindelse med drift av motorveger særlig i løpet av 1960-tallet (Ramakrishna og Viraraghavan 2005). Vegsalting kan imidlertid innebære ulike negative effekter på omgivelsene, så vel i terrestrisk som i akvatisk miljø; se litteraturoversikter f.eks. av Ramakrishna og Viraraghavan (2005) og av Fay og Shi (2012). Risikoen for skadelige effekter av vegsalting i vannmiljø kan generelt regnes som liten i store vannforekomster med god fortykning, men den kan være betydelig større i små vannforekomster. Blant de viktigste effektene kan nevnes:

- Økning i saltkonsentrasjonen. Økningen kan dreie seg om kortvarige pulser eller en gradvis økning over tid.
- Endring i tetthetsgradienter. Dersom saltkonsentrasjonen i avrenning er høy, vil tettheten i innstrømmende vann til innsjøer og tjern kunne være betydelig høyere enn i vannforekomsten, med den følge at innstrømmende vann legger seg mot bunnen. Dette kan føre til at sirkulasjon av vannmassene blir mangelfull eller uteblir fullstendig (Bækken og Haugen 2006, Bækken og Haugen 2011, Novotny mfl. 2008).
- Ufullstendig sirkulasjon vår og høst vil kunne føre til saltindusert permanent sjiktning (meromiksiss), der et sjikt med relativt lav saltkonsentrasjon og lav tetthet ligger over et sjikt med høy saltkonsentrasjon og høy tetthet. Dårlig eller ingen sirkulasjon vil i sin tur kunne resultere i oksygenfritt (anoksisk) miljø i dypvannet.
- Oksygenfritt bunnvann vil kunne føre til frigjøring av bl.a. næringsstoffer (intern gjødsling) og eutrofiering av innsjøer.
- Stadig akkumulasjon av salter i dypvannet kan innebære at det sirkulerende øvre laget av vannmassene blir grunnere. Dette innebærer en risiko for innblanding av vann med høye konsentrasjoner av næringsstoffer (fosfor) fra dypvannet under høstsirkulasjonen og dermed fare for algeoppblomstringer den påfølgende vekstsesongen (Kjensmo 1997, Bækken og Færøvik 2004).
- Direkte giftvirkninger: Høye konsentrasjoner av klorid fra vegsalt kan innebære akutte eller kroniske gifteffekter på vannlevende organismer som muslinger, insekter, krepsdyr, amfibier og fisk (Corsi mfl. 2010, Gillis 2011, Allert mfl. 2012).
- Bruk av kloridsalt kan føre til utløsning av metaller fra jord og sedimenter via ionebyttesprosesser (Tromp mfl. 2012 med referanser).
- Vegsalting kan føre til økt saltkonsentrasjon i grunnvann og forurensning av brønner (Meriano mfl. 2009).

I Norge er det påvist klare effekter av vegsalting på skog, grunnvann, bekker og innsjøer (se f.eks. Åstebøl, Røhr og Pedersen 2002, Bækken og Færøvik 2004, Bækken og Haugen 2006, Bækken og Haugen 2011, Haugen mfl. 2011 samt referanser i disse).

Løvik og Åstebøl (2011) undersøkte miljøpåvirkninger fra E6 på Flagstadelva og deltaområdet Åkersvika i Hamar og fant bl.a. forhøyde konsentrasjoner av natrium og klorid i deler av naturreservatet Åkersvika. Strekningen av E6 som har avrenning til Flagstadelva (inklusive sidebekken Nydalsbekken) og Åkersvika ble beregnet til 8,4 km. Årsdøgntrafikken (ÅDT) på denne vegstrekningen er beregnet til ca. 14 600 kjøretøyer, og utslippet av salt (NaCl) ble beregnet til ca. 100 tonn. Utslippet antas å kunne variere betydelig fra år til år i forhold til variasjonen i værforholdene og påført saltmengde i den kalde årstiden.

Hensikten med denne undersøkelsen har vært å skaffe fram bedre data mht. saltkonsentrasjoner i nedre del av Flagstadelva, samt å få et mål på tilført mengde salt (NaCl) til Flagstadelva i løpet av et år på den strekningen som kan antas å være påvirket av E6.

2. Materiale og metoder

Vannprøver ble samlet inn fra to faste prøvestasjoner (Fl 2 og Fl 5) samt én supplementsstasjon (Fl 5b) i Flagstadelva (Tabell 1, Figur 1):

- Fl 2: ved bru ved Arnkværn på vegen mellom Olerud og Trehørningen
- Fl 5: ved E6-bru ved Flagstadelvas innløp i Åkersvika
- Fl 5b: ved pumpestasjon ved Hveberg

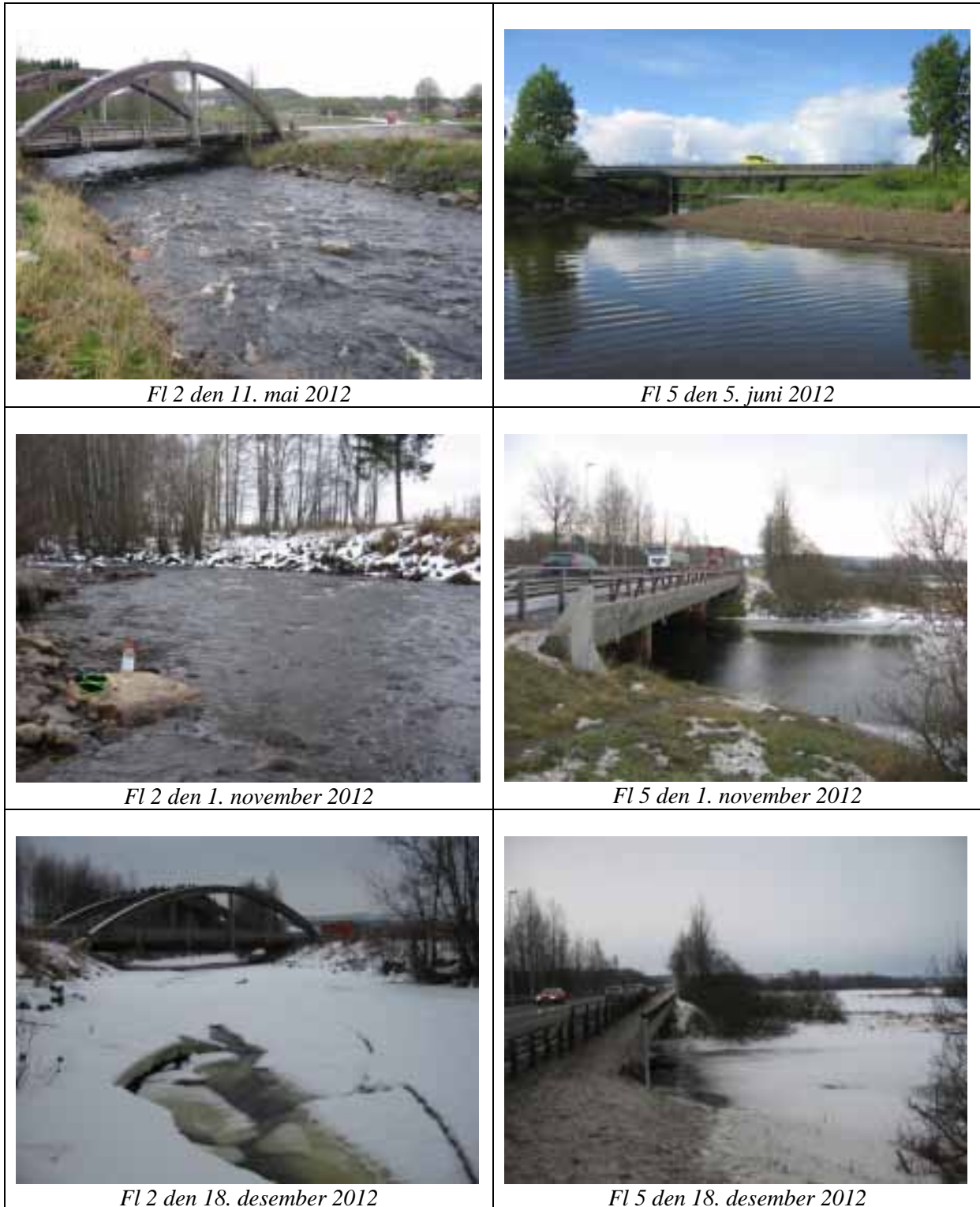
Tabell 1. UTM-koordinater for prøvestasjonene.

