



**Drift av vassdrag - Otra.
Betydningen av
vannføring og forurensningstilførsler
for vannkvaliteten**

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

| | |
|--------------|-----------------|
| Prosjektnr.: | Undernr.: |
| O-90210 | |
| Løpenr.: | Begr. distrib.: |
| 3065 | |

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

| | | |
|---|-------------------------------|-----------|
| Rapportens tittel: Drift av vassdrag - Otra. Betydningen av vannføring og forurensningstilførsler for vannkvaliteten. | Dato: | Trykket: |
| | 20.04.94 | NIVA 1994 |
| Forfatter(e): Atle Hindar | Faggruppe: | |
| | Vannressursforvaltning | |
| | Geografisk område: | |
| | Agder | |
| | Antall sider: | Opplag: |
| | 36 | 100 |

| | |
|--|--|
| Oppdragsgiver: Norges teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd (NTNF) | Oppdragsg. ref.: MK 32.26354 |
|--|--|

Ekstrakt:

I NTNF-programmet "Bedre bruk av vannressursene" har man bl.a. undersøkt hva som kan oppnås i retning optimal drift av et vassdrag ved at de ulike brukerinteressene i vassdraget samordnes. Prosjektet "Drift av vassdrag - Otra" kan ses i sammenheng med flerbrukstankegangen for vassdrag. Forvaltningsmyndigheter og brukerne ønsket å få undersøkt konsekvenser av ulik bruk av vassdraget for friluft- og rekreasjonsinteressene, spesielt for bading og fiske. Sammenhengen mellom forurensningstilførsler, vannføring og vannkvalitet i nedre del av Otra er undersøkt. Hovedvekt er lagt på: 1) Ulike minstevannførings effekt på surheten i to elvestrekninger mellom Kilefjorden og Steinsfoss, 2) Effekter av industriutslipp og kloakktilførsler ved ulike vannføringer (spesielt ulike minstevannføringer) i nedre del av Otra og 3) Effekter av endrete utslipp ved ulike vannføringer i nedre del av Otra.

4 emneord, norske

1. Vannressursforvaltning
2. Vannføring
3. Industriutslipp
4. Vannkvalitet

4 emneord, engelske

1. Water resources management
2. Waterflow
3. Industrial discharge
4. Water quality

Prosjektleder

Atle Hindar

For administrasjonen

.....

Dag Berge

ISBN82-577-2531-5

.....

.....

PUBLIKASJONSDATA

Publikasjonens tittel: *Drift av vassdrag - Otra. Betydningen av vannføring og forurensningstilførsler for vannkvaliteten*

Publikasjonsnr.: *BBV-rapport*

Forfatter(e): *Atle Hindar*

ISBN:

ISSN:

Tilgjengelighet:

Åpen

Lukket

inntil:

Lukket

Dato: *20/4-94*

Pris:

Antall sider: *36*

Publikasjonsreferat:

I NTNF-programmet "Bedre bruk av vannressursene" har man bl.a. undersøkt hva som kan oppnås i retning optimalt drift av et vassdrag ved at de ulike brukerinteressene i vassdraget samordnes. Prosjektet "Drift av vassdrag - Otra" kan ses i sammenheng med flerbrukstankegangen for vassdrag. Forvaltningsmyndigheter og brukerne ønsket å få undersøkt konsekvenser av ulik bruk av vassdraget for friluft- og rekreasjons-interessene, spesielt for bading og fiske. Sammenhengen mellom forurensningstilførsler, vannføring og vannkvalitet i nedre del av Otra er undersøkt. Hovedvekt er lagt på:

1) Ulike minstevannførings effekt på surheten i to elvestrekninger mellom Kilefjorden og Steinfoss, 2) Effekter av industriutslipp og kloakktilførsler ved ulike vannføringer (spesielt ulike minstevannføringer) i nedre del av Otra og 3) Effekter av endrete utslipp ved ulike vannføringer i nedre del av Otra.

Engelsk referat: Ja

Engelske emneord: *Water resources management, waterflow, industrial discharge, water quality*

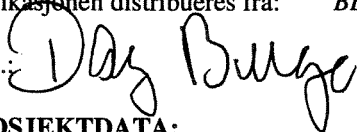
Norske emneord: *Vannressursforvaltning, vannføring, industriutslipp, vannkvalitet*

Andre utgaver:

Målgrupper: *Forvaltning, FOU-institusjoner*

Publikasjonen distribueres fra: *BBV - sekretariatet, NIVA*

Sign.:


PROSJEKTDATA:

Prosjekttittel: *Drift av vassdrag - Otra. Betydningen av vannføring og forurensningstilførsler for vannkvaliteten*

NTNF nr: *MK 32.26354*

Prosjektleder: *Atle Hindar*

Internt prosjektnr.: *O-90210*

Oppdragsgiver: *Norges teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd (NTNF)*

Oppdragsgivers kontaktperson:

Andre publikasjoner (se rettledning):

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
SØRLANDSAVDELINGEN
GRIMSTAD**

