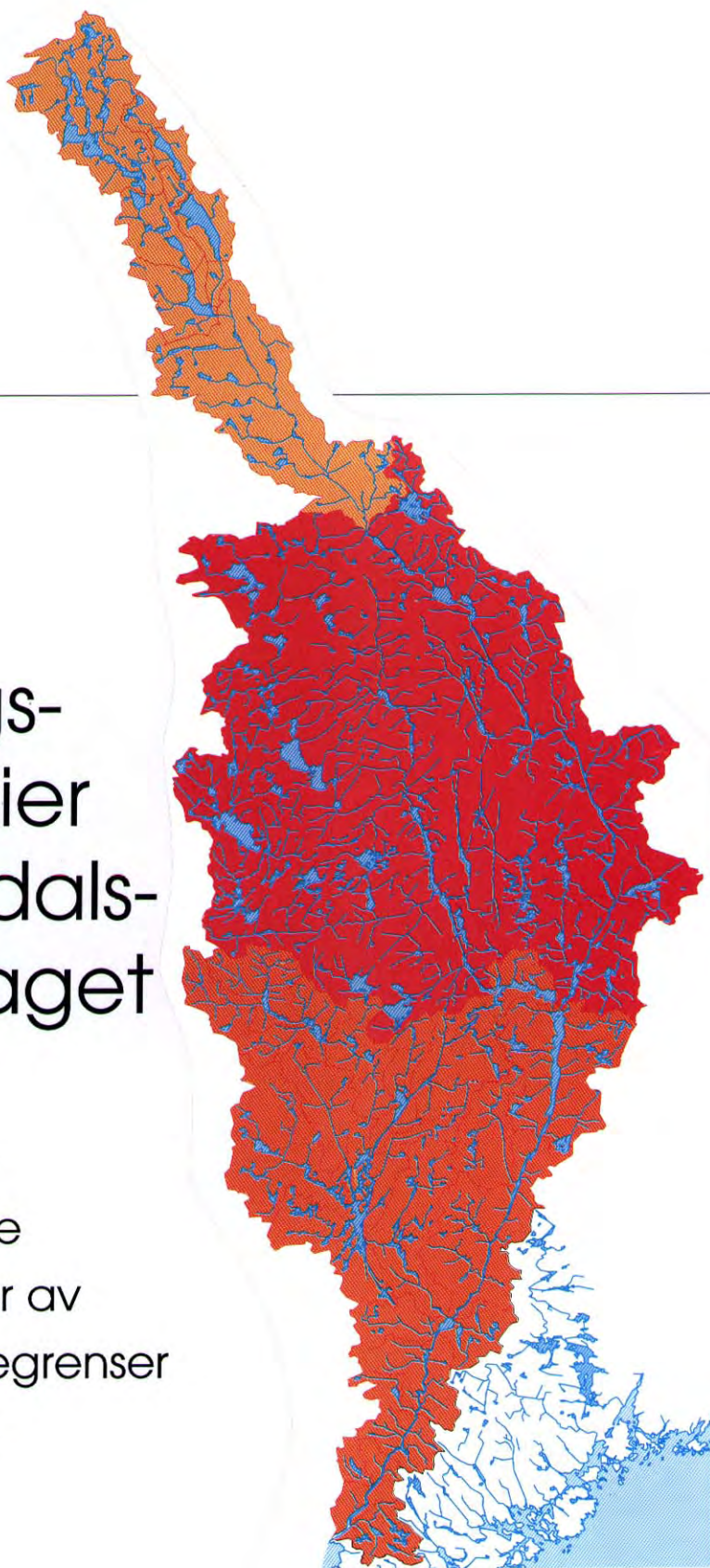



O-93128

# Kalkings- strategier for Tovdals- vassdraget

basert på  
nåværende  
og framtidige  
overskridelser av  
naturens tålegrenser  
for sterk syre



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

|                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| Prosjektnr.:<br>O-93128 | Undernr.:       |
| Løpenr.:<br>3211        | Begr. distrib.: |

|  |   |  |   |  |
|--|---|--|---|--|
| <b>Hovedkontor</b><br>Postboks 173, Kjelsås<br>0411 Oslo<br>Telefon (47) 22 18 51 00<br>Telefax (47) 22 18 52 00 | <b>Sørlandsavdelingen</b><br>Televeien 1<br>4890 Grimstad<br>Telefon (47) 37 04 30 33<br>Telefax (47) 37 04 45 13 | <b>Østlandsavdelingen</b><br>Rute 866<br>2312 Ottestad<br>Telefon (47) 62 57 64 00<br>Telefax (47) 62 57 66 53 | <b>Vestlandsavdelingen</b><br>Thormøhlensgt 55<br>5008 Bergen<br>Telefon (47) 55 32 56 40<br>Telefax (47) 55 32 88 33 | <b>Akvaplan-NIVA A/S</b><br>Søndre Tollbugate 3<br>9000 Tromsø<br>Telefon (47) 77 68 52 80<br>Telefax (47) 77 68 05 09 |
|--|---|--|---|--|

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| Rapportens tittel:<br>Kalkingsstrategier for Tovdalsvassdraget basert på nåværende og framtidige overskridelser av naturens tålegrenser for sterk syre. | Dato: Trykket:<br>jan. 1995 NIVA 1995 |
|   | Faggruppe:<br>Kalking                 |
| Forfatter(e):<br>Atle Hindar og Arne Henriksen  | Geografisk område:<br>Agder           |
|   | Antall sider: Opplag:<br>42 200       |

|   |                              |
|---|------------------------------|
| Oppdragsgiver:<br>Direktoratet for naturforvaltning | Oppdragsg. ref.:<br>66221/93 |
|---|------------------------------|

Ekstrakt:

Betydelige vannkvalitetsbedringer er forventet i Tovdalsvassdraget de nærmeste 20 årene pga Oslo-avtalen om reduksjon av svovelutslipp fram til år 2010. Mange land har forpliktet seg til å redusere sine utslipp med inntil 70-80 % i forhold til utslippene i 1980. Denne utviklingen vil etterhvert medføre redusert behov for vassdragskalking og det er grunn til å se nærmere på hvilken kalkingsstrategi som kan være den mest fornuftige i tida framover. Dagens tålegrenseoverskridelser og scenarier for år 2010 er lagt til grunn for beregning av kalkbehov og dataene er koplet til vassdragsregisteret REGINE. Det har derfor vært mulig å konkretisere både overskridelsesberegninger og kalkbehov til vassdragsavsnitt og vassdraget totalt. Denne typen beregninger kan være med å øke grunnlaget for en planmessig forvaltning av våre fiskeressurser i framtida.

4 emneord, norske

1. Vassdrag
2. Tålegrenser
3. Vassdragskalking
4. Scenarier

4 emneord, engelske

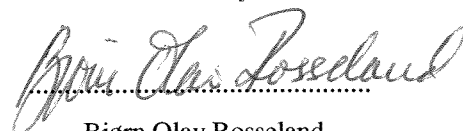
- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder



Atle Hindar

For administrasjonen



Bjørn Olav Rosseland

ISBN82-577-2701-6

NIVA Sørlandsavdelingen  
Grimstad

O-93186

**Kalkingsstrategier for Tovdalsvassdraget basert på  
nåværende og framtidige overskridelser av  
naturens tålegrenser for sterk syre**

Grimstad, januar 1995

Prosjektleder: Atle Hindar  
Medarbeidere: Arne Henriksen  
Øyvind Kaste  
Rolf Høgberget  
Einar Kleiven

## FORORD

NIVA har, i samarbeid med forskningsmiljøer i Norge og andre land, utviklet en metode for å beregne og kartlegge naturens tålegrenser for sterk syre og nåværende og framtidige overskridelser av denne. I 1993 og 1994 har vi vha utredningsmidler fra Direktoratet for naturforvaltning videreført dette arbeidet og koplet resultatene mot vassdragskalking. I rapporten er kalkbehov beregnet på grunnlag av tålegrenseoverskridelser og ulike kalkingsstrategier er diskutert. NIVA er helt og holdent ansvarlig for de beregninger og vurderinger som er gitt.

Prøvetaking av innsjøer i oktober 1993 ble utført av medarbeidere på NIVA-Sørlandsavdelingen. Prøvene ble analysert ved NIVA i Oslo. Data for deposisjon er gitt av Norsk institutt for luftforskning og Det norske meteorologiske institutt. Beregninger av tålegrenser og overskridelser er gjort av Arne Henriksen ved NIVA i Oslo. Tilrettelegging av data for kartpresentasjon er gjort av Astrid Voksø ved NVE. Bø Trykk A/S har trykket kartene.

Parallelt med dette prosjektet er det utført en konsekvensvurdering av en evt. framtidig kraftregulering i Øvre Tovdal for Miljøvernavdelingen i Aust-Agder. Data fra den foreliggende innsjøundersøkelsen, de videre beregninger og scenarier er brukt som grunnlag for konsekvensvurderingen.

Grimstad, januar 1995  
Atle Hindar

## INNHALDSFORTEGNELSE

|  |    |
|--|----|
| Sammendrag   | 4  |
| 1. Innledning  | 6  |
| 2. Materiale og metoder  | 8  |
| 2.1. Vassdraget  | 8  |
| 2.2. Vannkjemiske analyser   | 8  |
| 2.3. Beregninger   | 10 |
| 2.4. Kartpresentasjon  | 13 |
| 3. Resultater  | 14 |
| 3.1. Tålegrense og overskridelser                                  | 14 |
| 3.2. Kalkbehov og kostnader  | 24 |
| 4. Diskusjon   | 26 |
| 4.1. Dagens deponisjon og konsekvenser av endringer i sur nedbør   | 26 |
| 4.2. Kalkingsstrategier  | 27 |
| 4.2.1. Strategier for laks, innlandsfisk eller biologisk mangfold  | 28 |
| 4.2.2. Når bør det kalkes, og kan vi vente på svovelreduksjonene ? | 29 |
| 4.2.3. Reduseres kalkbehovet når svovelfallet reduseres ?          | 30 |
| 4.2.4. Har denne typen beregninger noen verdi ?                    | 31 |
| 5. Referanser  | 32 |
| 6. Vedlegg   | 34 |
| 6.1. Vannkjemi og felldata   | 34 |

## SAMMENDRAG

Betydelige vannkvalitetsbedringer er forventet i Tovdalsvassdraget de nærmeste 20 årene pga Oslo-avtalen om reduksjon av svovelutslipp fram til år 2010. Mange land har forpliktet seg til å redusere sine utslipp med inntil 70-80 % av utslippene i 1980. Denne utviklingen vil også medføre redusert behov for vassdragskalking og det er grunn til å se nærmere på hvilken kalkingsstrategi som kan være den mest fornuftige i tida framover. Arbeidet med Tovdalsvassdraget har generell interesse og kan danne mal for tilsvarende undersøkelser i andre vassdrag.

De resultatene som framkommer her viser at både tilstand og utvikling innen et større vassdrag kan være forskjellig. Deler av vassdraget vil ha overskridelser av naturens tålegrense også etter betydelig reduksjoner i svovelutslipp, mens andre deler etterhvert vil kunne få akseptable vannkvaliteter for fisk og andre vannlevende organismer. Det vil også være ulik utvikling mellom vassdrag i samme region (fylker) og mellom regioner.

Kalkbehovet vil derfor være forskjellig og vil endre seg mot forskjellige nivåer innenfor de ulike geografiske enhetene. Ved å kjenne til denne utviklingen kan kalking innenfor et vassdrag, innenfor et fylke og mellom flere fylker planlegges på lengre sikt. Ulike momenter i en slik kalkingsstrategi er diskutert. Denne typen beregninger kan være med å øke grunnlaget for en forsvarlig forvaltning av våre fiskeressurser.

Pga metodeusikkerhet og usikkerhet med hensyn til når og i hvor stor grad vannkvaliteten endres i forhold til en gitt reduksjon i svovelbelastning, må endringer i kalkingsstrategi være forankret i en dokumentert bedring i vannkvalitet. Slike data samles innenfor overvåkingsprogrammene i regi av Statens forurensningstilsyn og Direktoratet for naturforvaltning.

Naturens tålegrense og nedfallet av svovel og nitrogen avgjør i hvilken grad tålegrensen er overskredet. En tålegrenseoverskridelse vil si at sulfatkonsentrasjonen i vassdraget ikke lenger kan balanseres med basekationer, slik som kalsium og magnesium. Vannet vil derfor bli surt og aluminiumsholdig og de tilstedeværende aluminiumsforbindelsene vil være giftige for fisk og andre organismer.

Dagens tålegrenseoverskridelser og scenarier for framtida er lagt til grunn for beregning av kalkbehov og dataene er koplet til vassdragsregisteret. Det har derfor vært mulig å konkretisere både scenarier og kalkbehov til vassdragsavsnitt og vassdraget totalt.

Tovdalsvassdraget strekker seg fra heiene øst for Byglandsfjord og til sjøen ved Kristiansand (Topdalsfjorden). Vassdraget har et areal på 1855 km<sup>2</sup> og ligger i det alt vesentlige i Aust-Agder fylke. I vassdraget er det spredt bosetting, vesentlig knyttet til skog- og jordbruk. Øvre del av Tovdalsvassdraget, dvs. ned til foten av Rjukanfossen, er vernet mot kraftutbygging. Øvrige deler av vassdraget er plassert i kategori I i Samla Plan og kan dermed åpnes for konsesjonsbehandling.

På grunnlag av data fra omlag 50 innsjøer er det beregnet ANC og tålegrense for sterk syre i de forskjellige vassdragsavsnitt. I beregningene av tålegrenseoverskridelsen er det

benyttet middeltall for svovelnedfall for perioden 1983-1987, perioden 1988-1992 og for situasjonen i 2010. Avrenningen av dagens nitrat er lagt inn i beregningene for de to første periodene, men ikke for 2010. Beregningen for 2010 er gjort med bakgrunn i beregnet svovelnedfall etter at forpliktelsene i svovelprotokollen av 1994 er gjennomført. Tålegrenseoverskridelsen (syreoverskuddet) er i sin tur benyttet som grunnlag for å beregne kalkbehovet.

I vassdragsregisteret REGINE er Tovdalsvassdraget delt opp i 102 geografiske minsteenheter. Basert på grupperingen i REGINE har vi aggregert disse til seks delvassdrag. Beregninger av tålegrenser og overskridelser for minsteenheter og store delfelt er utgangspunkt for kartpresentasjonen på sidene 16-23.

Tålegrensene er svært lave i Tovdal, dvs. området fra Austenå til Herefossfjorden, og i Skjeggedal. I Øvre Tovdal (oppstrøms Rjukanfossen) og i området Høvringsvatn-Mjåland er forholdene noe bedre. I Ogge-området og fra Herefossfjorden og ut til sjøen er tålegrensene relativt høye.

Tålegrensen er overskredet i nesten hele vassdraget (1810 km<sup>2</sup>) både med deponisjonen i 1985 og 1990. I år 2010 vil fortsatt over halvparten av arealet (1050 km<sup>2</sup>) være overskredet, men overskridelsene vil være langt mindre enn i dag. I Øvre Tovdal og i nedre del vil det i gjennomsnitt ikke være overskridelser av tålegrensen slik de er beregnet her. I øvrige områder vil tålegrensen være relativt sett lite overskredet og situasjonen sannsynligvis god for fisk i en rekke lokaliteter.

Kalkbehovet er selvsagt minst i de områder der tålegrensen er minst overskredet. Det er tilsynelatende en viss forskjell på 1985 og 1990 fordi svovelnedfallet har avtatt, men forskjellen er betydelig fram mot år 2010 da kalkbehovet, basert på tålegrenseoverskridelsene, avtar sterkt. Det gjelder spesielt i de områdene som har høyest tålegrense, dvs. Øvre Tovdal, Ogge og Herefoss.

Kalkbehovet ved kun å avsyre tålegrenseoverskridelsen (7330-8890 tonn/år) ligger nær opp til beregningene i kalkingsplanen (6680-7220 tonn/år) fra 1991.

De resultater som er framkommet viser at en framtidig reduksjon i nedfallet av svovelforbindelser (sur nedbør) vil påvirke Tovdalsvassdraget i en svært positiv retning. Behovet for miljøtiltak vil på sikt kunne reduseres betydelig. Dette bør en være oppmerksom på og ta hensyn til ved oppstarting og gjennomføring av kalkingstiltak i vassdraget.

# 1. INNLEDNING

Status for forsuring, utviklingstendenser og kalking som mottiltak er oppsummert av Kroglund *et al.* (1994). Som en del av *miljøtiltak i vann* er kalking av vassdrag idag en omfattende aktivitet i Norge, og beløpene som anvendes har økt betydelig. Riktig utført kalking av elver, innsjøer og terreng sikrer fisk og andre vannlevende organismer gode vilkår og kan også optimaliseres med hensyn på økonomi (Hindar og Rosseland 1991; Hindar 1992; Henrikson og Brodin 1995). Kalking kan i visse tilfeller ha uønskede effekter på terrestrisk og akvatisk vegetasjon (Mackenzie 1992; Roelofs *et al.* 1994).

Optimalisering av kalkingstiltak innebærer også at det kan utarbeides prognoser for framtidig kalkbehov. I denne rapporten knytter vi kalkingsstrategi i ett konkret vassdrag direkte til forsuringsutviklingen.

Betydelige vannkvalitetsbedringer er forventet de nærmeste 20 årene pga Oslo-avtalen om reduksjon av svovelutslipp fram til år 2010 (UN 1994). Mange land har forpliktet seg til å redusere sine utslipp med inntil 70-80 % av utslippene i 1980. Denne utviklingen vil også medføre redusert behov for vassdragskalking (Henriksen og Hindar 1993) og det er grunn til å se nærmere på hvilken kalkingsstrategi som kan være den mest fornuftige i tida framover.

Begrepet "*naturens tålegrenser*" er idag akseptert som utgangspunkt for politiske beslutninger om reduksjoner i utslipp som fører til sur nedbør. En regner imidlertid ikke med at reduksjonene vil føre til at tålegrensene i alle områder blir nådd. En arbeider isteden utfra begrepet *miljømål*, eller *belastningsmål* som innebærer et politisk akseptabelt reduksjonsscenario, som fortsatt vil føre til overskridelser av tålegrensen for tilførsler av sur nedbør i mange områder. Noen nyttige definisjoner av begreper som brukes i arbeidet med Naturens tålegrenser er gitt i boks 1.

## boks 1

### DEFINISJONER

**Naturens Tålegrense** (eng: *Critical Load/Levels*): Et mål for tilførsel av forurensninger som, utfra dagens viten, ikke fører til skadelige effekter på følsomme komponenter i økosystemet slik som reduserte fiskebestander/fiskedød og skogskader/skogsdød.