| Stasjon | Sone | Øst | Nord |
|---------|------|------------|------------|
| Fl 2 | 33 V | 0287281.33 | 6750792.52 |
| Fl 5 | 33 V | 0288410.89 | 6747324.55 |
| Fl 5b | 33 V | 0288355.30 | 6748143.31 |

Fl 2 antas å ikke være påvirket av avrenning fra E6, mens Fl 5 bør kunne gi et bilde av den samlede saltpåvirkningen på den aktuelle strekningen. I alt ble det samlet inn 33 vannprøver fra hver av de to faste stasjonene i perioden fra februar 2012 til og med januar 2013, med 2-4 prøver per måned og størst hyppighet i saltingsperiodene og på våren. Prøvene ble analysert ved LabNett mht. konduktivitet ved 25 °C (Intern metode, basert på EPA Method 120.1) samt konsentrasjoner av natrium (ICP-AES eller ICP-MS) og klorid (ved ALcontrol – Umeå, ISO 10304, ionekromatografi). Konduktivitet er et mål på den totale konsentrasjonen av løste mineralsalter i vannet. Samtidig med prøvetakingen ble vanntemperatur og lufttemperatur målt. Opplysninger om værforhold for øvrig, is og tjukkelse på evt. snødekke ble også notert. Bilder i Figur 2 viser situasjonen ved prøvestasjonene ved ulike årstider.



Figur 1. Oversiktskart med prøvestasjoner (kartkilde: <http://statkart.no/>).



Figur 2. Bilder fra prøvestasjonene. Foto: Jarl Eivind Løvik/NIVA.

Når vannstanden i Mjøsa er høy, stiger vannstanden innover i Flagstadelvdeltaet slik at vannet ved E6-brua over Flagstadelva kan bli tilnærmet stillestående. I 2012 ble det notert nær stillestående vann eller bare svak utgående vannstrøm på denne prøvestasjonen ved flere prøvetakingstiltfeller i perioden fra begynnelsen av juni til ut november. I slike situasjoner kan det være mistanke om at det ved stasjon Fl

5 vil være innblanding av vann fra Åkersvika/Mjøsa slik at det skjer en fortykning mht. saltkonsentrasjonen på denne lokaliteten. For å vurdere dette ble det tatt noen supplerende prøver som ble analysert mht. konduktivitet, på en stasjon med tydelig stryk ca. 700 m oppstrøms Fl 5 (Fl 5b, ved Hias-pumpestasjon Hveberg). Prøvene fra den sistnevnte stasjonen hadde lavere konduktivitet enn prøvene fra Fl 5 på samtlige datoer (Tabell 2). Vi har derfor valgt å benytte måleresultatene fra Fl 5 i videre beregninger, uten noen korreksjon for fortykning.

Tabell 2. Konduktivitet (m S/m) i Flagstadelva ved pumpestasjon Hveberg (Fl 5b) og ved E6-brua (Fl 5) ved fire datoer.

| | Hveberg Fl 5b | E6-bru Fl 5 | Økning Fl 5b-Fl 5 |
|---------------|------------------|----------------|----------------------|
| 08.10.2012 | 11,4 | 13,4 | 2,0 |
| 25.10.2012 | 11,8 | 12,7 | 0,9 |
| 01.11.2012 | 12,7 | 15,5 | 2,8 |
| 02.11.2012 | 12,0 | 13,0 | 1,0 |
| Middel | 12,0 | 13,7 | 1,7 |
| Standardavvik | 0,5 | 1,3 | 0,9 |

Det var en relativt god sammenheng mellom konduktivitet og konsentrasjoner av natrium og klorid både ved stasjon Fl 2 og Fl 5 (se kpt. 3, Figur 9). For å gi et godt bilde av variasjonen i konsentrasjonen av salter og for å øke sikkerheten i beregningene av salttransport gjennom året, ble konduktivitet målt i et relativt høyt antall prøver (N=32), mens Na og Cl ble analysert i et noe mindre antall prøver (N=25, se tabell i vedlegg). På datoer med bare konduktivitetmålinger ble konsentrasjonene av Na og Cl beregnet ut fra følgende ligninger (se Figur 9):

Stasjon Fl 2:

$$[\text{Na}] = 0,32 * \text{konduktivitet} - 0,03, R^2 = 0,93$$

$$[\text{Cl}] = 0,42 * \text{konduktivitet} - 0,17, R^2 = 0,97$$

Stasjon Fl 5:

$$[\text{Na}] = 0,30 * \text{konduktivitet} - 0,15, R^2 = 0,87$$

$$[\text{Cl}] = 0,54 * \text{konduktivitet} - 0,77, R^2 = 0,83$$

Transporter av Na og Cl ble beregnet månedsvis etter følgende ligning:

$$S = \frac{\text{sum}(C*Q)}{\text{sum}Q} * V, \text{ der}$$

S = stofftransport i tonn

C = konsentrasjon i mg/l

Q = døgnmiddelvanntføring på datoer for prøveuttak, m³/s

V = vanntransport i mill. m³

Tilført mengde salt til Flagstadelva langs E6 på den aktuelle strekningen er beregnet som differansen mellom stofftransporten ved Fl 5 og ved Fl 2.

Vannføring ble målt av NVE ved deres faste målestasjon i nedre del av Flagstadelva. Den er plassert mellom prøvestasjonene Fl 2 og Fl 5. Vannføringen på prøvestasjonene er estimert ut fra målte

vannføringer justert med en skaleringsfaktor som er basert på både nedbørfeltens areal og normal middelvannføring ved prøvestasjonene i forhold til ved vannføringsstasjonen (Tabell 3).

Tabell 3. Beregnede skaleringsfaktorer for vannføring basert på areal av nedbørfelter og normal middelvannføring (data fra NVE ved Rolf Steinar Olstad).

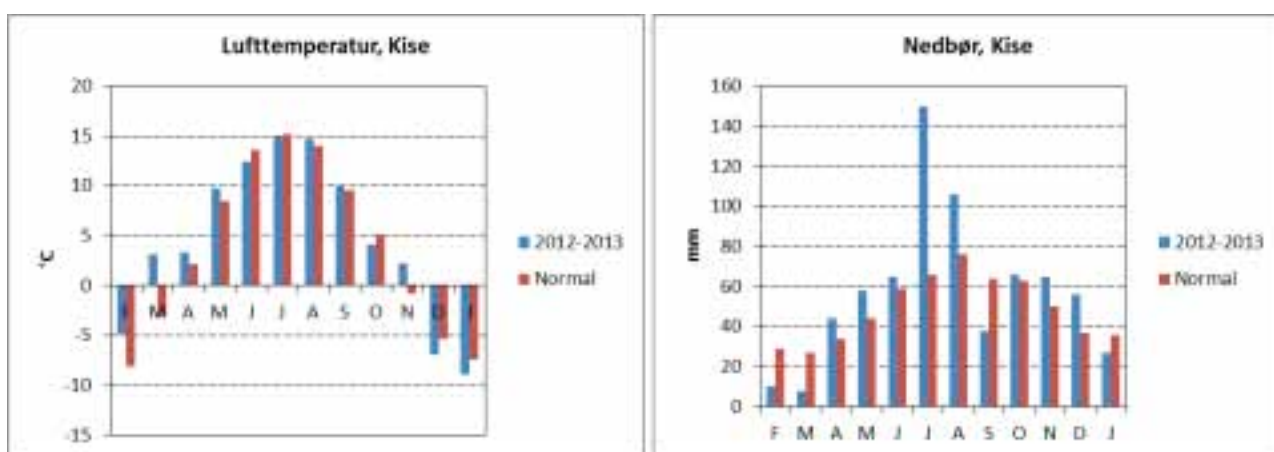
| Nedbørfelt | Areal km ² | Middelvannf. l/s/km ² | Skalerings- faktor |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Område oppstrøms Arnkværn-brua (Fl 2) | 132,1 | 12,1 | 0,83 |
| Område oppstrøms vannføringsstasjon | 174,7 | 11,0 | 1,00 |
| Område oppstrøms E6-brua (Fl 5) | 179,1 | 10,9 | 1,02 |