O-90210

**Drift av vassdrag - Otra. Betydningen av vannføring og
forurensningstilførsler for vannkvaliteten.**

NTNF-programmet: Bedre bruk av vannressursene,
prosjekt nr. MK 32.26354

Saksbehandler: Atle Hindar

FORORD

NTNF-programmet "Bedre bruk av vannressursene" har bl.a. undersøkt hva som kan oppnås i retning optimal drift av vassdraget ved at de ulike brukerinteressene i et vassdrag samordnes. Forskningsprosjektet "Drift av vassdrag - Otra" har vært en del av dette programmet. Det var et samarbeidsprosjekt som ble koordinert av Norges hydrotekniske laboratorium (NHL) i Trondheim. Styringsgruppen for prosjektet har bestått av sentrale og lokale forvaltningsmyndigheter, samt Vassdragsregulantenenes forening, Kristiansand E-verk, NHO Vest-Agder. Hans Olav Ibrenk (NIVA) har vært BBV-programmets representant i styringsgruppa.

NIVA ble bedt om å delta i prosjektet med undersøkelser av forurensningstilstand og konsekvenser av endret vannføring ved forskjellige utslippssituasjoner. I tillegg til NHL og NIVA har Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI) ved Univ. i Oslo deltatt i prosjektet.

NIVA's arbeid ble samkjørt med overvåkingen av Otra som administreres av Statens forurensningstilsyn (SFT). Disse undersøkelsene er en del av Statlig program for forurensningsovervåking og finansieres med midler fra SFT, Vassdragsrådet for nedre Otra, Hunsfos Fabrikker A/S og Norsk Wallboard A/S.

Rapporten forelå i trykkeferdig utkast i november 1992, men ble, av grunner som NIVA ikke hadde ansvar for, ikke ferdigstilt i prosjektperioden. Utslippene fra Hunsfos Fabrikker A/S, og dermed noen av forutsetningene for de beregninger som presenteres i rapporten, er endret de siste årene.

Grimstad, april 1994

Atle Hindar

INNHold

| | SIDE: |
|--|-------|
| 1. SAMMENDRAG | 4 |
| 2. INNLEDNING | 7 |
| 3. MATERIALE OG METODER | 8 |
| 3.1. Vassdraget | 8 |
| 3.2. Beregning av tilførsler av P, N og organisk stoff | 11 |
| 4. RESULTATER | 13 |
| 4.1. Tilførsler av P, N og organisk stoff | 13 |
| 4.2. Generelt om vannkvaliteten i Otra - forurensningstilstand | 13 |
| 4.2.1. Industri | 13 |
| 4.2.2. Husholdningskloakk | 15 |
| 4.2.3. Samlet vurdering | 17 |
| 4.3. Vannføringenes betydning for forurensningstilstanden | 17 |
| 4.4. Simulering av vannføring | 20 |
| 4.4.1. Effekter på surhet ved Iveland og Steinsfoss | 20 |
| 4.4.2. Effekter på surhet nedstrøms Vennesla | 22 |
| 4.4.3. Effekter på konsentrasjonen av P, N og organisk stoff | 26 |
| 4.5. Simulering av tilførsler | 28 |
| 4.5.1. Syretilførsel | 28 |
| 4.5.2. Tilførsel av P, N og organisk stoff | 28 |
| 5. DISKUSJON | 32 |
| 5.1. Strekningen Kilefjorden-Steinsfoss | 33 |
| 5.2. Strekningen Vennesla-sjøen | 34 |
| 5.2.1. Surhet | 34 |
| 5.2.2. Eutrofiering | 34 |
| 5.2.3. Saprobiering | 35 |
| 6. LITTERATUR | 36 |

1. SAMMENDRAG

Prosjektet "Drift av vassdrag - Otra" kan ses i sammenheng med flerbrukstankegangen for vassdrag. Det har vært et ønske både fra forvaltning og brukerne å se på konsekvenser av ulik bruk av vassdraget for friluft- og rekreasjonsinteresser, spesielt for bading og fiske. Konklusjonene i den foreliggende rapporten er hovedsakelig basert på en videre bearbeiding av resultater fra overvåkingen i Otra i perioden 1987-1990. Sammenhengen mellom vannkvalitet, forurensningstilførsler og vannføring i nedre del av Otra er undersøkt. Beregningene har først og fremst vært rettet mot effekter av industriutslipp og kloakktilførsler i nedre del av Otra.

Tilførsler av nitrogen, fosfor og organisk stoff til Otra

Tilførsler fra skog og fjell er den største enkeltkilde for transport av både nitrogen, fosfor og organisk stoff (målt som KOF) i Otra oppstrøms Vennesla. For KOF er skog og fjell den eneste kilde av betydning. For P spiller både landbruk og kloakk en betydelig rolle. Nedfall av P på innsjøoverflater kan utgjøre minst 10 % av tilførslene, mens nedfall av N utgjør 15 %.

Landbruket bidrar ubetydelig til økningen i konsentrasjoner i nedre Otra, mens tilførsler fra kloakk tredobles. Industriutslippene utgjør 20 % av P-tilførslene og hele 60 % av de totale tilførslene av organisk materiale til Otra. Verken kloakk eller industriutslipp bidrar med N-tilførsler av betydning.