**Syrenøytraliserende kapasitet** (*Acid Neutralizing Capacity, ANC*): En løsnings evne til å nøytralisere tilførsler av sterke syrer.

**Biologisk indikator(er)**: Organisme(r) eller populasjoner som er følsomme overfor kjemiske endringer som følge av endringer i atmosfæriske tilførsler av svovel og nitrogen (f.eks. trær, fisk bunndyr).

**Kritisk kjemisk verdi**: Den høyeste verdi for en kjemisk komponent eller kombinasjon av komponenter som ikke frembringer en skadelig respons hos en biologisk indikator (f.eks. ANC, pH, Al/Ca forholdet).



Tålegrensedefinisjonen gir oss en ramme for å lage tallmessige anslag for de belastninger som kan gi uønskede skader. Slike anslag kan være basert på flere forskjellige metoder, og valget av metode avhenger i stor grad av tilgang på relevante data for beregningene. Effekten på biologiske indikatorer brukes for å identifisere skader på økosystemer i ferskvann. Levende organismer er gode "integratorer" for de kjemiske forholdene i deres omgivelser. De kan derfor registrere effekter av kjemiske komponenter som endrer seg raskt og er vanskelige å måle med tradisjonelle målemetoder.

De metoder som brukes for å beregne tålegrenser for tilførsler av sterke syrer til ferskvann bruker kjemiske data og er basert på antagelser om de vannkjemiske forholdene før den antropogene forsuren fant sted. Den kritiske kjemiske verdi er basert på våre kunnskaper om følsomme organismers (særlig aure og laks) toleranse overfor vannkjemiske forhold.

Det internasjonale arbeidet med tålegrenser utføres delvis i regi av en "Task Force for Mapping the Critical Loads and areas where the Critical Loads are exceeded", opprettet av Geneve-Konvensjonen under FN. Arbeidet med tålegrenser for svovel er kommet svært langt. Det er utarbeidet foreløpige kart for tålegrenser og for overskridelser av tålegrenser for svovel for hele Europa. Deposisjonsverdiene som brukes er basert på de data som samles inn under det Europeiske overvåkingsprogram (EMEP, Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe).

Det norske arbeidet med tålegrenser for tilførsler av sterke syrer til overflatevann har foregått i nært samarbeid med "Task Force on Mapping" og med Effektgruppen under Nordisk Ministerråd. Metodegrunnlaget og kart for hele Norge er rapportert (Henriksen *et al.* 1992).

The Working Group on Strategies har basert sine beregninger på å redusere forskjellen mellom dagens nedfallsnivå og tålegrensen med minst 60% (60% "gap closure") i hver enkelt EMEP-rute (150x150 km), basert på den såkalte RAIN's modellen og med den mest kostnadseffektive fordeling av utslippsreduksjonene. Dette danner utgangspunktet for den svovelprotokollen som ble undertegnet i juni 1994 i Oslo. På bakgrunn av de deposisjonsverdiene som denne svovelprotokollen gir kan vi beregne hvor og hvor mye tålegrenseoverskridelsene i Norge vil bli redusert, og dermed anslå kostnadene ved å nøytralisere (kalke) disse overskridelsene.

Belastningen med sur nedbør har allerede avtatt med 30-35 % fra 1980 og fram til idag (SFT 1994) og vil sannsynligvis avta videre i årene som kommer etter at den nye svovelprotokollen ble undertegnet i Oslo i juni 1994 (UN 1994). Endringene i utslipp vil skje gradvis. Det vil også den tilhørende endringen i tålegrenseoverskridelser og vannkvalitet. Reduksjonen i svovelbelastning følges ikke av en tilsvarende reduksjon i nitrogenbelastningen. Både nedfall og nitratkonsentrasjon i innsjøer i sør-Norge har holdt seg temmelig uforandret fra 1986 og fram til idag (SFT 1994). Nitrogenets relative betydning for forsureningssituasjonen vil derfor øke i tida framover.

I denne rapporten er tålegrenseoverskridelsene og scenarier for framtida lagt til grunn for beregning av kalkbehov og dataene er koplet til vassdragsregisteret. Innenfor Tovdalsvassdraget (1880 km<sup>2</sup>) er det 8-9 tålegrenseruter med den oppløsning som dagens

tålegrensekart har (rutene er ca. 200 km<sup>2</sup> i Sør-Norge). Vassdragsregisteret REGINE (REGIster over NEdbørfelt) til NVE gir muligheter for økt oppløsning og beregninger basert på vassdragsområder og ikke ruter. Det har derfor vært mulig å konkretisere både scenarier og kalkbehov til vassdragsavsnitt og vassdraget totalt. Vi har derfor det håp at denne typen beregninger kan være med å øke grunnlaget for en forsvarlig forvaltning av vår fiskeressurser i framtida.

## 2. MATERIALE OG METODER

### 2.1. Vassdraget

Tovdalsvassdraget strekker seg fra heiene øst for Byglandsfjord og til sjøen ved Kristiansand (Topdalsfjorden). Vassdraget har et areal på 1855 km<sup>2</sup> og ligger i det alt vesentlige i Aust-Agder fylke. I vassdraget er det spredt bosetting, vesentlig knyttet til skog- og jordbruk.

Tovdalsgreina (Øvre Tovdal og Tovdal) er ikke berørt av kraftregulering, men den vestre greina (Skjeggedal og Høvringenområdet) er regulert ved flere magasiner. Hanefossen kraftverk i nordenden av Herefossfjorden utnytter disse reguleringene.

Øvre del av Tovdalsvassdraget, dvs. ned til foten av Rjukanfossen (figur 1), er vernet mot kraftutbygging (Verneplan IV). Øvrige deler av vassdraget er plassert i kategori I i Samla Plan og kan dermed åpnes for konsesjonsbehandling. Hindar (1995) har vurdert konsekvensene av en evt. overføring av vann fra Tovdalsgreina til Skjeggedal for forsuringen i vassdragets øvre deler.

I vassdragsregisteret (REGINE) er Tovdalsvassdraget delt opp i 102 geografiske minsteenheter. Basert på grupperingen i REGINE har vi aggregert disse til seks delvassdrag:

Vassdragsavsnittet ned til Austenå (6-7 km nedstrøms foten av Rjukanfossen) er her kalt Øvre Tovdal. Avsnittet ned til Herefossfjorden er kalt Tovdal. Skjeggedalsområdet går ned til det stedet hvor Hovlandsåna renner ut i Kolstraumfjorden. Høvringen- Mjåvannfeltet strekker seg fra vest og over på østsiden av Kolstraumfjorden og har også med Haukomvatn og Ljosevatn nord for Ogge. Oggefeltet omfatter nedbørfeltet til Ogge og den delen av Oggevassdraget som renner nordover til Uldal. Herefoss-feltet strekker seg fra nordenden av Herefossfjorden og helt ned til Topdalsfjorden. Avgrensningene er markert i figur 1. Arealer og spesifikk avrenning er gitt i tabell 1.

### 2.2. Vannkjemiske analyser

Vannprøver fra omlag 50 innsjøer ble samlet inn i tiden 4.-6. oktober 1993. Det er analysert på pH, konduktivitet, alkalitet, kalsium, magnesium, natrium, kalium, sulfat, nitrat, klorid, total nitrogen, total organisk karbon, og aluminiumsfraksjonene reaktivt Al og ikke-labilt Al etter standard analysemetoder ved NIVA.



Figur 1. Tovdalsvassdraget med avgrensning av seks delfelt. Hvert delfelt er sammensatt av minsteenheter i vassdragsregisteret (REGINE). Kartgrunnlag fra NVE.

Tabell 1. Hoveddelfelt i Tovdalsvassdraget med tilhørende arealer og spesifikk avrenning. Delfeltnummere i REGINE i parentes.

|                               | Areal<br>km <sup>2</sup> | Spes. avr.<br>L/s*km <sup>2</sup> |
|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Øvre Tovdal (E,F,G)           | 274                      | 36.6                              |
| Tovdal (C,D)                  | 374                      | 32.7                              |
| Skjeggedal (BC, BD, BE, BF)   | 288                      | 33.6                              |
| Høvringen-Mjåland (BB)        | 297                      | 34.6                              |
| Ogge (BA)                     | 306                      | 37.6                              |
| Herefoss-sjøen (A, B1-B4, B9) | 317                      | 34.9                              |
| Hele vassdraget:              | 1856                     | 35.0                              |

### 2.3. Beregninger

For å bestemme tålegrenser for overflatevann må en finne en kritisk kjemisk verdi (se boks 1 og 2) for en biologisk indikator. Lien *et al.* (1992) viste at det er en god sammenheng mellom fiskestatus og ANC (Acid Neutralizing Capacity) og at sannsynligheten for skader på fiskebestander er lav ved  $ANC > 20 \mu\text{ekv L}^{-1}$ .  $ANC = 20 \mu\text{ekv L}^{-1}$  er derfor brukt som grenseverdi ( $ANC_{\text{limit}}$ ).

ANC (se boks 2) er differensen mellom basekationer (kalsium + magnesium + natrium + kalium) og sterke syrers anioner (klorid + sulfat + nitrat). Lav (negativ) ANC i klart vann vil si at konsentrasjonen av syre ( $H^+$ ) og aluminium kan være betydelig.

#### boks 2

#### Kritisk kjemisk verdi

For overflatevann er ANC valgt som *kritisk kjemisk verdi*, og verdien av denne settes i forhold til fisk som *biologisk indikator*.  $ANC_{\text{limit}}$  er således den kritiske konsentrasjonen for fisk. Bruken av ANC er en forenkling som setter sammen flere faktorer som er avgjørende for giftigheten av vannet overfor fisk (pH, aluminium og TOC) i en enkelt variabel. Data for sammenhengen mellom innsjøers vannkjemi og endringer i generell fiskestatus er brukt for å anslå  $ANC_{\text{limit}}$  for fisk i Norge (Lien *et al.* 1992). Få fiskepopulasjoner er skadet ved ANC-konsentrasjoner over  $20 \mu\text{ekv L}^{-1}$ . Av de fiskearter som er studert er laks ørret og mort de mest følsomme og abbor den minst følsomme. Selv om  $ANC_{\text{limit}}$  er avhengig av hvilken fiskeart som vurderes, synes en verdi på  $20 \mu\text{ekv L}^{-1}$  å være passende for å vurdere tålegrenser og tålegrenseoverskridelser for ferskvannsfisk, iallfall for Norge, der laksefisk oftest er av størst interesse.

Det finnes to hovedmetoder for å beregne tålegrenser for overflatevann; bruk av prosessorienterte modeller og empiriske modeller. De empiriske vannkjemiske modellene er "steady state modeller" som ikke tar hensyn til tidsavhengige prosesser, og de kan derfor brukes på grunnlag av begrenset informasjon. En slik empirisk metode er anvendt her. Metoden er tidligere beskrevet (Henriksen *et al.* 1992), og basislikningene er gitt i boks 3. Den dynamiske modellen MAGIC (Model of Acidification of Groundwater In Catchments) kombinerer prosesser i jord med atmosfærisk tilførsel for å simulere jordvann- og overflatevannkjemi. Slike modeller kan brukes til å finne ut mer om hvor raskt vannkvaliteten vil innstille seg ved gitte endringer i belastning, se f.eks. Wright *et al.* (1991, 1993).

Tålegrensen og nedfallet av svovel og nitrogen avgjør i hvilken grad tålegrensen er overskredet. En tålegrenseoverskridelse vil si at sulfatkonsentrasjonen i vassdraget ikke kan balanseres med basekationer, slik som kalsium og magnesium. Vannet vil derfor bli surt og aluminiumsholdig og de tilstedeværende aluminiumsforbindelsene vil være giftige for fisk og andre organismer. Tålegrenseoverskridelsen (syreoverskuddet) kan i sin tur benyttes som grunnlag for å beregne kalkbehovet (Henriksen og Hindar 1993).

På bakgrunn av innsjødataene fra oktober 1993 er det beregnet ANC og tålegrense ( $CL_{20}$ , se tabell 2) for sterk syre i de forskjellige vassdragsavsnitt. I beregningene av tålegrenseoverskridelsen ( $EX_{N20}$ , se tabell 2) er det benyttet middeltall for svovelnedfall for perioden 1983-1987, perioden 1988-1992 og for situasjonen i 2010. Beregningen for 2010 er gjort med bakgrunn i beregnet nedfall etter at forpliktelsene i svovelprotokollen av 1994 (UN 1994) er gjennomført. Avrenningen av dagens nitrat er lagt inn i beregningene for 1985 og 1990 (indikert med nedfelt N i  $EX_{N20}$  i tabell 2), men ikke for 2010.

Midlere tålegrenseoverskridelse for store delfelt i Tovdalsvassdraget og for hele vassdraget er beregnet ved å også ta med negativ overskridelse (ikke overskredet) i beregningene. Alternativt kunne disse områdene gått inn i beregningene med null, siden de ikke var overskredet, men en negativ overskridelse vil si at området har en viss bufferevne som da veies mot manglende bufferevne i områder med overskridelse.

Bare arealer med tålegrenseoverskridelse inngår derimot i beregningen av kalkbehov for store delfelt. I disse beregningene har vi altså ikke brukt middelveier for overskridelse. Det skyldes at vi vil være "på den sikre siden" i beregningene, dvs. at vi tar hensyn til den usikkerheten som ligger i beregningene og iallfall sørger for å ta med de områdene der vi vet (utfra beregningene) at det er dårligere vannkvalitet enn det vi aksepterer (lavere ANC enn  $ANC_{limit}$ ).

Det er viktig å påpeke at redusert nedfall ikke umiddelbart gir bedret vannkvalitet, se betraktningene om miljømål (target load) i Warfvinge *et al.* (1992). Vannkvaliteten vil innstille seg i et likevektsforhold med depositionsnivået først etter at naturens bufferegenskaper er gjenopprettet. Vi vet idag ikke hvor lang tid dette vil ta i de forskjellige områdene. Vi antar imidlertid at 1985-deposisjonen representerer en god middelveier for depositionsjonen i de siste ca. 20 år, slik at overskridelsesbildet med dette scenario er dagens situasjon.

## boks 3

## DEN STATISKE VANNKJEMISKE METODE

Vannets syrenøytraliserende kapasitet (ANC) brukes som en kritisk kjemisk verdi for en biologisk indikator. ANC er definert som differansen mellom konsentrasjonene av ikke marine basekationer (BC)\* og sterke syrers anioner (AN)\*:

$$[\text{ANC}] = [\text{BC}]^* - [\text{AN}]^* = [\text{HCO}_3^-] + [\text{A}^-] - [\text{H}^+] - [\text{Al}^{n+}] \quad (1)$$

hvor  $[\text{HCO}_3^-]$  er konsentrasjonen av bikarbonat,  $[\text{A}^-]$  er konsentrasjonen av organiske anioner,  $[\text{Al}^{n+}]$  er summen av alle positivt ladede aluminiumioner. De ikke marine bidrag er indikert ved en asteriks (\*).

Tålegrensen for en innsjø er definert som den opprinnelige avrenning av basekationer  $[\text{BC}]_0$  fra nedbørfeltet. Tålegrensen (CL(Ac)) for sterke syrer for en gitt indikatororganisme er gitt ved:

$$\text{CL}(\text{Ac}) = ([\text{BC}]_0^* - [\text{ANC}_{\text{limit}}]) \cdot Q - \text{BC}_{\text{dep}}^* \quad (2)$$

hvor  $[\text{BC}]_0^*$  er den førindustrielle konsentrasjonen av ikke-marine base kationer,  $\text{ANC}_{\text{limit}}$  er den kritiske ANC-konsentrasjon for den aktuelle organisme, Q er årlig middelavrenning og  $\text{BC}_{\text{dep}}^*$  er dagens ikke-marine basekation-deposisjon. For å beregne tålegrensen må en verdi for  $\text{BC}_0^*$  anslås utfra dagens vannkjemi (se Henriksen *et al.* 1990b).

Tålegrenseoverskridelsen for svovel  $\text{CL}_{\text{ex}}$  kan så beregnes ved å sammenlikne tålegrensen beregnet fra likning (2) med dagens ikke-marine sulfat-deposisjon,  $\text{SO}_4^*_{\text{dep}}$ .

$$\text{CL}_{\text{ex}} = \text{SO}_4^*_{\text{dep}} - \text{CL}(\text{Ac}) \quad (3)$$

Tar vi hensyn til dagens nitrogenlekkasje får vi følgende likning (Henriksen *et al.* 1992):

$$\text{Ex}(\text{Ac}) = \text{SO}_4^*_{\text{dep}} + \text{N}_{\text{le}} - \text{BC}_{\text{dep}}^* - \text{CL}(\text{Ac}) \quad (4)$$

der  $\text{N}_{\text{le}}$  er dagens nitratavrenning. Denne kan bestemmes utfra dagens nitratkonsentrasjon i innsjøen og årlig avrenning. For å beregne  $\text{N}_{\text{le}}$  i likning 4 kan vi derfor bruke følgende formel:

$$\text{N}_{\text{le}} = (\text{NO}_{3\text{t}} - \text{NO}_{3\text{0}}) \cdot Q = (\text{NO}_{3\text{t}} - 4) \cdot Q \quad (5)$$

der  $\text{NO}_{3\text{t}}$  er dagens nitratkonsentrasjon i  $\mu\text{eq L}^{-1}$ ,  $\text{NO}_{3\text{0}}$  er en anslått maksimal bakgrunnsverdi for innsjøer i ikke sur nedbør-påvirkede områder i Norge på  $4 \mu\text{eq L}^{-1}$ . Q er årlig middelavrenning. Hvis  $\text{NO}_{3\text{t}} < 4$ , settes den lik 4.

Ved å avsyre overskridelsen av tålegrensen bringes vannkvaliteten opp til den kritisk kjemiske verdi ( $ANC_{\text{limit}} = 20 \mu\text{ekv L}^{-1}$ ), som er grunnlag for tålegrensefastsettelsen. Vi antar at det tilsvarer en pH-verdi på 6.0-6.2, men at konsentrasjonen av reaktivt aluminium ikke endres særlig pga kalktilsetningen (den giftige fraksjonen reduseres imidlertid sterkt). I tillegg kan vannet gis en bufferevne for å motvirke skadelige svingninger i vannkvalitet. Vi har satt bufferevnen til  $50 \mu\text{ekv L}^{-1}$  for all avrenning fra det arealet der tålegrensen er overskredet, slik at vannet må tilsettes ytterligere  $30 \mu\text{ekv L}^{-1}$  alkalitet. Avrenningen er beregnet ved å bruke midlere spesifikk avrenning for den geografiske minsteenheten eller de aggregerte enhetene.