3. Resultater

3.1 Meteorologiske og hydrologiske forhold

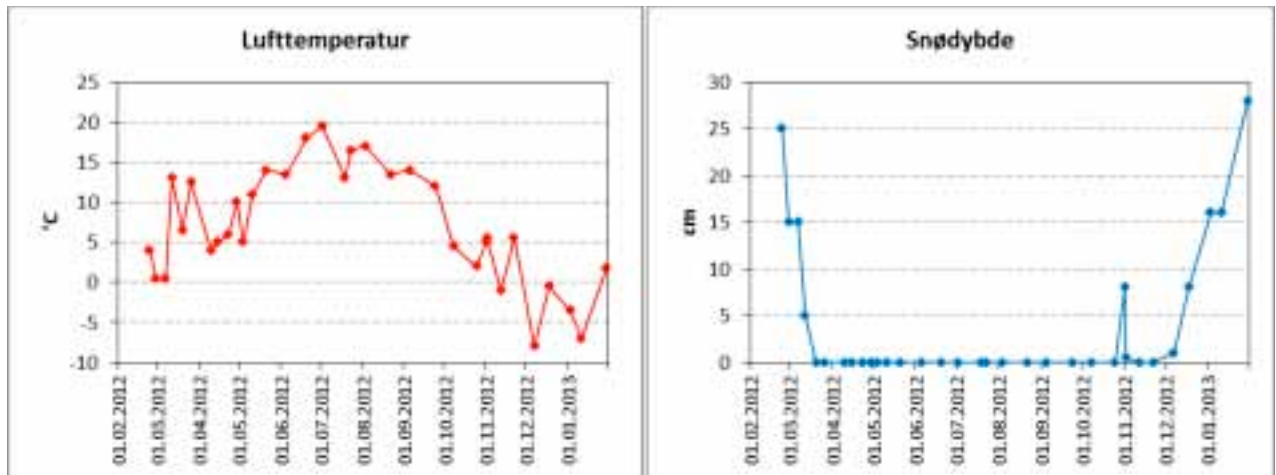
Figur 3 viser månedsverdier for lufttemperatur og nedbør ved Kise målestasjon på Nes i Ringsaker kommune. Perioden fra februar til mai 2012 var mild med middeltemperaturer over normalen for perioden 1961-1990. Juni 2012 var relativt kjølig, mens perioden juli-oktober hadde middeltemperaturer nær normalen. November 2012 var mild, mens desember 2012 og januar 2013 var kjølige måneder.

Det kom lite nedbør i perioden februar-mars 2012. I april-juni var nedbørmengden litt over normalen, og i juli 2012 kom det hele 150 mm, som er mer enn dobbelt så mye som normalen (66 mm) ved Kise målestasjon. August 2012 var også en nedbørrik måned (106 mm), mens det kom relativt lite nedbør i september dette året. I oktober-desember 2012 var nedbørmengden moderat høyere enn normalen, og i januar 2013 kom det relativt lite nedbør. For perioden februar 2012 til januar 2013 som helhet kom det 693 mm nedbør. Dette er 108 mm eller 18 % over årsnormalen (585 mm) ved Kise målestasjon.



Figur 3. Måned- og normalverdier for temperatur og nedbør ved Kise målestasjon (Kilde: <http://www.yr.no/>).

Det var 25 cm snø ved prøvestasjonen Fl 2 på første prøvedato den 24. februar 2012 (Figur 4). Mildvær i tiden som fulgte førte til at snøen smeltet bort i de lavere delene av nedbørfeltet, og det ble registrert 0 cm snø den 20. mars. Det vil si at snøen i området som har avrenning fra E6 til Flagstadelva forsvant i løpet av denne perioden. I de høyereliggende delene av nedbørfeltet var det fortsatt snø, sannsynligvis til i første halvdel av mai.

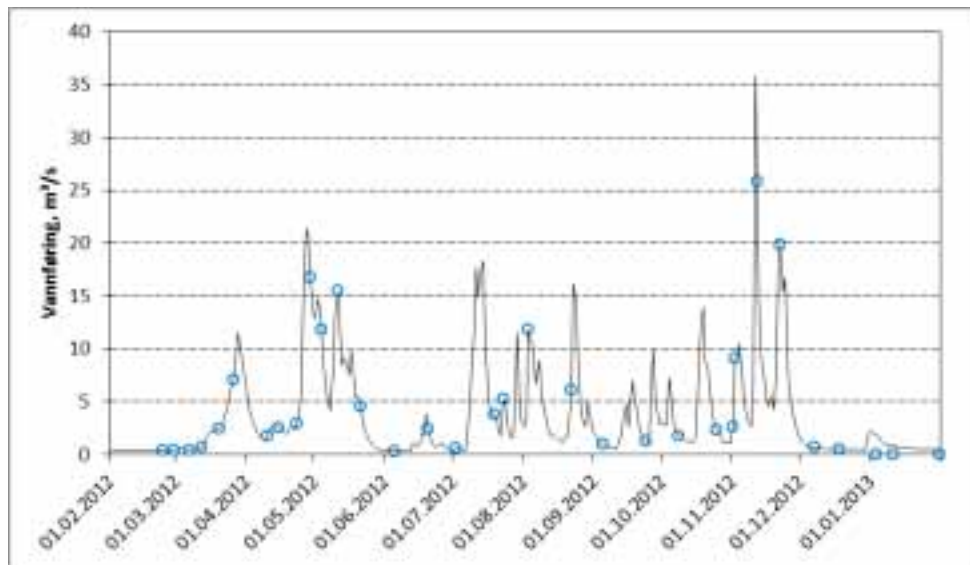


Figur 4. Lufitemperatur og snødybde på observasjonsdagene.

Høsten 2012 startet saltingen av E6 den 25. oktober. Første gang det ble registrert snø på bakken ved Fl 2 på høsten var den 1. november. Det var da markant avsmelting pga. mildvær (+5 °C), og snøen var praktisk talt borte neste dag (0,5 cm snødybde). Snømengden økte fra begynnelsen av desember til 28 cm på siste prøvedato den 30. januar 2013. Det var da plussgrader og moderat avsmelting på dagtid.

Avrenningen i Flagstadelvas nedbørfelt var preget av lav vannføring fram til ca. midten av mars og perioder med relativt høy vannføring i forbindelse med snøsmelting og til dels regn fram til siste del av mai (Figur 5). Vannføringen var generelt lav i juni, men utover sommeren og høsten var det mange perioder med relativt høy vannføring. Høyeste døgnmiddelverdi ble registrert den 11. november med 35,81 m³/s. Middelflom er beregnet til 40 m³/s basert på data fra perioden 1986-2008 (<http://www2.nve.no/h/hd/plotreal/Q/index.html>).