Vannføringsendringer

De vannføringssituasjoner som er behandlet spesielt på strekningen Kilefjorden-Steinsfoss og strekningen nedstrøms Vennesla er:

| | Sommer | Vinter |
|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Oppstrøms Iveland: | 2, 5, 10 og 20 m ³ /s | 1 og 3 m ³ /s |
| Oppstrøms Steinsfoss: | 2, 5, 10 og 20 m ³ /s | 1 og 3 m ³ /s |
| Nedstrøms Vennesla: | 30, 50 og 80 m ³ /s | 30, 50 og 80 m ³ /s |

Effekt av endret minstevannføring på strekningen Kilefjorden-Steinsfoss

Strekningen med minstevannføring oppstrøms Iveland kraftstasjon har et relativt lite lokalfelt, og er dermed mere robust mot endret vannkvalitet enn strekningen oppstrøms Steinsfoss. Det vil i praksis si at minstevannføringen i Otra oppstrøms Iveland kan være mindre enn oppstrøms Steinsfoss hvis det er et mål å holde vannkvaliteten over visse pH-verdier.

Siden Otra har lav pH og liten evne til å avsyre tilførsler og siden de aktuelle minstevannføringer ikke er veldig forskjellig fra de vannføringer som kan inntreffe i

lokalfeltene, er begge strekninger sårbare for vannkvalitetsendringer. Nåværende vannkvalitet er sannsynligvis helt marginal for overlevelse og særlig reproduksjon av fisk.

Beregningene for Iveland-strekningen viser at maksimal vannføring i lokalfeltet vil gi en betydelig reduksjon i pH i Otra, selv om vannføringen i Otra er 20 m³/s. Ved middelvannføring i lokalfeltet er situasjonen langt bedre, men det hjelper lite hvis fisken allerede er død ved høyere vannføringer. For Otra oppstrøms Steinsfoss er situasjonen langt mer alvorlig fordi nesten enhver kombinasjon av pH og vannføring gir en betydelig forverring av vannkvaliteten i Otra.

Vinteren vil være spesielt kritisk for fisk som måtte oppholde seg på de aktuelle elvestrekningene, fordi kun lave minstevannføringer er aktuelle. Milde vintre kan gi avrenningsforhold som er typiske for høstflommer, men stor nitrogenavrenning pga manglende opptak i vegetasjon kan gi økt forsuring. Lav temperatur kan forsterke giftvirkningen av aluminium fordi det giftige området utvides.

Hvis det ikke anses som ønskelig å øke vannføringen i Otra på de omtalte strekningene til et nivå som kan sikre fisken mot forverring av vannkvaliteten, kan det kalkes i lokalfeltene.

Vannkvaliteten i Otra nedstrøms Vennesla i forhold til vannføring og utslipp

Otra oppstrøms Vennesla kan karakteriseres som saltfattig, næringsfattig og forsuret. Utslipp av syre fra treforedlingsindustrien i Vennesla har ført til ytterligere forsuring på strekningen Vennesla og til sjøen.

Ved relativt små og moderate utslipp fra Hunsfos Fabrikker (2 og 14 kekv/døgn, tilsvarende pH 4.5 og 3.7 i avløpsvannet) vil effekten på pH av endret minstevannføring fra 50 til 30 eller 80 m³/s være marginal. Hvis utslippet er maksimalt, dvs. 260 kekv/døgn, vil endringene være mer markerte, men vil ha liten praktisk betydning (for overlevelse av fisk) fordi pH-nivået allerede er svært lavt. Hvis pH i utslippsvannet fra Hunsfos Fabrikker er 4.5 (2 kekv/døgn) eller høyere, vil utslippet endre pH i Otra bare ved kombinasjonen av god vannkvalitet (pH nær 6.0) i Otra og lav vannføring (under 50 m³/s).

Endring i minstevannføring vil ikke ha noen praktisk betydning for konsentrasjonen av tot N. En reduksjon av minstevannføring fra 50 m³/s til 30 m³/s vil ha en relativt dramatisk virkning på P-konsentrasjonen. Endringen kan gi nær en dobling av konsentrasjonen. En økning av minstevannføringen til 80 m³/s vil neppe ha noen vesentlig betydning for forurensningsnivået ved de utslippsnivåene som ligger til grunn for beregningene.

Konsentrasjonen av organisk stoff, målt som KOF, var omkring 8 mg O/L ved en minstevannføring på 50 m³/s. En minstevannføring på 30 m³/s vil doble konsentrasjonen av KOF, mens en økning til 80 m³/s vil redusere konsentrasjonen av KOF med omkring 3 mg O/L. Det er svært tvilsomt om dette vil ha noen betydning for soppbegroingen med dagens utslippsmengder. Fortynning med Otravann vil ikke redusere konsentrasjonen av KOF til under 3 mg O/L før ved 500 m³/s i Otra. Det er godt mulig at en konsentrasjonsøkning fra bakgrunnen på 2 mg O/L og til 3 mg O/L pga industriutslippet fortsatt vil gi grunnlag for

begroing med soppen *Fusarium aquaeductuum*. Det vil si at utslippet må reduseres betydelig før en kan tenke på at vannføringen vil ha noen innvirkning på begroingen.