Det totale avsyringsbehovet som framkommer er først beregnet som tonn  $\text{CaCO}_3/\text{år}$ . Vi har så antatt at gjennomsnittskalken inneholder 90 %  $\text{CaCO}_3$  og videre at den midlere oppløsningen er 70 %. I beregningen av total kostnad har vi satt midlere tonnpris til kr. 600.-. Dette inkluderer transport, alle former for spredning/dosering, leie av doserer og avgifter og er betraktet som en reell middelkostnad i dagens situasjon (se Kaste *et al.* 1994). Ved å kalke hele vassdraget og bruk av anbud kan prisen kanskje bli lavere.

## 2.4. Kartpresentasjon

Arbeidet med kartlegging av *tålegrenser* for tilførsler av sterke syrer til overflatevann er nå gjennomført for hele Norge og det er utarbeidet kart (Henriksen *et al.* 1992). Også kart for *overskridelser* av tålegrensene for *svovel* og for *svovel og nitrogen* er laget. Disse er basert på den statiske metode som er beskrevet ovenfor.

Forskjellige rutesystemer er tidligere brukt for å kartlegge deposisjonen av luftforurensninger og virkningen på økosystemene. ECE-manualen som brukes for å kartlegge tålegrensene i Europa (Sverdrup *et al.* 1990) anbefaler å bruke EMEP-ruter ( $150 \times 150 \text{ km}$ ) for deposisjon og ruteenheten  $0.5^\circ$  lengde og  $1.0^\circ$  bredde eller underruter av denne for økosystemer. "Harmoniserte" kart for de nordiske land bruker en underopptdeling av EMEP-ruten i  $3 \times 3$  småruter (NILU-ruter,  $50 \times 50 \text{ km}$ ) for beregning av både deposisjon og tålegrenser (Henriksen *et al.* 1990a).

Tålegrenseberegningene for Norge er basert på NILU-ruter for deposisjonen, og en oppdeling av ruteenheten  $0.5^\circ$  lengde og  $1.0^\circ$  bredde i 16 ( $4 \times 4$ ) underruter for overflatevann. Alle rutene er arealberegnet utfra det landareal de dekker. Langs kystlinjene er arealet av fastland og øyer beregnet.

Deposisjonsdataene fra EMEP (bearbeidet av Det norske meteorologiske institutt, DNMI) er basert på en beregnet verdi for hele ruten utfra utslippsforholdene i Europa. NILU's database er beregnet utfra målte våt- og tørrdeposisjoner i NILU-ruter.

Beregningene er gjort for de 102 geografiske minsteenheter (delfelt) som Tovdalsvassdraget består av i vassdragsregisteret, REGINE. Enheter uten vannkjemisk datagrunnlag har fått en tålegrenseverdi fra nærliggende enhet. Ved å aggregere enhetene kan større vassdragsavsnitt karakteriseres. Til alle disse geografiske enhetene er det knyttet areal og spesifikk avrenning, se tabell 1. Beregninger av tålegrenser og overskridelser for minsteenheter og store delfelt er utgangspunkt for kartpresentasjonen på sidene 16-23.

## 3. RESULTATER

### 3.1. Tålegrense og overskridelser

De enkelte vannkjemiske data for innsjøene er samlet i vedlegg bak i rapporten. Resultatene viser at vannkvaliteten er bedre for fisk i Øvre Tovdal enn i Skjeggedal. I Tovdal er det få data, men inntrykket er at vannkvaliteten er omlag som i Skjeggedal. Karakteristiske forskjeller er at innsjøer i Øvre Tovdal har høyere pH, høyere konsentrasjon av kalsium, lavere sulfat og nitrat og lavere aluminium. Det viser at naturens tålegrense er høyere, at svovelnedfallet er mindre og at vannkvaliteten ikke er så giftig for fisk som f.eks. i Skjeggedal. Også nitratkonsentrasjonen er lavere i de øvre deler. Det skyldes sannsynligvis mindre nitrogennedfall. I de nedre områdene (Ogge og Herefoss) er vannkvaliteten bedre og naturens tålegrense høyere. Dette går fram av kartbladene for tålegrenser for enkeltfelt og for seks større delfelt på sidene 16 og 20.

Når tålegrensene sammenholdes med svovelnedfall, framkommer tall for overskridelse av tålegrenser. Kartbladene på side 17-19 og 21-23 viser overskridelser av tålegrenser for enkeltfelt og for store delfelt i Tovdalsvassdraget.

Med basis i middelverdier for nedfallet i periodene 1983-87 og 1988-92 er overskridelsene svært store i de midtre partier av vassdraget og mindre i de aller øverste og de aller nederste delene (se kartbladene og tabell 2). Overskridelsene i Øvre Tovdal er i begge tilfeller langt mindre enn i Skjeggedal, omtrent det halve. De er også mindre enn i selve Tovdalen, dvs. i området fra Rjukanfossen til Herefoss.

Til tross for at tålegrensene er høyere, er overskridelsene også større i Ogge- og Herefossområdet enn i Øvre Tovdal. Det skyldes at svovelnedfallet er langt større i områdene nærmere kysten enn i de indre delene.

Tålegrensen er overskredet i nesten hele vassdraget (1810 km<sup>2</sup>), både med deposisjonen omkring 1985 og 1990. I år 2010 vil fortsatt over halvparten av arealet (1050 km<sup>2</sup>) være overskredet (se kartbladene og tabell 2). Etter år 2010 kan imidlertid situasjonen være svært mye bedre enn i dag fordi svovelutslippene, i følge FN-avtalen, skal reduseres betydelig fram til dette tidspunktet. I Øvre Tovdal og i nedre del vil det i gjennomsnitt ikke være overskridelser av tålegrensen slik de er beregnet her. I øvrige områder vil tålegrensen være relativt sett lite overskredet og situasjonen sannsynligvis god for fisk i en rekke lokaliteter.



## **På de følgende åtte sider vises:**

### Kart for geografiske minsteenheter

**kartblad 1:** Tålegrenser for geografiske minsteenheter i Tovdalsvassdraget. (Beregningene er basert på  $CL_{20}$ , dvs.  $ANC = 20 \mu\text{ekv L}^{-1}$  som kritisk kjemisk verdi.)

**kartblad 2:** Tålegrenseoverskridelser for geografiske minsteenheter i Tovdalsvassdraget i 1985. (Beregningene er basert på svoveldeposisjonen i perioden 1983-1988 og med dagens nitrogenavrenning.)

**kartblad 3:** Tålegrenseoverskridelser for geografiske minsteenheter i Tovdalsvassdraget i 1990. (Beregningene er basert på svoveldeposisjonen i perioden 1988-1992 og med dagens nitrogenavrenning.)

**kartblad 4:** Tålegrenseoverskridelser for geografiske minsteenheter i Tovdalsvassdraget i 2010. (Beregningene er basert på svoveldeposisjonen i år 2010 og uten nitrogenavrenning.)

### Kart for seks store delfelt

**kartblad 5:** Tålegrenser for seks store delfelt i Tovdalsvassdraget. (Beregningene er basert på middelet for aggregerte minsteenheter.)

**kartblad 6:** Tålegrenseoverskridelser for seks store delfelt i Tovdalsvassdraget i 1985. (Beregningene er basert på middelet for aggregerte minsteenheter.)

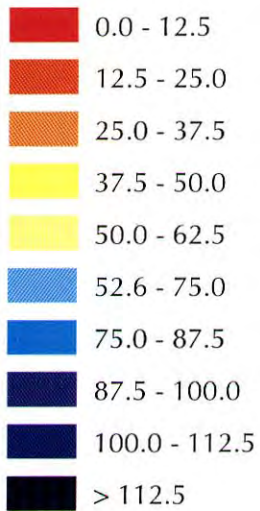
**kartblad 7:** Tålegrenseoverskridelser for seks store delfelt i Tovdalsvassdraget i 1990. (Beregningene er basert på middelet for aggregerte minsteenheter.)

**kartblad 8:** Tålegrenseoverskridelser for seks store delfelt i Tovdalsvassdraget i 2010. (Beregningene er basert på middelet for aggregerte minsteenheter.)

# Tålegrense CL-20 i 020.Z Tovdalsvassdraget

## TEGNFORKLARING

kek.v.km<sup>-2</sup>.år<sup>-1</sup>



### Målestokk



Koordinatsystem: UTM, sone 32  
Grunnlagsdata: Statens kartverk, N250  
Temainformasjon: NVE-REGINE, NIVA

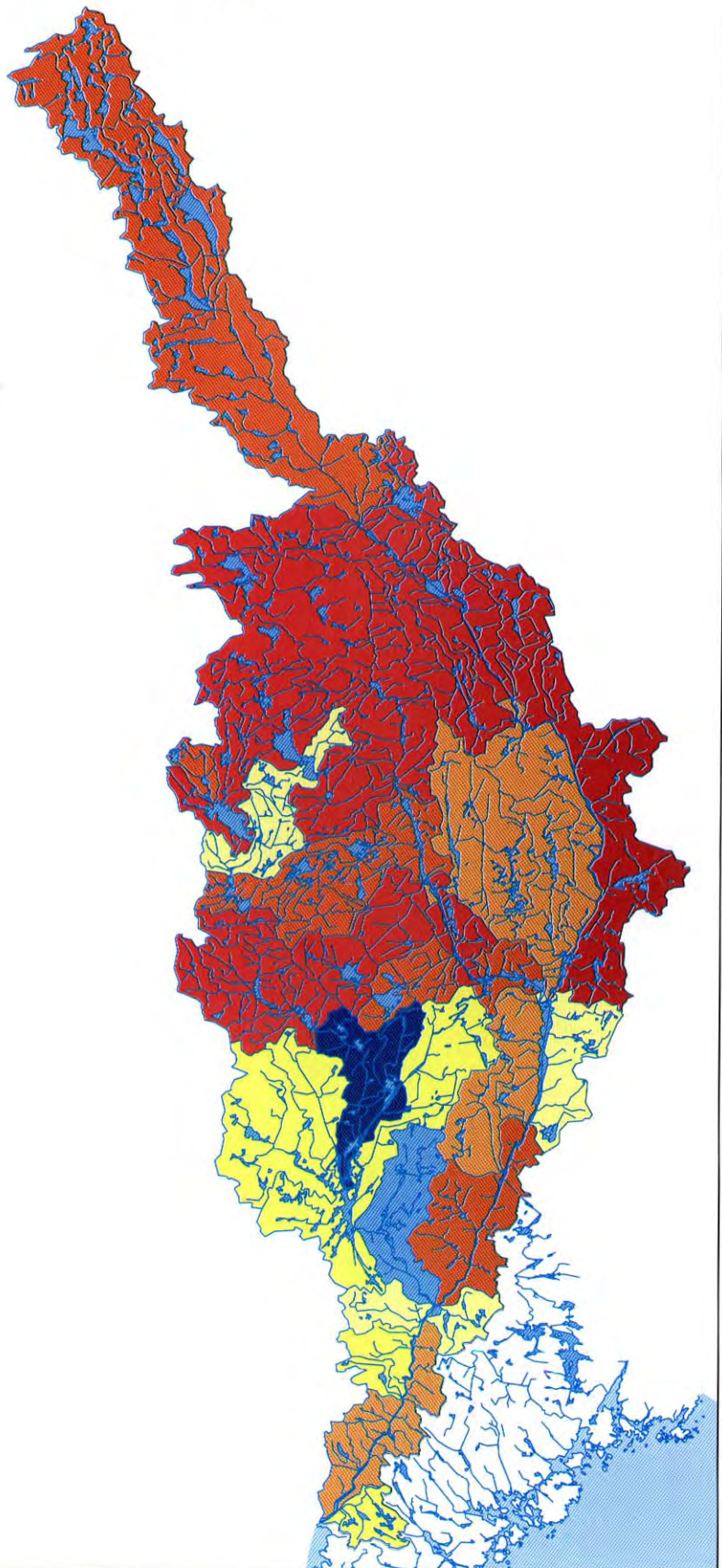
Dato: 18 Jan 95

Utforming: NVE, GIS-avo



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

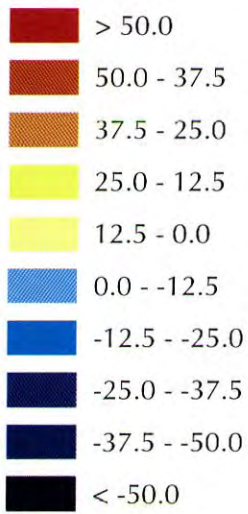
NIVA



# Overskridelse av tålegrense i 1985 for 020.Z Tovdalsvassdraget

## TEGNFORKLARING

kek.v.km<sup>-2</sup>.år<sup>-1</sup>



Målestokk



Koordinatsystem: UTM, sone 32  
Grunnlagsdata: Statens kartverk, N250  
Temainformasjon: NVE-REGINE, NIVA

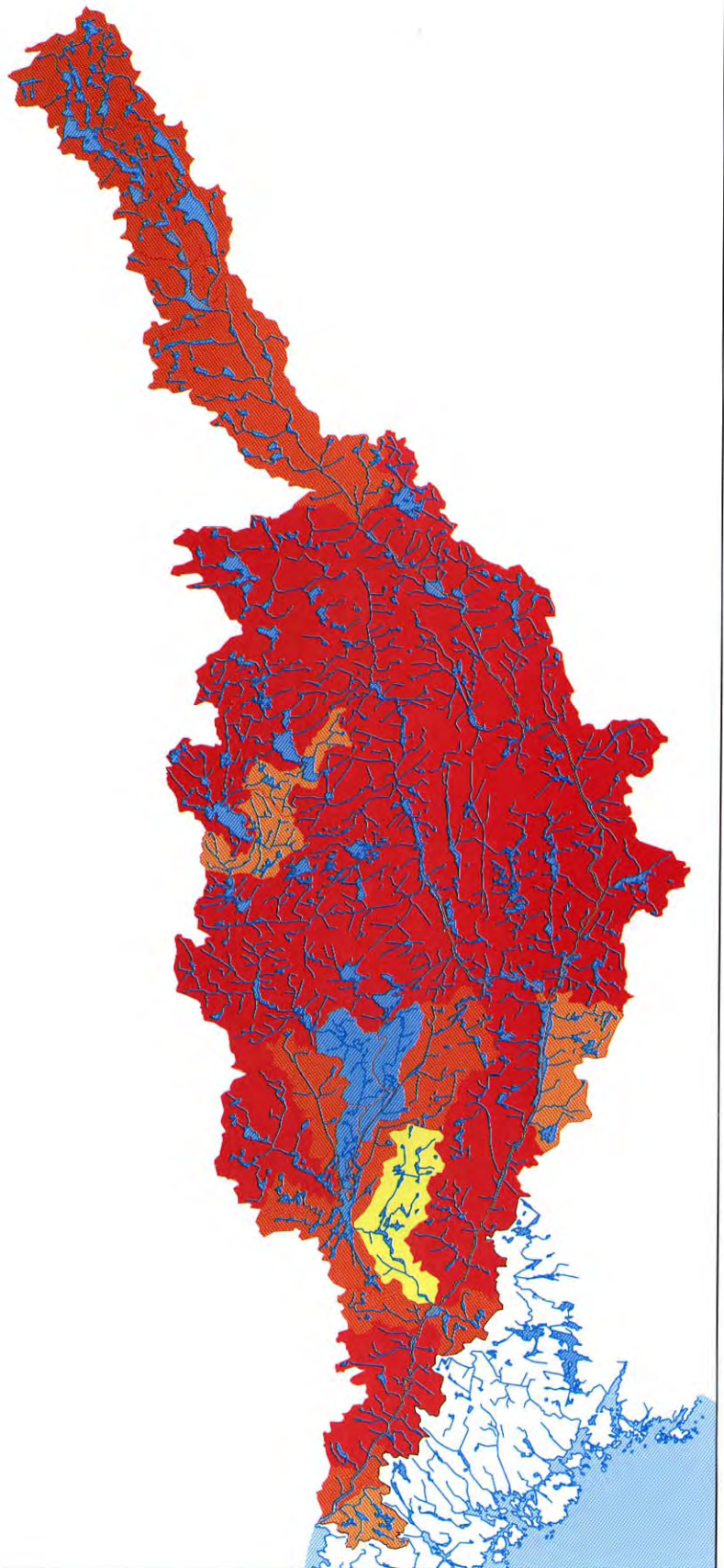
Dato: 18 Jan 95

Utforming: NVE, GIS-avo



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

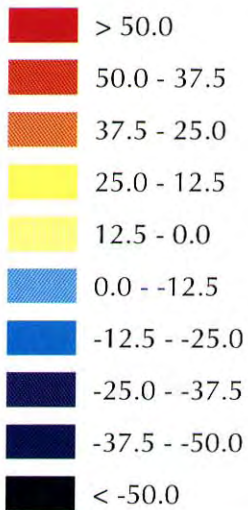
NIVA



# Overskridelse av tålegrense i 1990 for 020.Z Tovdalsvassdraget

## TEGNFORKLARING

kek.v.km<sup>-2</sup>.år<sup>-1</sup>



### Målestokk



Koordinatsystem: UTM, sone 32  
Grunnlagsdata: Statens kartverk, N250  
Temainformasjon: NVE-REGINE,NIVA