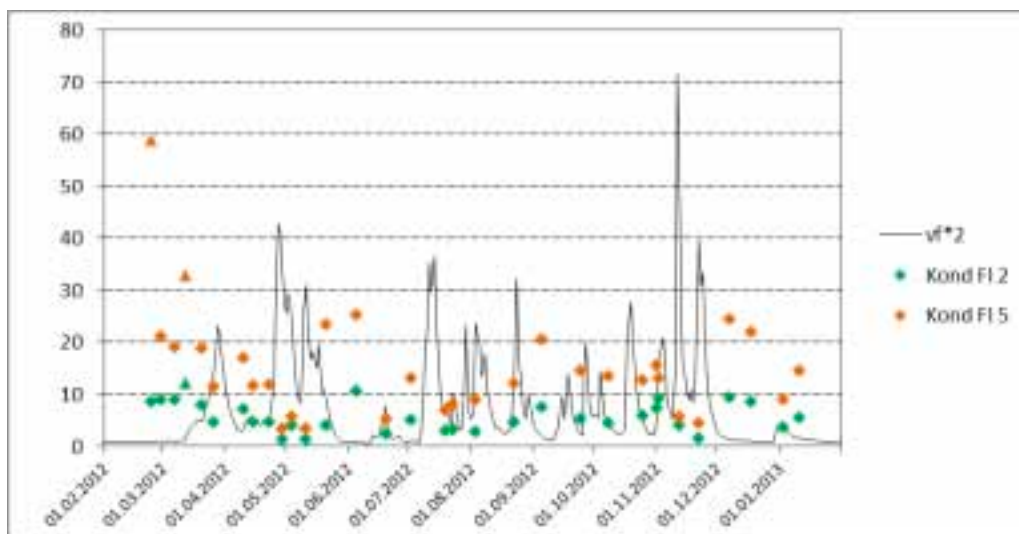
Vannprøvene som ble samlet inn, representerer ulike årstider og situasjoner ved så vel lav og middels som ved høy vannføring (Figur 5).



Figur 5. Vannføring ved NVEs målestasjon i Flagstadelva i perioden 1. februar 2012 til 31. januar 2013 (Data fra NVE ved Rolf Steinar Olstad). Tidspunkter for innsamling av vannprøver er markert med blå sirkler.

3.2 Saltkonsentrasjoner i Flagstadelva

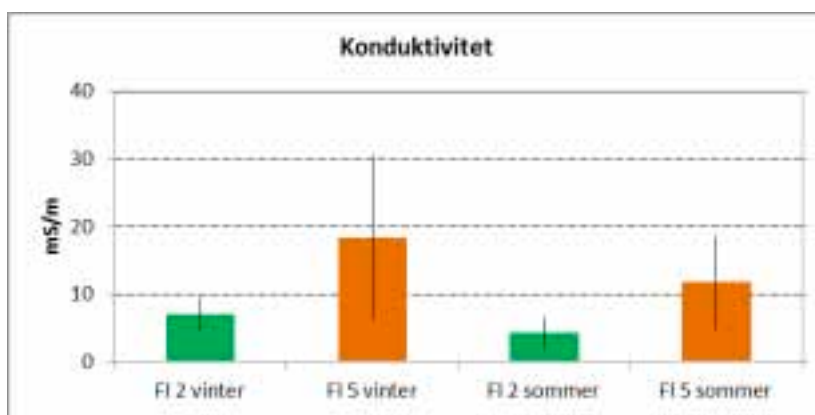
Den totale saltkonsentrasjonen uttrykt ved målt konduktivitet varierte i området 1,31-10,7 mS/m ved Fl 2 og i området 3,38-25,3 mS/m ved Fl 5, med middelveier på 5,53 mS/m og 13,4 mS/m henholdsvis ved Fl 2 og Fl 5 (Figur 6, Tabell i Vedlegg). Tre verdier som er beregnet ut fra sammenhengen mellom konsentrasjonen av klorid og konduktivitet (jf. ligninger i kpt. 2), er også tatt med i Figur 6. Inkluderer vi disse verdiene, ble det registrert maksverdier på 12,1 mS/m og 58,9 mS/m henholdsvis ved Fl 2 og Fl 5, og middelveier på 5,73 mS/m og 15,4 mS/m henholdsvis ved Fl 2 og Fl 5.



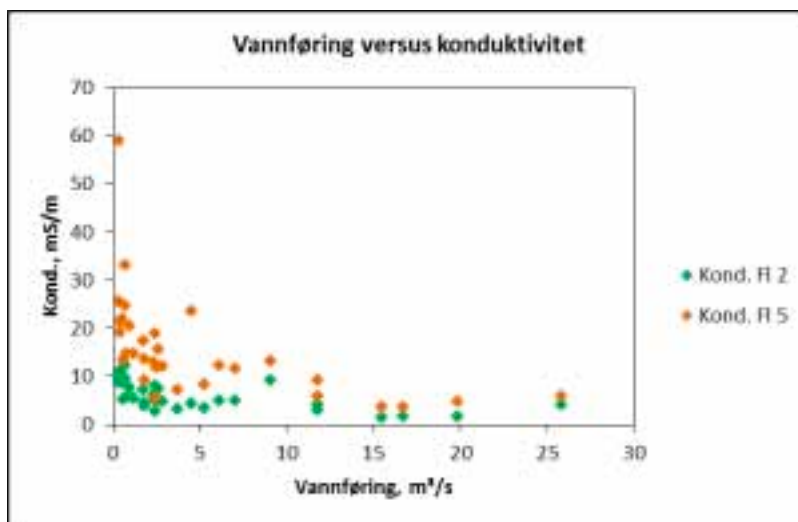
Figur 6. Konduktivitet (mS/m) ved Fl 2 og Fl 5. Vannføring (ganger 2, m³/s) er også vist. Beregnede verdier for konduktivitet er markert med trekant.

Maksverdien på 58,9 mS/m ved Fl 5 den 24. februar 2012 er benyttet fordi den registrerte analyseverdien (25,8 mS/m) sannsynligvis var alt for lav. Denne antagelsen er basert på at det for øvrig var en god sammenheng mellom konduktivitet og natrium og mellom konduktivitet og klorid, samt at verdiene for klorid og natrium lå «helt på linja» for sammenhengen mellom disse to elementene denne datoen (Figur 9).

Konsentrasjonen av løste mineralsalter var klart høyere ved Fl 5 enn ved referansestasjonen Fl 2 gjennom hele undersøkelsesperioden (Figur 6). Middelerdiene var noe høyere i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret ved begge prøvestasjonene (Figur 7). Ved Fl 5 ble høyest konduktivitet registrert i forbindelse med lav vannføring: i februar-mars (plussgrader og snøsmelting), i mai-juni, i september og i desember 2012 (Figur 6). Stor avrenning og høy vannføring førte generelt til en fortykning og dermed lavere konduktivitet (Figur 8). Et lignende mønster gjorde seg gjeldende også ved Fl 2, men verdiene var lavere her.