Uansett retensjonsgrad gir reduserte utslipp av fosfor (50-75 %) sannsynligvis en betydelig effekt på forurensningssituasjonen. Ved 50 m³/s vil P-konsentrasjonen komme ned på et nivå som isolert sett ikke oppfattes som et stort problem. Den økningen som finner sted skyldes i stor grad lett tilgjengelig P. Selv små endringer kan derfor gi grunnlag for økt vekst av uønskede planter i elvestrengen.

En reduksjon i minstevannføring til 30 m³/s vil gi et P-nivå som sannsynligvis ikke er akseptabelt, selv om P-utslippet reduseres med 50 %. En økning til 80 m³/s kan ha en relativt stor betydning for forurensningssituasjonen. Den "riktige" minstevannføringen vil være svært avhengig av både den reduksjonen i utslipp som finner sted og den selvrensingsevne som vil gjelde ved de nye utslippsnivåene. Lavere utslippsnivå kan gi grunnlag for en redusert vekst i vassdraget og dermed redusere den selvrensing som finner sted i dag. Det vil sannsynligvis også være slik at reduserte utslipp gjør vannføringen til en mere kritisk faktor for vannkvaliteten enn den er i dag.

En reduksjon av industriutslippene til det halve vil fortsatt gi høy konsentrasjon av organisk stoff målt som kjemisk oksygenforbruk (KOF), selv ved en vannføring på 80 m³/s. 75 % reduksjon og minstevannføring på 80 m³/s kan gjøre forholdene bedre. Det avhenger av selvrensingsevnen i elva. Her kan vannets surhet spille en viktig rolle. Hvis syreutslippene opphører, kan nedbrytingen av soppen skje raskere. Det kan igjen føre til redusert akkumulasjon av biomasse. Hvis utslippene av organisk stoff reduseres med 75 %, syreutslippene opphører og fosforutslippene reduseres betydelig, kan den samlede effekt føre til at vannføringen blir en kritisk faktor. Den vannkvaliteten vi da opererer med vil være så forskjellig fra dagens at vi ikke på forhånd kan slå fast effektene på soppbegroing.

Undervannsvegetasjonen vil få økte muligheter til å slå seg opp hvis soppbegroingen reduseres. Vi kan ikke på forhånd fastslå hvilke arter som vil kunne dominere eller hvilke følger endringene kan få for elvas utseende. Soppbegroing vil sannsynligvis forekomme umiddelbart nedstrøms utslippspunktet så lenge det skjer utslipp. Ved store reduksjoner kan det imidlertid utvikles et normalt vegetasjonssamfunn nedover i elva.

2. INNLEDNING

I de aller fleste større vassdrag er det betydelige interesser knyttet til vern og bruk av vann. I nedre del av Otra kommer dette klart fram ved at vassdraget er sterkt regulert, sterkt forurenset av industriutslipp og ligger sentralt plassert i forhold til Kristiansand by og selvfølgelig til tettstedene langs vassdraget opp til Vennessla. Det vises til flerbruksplanen for nedre Otra (Styringsgruppen for flerbruksplan for nedre Otra, 1989).

Prosjektet "Drift av vassdrag - Otra" kan ses i sammenheng med flerbrukstankegangen. Det har vært et ønske fra forvaltning og brukerinteressene å undersøke konsekvenser av ulik bruk av vassdraget for friluftsliv og rekreasjonsinteresser, spesielt fiske og bading. NIVA's arbeid er hovedsakelig basert på en videre bearbeidelse av resultater fra overvåkingen i Otra i perioden 1987-1990. Sammenhengen mellom vannkvalitet, forurensningstilførsler og vannføring i nedre del av Otra er undersøkt. Beregningene er rettet først og fremst mot effekter av industriutslipp og kloakktilførsler.

SFT/NIVA har utarbeidet vannkvalitetskriterier for vassdrag (Holtan 1989). På bakgrunn av dette er forurensningsgrad med hensyn på eutrofiering, organisk stoff og forsuring beregnet for Otra (Hindar m. fl. 1990). Nåværende og endret forurensningsgrad på de forskjellige stasjonene kan danne utgangspunkt for å beregne nødvendig omfang/effekt av forurensningsbegrensende tiltak.

Siden vannhusholdningen i vassdraget står sentralt (styrt av brukerinteressen kraftproduksjon), er effektene av endringer i denne på vannkvalitet ved forskjellige scenarier for utslippsreduksjoner for husholdningskloakk og fra industri beregnet. Konsekvensene av reduksjoner i minstevannføringen fra 50 m³/s til 30 m³/s og økning til 80 m³/s er beregnet spesielt. Resultatene av disse beregningene skal settes opp mot brukerinteressene fisk og friluftsliv. Brukerinteressen kraftproduksjon er upåvirket av endringer i vannkvalitet om en ser bort fra pålegg om minstevannføring bl.a. pga resipientforholdene.

I tillegg er effekten på surhet av endret minstevannføring på to elvestrekninger i området Kilefjorden-Steinsfoss beregnet.