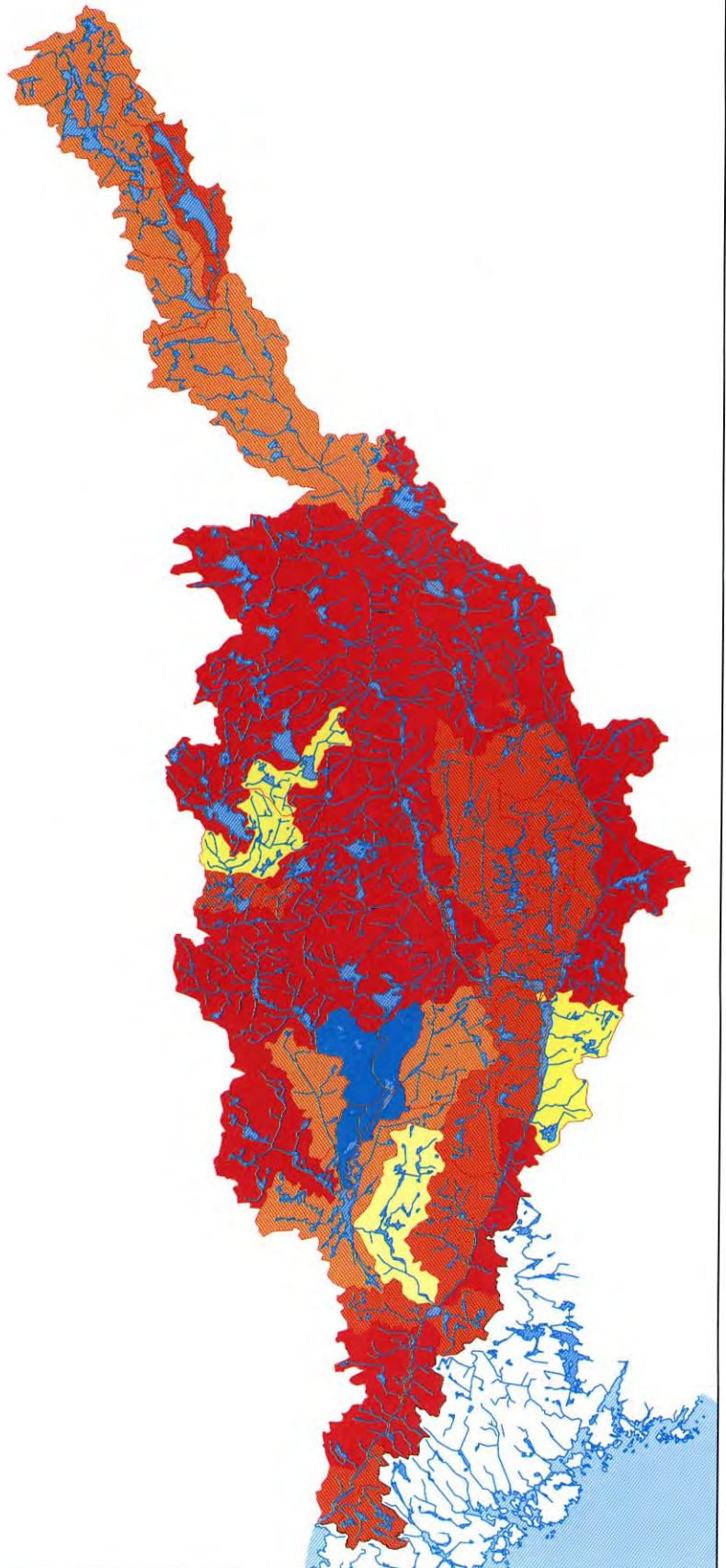
Dato: 18 Jan 95

Utforming: NVE,GIS-avo



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

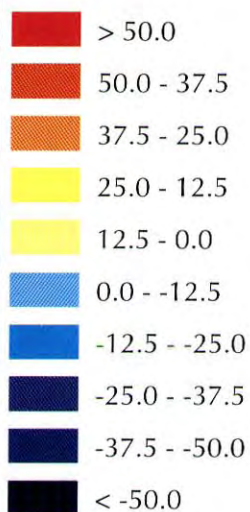
NIVA



# Overskridelse av tålegrense i 2010 for 020.Z Tovdalsvassdraget

## TEGNFORKLARING

kek.v.km<sup>-2</sup>.år<sup>-1</sup>



Målestokk

0 10 km

Koordinatsystem: UTM, sone 32  
Grunnlagsdata: Statens kartverk, N250  
Temainformasjon: NVE-REGINE, NIVA

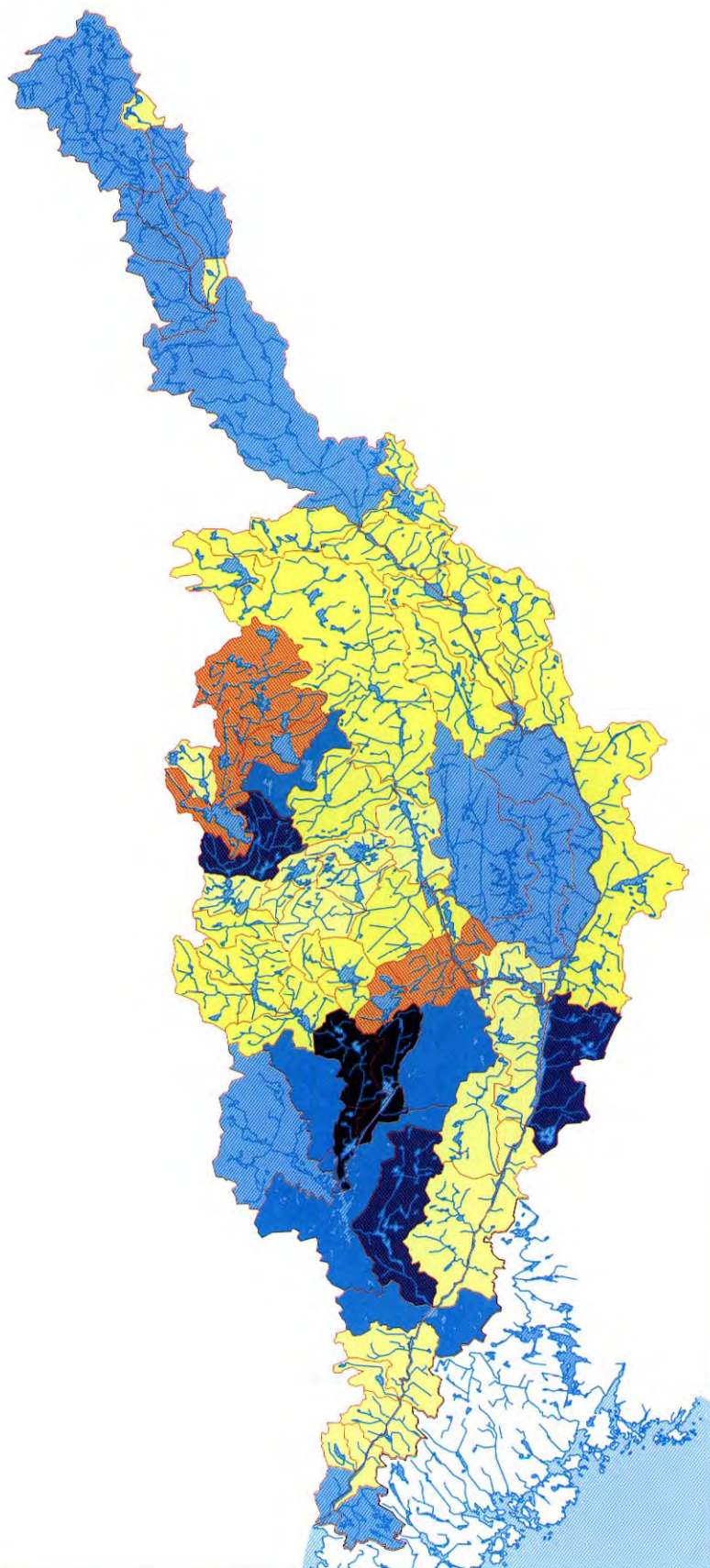
Dato: 18 Jan 95

Utforming: NVE, GIS-avo



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

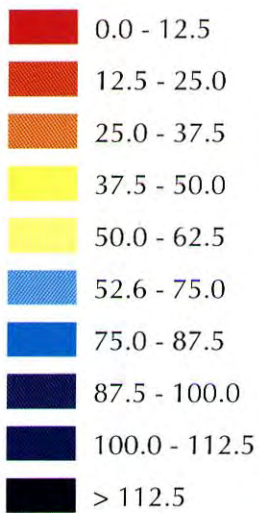
NIVA



# Tålegrense CL-20 i 6 delfelter av 020.Z Tovdalsvassdraget

## TEGNFORKLARING

kek.v.km<sup>-2</sup>.år<sup>-1</sup>



## Målestokk

0 10 km

Koordinatsystem: UTM, sone 32  
Grunnlagsdata: Statens kartverk, N250  
Temainformasjon: NVE-REGINE, NIVA