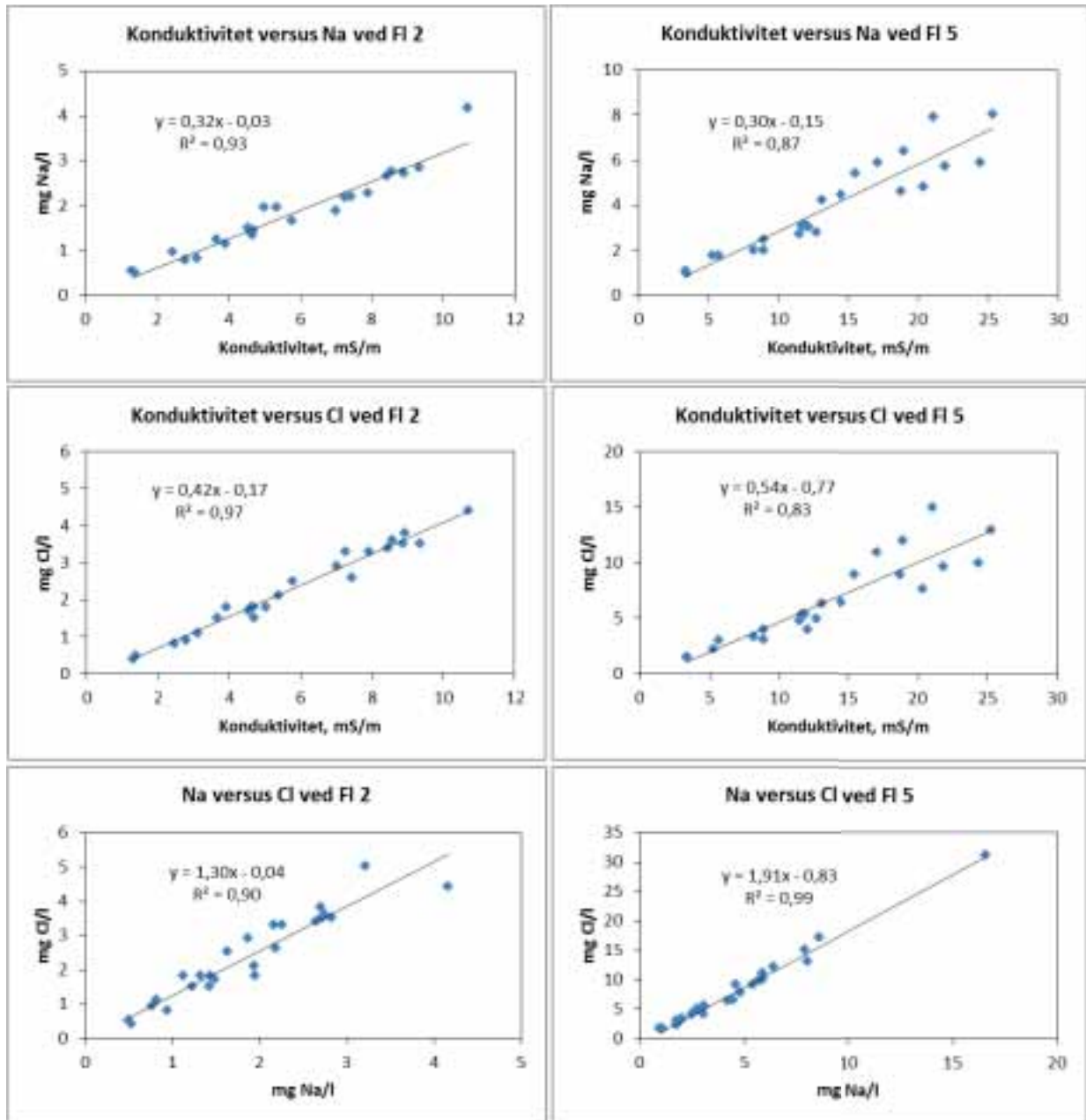


Figur 7. Middelerdiene (± 1 standardavvik) for konduktivitet fordelt på vinter- og sommerprøver. Vinter er her definert som perioden fra 16. oktober til 15. april, og sommer er definert som perioden fra 16. april til 15. oktober.



Figur 8. Sammenhengen mellom vannføring og konduktivitet ved Fl 2 og Fl 5.

Det var god sammenheng mellom konduktivitet og natrium og mellom konduktivitet og klorid ved begge prøvestasjonene (Figur 9). Sammenhengene var noe dårligere ved relativt høye verdier (FI 5) enn ved lavere verdier.

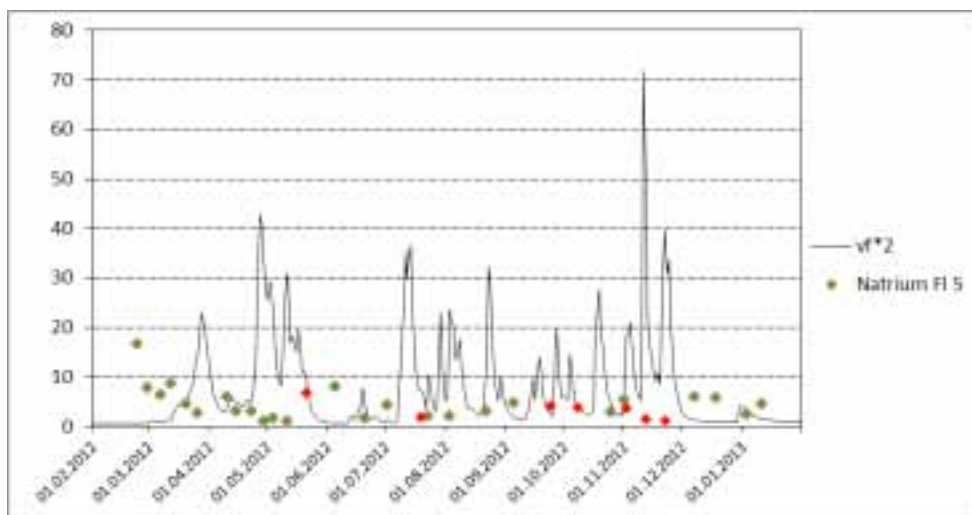


Figur 9. Sammenhenger mellom konduktivitet og natrium og mellom konduktivitet og klorid.

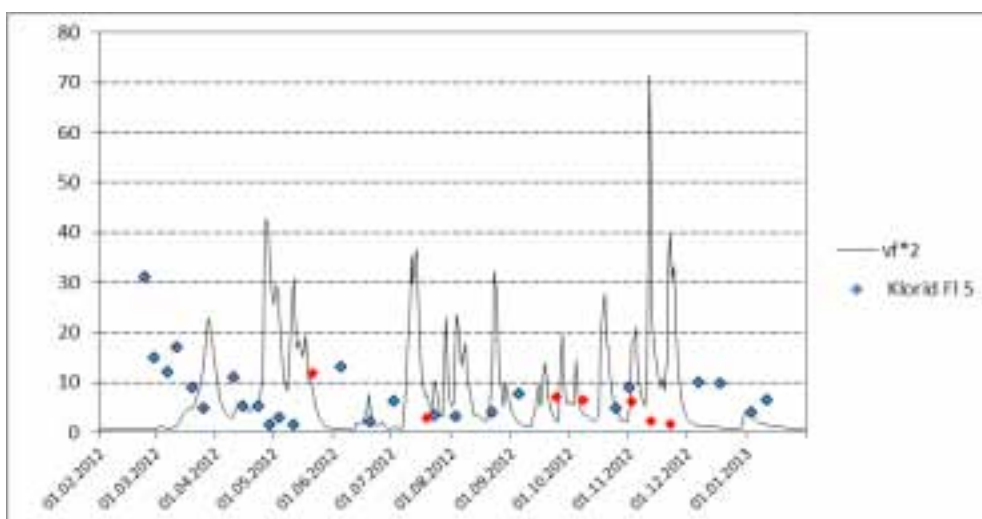
Figur 10 viser variasjonen i konsentrasjonen av natrium ved FI 5 sammen med vannføringen (ganger 2). Beregnede verdier av natrium er markert med rødt. Konsentrasjonen fulgte et tilsvarende variasjonsmønster som for konduktivitet, dvs. at de høyeste konsentrasjonene ble målt i forbindelse med perioder med relativt lav vannføring. Ved FI 2 varierte de målte konsentrasjonene i området 0,50-4,17 mg Na/l med middelerdi 1,87 mg Na/l (se Tabell 5 i Vedlegg). Ved FI 5 varierte

konsentrasjonen i området 0,97-16,6 mg Na/l med middelværdi 4,62 Na/l (se Figur 10 og Tabell 5 i Vedlegg). Det vil si at middelværdien ved Fl 5 var ca. 2,5 ganger middelværdien ved Fl 2.

Konsentrasjonen av klorid ved Fl 5 fulgte i hovedsak et tilsvarende variasjonsmønster gjennom undersøkelsesperioden som konduktivitet og konsentrasjonen av natrium (Figur 11). De høyeste konsentrasjonene av klorid ble målt i situasjoner med lav vannføring. Målte verdier varierte ved Fl 2 og Fl 5 henholdsvis i intervallene 0,4-5,0 mg Cl/l og 1,5-31,0 mg Cl/l, med middelværdier på henholdsvis 2,4 mg Cl/l og 8,0 mg Cl/l (se Tabell i Vedlegg). Det vil si at middelværdien økte med en faktor på 3,3 på strekningen fra Fl 2 til Fl 5.