3. MATERIALE OG METODER

3.1. Vassdraget

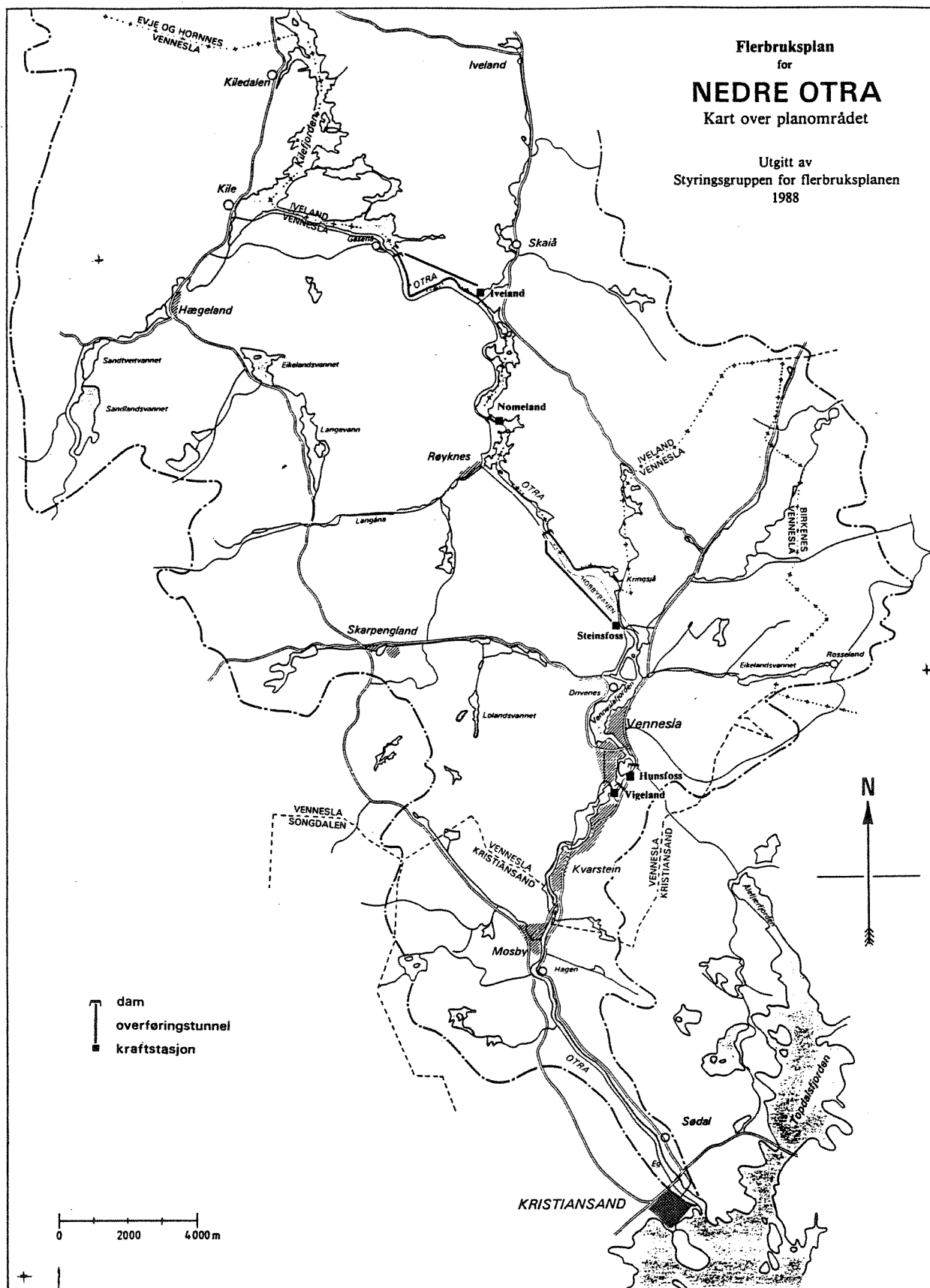
Otravassdraget har et nedbørfelt på 3 730 km² og er Sørlandets vannrikeste vassdrag. Fra kildeområdet nord for Hovden i Setesdalen og til utløpet i Kristiansandsfjorden er det en strekning på 240 km. Byglandsfjordens er 35 km lang og er den største innsjøen i hovedvassdraget. Middelvannføringen er 117 m³/s ved utløpet av Byglandsfjorden og 155 m³/s ved utløpet i Kristiansandsfjorden.

De høyereliggende delene av vassdragets nedbørfelt er delvis dominert av bjørkeskog. Tregrensa ligger på ca. 1000 moh, men også store deler av de lavereliggende heiområdene ned til 4-500 moh er skogfattige. I de nedre deler dominerer lauv- og barskog.