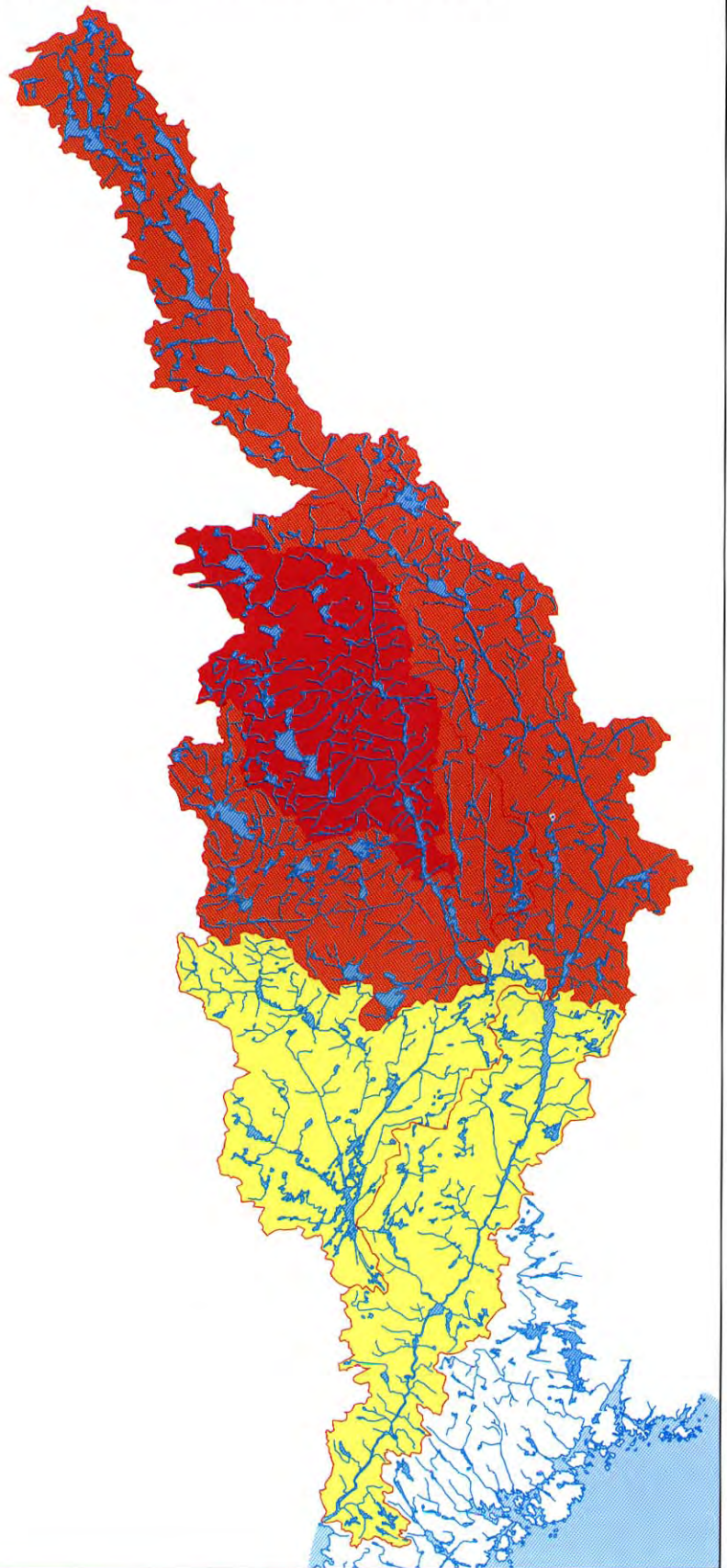
Dato: 18 Jan 95

Utforming: NVE, GIS-avo



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

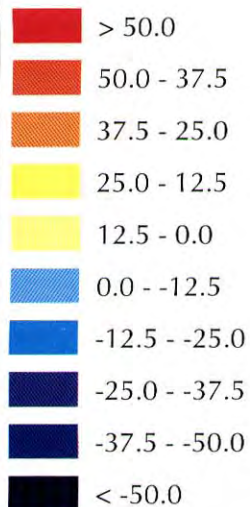
NIVA



# Overskridelse av tålegrense i 1985 for 6 delfelter i 020.Z Tovdalsvassdraget

## TEGNFORKLARING

kek.v.km<sup>-2</sup>.år<sup>-1</sup>



### Målestokk

0 10 km

Koordinatsystem: UTM, sone 32

Grunnlagsdata: Statens kartverk, N250

Temainformasjon: NVE-REGINE,NIVA

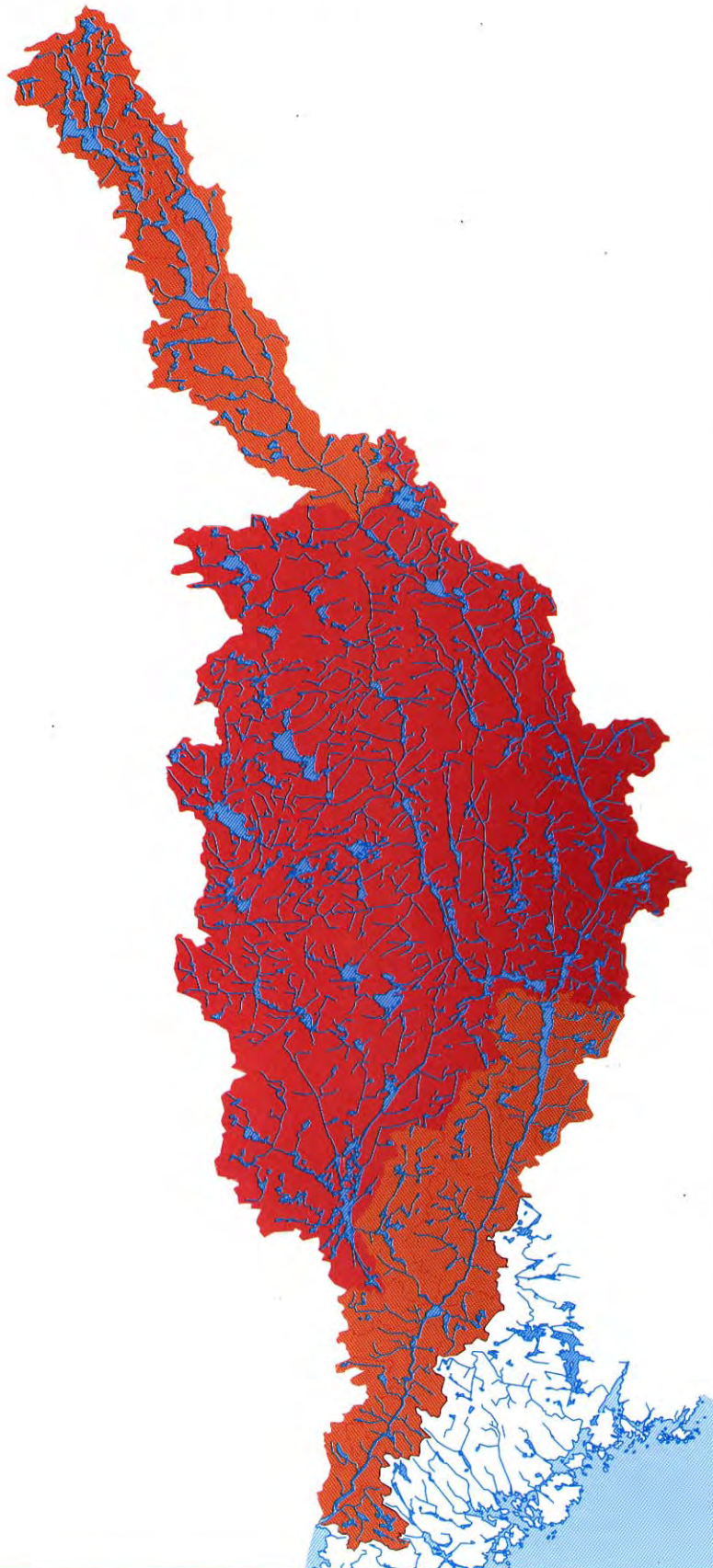
Dato: 18 Jan 95

Utforming: NVE,GIS-avo



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

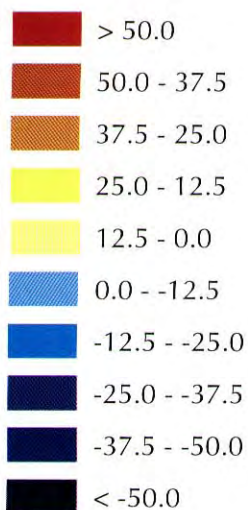
NIVA



# Overskridelse av tålegrense i 1990 for 6 delfelter i 020.Z Tovdalsvassdraget

## TEGNFORKLARING

kek.v.km<sup>-2</sup>.år<sup>-1</sup>



### Målestokk



Koordinatsystem: UTM, sone 32

Grunnlagsdata: Statens kartverk, N250

Temainformasjon: NVE-REGINE, NIVA

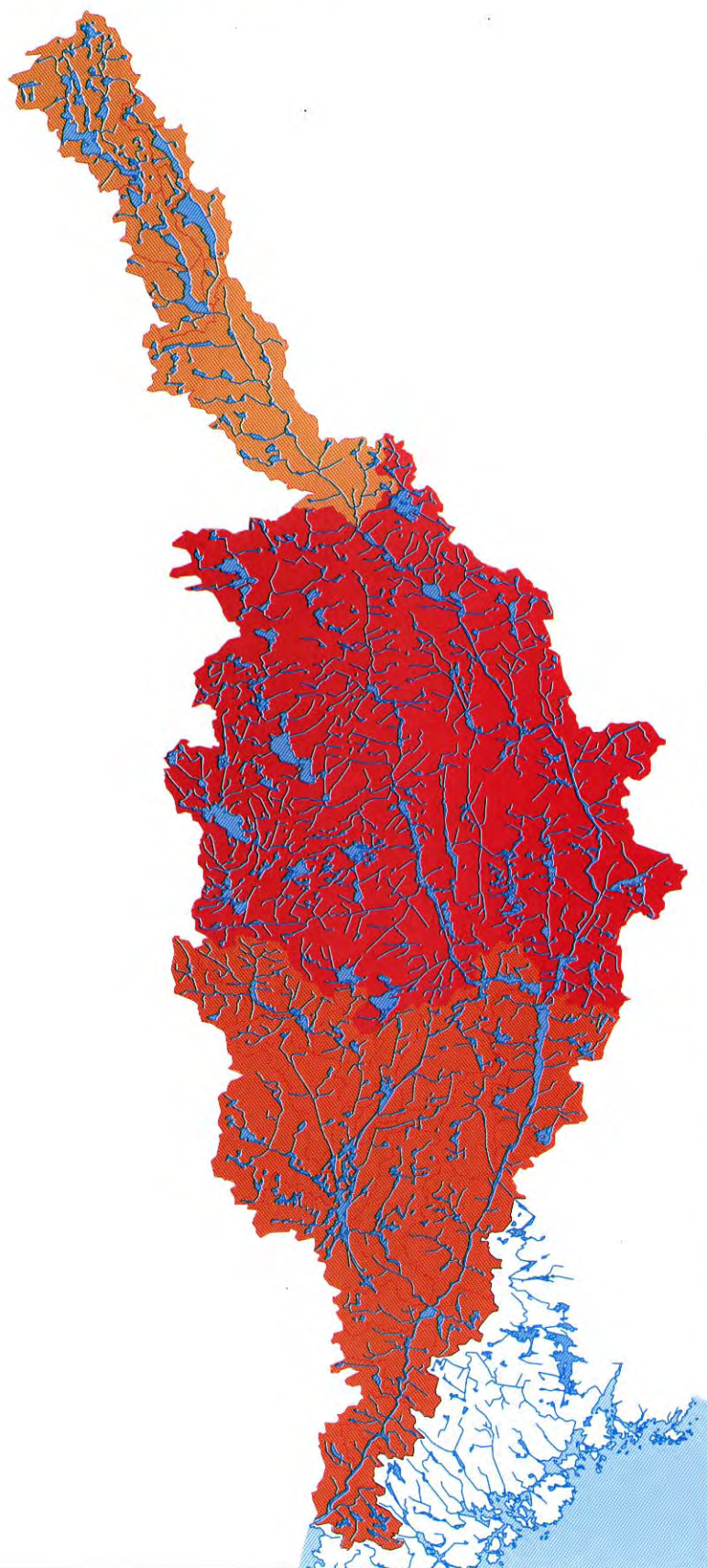
Dato: 18 Jan 95

Utforming: NVE, GIS-avo



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

NIVA

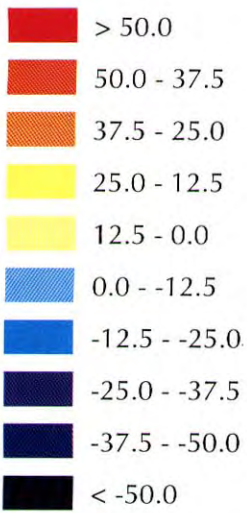




# Overskridelse av tålegrense i 2010 for 6 delfelter i 020.Z Tovdalsvassdraget

## TEGNFORKLARING

kek.v.km<sup>-2</sup>.år<sup>-1</sup>



### Målestokk

0 10 km

Koordinatsystem: UTM, sone 32

Grunnlagsdata: Statens kartverk, N250

Temainformasjon: NVE-REGINE, NIVA

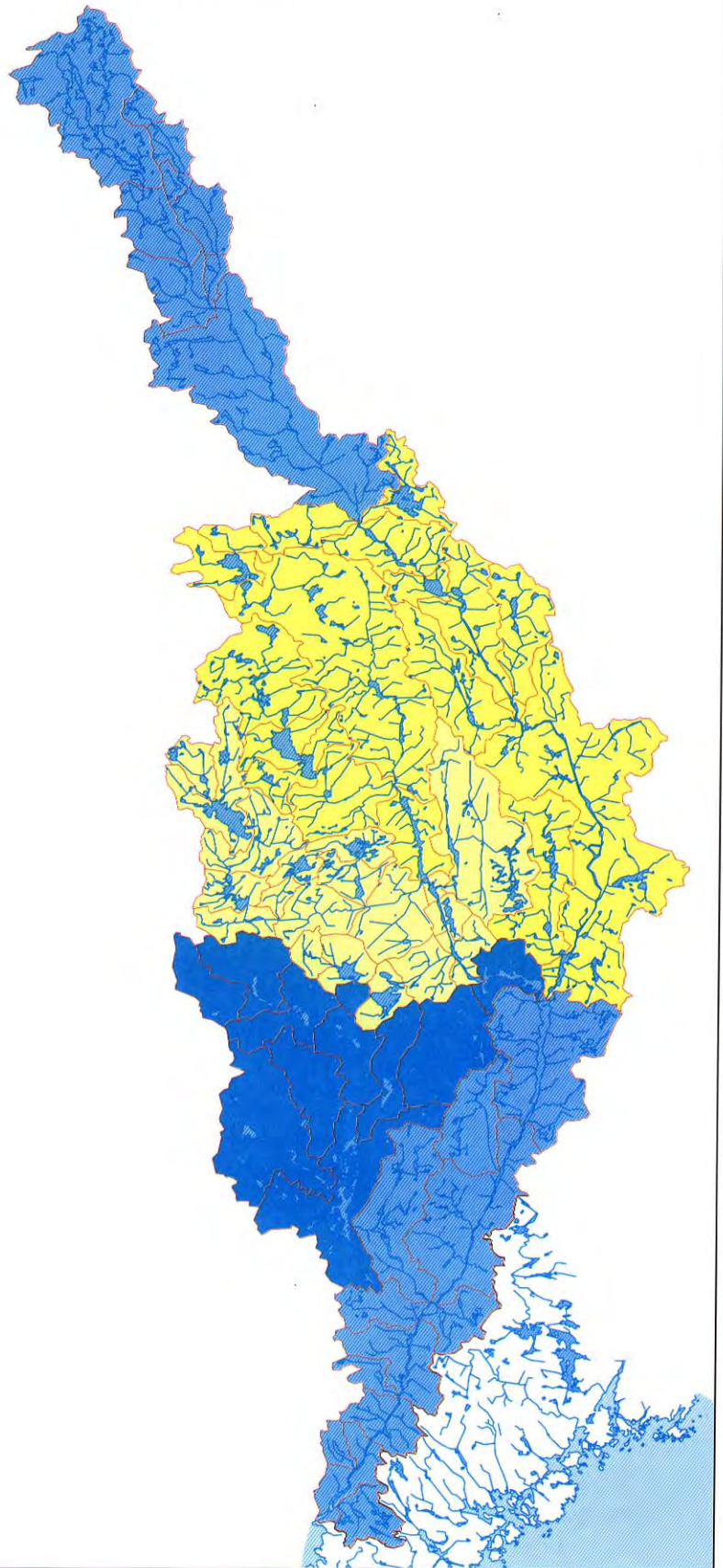
Dato: 18 Jan 95

Utforming: NVE, GIS-avo



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

NIVA



Tabell 2. Tålegrense ( $CL_{20}$ ) og beregnede overskridelser ( $EX_{N20}$  og  $EX_{20}$ ) med utgangspunkt i svovelnedfallet i 1985, 1990 og 2010 (se MATERIALE OG METODER). Negative verdier angir ingen overskridelse. Store bokstaver bak vassdragsområdenavn viser til områdekoder i REGINE.

| Feltnr. | Vassdragsområde:<br>(aggregert) | Areal<br>km <sup>2</sup> | Tålegrense:                           | Overskridelse av tålegrense:                   |  |   |
|---------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|--|---|
|         |                                 |                          | $CL_{20}$<br>kekv/km <sup>2</sup> /år | 1985<br>$EX_{N20}$<br>kekv/km <sup>2</sup> /år | 1990<br>$EX_{N20}$<br>kekv/km <sup>2</sup> /år | 2010<br>$EX_{20}$<br>kekv/km <sup>2</sup> /år |
| 91-102  | Øvre Tovdal, E,F,G              | 274                      | 21.6                                  | 41.4   | 33.9   | -1.7  |
| 74-90   | Tovdal, C,D                     | 374                      | 15.3                                  | 69.2   | 56.1   | 12.6  |
| 66-73   | Skjeggedal, BC-BF               | 288                      | 10.3                                  | 78.7   | 65.5   | 17.9  |
| 41-65   | Høvringen-Mjåland, BB           | 297                      | 21.3                                  | 69.4   | 57.9   | 8.1   |
| 22-40   | Ogge, BA                        | 306                      | 44.0                                  | 50.7   | 38.3   | -13.3   |
| 1-21    | Herefoss, A, B1-B4, B9          | 317                      | 40.3                                  | 49.4   | 41.6   | -8.4  |
| 1-102   | Hele Tovdal                     | 1856                     | 25.4                                  | 60.2   | 49.1   | 2.7   |

### 3.2. Kalkbehov og kostnader

Kalkbehov og kostnader for Tovdalsvassdraget (tabell 3 og 4) kan beregnes med forskjellige forutsetninger. Virkningen av å ikke avsyre områder med kun en liten overskridelse ( $< 10$  kekv/km<sup>2</sup>\*år) av tålegrensen har bare en marginal effekt på kalkbehov og kostnader. Det er størrelsen på den ekstra bufferevnen som har betydning.

Kalkbehovet er selvsagt minst i de områder der tålegrensen er minst overskredet. Det er en viss forskjell på 1985 og 1990 fordi svovelnedfallet har avtatt. Forskjellen er imidlertid betydelig fram mot år 2010 da kalkbehovet, basert på tålegrenseoverskridelsene, avtar sterkt. Det gjelder spesielt i de områdene som har høyest tålegrense, dvs. Øvre Tovdal, Ogge og Herefoss. Her må vi igjen minne om de forbehold som er tatt om når likevektsituasjonen inntreffer.

Når svovelnedfallet og dermed tålegrenseoverskridelsen avtar bedres vannkvaliteten. Det kreves derfor mindre kalk for å nå et gitt vannkvalitetsmål, f.eks. en alkalitet på 20 eller 50  $\mu\text{ekv L}^{-1}$ . Kalkbehovet pga tålegrenseoverskridelsen avtar altså. Det ekstra kalkbehovet i overskredet område, som er representert ved alkalitetsøkningen fra 20 til 50  $\mu\text{ekv L}^{-1}$ , holdes konstant. Basert på år 2010 vil det derfor være behov for tre ganger så mye kalk til ekstra alkalitetsøkning som ved avsyring av tålegrenseoverskridelsen alene (tabell 3).

Kostnadene ved bare å avsyre tålegrenseoverskridelsen er selvsagt mindre enn hvis det også skal gis ekstra alkalitet (tabell 4). Forskjellen er nær tre mill. kr./år basert på 1985 og 1990, men bare 1.5 mill. kr./år basert på 2010. Det vil derfor være mye å vinne på en optimalisering av kalkmengdene, slik det ble forsøkt ved utarbeidelsen av kalkingsplan for Tovdalsvassdraget (Hindar 1991). Kalkbehovet for alternativet med bare å avsyre tålegrenseoverskridelsen (7330-8890 tonn/år) ligger nær opp til beregningene i kalkingsplanen fra 1991 (6680-7220 tonn/år). Kostnaden i kalkingsplanen er bare omlag to tredeler av det vi har beregnet her fordi tonnprisen i kalkingsplanen ble satt til kr. 400.-.

Tabell 3. Kalkbehov (tonn kalk/år) ved avsyring av tålegrenseoverskridelsen og ved avsyring pluss en økning i alkaliteten til 50  $\mu\text{ekv L}^{-1}$ . Se MATERIALE OG METODER for beregning av kalkbehov. Store bokstaver bak vassdragsområdenavn viser til områdekoder i REGINE.

|         |                        | Avsyring av overskridelse |                 |                 | Avsyring av overskridelse og ekstra alkalitet |                 |                 |
|---------|------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|
| Feltnr. | Vassdragsområde:       | 1985<br>tonn/år           | 1990<br>tonn/år | 2010<br>tonn/år | 1985<br>tonn/år                               | 1990<br>tonn/år | 2010<br>tonn/år |
| 91-102  | Øvre Tovdal, E,F,G     | 900                       | 740             | 2               | 1640  | 1480            | 70              |
| 74-90   | Tovdal, C,D            | 2060                      | 1670            | 420             | 2980  | 2590            | 1130            |
| 66-73   | Skjeggedal, BC-BF      | 1800                      | 1500            | 440             | 2510  | 2210            | 1120            |
| 41-65   | Høvringen-Mjåland, BB  | 1630                      | 1360            | 280             | 2410  | 2140            | 830             |
| 22-40   | Ogge, BA               | 1260                      | 1010            | 110             | 2020  | 1770            | 350             |
| 1-21    | Herefoss, A, B1-B4, B9 | 1240                      | 1050            | 50              | 2090  | 1900            | 550             |
| 1-102   | Hele Tovdal            | 8890                      | 7330            | 1300            | 13650   | 12090           | 4050            |

Tabell 4. Kostnader (mill. kr./år) ved kun avsyring av tålegrenseoverskridelsen og ved avsyring pluss en økning i alkaliteten til 50  $\mu\text{ekv L}^{-1}$ . Se MATERIALE OG METODER for beregning av kostnader. Store bokstaver bak vassdragsområdenavn viser til områdekoder i REGINE.

|         |                        | Avsyring av overskridelse |                  |                  | Avsyring av overskridelse og ekstra alkalitet |                  |                  |
|---------|------------------------|---------------------------|------------------|------------------|---|------------------|------------------|
| Feltnr. | Vassdragsområde:       | 1985<br>mill./år          | 1990<br>mill./år | 2010<br>mill./år | 1985<br>mill./år                              | 1990<br>mill./år | 2010<br>mill./år |
| 91-102  | Øvre Tovdal, E,F,G     | 0.54                      | 0.44             | 0.00             | 0.98  | 0.89             | 0.05             |
| 74-90   | Tovdal, C,D            | 1.23                      | 1.00             | 0.26             | 1.79  | 1.55             | 0.68             |
| 66-73   | Skjeggedal, BC-BF      | 1.08                      | 0.90             | 0.27             | 1.51  | 1.33             | 0.67             |
| 41-65   | Høvringen-Mjåland, BB  | 0.98                      | 0.82             | 0.17             | 1.45  | 1.28             | 0.50             |
| 22-40   | Ogge, BA               | 0.76                      | 0.61             | 0.07             | 1.22  | 1.06             | 0.21             |
| 1-21    | Herefoss, A, B1-B4, B9 | 0.74                      | 0.63             | 0.03             | 1.25  | 1.14             | 0.33             |
| 1-102   | Hele Tovdal            | 5.34                      | 4.40             | 0.79             | 8.20  | 7.25             | 2.42             |

## 4. DISKUSJON

Denne rapporten tar ikke opp de forskjellige kalkingsteknikker som er tilgjengelige og tiltaksstrategier med hensyn til kombinasjonen av metoder, kalktyper og doser innenfor avgrensede eller større felt. Vi forsøker å se på forsuringstatus og -utvikling i de ulike områder av Tovdalsvassdraget og om den kan gi grunnlag for en mere bevisst og planmessig framdrift i tiltaksarbeidet.

Den framgangsmåten som er brukt i Tovdalsvassdraget har generell interesse og kan være en mal for andre vassdrag, slik at en også kan se flere vassdrag og regioner (fylker) under ett når tiltak planlegges. Vi har derfor også sett på en del generelle problemstillinger.

### 4.1. Dagens deposisjon og konsekvenser av endringer i sur nedbør

Tovdalsvassdraget har en betydelig variasjon i tålegrenser for svovelnedfall, men om en ser på de grove trekkene (de seks aggregerte feltene) er tålegrensene svært lave i øvre og midtre partier og noe bedre, men fortsatt lave, i nedre del. Fordi både tålegrensene og svoveldeposisjonen er lavest i øvre og midtre deler, er forskjellene i tålegrenseoverskridelser mellom øvre og nedre del mindre.

Reduserte svovelutslipp fram mot år 2010 vil bedre vannkvaliteten i alle vassdragsavsnitt i Tovdalsvassdraget. Men en reduksjon i deposisjon vil ikke være tilstrekkelig for å gjenskape en god nok vannkvalitet for fisk og andre organismer i vassdragene hvis deposisjonen fortsatt overskrider tålegrensen. Syrenedfallet må under tålegrensen for at naturens bufferegenskaper kan gjenskape den opprinnelige vannkvaliteten.

I store områder, særlig i de midtre partier av vassdraget, vil tålegrenseoverskridelsene også etter 2010 fortsatt være store nok til at en må regne med at naturlig reproduksjon kan mislykkes. Vannkvaliteten kan imidlertid vise seg å bli god nok til at stedeagne bestander kan leve ved regelmessig utsetting. Det er betydelige forskjeller i toleranse mellom aurestammer (Kroglund *et al.* 1992) og dette bør om mulig utnyttes ved utsetting i nye lokaliteter.

Vi kan ikke med sikkerhet si hvor raskt vannkvaliteten vil bedre seg fordi det må innstille seg en likevekt mellom nedfallet og vannkvaliteten i vann og vassdrag. Det vil være forvittrings- og ionebytteprosesser i jordsmonnet som styrer denne utviklingen sammen med de reduserte bidragene fra nedbør.

Siden sulfat er et negativt ladet ion, vil en reduksjon av sulfat i avrenningsvannet automatisk føre til en tilsvarende reduksjon i positivt ladde ioner for at ladingbalansen skal opprettholdes. Både basekationer (kalsium og magnesium), hydrogenioner og aluminiumioner kan dermed bli redusert. Hvis store deler av reduksjonen kommer i basekationer, vil ikke pH eller aluminium endres særlig og vannkvaliteten kan fortsatt være for dårlig for akvatiske organismer. Hvis sulfatnedgangen i mindre grad kompenseres med reduksjon i kalsium og magnesium, vil både pH og aluminium kunne endres i en positiv retning for fisk. Det vil også merkes som en økning i ANC. Dette kan illustreres ved at både svovelnedfall og sulfatkonsentrasjon i vassdragene i den sørlige landsdelen er

redusert med 30-35 % fram til 1994, med basis i 1980. Reduksjonen har gått gradvis, men det er først de siste 2-3 årene at vi har sett tegn til en generell bedring av de faktorer som har betydning for fiskens overlevelse (SFT 1994a).

Det er stor usikkerhet om nitrogenets betydning framover. Konsentrasjonen av nitrogen i form av nitrat har økt (er doblet) i mange innsjøer i Sør-Norge i perioden 1975 til 1986 (Henriksen *et al.* 1988) og gir et bidrag til forsuringen. Det skyldes høy belastning og trolig at opptaket i vegetasjonen ikke lenger er stort nok til å holde nitrogenet tilbake i terrenget. Det nye nivået på nitrat i disse innsjøene holdes stabilt (SFT 1994a), men det er sannsynligvis et enda større potensiale for nitrogenmobilisering enn den utlekkingen vi hittil har sett fordi det fortsatt er betydelig retensjon i terrenget. En eventuell klimaendring kan forsterke utlekkingen (Gulbrandsen *et al.* 1990).

Usikkerheten omkring nitrogen forsterkes ved at det ser ut til å være vanskeligere å oppnå betydelige reduksjoner i nitrogenutslipp enn i svovelutslipp. Det nasjonale målet om 30 % reduksjon av NO<sub>x</sub>-utslippene innen 1998, med basisår 1986, ser ikke ut til å bli innfridd uten ytterligere begrensende tiltak (SFT 1994b) og nitrogenet spiller en stadig viktigere rolle for forsuringen av våre vassdrag. Vi har satt nitratavrenningen til null i år 2010, men det er på ingen måte sikkert om reduksjonen vil inntreffe. Nitratkonsentrasjonen i innsjøer fra 1986 og fram til idag er svært stabil.

Etter år 2010 vil tålegrensen fortsatt være overskredet i over 1000 km<sup>2</sup> av Tovdalsvassdraget etter de beregningene vi har gjort. Avviket fra tålegrensen vil imidlertid være liten i mange områder og den framtidig reduksjonen i nedfallet av svovel (og nitrogen-) forbindelser (sur nedbør) vil påvirke Tovdalsvassdraget i en svært positiv retning. Dette bør en være oppmerksom på og ta hensyn til ved detaljplanlegging og gjennomføring av kalkingstiltak i vassdraget.