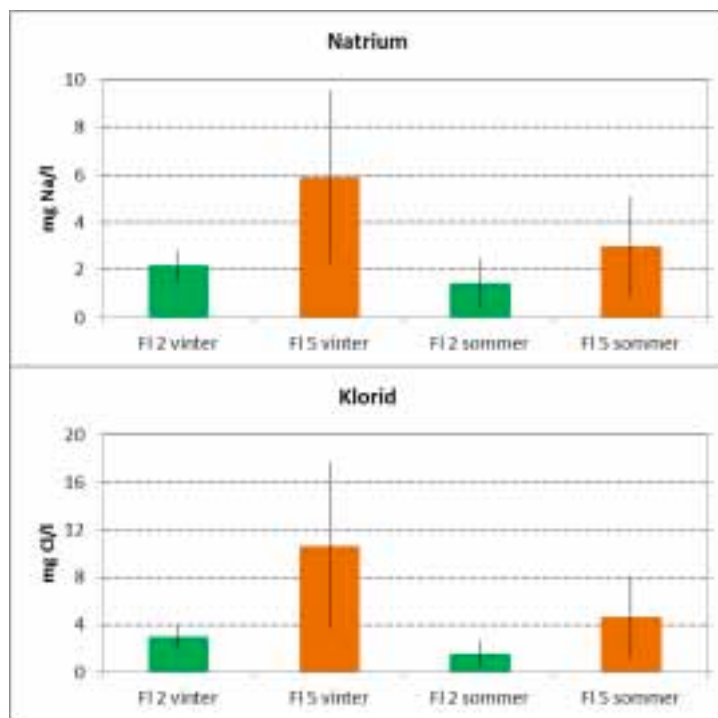


Figur 10. Variasjoner i konsentrasjonen av natrium (mg Na/l) ved stasjon Fl 5. Beregnede verdier er markert med rødt. Vannføring (ganger 2, m³/s) er også vist.



Figur 11. Variasjoner i konsentrasjonen av klorid (mg Cl/l) ved stasjon Fl 5. Beregnede verdier i rødt. Vannføring (ganger 2, m³/s) er også vist.

Det var en tendens til høyere middelværdier for vinterhalvåret enn for sommerhalvåret for både natrium og klorid ved begge prøvestasjonene (Figur 12).



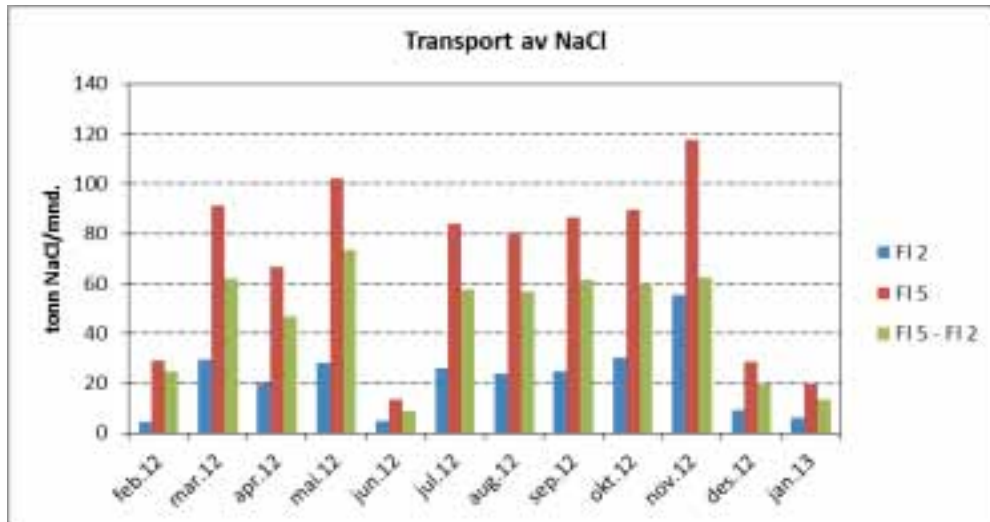
Figur 12. Middelerverdier (\pm 1standardavvik) for natrium og klorid fordelt på vinter- og sommerprøver. Vinter er her definert som perioden fra 16. oktober til 15. april, og sommer er definert som perioden fra 16. april til 15. oktober.

3.3 Tilførsler av salt til Flagstadelva

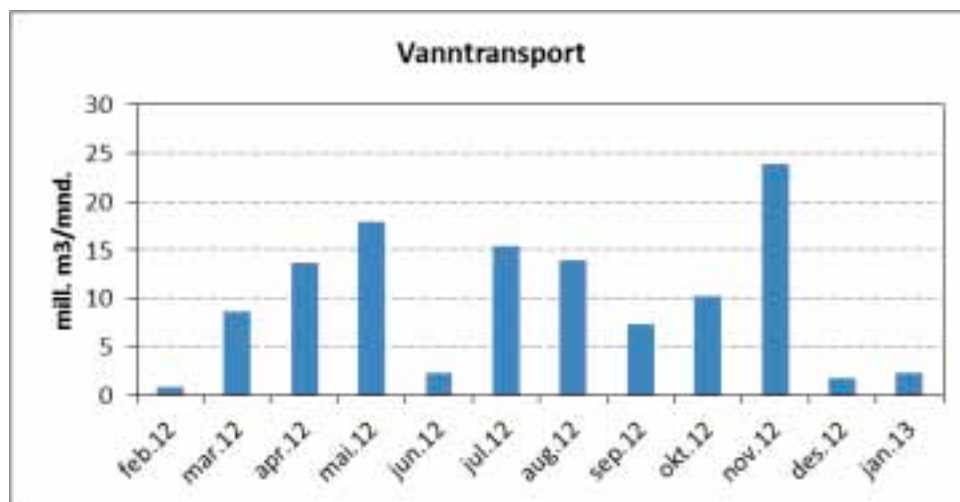
I følge transportberegningene ble det totalt tilført Flagstadelva 546 tonn NaCl på strekningen mellom FI 2 og FI 5 i løpet av perioden fra februar 2012 til januar 2013 (Tabell 4). Mengden er beregnet som differansen mellom transporten av NaCl ved FI 5 og ved FI 2. De største mengdene ble tilført i vårmånedene mars-mai og i perioden juli-november 2012 (Figur 13). Tilførslene var relativt små i vintermånedene og i juni. Generelt var det høy salttransport i måneder med høy vanntransport og lav salttransport i måneder med lav vanntransport (Figur 13-14). Transporten av NaCl i Flagstadelva økte med en faktor på 3,1 på strekningen fra FI 2 til FI 5, og økningen var noe større for klorid enn for natrium (Tabell 4).

Tabell 4. Årstransport av NaCl i Flagstadelva ved FI 2 og FI 5 beregnet for perioden februar 2012 til januar 2013. Tilført mengde NaCl på strekningen fra FI 2 til FI 5 er også gitt, samt forholdet mellom transporten ved FI 5 og ved FI 2.

| | Na tonn/år | Cl tonn/år | NaCl tonn/år |
|-------------|---------------|---------------|-----------------|
| FI 2 | 117 | 146 | 263 |
| FI 5 | 307 | 503 | 809 |
| FI 5 - FI 2 | 190 | 356 | 546 |
| FI 5/FI 2 | 2,6 | 3,4 | 3,1 |



Figur 13. Månedsvise transport av salt (NaCl) ved Fl 2 og Fl 5 samt tilført mengde salt til Flagstadelva på strekningen mellom Fl 2 og Fl 5, dvs. differansen mellom transporten ved Fl 5 og transporten ved Fl 2.



Figur 14. Månedsvise vanntransport i Flagstadelva ved Fl 5.