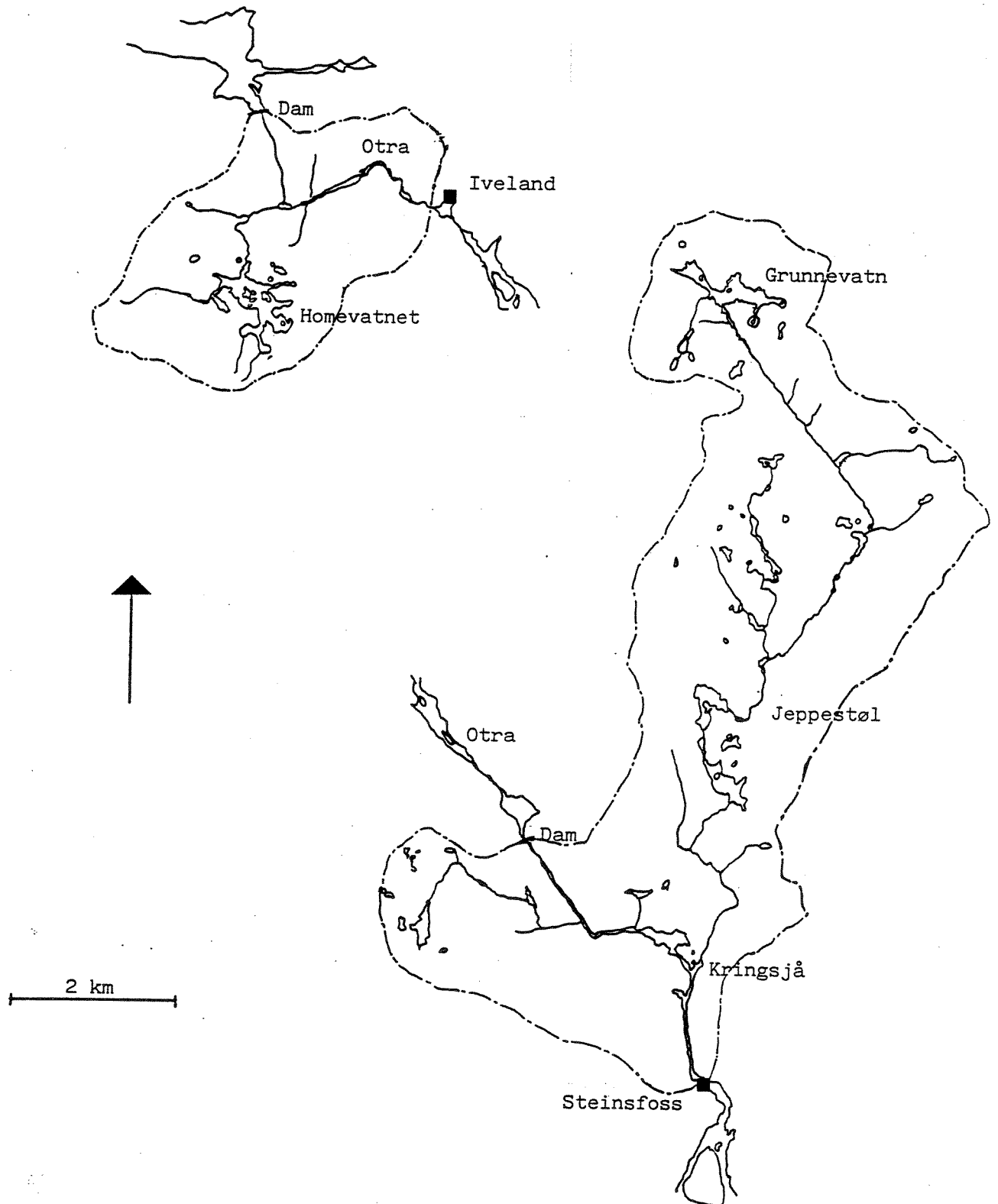
Det går en geologisk grense gjennom Vatnedalen mellom Bykle og Hovden. Bergartene i nedbørfeltet sør for Vatnedalen består vesentlig av gneis og granitt, som gir saltfattig avrenningsvann. Området har liten motstandsevne mot forsuring. Nord for Vatnedalen finnes metamorfe og sedimentære bergarter. Videre finnes det metamorfe bergarter øst for Valle. Disse bergartene er noe mer kalkholdige. Øvre deler av nedbørfeltet mottar vesentlig mindre forurenset luft og nedbør enn nedre deler. Avrenningsvannet fra dette området er derfor mindre surt enn i resten av vassdraget.

De mektigste løsavsetningene finnes langs hovedvassdraget, spesielt i forbindelse med innsjøbassengene. Store deler av heiområdene i nedbørfeltet er karakterisert av fjell i dagen og tynt morenedekke. De sørligste delene av Otra, fra Mosby og sørover (Ivar Jansen, pers. medd. 1987) ligger under den marine grense, mens resten av nedbørfeltet i sin helhet ligger over den marine grense, dvs. over ca. 40 moh. Påvirkninger av marine avsetninger betyr derfor minimalt for vannkvaliteten i Otra. Vassdraget skjærer gjennom raet ved utløpet av Venneslafjorden.

Denne rapporten omhandler først og fremst strekningen fra Kilefjorden til sjøen (Figur 1). De områdene som er vurdert spesielt er strekninger med minstevannføring oppstrøms Iveland kraftverk og oppstrøms Steinsfoss (Figur 1 og 2), samt strekningen fra Vennesla til sjøen. Lokalnedbørfeltenes størrelse vil være med å avgjøre vannkvaliteten ved gitte minstevannføringer i Otra. Data for feltene er gitt i tabell 1. De faste minstevannføringer som er brukt i beregningene er gitt i tabell 2. På strekningen Vennesla-sjøen er det ikke avrenningen i det lokale nedbørfeltet som er interessant for vannkvaliteten, men utslipp fra husholdninger og industri. I henhold til data fra Traaen og Johannessen (1987) er vannmengden fra Hunsfos Fabrikker satt til 0.85 m³/s.