## 4.2. Kalkingsstrategier

Kalkingsstrategier kan være basert på faglige og andre forvaltningsmessige kriterier, men vil uansett være influert, og delvis bestemt, av de økonomiske rammer myndighetene trekker opp gjennom vedtak i Stortinget og de praktiske rammer som topografi, atkomst og bosetting setter for gjennomføring.

Overordnede strategier bør ligge på alle forvaltningsnivåer; nasjonalt, regionalt/fylkesvis, kommunalt og for tiltak i enkeltvassdrag. Siden 1983, da de første statlige tilskudd til vassdragskalking ble gitt via egen post på statsbudsjettet, og fram til i dag har lokalt initiativ og lokalpolitisk press også i stor grad påvirket hvilke vassdrag som er blitt kalket, og dermed blitt en del av den strategi som myndighetene har valgt.

De siste årene har hvert enkelt fylke utarbeidet egne planer for kalkingsvirksomheten, der vassdrag og områder er prioritert utfra hvor det er ønskelig at kalking settes igang. Både biologiske/genetiske kriterier (gjenværende bestander, biologisk mangfold) og mulighetene for fritidsfiske har ligget til grunn for kriteriene. Men også i dette planarbeidet og i gjennomføringen av planene er myndighetene helt avhengig av at lag, foreninger og kommuner stiller opp og tar ansvar for gjennomføringen. De praktiske begrensningene som ble nevnt innledningsvis setter også klare rammer for hvor og på hvilken måte kalking

kan skje.

Miljømyndighetene er til enhver tid prisgitt kunnskaps- og erfaringsgrunnlaget innenfor forskning, næringsliv, frivillige organisasjoner og forvaltningen selv når miljøtiltak skal gjennomføres. Forskningens rolle er å bedre grunnlaget for de forvaltningsmessige beslutninger som skal fattes, bl.a. overordnede, regionale og vassdragsspesifikke beslutninger om hvor kalkingstilskuddene skal brukes.

Fram til oktober 1993 eksisterte det ingen koplinger mellom framtidige endringer i svovelnedfall og kalkbehov. De beregninger som da ble publisert, se Henriksen og Hindar (1993), ga forvaltningen kunnskap om framtidige endringer i kalkbehov og kostnader i hvert enkelt fylke. Det arbeidet som legges fram her gir tilsvarende informasjon om endringer innenfor et større vassdrag, både i små delfelt og i større sidevassdrag. Forvaltningen velger selv på hvilken måte denne kunnskapen kan brukes, men vi har nedenfor antydnet noen momenter.

#### **4.2.1. Strategier for laks, innlandsfisk eller biologisk mangfold**

I dag er det legitimt å begrunne kalking med behovet for å opprettholde eller øke det biologiske mangfoldet. Skader på laks eller innlandsaure er ikke det eneste gangbare kriteriet. Er så strategielementet like viktig uansett hva som er målet for tiltaket? Kreves det andre kalkingsstrategier for laks enn for andre vannlevende organismer? Hvilken betydning får kunnskaper om gradvis bedrede miljøforhold?

En laksebestand må ha god vannkvalitet fra vassdragets utløp og oppover den lakseførende strekningen. I tillegg må vannkvaliteten i sidevassdrag være slik at skadelige blandsoner (Rosseland og Hindar 1991; Rosseland *et al.* 1992) ikke oppstår der laksen oppholder seg. Derfor kreves det avsyring av de sureste områdene og de sidevassdragene som bidrar til å skape blandsoner. Dette er som regel de mest belastede sidevassdragene, de som har størst tålegrenseoverskridelser. Kalktilførselen kan imidlertid skje langt nede i nedbørfeltet, men likevel slik at aluminiumskjemien er stabilisert før den lakseførende strekningen nås. Tiltaket har ofte høy kost/nytte-effekt. Kost/nytte-effekten kan være lav og dessuten vanskeligere å beregne hvis gevinsten (f.eks. en ny døgnflueart eller en svak endring i det biologiske mangfold) er liten eller ikke uten videre lar seg måle i kroner og øre.

Selv om vassdraget betraktes som sterkt skadet, vil det være heterogent i den forstand at det kan finnes områder med bedre/god vannkvalitet og intakte bestander av forsuringfølsomme arter. Eksisterende, forsuringfølsomme bestander av ulike innlandsfiskearter, bunnlevende organismer og plankton befinner seg som regel i de deler av vassdraget der tålegrenseoverskridelsen er mindre og dermed vannkvaliteten bedre. Bevaringsverdige biologiske og genetiske ressurser finnes i uskadde eller moderat skadde områder. Her kan en stå i fare for å miste bestander i den aktuelle forurensningssituasjon. Det antas at slike områder vil være prioritert utfra det forvaltningsmessige syn at eksisterende/stedegne fiskebestander og andre vannlevende organismer bør sikres. Det er derfor viktig å få slik områder kartlagt og eventuelt kalket.

Når bevaring eller økning av det biologiske mangfold er begrunnelsen for kalkingstiltak, vil

det også være avgjørende å sikre reetablering i områder der organismer er utdødd. Naturlig spredning kan ta lang tid. Det viser erfaringer (Raddum, pers. oppl.) fra kalkingen av Store Hovvatn (nær Høvringen i Tovdalsvassdraget) og svenske erfaringer (Bergquist *et al.* 1992), og skyldes bl.a. at det er lang avstand til områder med forsuringsfølsomme arter. Da kan det være viktig å kople habitater og identifisere refugier for disse organismene. Dette kan gjøres ved strategiske kalkingstiltak, f.eks. ved å etablere korridorer med god vannkvalitet (Kroglund *et al.* 1994). Kalkingsstrategien i et større vassdrag kan dermed bli en helt annen enn den tradisjonelle. Kjennskap til status og den framtidige vannkvalitetsutviklingen i de enkelte områdene kan være nyttig for å finne egnede løsninger.

Områder med mindre overskridelser finnes også i Tovdalsvassdraget. Her kan det være begynnende avtak for enkelte arters vedkommende uten at dette er registrert, og det er derfor ikke sikkert at nytten ved å gjennomføre tiltak er kjent. Det kan vise seg å være lettere å begrunne kalkingsinnsats i slike områder hvis utsiktene for vannkvalitetsbedring er gode på relativt kort sikt. Da kan tiltakene ses på som tidsavgrensede og kostnadene bindes ikke på ubestemt tid.

#### 4.2.2. Når bør det kalkes, og kan vi vente på svovelreduksjonene ?

Det kan være fristende å vente på en bedring i vannkvalitet framfor å settes igang med omfattende kalkingstiltak når utsiktene til vannkvalitetsbedring er gode på mellomlang sikt. Det har imidlertid vist seg at det tar tid før en gitt svovelbelastning har manifestert seg i skader på fiskebestander (Hesthagen *et al.* 1994). Skadebildet kan derfor endre seg i en negativ retning i visse områder, særlig i moderat og mindre belastede områder slik som på Vestlandet. Det vil også ta tid før en reduksjon i belastningen manifesterer seg i tilsvarende bedring i vannkvalitet. Vi må derfor regne med at bestander av både fisk og andre vannlevende arter i områder med moderat overskridelse av tålegrensen fortsatt kan reduseres og/eller dø ut. Føre-var prinsippet tilsier at handling i slike områder kan baseres på sterke indisier om en negativ utvikling.

Betraktningene om en videre negativ utvikling er grunnen til anbefaling om omfattende tiltak så raskt som mulig i de områdene som har overskridelser (Kroglund *et al.* 1994). Bevisstheten om at en rask økning i statlige tilskudd kan etterfølges av en planmessig nedtrapping vil trolig gjøre det enklere å begrunne økningen. Når dette også kan konkretiseres til enkeltvassdrag og vassdragsavsnitt, slik som det er vist i denne rapporten, kan også en nedtrappingsplan og eventuelt planer for omprioritering av tiltakene innenfor vassdraget, fylket eller regionen innarbeides i de mere overordnede planer.

Det er vel her riktig å legge til at de internasjonale forpliktelsene må oppfylles hvis forutsetningene i denne rapporten skal gjelde. En del av forpliktelsene vil oppfylles som resultat av økonomisk funderte tekniske endringer eller pga bruk av nye energikilder som vil være mere lønnsomme. Den delen av svovelreduksjonen, om det da er mulig å skille på dette, som har direkte med forpliktelsene å gjøre og som må gjennomføres uten økonomiske eller andre gevinster kan bli langt vanskeligere å gjennomføre.

### 4.2.3. Reduseres kalkbehovet når svovelnedfallet reduseres ?

Det kan hende at den svoveldeposisjonen vi har på et gitt tidspunkt først gir den tilhørende vannkvalitetsbedring (ved likevekt) etter flere år. Med tilhørende vannkvalitet menes her f.eks. en tilsvarende økning i ANC. Bedringen for fisk kan derfor ta lengere tid enn det tar å redusere svovelutslippene til et teoretisk akseptabelt (ned til tålegrensen) nivå.

Nitrogenets rolle i forsuringssammenheng vil øke framover hvis utslippene av nitrogenoksider ikke reduseres. Hvis utslippene blir redusert betydelig kan vannkvalitetsbedringen bli bedre og komme raskere enn beregningene i denne rapporten indikerer. Den rollen nitrogenet har som joker i den framtidige utviklingen kan bevisstgjøre politikere på viktigheten av å gå videre med utslippsbegrensninger for nitrogen.

Den usikkerhet som ligger her gjør at det vil være behov for dokumentasjon av hvordan vannkvaliteten bedres i tida framover og vi bør vite omtrent i hvilken hastighet bedringen skjer.

Beregningene av kalkbehov i Tovdalsvassdraget er gjort med den, meget usikre, forutsetning at det har innstilt seg en likevekt mellom svovelnedfall og vannkvalitet og at svovelprotokollen blir gjennomført etter den plan det er lagt opp til. Kalkbehovet og kostnader for å avsyre Tovdalsvassdraget vil bli sterkt redusert i tida framover (tabell 3 og 4) etterhvert som tålegrenseoverskridelsene avtar (se kartblad og tabell 2). Strategier for kalkingstiltak kan baseres på at det i noen områder er behov for midlertidige tiltak (Øvre Tovdal og Ogge-Herefossområdet), mens det i andre områder (Skjeggedal-Høvringen-Tovdalsområdet) trolig er behov for mer permanente tiltak.

I områder der tålegrensen etterhvert ikke lenger blir overskredet kan kalkingstiltak forhåpentligvis trappes gradvis ned. En slik nedtrappingsplan må være forankret i en dokumentert vannkvalitetsbedring i området.

I de områdene der en ikke vil forvente en fullgod vannkvalitet, vil tiltakene måtte opprettholdes hvis en vil gjenopprette eller eventuelt beholde en fauna med forsuringfølsomme arter. Hvis kalking gjennomføres i disse områdene vil det være i visshet om at selv betydelige reduksjoner i nedfall av syre ikke vil gi tilstrekkelig livsgrunnlag for fisk. Det kan være viktig å kjenne til denne realiteten før klarsignal til kalking blir gitt. Det kan også være viktig for de som driver kalkingsarbeidet at dette er kjent. Men også her bør vannkvalitetsutviklingen følges pga den usikkerhet som ligger i både beregninger (måle- og metodeusikkerhet) og i lokale vannkvalitetsvariasjoner. En svak overskridelse av tålegrensen kan kanskje også aksepteres fordi kravet om bedre vannkvalitet enn ANC-grensen på 20  $\mu\text{ekv L}^{-1}$  sannsynligvis gir en god beskyttelse hvis aluminiumskonsentrasjonene reduseres sterkt. En må her huske på at grunnlaget for denne grensefastsettelsen er et stort materiale og at det vil være lokale forskjeller både i vannkvalitetsrefugier, vannkvalitet og fiskeartenes toleranse for surt vann.

Det forventes reduserte mengder giftig aluminium i vassdraget etterhvert som tålegrenseoverskridelsen avtar. Vannkvaliteten vil generelt bli bedre og faren for episodisk forsuring vil avta. Den sikkerhetsmargin som man ofte opererer med når kalkdoser skal beregnes kan derfor også reduseres. Det kan derfor stilles spørsmål ved om den relativt



store ekstra kalktilførselen (pga ønsket om økt alkalitet) er nødvendig i områder med nær akseptable forhold. Å øke vannkvaliteten til så vidt mye over den ANC-grensen som er brukt her (fra  $ANC_{\text{limit}} = 20 \mu\text{ekv L}^{-1}$  til alkalitet =  $50 \mu\text{ekv L}^{-1}$ ) kan derfor være å ta for hardt i. Dette bør følges opp slik at tiltakene hele tiden er optimale, både økologisk og økonomisk, se forøvrig Hindar (1992).

Den forventede positive utviklingen må dokumenteres før en endring i kalkingsstrategien finner sted.

#### **4.2.4. Har denne typen beregninger noen verdi ?**

De momentene som er nevnt over tilsier at det kan være en betydelig verdi i å kjenne den sannsynlige utviklingen i vannkvalitet innenfor et enkelt vassdrag. Det kan gi grunnlag for bevisste prioriteringer av innsatsområder, størrelsen på innsatsen og den framtidige innsatsen. I enkelte områder kan det legges spesiell vekt på vannkvalitetsundersøkelser for å få fram slike oversikter som er vist her. Det vil være viktig å dokumentere at en antatt vannkvalitetsendring faktisk skjer.

Beregninger av denne typen kan settes sammen for flere vassdrag slik at fylker eller større regioner kan ses på under ett. Dermed kan det legges opp til en planmessig endring i prioriteringene etterhvert som de forventede vannkvalitetsbedringene inntreffer i de ulike delvassdrag og hovedvassdrag.

Det at en kjenner den mest sannsynlige framtidige utviklingen i forsurening innenfor konkrete vassdrag kan gi et bedre grunnlag for å optimalisere kost-nytteverdien og den biologisk/genetiske nytten ved kalkingstiltakene.

## 5. REFERANSER

- Bergquist, B., Engblom, E. og Lingdell, P.-E. 1992. Förekomst och kolonisation av bottenfauna i kalkade vatten. Info från Sötvattenlab. Drottningholm (1992) 4: 79-108.
- Gulbrandsen, R., Bakke, T., Grande, M., Hessen, D., Konieczny, R., Magnusson og Wright, R.F. 1992. Klimaendringer - effekter på akvatisk miljø. Bidrag til den interdepartementale klimautredningen. O-89258, NIVA. 89 s.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S., Sevaldrud, I.H., and Brakke, D. 1988. Lake acidification in Norway - present and predicted chemical status. *Ambio* 17: 259-266.
- Henriksen, A., Kämäri, J., Posch, M., Lövblad, G., Forsius, M., and Wilander, A. 1990 (a). Critical loads to surface waters in Fennoscandia. Nordic Council of Ministers. Miljørapport 1990: 124.
- Henriksen, A., Lien, L. og Traaen, T.S. 1990 (b): Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Rapport 2431/90, Norsk institutt for vannforskning. 50 s.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. og Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning. Rapport 89210 (Naturens Tålegrenser, Fagrapport nr.34, Miljøverndep.). 29 s.
- Henriksen, A. og Hindar, A. 1993. Miljøtiltak i vann: kan vi beregne kalkbehovet for Norge? s. 162-170. I: Kalking i vann og vassdrag. Seminar Rica Maritim Hotell, Haugesund 27-28 oktober 1993. DN-notat 1993-9.
- Henrikson, L. and Brodin, Y.W. 1995. Liming of Acidified Surface Waters - A Swedish synthesis. Springer Verlag, Berlin. 458 p.
- Hindar, A. 1990. Kalkingsplan for Tovdalsvassdraget. NIVA, O-91032. 31 s.
- Hindar, A. 1992. Hvordan kalker man økonomisk og økologisk riktig? s. 43-54. I: Vassdragskalking - strategi og effekter, FoU-seminar på Finse 9. - 12. mars 1992. Direktoratet for naturforvaltning. DN-notat 1992-5.
- Hindar, A. 1995. Vannkjemiske effekter i Tovdal av overføring av vann fra øvre del av Tovdalsvassdraget til Skjeggedalsgreina. NIVA, O-93186. 14 s.
- Hindar, A. and Rosseland, B.O. 1991. Liming strategies for Norwegian lakes, pp. 173-192. In: Olem, H., Schreiber, R.K., Brocksen, R.W., and Porcella, D.B. (eds.) International lake and watershed liming practices. Terrene Inst., Washington, DC.

- Kaste, Ø., Hindar, A. og Kroglund, F. 1994. Miljøtiltak for bevaring av laksen i Vossovassdraget - Kalkingsplan. NIVA, O-94013. 23 s.
- Kroglund, F., Dalziel, T., Rosseland, B.O., Lien, L., Lydersen, E., and Bulger, A. 1992. Restoring endangered fish in stressed habitats. ReFish Project 1988-1991. Acid Rain Research Report 30/1992. NIVA. 43 p.
- Kroglund, F., Hesthagen, T., Hindar, A., Raddum, G.G., Staurnes, M., Gausen, D. og Sandøy, S. 1994. Sur nedbør i Norge. Status, utviklingstendenser og tiltak. Utredning for Direktoratet for naturforvaltning. Nr. 1994-10. 97 s.
- Lien, L. Raddum, G.G., and Fjellheim, A. 1992. Critical loads of acidity to freshwater - fish and invertebrates. Naturens tålegrenser, fagrapport nr. 23. O-89185, NIVA, Oslo. 36 s.
- Mackenzie, S. 1992. The impact of catchment liming on blanket bogs, pp. 31-37. In: Bragg, O.M., Hulme, P.D., Ingram, H.A.P. and Robertson, R.A. (eds.). Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment. Dept. of biological Sciences, Univ. of Dundee.
- Roelofs, J.G.M., Brandrud, T.E., and Smolders, A.J.P. 1994. Massive expansion of *Juncus Bulbosus* L. after liming of acidified Norwegian lakes. Aquatic Botany (in press).
- Rosseland, B.O. og Hindar, A. 1991. Mixing zones - a fishery management problem?, pp. 161-172. In: International lake and watershed liming practices. Terrene Inst. Washington, DC.
- Rosseland, B.O., Blakar, I., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellestad, A., Lydersen, E., Oughton, D.H., Salbu, B., Staurnes, M., and Vogt, R. 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids. Environ. Pollution 78: 3-8.
- SFT 1994a. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1993. Statlig program for forurensningsovervåkning. Statens forurensningstilsyn. Rapport 583/94. 271 s.
- SFT 1994b. Forurensning i Norge 1994. Statens forurensningstilsyn. Rapport TA-1079/1994. 58 s.
- Sverdrup, H., de Vries, W., and Henriksen, A. 1990. Mapping Critical Loads. Nordic Council of Ministers. Miljørapport 1990:14. 124 p.
- UN 1994. Protocol to the 1979 convention on long-range transboundary air pollution on further reduction of sulphur emissions. 31 p.
- Warfvinge, P., Holmberg, M., Posch, M., and Wright, R.F. 1992. The use of Dynamic Models to set Target Loads. Ambio 21: 369-376.