4. Sammenfattende diskusjon

Undersøkelsen har vist at betydelige mengder salt (NaCl) ble tilført til Flagstadelva på strekningen fra referansestasjonen ved Arnkværn (stasjon Fl 2) til der elva munner ut i Åkersvika (stasjon Fl 5). På denne strekningen økte middelverdien for konduktivitet med en faktor på 2,7, mens middelverdiene for konsentrasjoner av natrium og klorid økte med faktorer på henholdsvis 2,5 og 3,3 på den samme strekningen. Ved stasjon Fl 5 varierte konduktiviteten og konsentrasjonene av natrium og klorid henholdsvis i intervallene 3,38-58,9 mS/m (15,4 mS/m), 0,97-16,6 mg Na/l (4,62 mg Na/l) og 1,5-31,0 mg Cl/l (8,0 mg Cl/l) (middelverdier i parentes). De høyeste konsentrasjonene ble registrert i situasjoner med relativt lav vannføring som i forbindelse med snøsmelting i de lavere delene av nedbørfeltet i februar-mars og ved lav vannføring i september og desember 2012. Ved større avrenning og høy vannføring ser det ut til at det skjer en fortykning slik at konsentrasjonene blir lavere. Dette samsvarer med det som er funnet i flere andre undersøkelser (se f.eks. Ramakrishna og Viraraghavan 2005).

Konsentrasjonene av natrium og klorid i Flagstadelva kan ikke karakteriseres som spesielt høye, sammenlignet med nivåer registrert i andre vannforekomster som har avrenning fra veger med stor trafikk og hvor det saltes i den kalde årstiden. F.eks. ble det i flere av tilløpene til Padderudvannet ved E18 i Asker registrert middelverdier for natrium og klorid i områdene 40-120 mg Na/l og 100-250 mg Cl/l (Bækken og Færøvik 2004). I Brekkebekken som krysser E18 sør for Sande i Vestfold målte NIVA klorid-konsentrasjoner opp i 370 mg/l og med en middelverdi på 24,8 mg/l (Bækken mfl. 2005). I USA og Canada har det vinterstid etter vegsalting i enkelte lokaliteter blitt målt konsentrasjoner av klorid helt opp til 10 000 og 18 000 mg/l (se Fay og Shi (2012) med referanser).

Høye konsentrasjoner av klorid kan gi toksiske effekter på ulike vannlevende organismer (Corsi mfl. 2010, Gillis 2011, Fay og Shi 2012). USEPAs vannkvalitetsstandarder for beskyttelse av akvatisk liv med hensyn til klorid er satt ved 860 mg/l for akutt toksisitet og ved 230 mg/l for kroniske effekter. EUs organ for beskyttelse av miljøet (EPA) har satt 250 mg Cl/l som vannkvalitetsstandard (EPA 2001). Undersøkelser har imidlertid vist at sensitive algearter kan påvirkes ved langt lavere konsentrasjoner (ca. 25 mg/l) (Haugen mfl. 2010). De målte konsentrasjonene i Flagstadelva var betydelig lavere enn de refererte grenseverdiene. Vi kan imidlertid ikke utelukke at det til tider kan forekomme høyere konsentrasjoner enn det som ble målt ved denne undersøkelsen, f.eks. som pulser i forbindelse med mildvær i saltingsperioden.

Transporten av Na økte med en faktor på 2,6 på strekningen fra Fl 2 til Fl 5, mens transporten av Cl økte med en faktor på 3,4. Det forhold at transportøkningen var større for Cl enn for Na har trolig sammenheng med at jordpartikler er negativt ladet og har en tendens til å adsorbere og til en viss grad holde tilbake positive Na-ioner fra jordvannet, mens det negative Cl-ionet i praksis kan passere rett gjennom jordsmonnet (Fay og Shi 2012). I følge våre beregninger ble Flagstadelva i løpet av et år tilført totalt ca. 550 tonn NaCl på den strekningen som potensielt påvirkes av avrenning fra E6. Dette er 5,5 ganger den mengden som ble beregnet tilført årlig fra E6 (ca. 100 tonn), basert på forbruksstatistikk mht. vegsalt, type veg, og lengde på vegstrekningen (Løvik og Åstebøl 2011). Det kan være flere årsaker til at våre beregninger basert på konsentrasjonsmålinger og vanntransport ga et betydelig høyere estimat enn de teoretiske beregningene basert på forbruksstatistikk mm.:

- Beregningene ut fra forbruksstatistikk er basert på et gjennomsnittsforbruk av salt, og at over tid vil alt tilført salt renne av til vassdrag (S. O. Åstebøl, COWI pers. oppl.). Det vil kunne være store variasjoner i saltforbruket mellom saltingssesonger, avhengig av vær- og føreforholdene. For Hunnselvas nedbørfelt på vestsiden av Mjøsa oppga Winter-Larsen og Melve (2009) at saltforbruket på stamveger varierte i området 10-28 tonn NaCl/km per

saltingssesong. Benyttes disse tallene for E6 langs Flagstadelva (8,4 km), får vi en salttilførsel på 84-235 tonn NaCl/år på den aktuelle strekningen.

- Store nedbørmengder i sommerhalvåret 2012 har sannsynligvis ført til ekstra stor utvasking av salt i nedbørfeltet dette året.
- Andre kilder til salttilførsler enn avrenning av vegsalt fra E6, slik som utløsning fra berggrunn og løsmasser inklusive dyrka mark (mineralgjødsel inneholder bl.a. klorid). Eventuelle tilførsler av avløpsvann vil bidra med salter, andre veger enn E6 kan ha blitt saltet, og det benyttes gjerne litt salt i strøsand for å unngå at sanda klumper seg (S.O. Åstebøl pers. oppl.).

Müller og Gächter (2012) har beregnet at den store innsjøen Lake Constance på grensa mellom Sveits, Tyskland og Østerrike ble tilført 101 000 tonn salt per år (2006). Av dette bidro vegsalt med 52 %, avløpsvann med 23 %, jordbruk med 11 %, forvitring av jord med 9 %, nedbør og søppelforbrenning med 3 % av tilførslene. Salttilførselen på den aktuelle strekningen av Flagstadelva skyldes trolig hovedsakelig menneskelige aktiviteter, der salting av E6 sannsynligvis er den største kilden.

5. Litteratur

- Allert, A.L., Cole-Neal, C.L og Fairchild, J.F. 2012. Toxicity of chloride under winter low-flow conditions in an urban watershed in Central Missouri, USA. *Bull Environ Contam Toxicol* 89: 296-301.
- Bækken, T. og Færøvik, P.J. 2004. Effekter av vegforurensninger på vannkvalitet og biologi i Padderudvann. Statens vegvesen, Teknologiavdelingen. Publikasjon nr. 106. 92 s.
- Bækken, T., Avolio, C., Veidel, A. og Wilberg, M. 2005. PORECA. Forurensningsreducerende effekt av Nygård rense- og fordrøyningsbasseng for vegavrenning, samt vegavrenning til Kjeksrudbekken og Brekkebekken. NIVA-rapport 4935-2005. 69 s.
- Bækken, T. og Haugen, T. 2006. Kjemisk tilstand i vegnære innsjøer. Påvirkning fra avrenning av vegsalt, tungmetaller og PAH. Statens vegvesen, Utbyggingsavdelingen. Rapport nr. UTB 2006/06. 91 s.
- Bækken, T. og Haugen, T. 2011. Vegsalt og tungmetaller i innsjøer langs veier i Sør-Norge 2010. NIVA-rapport 6220-2011. 55 s.
- Corsi, S.R., Craczyk, D.J., Geis, S.W., Booth, N.L. og Richards, K.D. 2010. A fresh look at road salts: aquatic toxicity and water-quality impacts on local, regional, and national scales. *Environ. Sci. Technol.* 44: 7376-7382.
- EPA. Towards setting guideline values for the protection of groundwater in Ireland. Environmental protection agency, Irland.
http://www.epa.ie/downloads/pubs/water/ground/epa_ground_water_guideline_values_interim_report.pdf
- Fay, L. og Shi, X. 2012. Environmental impact of chemicals for snow and ice control: State of knowledge. *Water, Air, and Soil Pollution* 223: 2751-2770.
- Gillis, P.L. 2011. Assessing the toxicity of sodium chloride to the glochidia of freshwater mussels: Implications for salinization of surface waters. *Environmental Pollution* 159: 1702-1708.
- Haugen, T., Bækken, T., Heier, H.H. og Skjelbred, B. 2010. Tålegrenser for planktonalger i innsjøer. Statistiske analyser og laborietester av planktonalger og salt. NIVA-rapport 6014-2010. 85 s.
- Kjensmo, J. 1997. The influence of road salts on the salinity and the meromictic stability of Lake Svinsjøen, southeastern Norway. *Hydrobiologia* 347: 151-158.
- Løvik, J.E. og Åstebøl, S.O. 2011. Påvirkning fra salting og miljøgifter i Åkersvika langs E6 ved Flagstadelva i Hamar kommune. NIVA-rapport 6247-2011. 32 s.
- Meriano, M., Eyles, N. og Howard, K.W.F. 2009. Hydrogeological impact of road salt from Canada's busiest highway on a Lake Ontario watershed (Frenchman's Bay) and lagoon, City of Pickering. *Journal of Contaminant Hydrology* 107: 66-81.
- Müller, B. og Gächter, R. 2012. Increasing chloride concentration in Lake Constance: characterization of sources and estimation of loads. *Aquat. Sci* 74: 101-112.