Figur 1. Nedbørfeltet til nedre del av Otra. Strekningene oppstrøms Iveland og Steinsfoss kraftstasjoner er markert, likeledes Hunsfos Fabrikker og Vigeland Metal Refinery. Det er kraftstasjoner ved begge disse bedriftene. Dammene er markert. Skråstad ligger mellom Hagen og Sødal nederst i elva.



Figur 2. Avgrensning av nedbørfeltene til strekninger med minstevannføring oppstrøms Iveland og Steinsfoss kraftstasjoner.

Tabell 1. Data for Iveland lokalfelt og Steinfoss lokalfelt.

| | Iveland lokalfelt | | Steinfoss lokalfelt | |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Areal | 9 | km ² | 32 | km ² |
| Spesifikk avrenning | 35 | L/s*km ² | 40 | L/s*km ² |
| Middelvannføring | 0.32 | m ³ /s | 1.3 | m ³ /s |
| Maks. vannføring | 4.7 | m ³ /s | 19 | m ³ /s |

Tabell 2. Oversikt over faste vannføringer som er brukt i beregningene.

| | Sommer | Vinter |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Iveland: | 2, 5, 10 og 20 m ³ /s | 1 og 3 m ³ /s |
| Steinfoss: | 2, 5, 10 og 20 m ³ /s | 1 og 3 m ³ /s |
| Nedre Otra: | 30, 50 og 80 m ³ /s | 30, 50 og 80 m ³ /s |

3.2. Beregning av tilførsler av P, N og organisk stoff

Utslipp av husholdningskloakk er beregnet for hver enkelt kommune innenfor nedbørfeltet til hele Otra. Både tilknytning til renseanlegg, kommunal slamavskiller eller eget anlegg, samt tilførselsgrad til anlegget og rensegrad er lagt inn i beregningene. Disse dataene er hentet fra kommunene og driftsrapportene som utarbeides av Miljøvernavdelingen i Aust-Agder. Tilførsler fra landbruksarealer er beregnet på bakgrunn av type landbruksareal og den spesifikke avrenning som er beregnet for disse arealene, se Holtan og Åstebøl (1990). I tillegg er det beregnet gjennomsnittlige tilførsler fra silo og gjødselkjellere etter opplysninger fra Miljøvernavdelingen i Aust-Agder.

I Otra oppstrøms Hunsfoss er det ikke regnet med utslipp fra industri. Nitrogen-nedfall på innsjøoverflater er beregnet ved hjelp av totalt innsjø- og elveareal (160 km², oppgitt av Kr.sand E-verk i 1988) og den midlere depositionsjonen for nedbørfeltet. For fosfor er det brukt en betydelig lavere litteraturverdi (10 kg P/km²*år, fra Vennerød 1984) enn den veiledende verdien (20-35 kg P/km²*år) som Holtan og Åstebøl (1990) oppgir. Det antas at usikkerheten i disse tallene er meget stor, men at Vennerøds verdi trolig er et forsiktig anslag for dette området.

Tilførsler fra de tre kildegruppene landbruk, kloakk og nedfall på innsjøoverflater er lagt inn med de beregnede verdier og fordelt på årlig vannmengde som transporteres med Otra. På

den måten framkommer den midlere stoffkonsentrasjon som den enkelte kilden representerer. Differansen mellom den målte middelkonsentrasjon i Otra for perioden 1987-1990 og summen av disse stoffkonsentrasjonene er tillagt avrenning fra skog og fjell.

Retensjon i innsjøer og i OTRAS elvestreng er ikke beregnet. Siden retensjon pga algeopptak/sedimentasjon (for N og særlig P) og denitrifikasjon (for N) til en viss grad foregår, er de totale tilførsler til vassdraget sannsynligvis større enn det som framkommer i enkelte av beregningene.

Data for tilførsler for vassdraget oppstrøms Hunsfoss sammen med de ekstra tilførsler av landbruksavrenning og kloakk som er beregnet for Kristiansand-Venneslaområdet er brukt for å kalibrere tilførselsberegningene for industrien i Vennesla.

Nesten hele økningen i konsentrasjon av N og organisk stoff nedstrøms Vennesla er tillagt industrien, mens kloakktilførslene utgjør en like stor del av P-økningen som industriutslippene. Industriutslippet er så tilbakeberegnet til faktiske utslipp av N, P og organisk stoff i kg/år. Disse tallene er i neste omgang brukt i beregninger av hvilken effekt forskjellige vannføringer har på konsentrasjonen av stoffene i nedre Otra.

Framgangsmåten over forutsetter at vannføringen ikke endrer konsentrasjonen av stoffene oppstrøms Hunsfoss. Data for perioden 1987-1990 viser at denne forutsetningen i stor grad er gyldig.

4. RESULTATER

4.1. Tilførsler av P, N og organisk stoff

Tabell 3 viser en oversikt over tilførselskilder, hvilke mengder av P, N og organisk stoff (KOF) som kommer fra de ulike kildene og hvilken effekt disse tilførslene har på den midlere konsentrasjonen av stoffene i Otra.