Wright, R.F., Holmberg, M., Posch, M. and Warfvinge, P. 1991. Dynamic models for predicting soil and water acidification: Application to three catchments in Fenno-Scandia. Acid Rain Research Report no. 25. Norwegian Institute for Water Research, Oslo. 40 p.

Wright, R.F., Lotse, E., and Semb, A. 1993. RAIN project: results after 8 years of experimentally reduced acid deposition to a whole catchment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 27-32.

## **6. VEDLEGG**

### **6.1. Vannkjemi og feltdata**

Data for hvert REGINE-felt i vassdraget er gitt: tilhørende areal, spesifikk avrenning og årlig avrenning.

Vannkvaliteten i en representativ innsjø er lagt til grunn for å karakterisere hvert delfelt. Siden ikke alle delfelt ble representert med "egen" innsjø, er enkelte innsjøer betraktet som representative for flere felt.

| Felt        | Areal<br>km <sup>2</sup> | Spes.av.<br>l/s/km <sup>2</sup> | Årlig av.<br>mill. m <sup>3</sup> | Innsjø<br>NIVA | Lokalitet      | Kart     | UTM-R | UTM-ØV | UTM-NS | pH   | K25<br>mS/m | ALK-E<br>µekv/L | Cl<br>mg/L | SULF<br>mg/L | NO3N<br>µg/L | TOTN<br>µg/L |
|-------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------|-------|--------|--------|------|-------------|-----------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| REGINE      |                          |                                 |                                   |                |                |          |       |        |        |      |             |                 |            |              |              |              |
| '020.BAB1A' | 20.33                    | 39.69                           | 25.46                             | 40             | Håvårdstadvatn | 1511 I   | 32    | 4484   | 64845  | 4.91 | 3.48        |                 | 3.5        | 3.5          | 42           | 320          |
| '020.BAB1B' | 22.42                    | 39.92                           | 28.23                             | 39             | Vassvatnet     | 1512 III | 32    | 4425   | 64875  | 4.70 | 3.06        |                 | 3.6        | 3.6          | 195          | 365          |
| '020.BAB1C' | 0.59                     | 40.00                           | 0.74                              | 39             | Vassvatnet     | 1512 III | 32    | 4425   | 64875  | 4.70 | 3.06        |                 | 3.6        | 3.6          | 195          | 365          |
| '020.BAB1D' | 24.43                    | 40.00                           | 30.83                             | 39             | Vassvatnet     | 1512 III | 32    | 4425   | 64875  | 4.70 | 3.06        |                 | 3.6        | 3.6          | 195          | 365          |
| '020.BAB1E' | 17.34                    | 40.00                           | 21.89                             | 39             | Vassvatnet     | 1512 III | 32    | 4425   | 64875  | 4.70 | 3.06        |                 | 3.6        | 3.6          | 195          | 365          |
| '020.BAB2'  | 4.37                     | 40.00                           | 5.51                              | 40             | Håvårdstadvatn | 1511 I   | 32    | 4484   | 64845  | 4.91 | 3.48        |                 | 3.5        | 3.5          | 42           | 320          |
| '020.BAB31' | 7.31                     | 40.00                           | 9.22                              | 40             | Håvårdstadvatn | 1511 I   | 32    | 4484   | 64845  | 4.91 | 3.48        |                 | 3.5        | 3.5          | 42           | 320          |
| '020.BAB32' | 2.10                     | 40.00                           | 2.64                              | 42             | Vatnstraum     | 1511 IV  | 32    | 4451   | 64757  | 4.89 | 3.96        |                 | 6.5        | 3.7          | 75           | 320          |
| '020.BAB32' | 2.10                     | 40.00                           | 2.64                              | 42             | Vatnstraum     | 1511 IV  | 32    | 4451   | 64757  | 4.89 | 3.96        |                 | 6.5        | 3.7          | 75           | 320          |
| '020.BAB3Z' | 26.06                    | 40.00                           | 32.89                             | 42             | Vatnstraum     | 1511 IV  | 32    | 4451   | 64757  | 4.89 | 3.96        |                 | 6.5        | 3.7          | 75           | 320          |
| '020.BAB4'  | 52.59                    | 39.73                           | 65.92                             | 42             | Vatnstraum     | 1511 IV  | 32    | 4451   | 64757  | 4.89 | 3.96        |                 | 6.5        | 3.7          | 75           | 320          |
| '020.BAC'   | 57.35                    | 40.00                           | 72.38                             | 42             | Vatnstraum     | 1511 IV  | 32    | 4451   | 64757  | 4.89 | 3.96        |                 | 6.5        | 3.7          | 75           | 320          |
| '020.BB1'   | 7.62                     | 30.14                           | 7.24                              | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BB21'  | 2.10                     | 30.35                           | 2.01                              | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BB22'  | 1.24                     | 30.17                           | 1.18                              | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BB2A'  | 14.56                    | 33.49                           | 15.39                             | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BB2B'  | 10.96                    | 36.86                           | 12.75                             | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BB2C'  | 4.14                     | 38.04                           | 4.97                              | 37             | Haukumvatnet   | 1512 II  | 32    | 4481   | 64891  | 4.55 | 3.62        |                 | 4.3        | 3.7          | 155          | 380          |
| '020.BB2D'  | 12.05                    | 37.41                           | 14.23                             | 37             | Haukumvatnet   | 1512 II  | 32    | 4481   | 64891  | 4.55 | 3.62        |                 | 4.3        | 3.7          | 155          | 380          |
| '020.BB2E'  | 6.46                     | 39.08                           | 7.96                              | 37             | Haukumvatnet   | 1512 II  | 32    | 4481   | 64891  | 4.55 | 3.62        |                 | 4.3        | 3.7          | 155          | 380          |
| '020.BB3'   | 4.49                     | 30.01                           | 4.25                              | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BB4'   | 2.27                     | 30.11                           | 2.16                              | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BB51'  | 0.52                     | 30.00                           | 0.49                              | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BB52'  | 1.52                     | 30.00                           | 1.44                              | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BB5Z'  | 65.03                    | 30.48                           | 62.53                             | 14             | Austrefjenn    | 1512 II  | 32    | 4595   | 65068  | 5.21 | 2.26        |                 | 2.9        | 3.2          | 77           | 235          |
| '020.BB6'   | 0.99                     | 30.00                           | 0.94                              | 14             | Austrefjenn    | 1512 II  | 32    | 4595   | 65068  | 5.21 | 2.26        |                 | 2.9        | 3.2          | 77           | 235          |
| '020.BBA0'  | 26.87                    | 32.95                           | 27.93                             | 38             | Djupekilen     | 1512 II  | 32    | 4515   | 64893  | 4.74 | 3.16        |                 | 4.2        | 3.5          | 155          | 290          |
| '020.BBAA'  | 11.53                    | 33.96                           | 12.35                             | 33             | Øyevatn        | 1512 III | 32    | 4471   | 64977  | 4.91 | 2.73        |                 | 3.9        | 3.3          | 42           | 215          |
| '020.BBAB'  | 10.70                    | 32.46                           | 10.96                             | 33             | Øyevatn        | 1512 III | 32    | 4471   | 64977  | 4.91 | 2.73        |                 | 3.9        | 3.3          | 42           | 215          |
| '020.BBB0'  | 17.52                    | 37.50                           | 20.73                             | 33             | Øyevatn        | 1512 III | 32    | 4471   | 64977  | 4.91 | 2.73        |                 | 3.9        | 3.3          | 42           | 215          |
| '020.BBBA'  | 4.39                     | 39.52                           | 5.47                              | 33             | Øyevatn        | 1512 III | 32    | 4471   | 64977  | 4.91 | 2.73        |                 | 3.9        | 3.3          | 42           | 215          |
| '020.BBBB'  | 6.77                     | 37.67                           | 8.05                              | 33             | Øyevatn        | 1512 III | 32    | 4471   | 64977  | 4.91 | 2.73        |                 | 3.9        | 3.3          | 42           | 215          |
| '020.BBBC'  | 11.20                    | 40.00                           | 14.14                             | 39             | Vassvatnet     | 1512 III | 32    | 4425   | 64875  | 4.70 | 3.06        |                 | 3.6        | 3.6          | 195          | 365          |

| Alle delfelt i Tovdalsvassdraget med respektiv vannkjemii |       |          |           |        |                  |         |       |        |        |      |      |        |      |      |      |      |
|---|-------|----------|-----------|--------|------------------|---------|-------|--------|--------|------|------|--------|------|------|------|------|
| Prøvetatt: 5. oktober, 1993.                              |       |          |           |        |                  |         |       |        |        |      |      |        |      |      |      |      |
| Felt  | Areal | Spes.av. | Årlig av. | Innsjø | Lokalitet        | Kart    | UTM-R | UTM-ØV | UTM-NS | pH   | K25  | ALK-E  | CI   | SULF | NO3N | TOIN |
| REGINE  | km2   | l/s/km2  | mill. m3  | NIVA   |                  |         |       |        |        |      | mS/m | µekv/L | mg/L | mg/L | µg/L | µg/L |
| '020.A11'   | 0.95  | 39.79    | 1.19      | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A12'   | 5.06  | 30.72    | 4.90      | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A1Z'   | 14.25 | 38.11    | 17.13     | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A21'   | 5.86  | 31.29    | 5.79      | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A22'   | 3.99  | 32.38    | 4.07      | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A2Z'   | 5.56  | 32.97    | 5.79      | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A3'  | 8.09  | 31.04    | 7.92      | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A40'   | 8.22  | 33.08    | 8.58      | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A4Z'   | 6.98  | 34.95    | 7.70      | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A5'  | 12.45 | 32.83    | 12.89     | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A6'  | 14.15 | 35.51    | 15.85     | 24     | Tveitvatnet      | 1511 II | 32    | 4476   | 64555  | 4.97 | 3.75 |        | 6.1  | 3.7  | 50   | 305  |
| '020.A7'  | 14.70 | 33.30    | 15.44     | 22     | Sagetjenn        | 1511 I  | 32    | 4553   | 64697  | 4.59 | 5.67 |        | 9.6  | 4.8  | 67   | 470  |
| '020.A8'  | 15.65 | 36.87    | 18.21     | 22     | Sagetjenn        | 1511 I  | 32    | 4553   | 64697  | 4.59 | 5.67 |        | 9.6  | 4.8  | 67   | 470  |
| '020.AZ'  | 44.81 | 38.91    | 55.01     | 22     | Sagetjenn        | 1511 I  | 32    | 4553   | 64697  | 4.59 | 5.67 |        | 9.6  | 4.8  | 67   | 470  |
| '020.B1'  | 21.56 | 35.16    | 23.92     | 18     | Hisvatnet        | 1512 II | 32    | 4635   | 64855  | 4.74 | 3.40 |        | 4.8  | 3.7  | 128  | 320  |
| '020.B21'   | 35.45 | 37.51    | 41.95     | 21     | Spjotevatnet     | 1511 I  | 32    | 4560   | 64725  | 4.41 | 5.26 |        | 7.4  | 4.4  | 51   | 425  |
| '020.B22'   | 4.48  | 37.21    | 5.25      | 18     | Hisvatnet        | 1512 II | 32    | 4635   | 64855  | 4.74 | 3.40 |        | 4.8  | 3.7  | 128  | 320  |
| '020.B2Z'   | 27.42 | 38.98    | 33.72     | 21     | Spjotevatnet     | 1511 I  | 32    | 4560   | 64725  | 4.41 | 5.26 |        | 7.4  | 4.4  | 51   | 425  |
| '020.B3'  | 38.44 | 34.00    | 41.24     | 17     | Landstveitvatnet | 1512 II | 32    | 4635   | 64868  | 4.72 | 3.89 |        | 6.0  | 3.9  | 55   | 330  |
| '020.B4'  | 28.65 | 34.25    | 30.96     | 19     | Bjellandsvatnet  | 1512 II | 32    | 4586   | 64853  | 4.87 | 3.41 |        | 5.5  | 3.4  | 46   | 260  |
| '020.B9'  | 0.23  | 33.30    | 0.24      | 17     | Landstveitvatnet | 1512 II | 32    | 4635   | 64868  | 4.72 | 3.89 |        | 6.0  | 3.9  | 55   | 330  |
| '020.BA1'   | 0.11  | 33.08    | 0.12      | 17     | Landstveitvatnet | 1512 II | 32    | 4635   | 64868  | 4.72 | 3.89 |        | 6.0  | 3.9  | 55   | 330  |
| '020.BA2'   | 0.16  | 32.93    | 0.17      | 17     | Landstveitvatnet | 1512 II | 32    | 4635   | 64868  | 4.72 | 3.89 |        | 6.0  | 3.9  | 55   | 330  |
| '020.BA3'   | 10.81 | 30.97    | 10.56     | 19     | Bjellandsvatnet  | 1512 II | 32    | 4586   | 64853  | 4.87 | 3.41 |        | 5.5  | 3.4  | 46   | 260  |
| '020.BA4'   | 4.95  | 31.31    | 4.89      | 19     | Bjellandsvatnet  | 1512 II | 32    | 4586   | 64853  | 4.87 | 3.41 |        | 5.5  | 3.4  | 46   | 260  |
| '020.BA9'   | 0.70  | 30.44    | 0.68      | 19     | Bjellandsvatnet  | 1512 II | 32    | 4586   | 64853  | 4.87 | 3.41 |        | 5.5  | 3.4  | 46   | 260  |
| '020.BAA'   | 39.08 | 37.11    | 45.75     | 47     | Fidjefjenn       | 1512 II | 32    | 4556   | 64867  | 4.87 | 3.73 |        | 5.8  | 3.6  | 99   | 300  |
| '020.BAB11'   | 12.80 | 38.44    | 15.53     | 40     | Håvårdstadvatn   | 1511 I  | 32    | 4484   | 64845  | 4.91 | 3.48 |        | 3.5  | 3.5  | 42   | 320  |
| '020.BAB12'   | 2.80  | 40.00    | 3.53      | 40     | Håvårdstadvatn   | 1511 I  | 32    | 4484   | 64845  | 4.91 | 3.48 |        | 3.5  | 3.5  | 42   | 320  |

| Felt      | Areal<br>km <sup>2</sup> | Spes.av.<br>l/s/km <sup>2</sup> | Årlig av.<br>milli. m <sup>3</sup> | Innsjø<br>NIVA | Lokalitet       | Kart     | UTM-R | UTM-ØV | UTM-NS | pH   | K25<br>mS/m | ALK-E<br>µekv/L | CI<br>mg/L | SULF<br>mg/L | NO3N<br>µg/L | TO1N<br>µg/L |
|-----------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------|----------|-------|--------|--------|------|-------------|-----------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| REGINE    |                          |                                 |                                    |                |                 |          |       |        |        |      |             |                 |            |              |              |              |
| '020.BBD' | 11.70                    | 40.00                           | 14.76                              | 33             | Øyevatn         | 1512 III | 32    | 4471   | 64977  | 4.91 | 2.73        |                 | 3.9        | 3.3          | 42           | 215          |
| '020.BBE' | 24.52                    | 39.43                           | 30.51                              | 32             | Kjosevatn       | 1512 III | 32    | 4426   | 65034  | 4.55 | 2.96        |                 | 3.0        | 3.2          | 77           | 345          |
| '020.BBF' | 27.93                    | 37.93                           | 33.42                              | 35             | Hisvatnet       | 1512 III | 32    | 4387   | 65048  | 4.66 | 2.47        |                 | 2.6        | 2.9          | 89           | 250          |
| '020.BBG' | 9.59                     | 36.69                           | 11.10                              | 34             | Bekkerhusvatnet | 1512 III | 32    | 4375   | 65031  | 4.65 | 2.60        |                 | 2.7        | 2.9          | 25           | 260          |
| '020.BCO' | 21.34                    | 30.03                           | 20.22                              | 33             | Øyevatn         | 1512 III | 32    | 4471   | 64977  | 4.91 | 2.73        |                 | 3.9        | 3.3          | 42           | 215          |
| '020.BCA' | 33.31                    | 32.42                           | 34.07                              | 31             | Eptevatn        | 1512 III | 32    | 4452   | 65042  | 4.74 | 2.42        |                 | 2.9        | 2.9          | 131          | 330          |
| '020.BCB' | 17.88                    | 35.10                           | 19.80                              | 32             | Kjosevatn       | 1512 III | 32    | 4426   | 65034  | 4.55 | 2.96        |                 | 3.0        | 3.2          | 77           | 345          |
| '020.BCC' | 14.43                    | 35.17                           | 16.01                              | 35             | Hisvatnet       | 1512 III | 32    | 4387   | 65048  | 4.66 | 2.47        |                 | 2.6        | 2.9          | 89           | 250          |
| '020.BCD' | 47.60                    | 34.86                           | 52.36                              | 30             | Gjuvvatn        | 1512 III | 32    | 4428   | 65077  | 4.74 | 2.36        |                 | 2.7        | 2.6          | 103          | 255          |
| '020.BD'  | 129.66                   | 32.79                           | 134.14                             | 28             | Verevatn        | 1512 II  | 32    | 4514   | 65064  | 4.91 | 2.21        |                 | 2.7        | 2.9          | 102          | 250          |
| '020.BE'  | 15.86                    | 34.07                           | 17.05                              | 25             | Guddalsvatn     | 1512 IV  | 32    | 4405   | 65165  | 4.76 | 2.17        |                 | 2.2        | 2.7          | 133          | 290          |
| '020.BF'  | 7.61                     | 34.75                           | 8.34                               | 25             | Guddalsvatn     | 1512 IV  | 32    | 4405   | 65165  | 4.76 | 2.17        |                 | 2.2        | 2.7          | 133          | 290          |
| '020.C1'  | 106.05                   | 33.83                           | 113.19                             | 15             | Bjorvatna       | 1512 II  | 32    | 4661   | 65065  | 4.46 | 3.14        |                 | 3.2        | 2.7          | 42           | 340          |
| '020.C21' | 2.82                     | 32.70                           | 2.91                               | 19             | Bjellandsvatnet | 1512 II  | 32    | 4586   | 64853  | 4.87 | 3.41        |                 | 5.5        | 3.4          | 46           | 260          |
| '020.C22' | 47.97                    | 31.36                           | 47.46                              | 14             | Austrefjenn     | 1512 II  | 32    | 4595   | 65068  | 5.21 | 2.26        |                 | 2.9        | 3.2          | 77           | 235          |
| '020.C2Z' | 41.03                    | 31.92                           | 41.32                              | 14             | Austrefjenn     | 1512 II  | 32    | 4595   | 65068  | 5.21 | 2.26        |                 | 2.9        | 3.2          | 77           | 235          |
| '020.CZ'  | 37.63                    | 30.41                           | 36.10                              | 27             | Teddebergfjenn  | 1512 I   | 32    | 4490   | 65158  | 4.79 | 2.18        |                 | 2.4        | 2.7          | 25           | 225          |
| '020.D10' | 0.77                     | 30.00                           | 0.73                               | 14             | Austrefjenn     | 1512 II  | 32    | 4595   | 65068  | 5.21 | 2.26        |                 | 2.9        | 3.2          | 77           | 235          |
| '020.D1Z' | 27.97                    | 33.57                           | 29.62                              | 15             | Bjorvatna       | 1512 II  | 32    | 4661   | 65065  | 4.46 | 3.14        |                 | 3.2        | 2.7          | 42           | 340          |
| '020.D2'  | 0.94                     | 30.00                           | 0.89                               | 14             | Austrefjenn     | 1512 II  | 32    | 4595   | 65068  | 5.21 | 2.26        |                 | 2.9        | 3.2          | 77           | 235          |
| '020.D3'  | 22.21                    | 32.31                           | 22.64                              | 27             | Teddebergfjenn  | 1512 I   | 32    | 4490   | 65158  | 4.79 | 2.18        |                 | 2.4        | 2.7          | 25           | 225          |
| '020.D4'  | 13.78                    | 30.52                           | 13.27                              | 27             | Teddebergfjenn  | 1512 I   | 32    | 4490   | 65158  | 4.79 | 2.18        |                 | 2.4        | 2.7          | 25           | 225          |
| '020.D5'  | 2.30                     | 32.87                           | 2.38                               | 27             | Teddebergfjenn  | 1512 I   | 32    | 4490   | 65158  | 4.79 | 2.18        |                 | 2.4        | 2.7          | 25           | 225          |
| '020.D6'  | 7.36                     | 32.73                           | 7.60                               | 27             | Teddebergfjenn  | 1512 I   | 32    | 4490   | 65158  | 4.79 | 2.18        |                 | 2.4        | 2.7          | 25           | 225          |
| '020.D70' | 15.96                    | 34.66                           | 17.45                              | 13             | Mjåvatn         | 1512 IV  | 32    | 4445   | 65212  | 4.84 | 1.73        |                 | 1.7        | 2.1          | 46           | 240          |
| '020.D7A' | 1.78                     | 35.00                           | 1.96                               | 13             | Mjåvatn         | 1512 IV  | 32    | 4445   | 65212  | 4.84 | 1.73        |                 | 1.7        | 2.1          | 46           | 240          |
| '020.D7B' | 16.71                    | 35.00                           | 18.45                              | 13             | Mjåvatn         | 1512 IV  | 32    | 4445   | 65212  | 4.84 | 1.73        |                 | 1.7        | 2.1          | 46           | 240          |
| '020.D80' | 11.35                    | 34.70                           | 12.42                              | 13             | Mjåvatn         | 1512 IV  | 32    | 4445   | 65212  | 4.84 | 1.73        |                 | 1.7        | 2.1          | 46           | 240          |
| '020.D8Z' | 17.56                    | 34.99                           | 19.39                              | 13             | Mjåvatn         | 1512 IV  | 32    | 4445   | 65212  | 4.84 | 1.73        |                 | 1.7        | 2.1          | 46           | 240          |
| '020.E'   | 120.57                   | 34.86                           | 132.60                             | 10             | Turtlivatn      | 1512 IV  | 32    | 4415   | 65285  | 5.12 | 1.56        |                 | 1.7        | 1.8          | 46           | 205          |
| '020.F11' | 0.28                     | 35.00                           | 0.30                               | 6              | Topsoe          | 1512 IV  | 32    | 4375   | 65375  | 5.27 | 1.56        |                 | 1.8        | 1.9          | 89           | 205          |
| '020.F12' | 3.08                     | 35.00                           | 3.40                               | 6              | Topsoe          | 1512 IV  | 32    | 4375   | 65375  | 5.27 | 1.56        |                 | 1.8        | 1.9          | 89           | 205          |