Novotny, E.V., Murphy, D. og Stefan, H.G. 2008. Increase of urban lake salinity by road deicing salt. *Science of the total environment* 406: 131-144.

Ramakrishna, D.M. og Viraraghavan, T. 2005. Environmental impact of chemical deicers – a review. *Water, Air, and Soil Pollution* 166: 49-63.

Tromp, K., Lima, A.T., Barendregt, A. og Verhoeven, T.A. 2012. Retention of heavy metals and poly-aromatic hydrocarbons from road water in constructed wetland and the effects of de-icing. *Journal of Hazardous Materials* 203-204: 290-298.

Winter-Larsen, T. og Melve, Å. 2009. Vannområde Hunnselva – Rapport for nedbørfeltene 1-10. Kommunene Østre Toten, Vestre Toten, Søndre Land, Nordre Land, Gjøvik. Beregninger av totalproduksjon av forurensning fra veg. Statens vegvesen, Region øst. 12 s.

Åstebøl, S.O., Røhr, P.K. og Pedersen, P.A. 2002. Effekter av veisalting på jord, vann og vegetasjon. Rapport for perioden 1998-2001. Interconsult, rapport. 41 s.

6. Vedlegg

Tabell 5. Primærdata fra målinger av konduktivitet, konsentrasjoner av natrium og klorid samt vanntemperatur ved to stasjoner i Flagstadelva i perioden fra 24.2.2012 til 30.1.2013.

| | FI 2 | FI 2 | FI 2 | FI 2 | FI 5 | FI 5 | FI 5 | FI 5 |
|------------|-------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|-------|
| | Kond. | Natrium | Klorid | Temp. | Kond. | Natrium | Klorid | Temp. |
| | mS/m | mg Na/l | mg Cl/l | °C | mS/m | mg Na/l | mg Cl/l | °C |
| 24.02.2012 | 8,56 | 2,75 | 3,6 | 0,3 | | 16,6 | 31 | 0,0 |
| 29.02.2012 | 8,88 | 2,73 | 3,5 | 0,5 | 21,1 | 7,92 | 15 | 0,2 |
| 07.03.2012 | 8,91 | 2,71 | 3,8 | 0,5 | 19 | 6,4 | 12 | 0,2 |
| 12.03.2012 | | 3,22 | 5 | 0,5 | | 8,6 | 17 | 0,3 |
| 20.03.2012 | 7,91 | 2,26 | 3,3 | 0,8 | 18,8 | 4,62 | 9 | 1,6 |
| 26.03.2012 | 4,68 | 1,33 | 1,8 | 1,1 | 11,5 | 2,71 | 4,8 | 2,2 |
| 10.04.2012 | 7,01 | 1,87 | 2,9 | 1,1 | 17,1 | 5,89 | 11 | 1,5 |
| 15.04.2012 | 4,62 | 1,44 | 1,8 | 2,6 | 11,7 | 3,08 | 5,3 | 2,9 |
| 23.04.2012 | 4,56 | 1,49 | 1,7 | 3,0 | 11,9 | 3,11 | 5,3 | 3,2 |
| 29.04.2012 | 1,39 | 0,50 | 0,5 | 2,0 | 3,41 | 0,97 | 1,5 | 2,9 |
| 04.05.2012 | 3,92 | 1,13 | 1,8 | 2,9 | 5,7 | 1,77 | 3 | 2,9 |
| 11.05.2012 | 1,31 | 0,53 | 0,4 | 4,1 | 3,38 | 1,1 | 1,5 | 4,5 |
| 21.05.2012 | 4,1 | | | 7,5 | 23,4 | | | 9,3 |
| 05.06.2012 | 10,7 | 4,17 | 4,4 | 8,6 | 25,3 | 8,05 | 13 | 9,7 |
| 20.06.2012 | 2,45 | 0,95 | 0,8 | 11,5 | 5,29 | 1,77 | 2,2 | 11,7 |
| 02.07.2012 | 5,02 | 1,95 | 1,8 | 13,2 | 13,1 | 4,24 | 6,3 | 16,2 |
| 19.07.2012 | 3,02 | | | 13,0 | 6,89 | | | 12,5 |
| 23.07.2012 | 3,12 | 0,82 | 1,1 | 11,6 | 8,2 | 2,02 | 3,3 | 11,1 |
| 03.08.2012 | 2,8 | 0,77 | 0,91 | 13,1 | 8,93 | 1,99 | 3,1 | 13,0 |
| 22.08.2012 | 4,71 | 1,43 | 1,5 | 13,1 | 12,1 | 3,05 | 4 | 13,3 |
| 05.09.2012 | 7,45 | 2,19 | 2,6 | 10,5 | 20,4 | 4,84 | 7,7 | 11,1 |
| 24.09.2012 | 5,24 | | | 6,4 | 14,6 | | | 7,3 |
| 08.10.2012 | 4,43 | | | 4,8 | 13,4 | | | 5,6 |
| 25.10.2012 | 5,79 | 1,64 | 2,5 | 2,4 | 12,7 | 2,8 | 4,9 | 3,0 |
| 01.11.2012 | 7,26 | 2,17 | 3,3 | 0,8 | 15,5 | 5,42 | 9 | 1,5 |
| 02.11.2012 | 9,07 | | | 2,0 | 13,0 | | | 2,4 |
| 12.11.2012 | 3,95 | | | 1,2 | 5,63 | | | 1,2 |
| 22.11.2012 | 1,55 | | | 1,8 | 4,52 | | | 2,4 |
| 07.12.2012 | 9,35 | 2,83 | 3,5 | 0,0 | 24,4 | 5,9 | 10 | 0,0 |
| 18.12.2012 | 8,45 | 2,65 | 3,4 | 0,1 | 21,9 | 5,75 | 9,7 | 0,0 |
| 03.01.2013 | 3,68 | 1,23 | 1,5 | 0,0 | 8,92 | 2,49 | 4 | 0,0 |
| 11.01.2013 | 5,37 | 1,94 | 2,1 | 0,0 | 14,5 | 4,47 | 6,5 | 0,0 |
| 30.01.2013 | 7,63 | | | 0,0 | 18,7 | | | 0,0 |
| Middel | 5,53 | 1,87 | 2,4 | 4,3 | 13,39 | 4,62 | 8,0 | 4,7 |
| Median | 4,87 | 1,87 | 2,1 | 2,0 | 13,00 | 4,24 | 6,3 | 2,9 |
| Min | 1,31 | 0,50 | 0,4 | 0,0 | 3,38 | 0,97 | 1,5 | 0,0 |
| Maks | 10,7 | 4,17 | 5,0 | 13,2 | 25,3 | 16,6 | 31,0 | 16,2 |
| St.avvik | 2,59 | 0,91 | 1,2 | 4,7 | 6,42 | 3,32 | 6,4 | 5,0 |
| N | 32 | 25 | 25 | 33 | 31 | 25 | 25 | 33 |

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no