| Felt      | Areal<br>km <sup>2</sup> | Spes.av.<br>l/s/km <sup>2</sup> | Årlig av.<br>mill. m <sup>3</sup> | Innsjø<br>NIVA | Lokalitet     | Kart     | UTM-R | UTM-ØV | UTM-NS | pH   | K25<br>mS/m | ALK-E<br>µekv/L | CI<br>mg/L | SULF<br>mg/L | NO3N<br>µg/L | TOTN<br>µg/L |
|-----------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------|----------|-------|--------|--------|------|-------------|-----------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| REGINE    |                          |                                 |                                   |                |               |          |       |        |        |      |             |                 |            |              |              |              |
| '020.F1A' | 3.97                     | 35.00                           | 4.38                              | 4              | Mjåvatn       | 1513 III | 32    | 4350   | 65472  | 5.27 | 1.34        |                 | 1.3        | 1.8          | 108          | 210          |
| '020.F1B' | 15.04                    | 35.85                           | 17.02                             | 4              | Mjåvatn       | 1513 III | 32    | 4350   | 65472  | 5.27 | 1.34        |                 | 1.3        | 1.8          | 108          | 210          |
| '020.F1C' | 3.87                     | 38.72                           | 4.72                              | 4              | Mjåvatn       | 1513 III | 32    | 4350   | 65472  | 5.27 | 1.34        |                 | 1.3        | 1.8          | 108          | 210          |
| '020.F1D' | 8.35                     | 39.82                           | 10.49                             | 4              | Mjåvatn       | 1513 III | 32    | 4350   | 65472  | 5.27 | 1.34        |                 | 1.3        | 1.8          | 108          | 210          |
| '020.F1E' | 5.47                     | 39.79                           | 6.86                              | 51             | Nutevatn      | 1513 III | 32    | 4327   | 65512  | 5.53 | 1.22        | -6              | 1.5        | 1.5          | 8            | 146          |
| '020.F2'  | 18.21                    | 34.96                           | 20.09                             | 6              | Topsø         | 1512 IV  | 32    | 4375   | 65375  | 5.27 | 1.56        |                 | 1.8        | 1.9          | 89           | 205          |
| '020.F3'  | 9.17                     | 36.42                           | 10.54                             | 6              | Topsø         | 1512 IV  | 32    | 4375   | 65375  | 5.27 | 1.56        |                 | 1.8        | 1.9          | 89           | 205          |
| '020.F4'  | 12.14                    | 35.75                           | 13.69                             | 6              | Topsø         | 1512 IV  | 32    | 4375   | 65375  | 5.27 | 1.56        |                 | 1.8        | 1.9          | 89           | 205          |
| '020.G'   | 73.78                    | 38.11                           | 88.71                             | 3              | Staumsfjorden | 1513 III | 32    | 4325   | 65463  | 5.36 | 1.44        | -10             | 1.7        | 1.7          | 81           | 200          |



| Alle delfelt i T |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|--|
| Prøvetatt:       |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |
| Felt             | CA   | MG   | NA   | K    | RAL  | ILAL | LAL  | TOC  |  |  |  |  |  |  |  |
| REGINE           | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | µg/L | µg/L | µg/L | mg/L |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A11'        | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A12'        | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A1Z'        | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A21'        | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A22'        | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A2Z'        | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A3'         | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A40'        | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A4Z'        | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A5'         | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A6'         | 1.28 | 0.44 | 3.24 | 0.30 | 145  | 51   | 94   | 3.5  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A7'         | 1.75 | 0.70 | 4.36 | 0.52 | 331  | 105  | 226  | 6.0  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.A8'         | 1.75 | 0.70 | 4.36 | 0.52 | 331  | 105  | 226  | 6.0  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.AZ'         | 1.75 | 0.70 | 4.36 | 0.52 | 331  | 105  | 226  | 6.0  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.B1'         | 0.75 | 0.40 | 2.73 | 0.21 | 236  | 22   | 214  | 2.2  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.B21'        | 1.10 | 0.49 | 3.87 | 0.28 | 328  | 105  | 223  | 6.9  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.B22'        | 0.75 | 0.40 | 2.73 | 0.21 | 236  | 22   | 214  | 2.2  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.B2Z'        | 1.10 | 0.49 | 3.87 | 0.28 | 328  | 105  | 223  | 6.9  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.B3'         | 1.50 | 0.50 | 2.92 | 0.26 | 167  | 28   | 139  | 2.7  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.B4'         | 1.06 | 0.39 | 2.78 | 0.33 | 152  | 53   | 99   | 3.3  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.B9'         | 1.50 | 0.50 | 2.92 | 0.26 | 167  | 28   | 139  | 2.7  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.BA1'        | 1.50 | 0.50 | 2.92 | 0.26 | 167  | 28   | 139  | 2.7  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.BA2'        | 1.50 | 0.50 | 2.92 | 0.26 | 167  | 28   | 139  | 2.7  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.BA3'        | 1.06 | 0.39 | 2.78 | 0.33 | 152  | 53   | 99   | 3.3  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.BA4'        | 1.06 | 0.39 | 2.78 | 0.33 | 152  | 53   | 99   | 3.3  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.BA9'        | 1.06 | 0.39 | 2.78 | 0.33 | 152  | 53   | 99   | 3.3  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.BAA'        | 1.24 | 0.44 | 3.03 | 0.34 | 170  | 62   | 108  | 3.2  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.BAB11'      | 1.12 | 0.40 | 2.81 | 0.33 | 146  | 53   | 93   | 3.1  |  |  |  |  |  |  |  |
| '020.BAB12'      | 1.12 | 0.40 | 2.81 | 0.33 | 146  | 53   | 93   | 3.1  |  |  |  |  |  |  |  |

| Felt        | CA   | MG   | NA   | K    | RAL  | ILAL | LAL  | TOC  |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| REGINE      | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | µg/L | µg/L | µg/L | mg/L |
| '020.BAB1A' | 1.12 | 0.40 | 2.81 | 0.33 | 146  | 53   | 93   | 3.1  |
| '020.BAB1B' | 0.56 | 0.25 | 2.13 | 0.18 | 244  | 17   | 227  | 1.1  |
| '020.BAB1C' | 0.56 | 0.25 | 2.13 | 0.18 | 244  | 17   | 227  | 1.1  |
| '020.BAB1D' | 0.56 | 0.25 | 2.13 | 0.18 | 244  | 17   | 227  | 1.1  |
| '020.BAB1E' | 0.56 | 0.25 | 2.13 | 0.18 | 244  | 17   | 227  | 1.1  |
| '020.BAB2'  | 1.12 | 0.40 | 2.81 | 0.33 | 146  | 53   | 93   | 3.1  |
| '020.BAB31' | 1.12 | 0.40 | 2.81 | 0.33 | 146  | 53   | 93   | 3.1  |
| '020.BAB32' | 1.31 | 0.48 | 3.34 | 0.30 | 117  | 41   | 76   | 3.1  |
| '020.BAB3Z' | 1.31 | 0.48 | 3.34 | 0.30 | 117  | 41   | 76   | 3.1  |
| '020.BAB4'  | 1.31 | 0.48 | 3.34 | 0.30 | 117  | 41   | 76   | 3.1  |
| '020.BAC'   | 1.31 | 0.48 | 3.34 | 0.30 | 117  | 41   | 76   | 3.1  |
| '020.BB1'   | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BB21'  | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BB22'  | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BB2A'  | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BB2B'  | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BB2C'  | 0.73 | 0.30 | 2.37 | 0.21 | 280  | 83   | 197  | 3.5  |
| '020.BB2D'  | 0.73 | 0.30 | 2.37 | 0.21 | 280  | 83   | 197  | 3.5  |
| '020.BB2E'  | 0.73 | 0.30 | 2.37 | 0.21 | 280  | 83   | 197  | 3.5  |
| '020.BB3'   | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BB4'   | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BB51'  | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BB52'  | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BB5Z'  | 0.93 | 0.27 | 1.85 | 0.19 | 117  | 36   | 81   | 2.1  |
| '020.BB6'   | 0.93 | 0.27 | 1.85 | 0.19 | 117  | 36   | 81   | 2.1  |
| '020.BBA0'  | 0.74 | 0.30 | 2.37 | 0.24 | 167  | 17   | 150  | 1.2  |
| '020.BBAA'  | 0.86 | 0.28 | 2.19 | 0.14 | 113  | 32   | 81   | 2.1  |
| '020.BBAB'  | 0.86 | 0.28 | 2.19 | 0.14 | 113  | 32   | 81   | 2.1  |
| '020.BBB0'  | 0.86 | 0.28 | 2.19 | 0.14 | 113  | 32   | 81   | 2.1  |
| '020.BBBA'  | 0.86 | 0.28 | 2.19 | 0.14 | 113  | 32   | 81   | 2.1  |
| '020.BBBB'  | 0.86 | 0.28 | 2.19 | 0.14 | 113  | 32   | 81   | 2.1  |
| '020.BBC'   | 0.56 | 0.25 | 2.13 | 0.18 | 244  | 17   | 227  | 1.1  |

| Felt      | CA   | MG   | NA   | K    | RAL  | ILAL | LAL  | TOC  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| REGINE    | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | µg/L | µg/L | µg/L | mg/L |
| '020.BBD' | 0.86 | 0.28 | 2.19 | 0.14 | 113  | 32   | 81   | 2.1  |
| '020.BBE' | 0.71 | 0.25 | 2.52 | 0.17 | 219  | 141  | 78   | 5.9  |
| '020.BBF' | 0.37 | 0.18 | 1.59 | 0.11 | 203  | 47   | 156  | 2.4  |
| '020.BBG' | 0.54 | 0.22 | 1.75 | 0.11 | 196  | 97   | 99   | 5.1  |
| '020.BC0' | 0.86 | 0.28 | 2.19 | 0.14 | 113  | 32   | 81   | 2.1  |
| '020.BCA' | 0.48 | 0.20 | 1.69 | 0.15 | 155  | 11   | 144  | 1.5  |
| '020.BCB' | 0.71 | 0.25 | 2.52 | 0.17 | 219  | 141  | 78   | 5.9  |
| '020.BCC' | 0.37 | 0.18 | 1.59 | 0.11 | 203  | 47   | 156  | 2.4  |
| '020.BCD' | 0.38 | 0.17 | 1.64 | 0.12 | 185  | 32   | 153  | 2.2  |
| '020.BD'  | 0.58 | 0.20 | 1.63 | 0.14 | 157  | 69   | 88   | 2.3  |
| '020.BE'  | 0.40 | 0.17 | 1.40 | 0.09 | 167  | 22   | 145  | 1.8  |
| '020.BF'  | 0.40 | 0.17 | 1.40 | 0.09 | 167  | 22   | 145  | 1.8  |
| '020.C1'  | 0.62 | 0.24 | 1.83 | 0.23 | 254  | 151  | 103  | 7.9  |
| '020.C21' | 1.06 | 0.39 | 2.78 | 0.33 | 152  | 53   | 99   | 3.3  |
| '020.C22' | 0.93 | 0.27 | 1.85 | 0.19 | 117  | 36   | 81   | 2.1  |
| '020.C2Z' | 0.93 | 0.27 | 1.85 | 0.19 | 117  | 36   | 81   | 2.1  |
| '020.CZ'  | 0.49 | 0.20 | 1.52 | 0.12 | 190  | 69   | 121  | 3.5  |
| '020.D10' | 0.93 | 0.27 | 1.85 | 0.19 | 117  | 36   | 81   | 2.1  |
| '020.D1Z' | 0.62 | 0.24 | 1.83 | 0.23 | 254  | 151  | 103  | 7.9  |
| '020.D2'  | 0.93 | 0.27 | 1.85 | 0.19 | 117  | 36   | 81   | 2.1  |
| '020.D3'  | 0.49 | 0.20 | 1.52 | 0.12 | 190  | 69   | 121  | 3.5  |
| '020.D4'  | 0.49 | 0.20 | 1.52 | 0.12 | 190  | 69   | 121  | 3.5  |
| '020.D5'  | 0.49 | 0.20 | 1.52 | 0.12 | 190  | 69   | 121  | 3.5  |
| '020.D6'  | 0.49 | 0.20 | 1.52 | 0.12 | 190  | 69   | 121  | 3.5  |
| '020.D70' | 0.45 | 0.12 | 1.06 | 0.07 | 122  | 36   | 86   | 2.8  |
| '020.D7A' | 0.45 | 0.12 | 1.06 | 0.07 | 122  | 36   | 86   | 2.8  |
| '020.D7B' | 0.45 | 0.12 | 1.06 | 0.07 | 122  | 36   | 86   | 2.8  |
| '020.D80' | 0.45 | 0.12 | 1.06 | 0.07 | 122  | 36   | 86   | 2.8  |
| '020.D8Z' | 0.45 | 0.12 | 1.06 | 0.07 | 122  | 36   | 86   | 2.8  |
| '020.E'   | 0.65 | 0.15 | 1.11 | 0.07 | 127  | 69   | 58   | 3.1  |
| '020.F11' | 0.68 | 0.16 | 1.14 | 0.09 | 105  | 37   | 68   | 1.8  |
| '020.F12' | 0.68 | 0.16 | 1.14 | 0.09 | 105  | 37   | 68   | 1.8  |

| Felt      | CA   | MG   | NA   | K    | RAL  | ILAL | LAL  | TOC  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | µg/L | µg/L | µg/L | mg/L |
| REGINE    | 0.58 | 0.14 | 0.88 | 0.09 | 104  | 21   | 83   | 1.2  |
| '020.F1A' | 0.58 | 0.14 | 0.88 | 0.09 | 104  | 21   | 83   | 1.2  |
| '020.F1B' | 0.58 | 0.14 | 0.88 | 0.09 | 104  | 21   | 83   | 1.2  |
| '020.F1C' | 0.58 | 0.14 | 0.88 | 0.09 | 104  | 21   | 83   | 1.2  |
| '020.F1D' | 0.58 | 0.14 | 0.88 | 0.09 | 104  | 21   | 83   | 1.2  |
| '020.F1E' | 0.52 | 0.13 | 0.98 | 0.08 | 46   | 28   | 18   | 2.0  |
| '020.F2'  | 0.68 | 0.16 | 1.14 | 0.09 | 105  | 37   | 68   | 1.8  |
| '020.F3'  | 0.68 | 0.16 | 1.14 | 0.09 | 105  | 37   | 68   | 1.8  |
| '020.F4'  | 0.68 | 0.16 | 1.14 | 0.09 | 105  | 37   | 68   | 1.8  |
| '020.G'   | 0.66 | 0.15 | 1.08 | 0.08 | 95   | 41   | 54   | 2.1  |

---

**NIVA**



**Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2701-6