Den totale transporten i vassdraget oppstrøms Vennesla er beregnet til 17 tonn P, 8900 tonn KOF og 1200 tonn N. Som det går fram av tabell 3 er det tilførsler fra skog og fjell som er den største enkeltkilde for både P, N og organisk stoff. For KOF er skog og fjell den eneste kilde av betydning. For P spiller både landbruk og kloakk en betydelig rolle. Nedfall av P på innsjøoverflater utgjør 10 % av tilførslene, mens nedfall av N utgjør 15 %.

Tabell 3 viser også situasjonen for Otra nedstrøms Hunsfoss. Landbruket bidrar ubetydelig til økningen i konsentrasjoner, mens tilførsler fra kloakk tredobles. Industriutslippene utgjør 20 % av P-tilførslene og hele 60 % av de totale tilførslene av organisk materiale til Otra. Situasjonen for nitrogen er stort sett uforandret når det gjelder tilførsler. Det vil si at verken kloakk eller industriutslipp bidrar med tilførsler av betydning.

Vi har her betraktet totale tilførsler. Det er viktig å huske at kvaliteten av tilførslene avgjør hvilken tilgjengelighet stoffene har for organismene i elva. Fosfor fra kloakk er lett tilgjengelig, mens f.eks. løst organisk materiale fra skog- og fjellområder (som danner bakgrunnsnivået for KOF) ikke gir opphav til soppbegrøing selv om konsentrasjonen hadde vært langt høyere enn i Otra. Utslippene av organisk materiale fra Hunsfos Fabrikker gir derimot grunnlag for betydelig soppbegrøing, sannsynligvis også ved langt lavere utslipp enn i dag.

4.2. Generelt om vannkvaliteten i Otra - forurensningstilstand

4.2.1. Industri

Hunsfos Fabrikker A/S ble etablert allerede i 1873 som Otterelvens Papirfabrikk. I dag er fabrikkene en av landets store treforedlingsbedrifter og produserer sulfittcellulose, tremasse og papir. Norsk Wallboard A/S ble anlagt i 1948 og produserer trefiberplater. Fabrikkene er i dag en del av Hunsfoskonsernet.

Allerede i 1955 ble høye partikkelkonsentrasjoner og kraftig fall i pH som følge av forurensningsutslipp fra fabrikkene i Vennesla påvist. Hunsfos Fabrikker har det helt dominerende bidraget, både av syreutslipp og utslipp av suspendert og oppløst organisk materiale. Fra Norsk Wallboard A/S og Vigeland Metal Refinery A/S i Vennesla og Høie tekstilfabrikk i Mosby er det også utslipp til Otra. I øvre Otra er det ingen slike utslipp av betydning.

Tabell 3. Oversikt over tilførselskilder, hvilke mengder (tonn/år) av fosfor (P), nitrogen (N) og organisk stoff (KOF) som kommer fra de ulike kildene og hvilken effekt disse tilførslene har på konsentrasjonen av stoffene i Otra.

Viktigste kilder oppstrøms

Vennesla:

Årlige tilførsler:

| | † P/år | † KOF/år | † N/år |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| Landbruk | 4.1 | 226 | 73 |
| Kloakk | 2.5 | 71 | 32 |
| Industri | 0.0 | 0 | 0 |
| Nedbør på innsjøer | 1.6 | | 192 |
| Skog og fjell | 8.9 | 8608 | 936 |
| SUM | 17.1 | 8905 | 1233 |

Resulterende middelkons.:

| | µg P/L | mg O/L | µg N/L |
|------------------------------|------------|-------------|------------|
| Landbruk | 0.9 | 0.05 | 16 |
| Kloakk | 0.6 | 0.02 | 7 |
| Industri | 0.0 | 0.00 | 0 |
| Nedfall på innsjøoverflater | 0.4 | 0.00 | 42 |
| Skog og fjell | 2.0 | 1.89 | 205 |
| SUM, simulert og målt | 3.9 | 1.96 | 270 |

Viktigste kilder nedstrøms

Vennesla:

Årlige tilførsler:

| | † P/år | † KOF/år | † N/år |
|--------------------|-------------|--------------|-------------|
| Landbruk | 4.6 | 250 | 84 |
| Kloakk | 10.0 | 280 | 75 |
| Industri | 6.5 | 14000 | 0 |
| Nedbør på innsjøer | 1.6 | | 192 |
| Skog og fjell | 9.2 | 8900 | 907 |
| SUM | 31.9 | 23430 | 1258 |

Resulterende middelkons.:

| | µg P/L | mg O/L | µg N/L |
|------------------------------|------------|-------------|------------|
| Landbruk | 1.0 | 0.05 | 18 |
| Kloakk | 2.2 | 0.06 | 16 |
| Industri (kalibrert) | 1.4 | 3.02 | 0 |
| Nedfall på innsjøoverflater | 0.4 | 0.00 | 41 |
| Skog og fjell | 2.0 | 1.92 | 195 |
| SUM, simulert og målt | 7.0 | 5.05 | 270 |

Otra er fra naturens side saltfattig, svakt sur og inneholder lite fosfor og organisk materiale. Gunstige geologiske forhold og relativt liten belastning av forsurende forbindelser med nedbør har ikke ført til alvorlig forsuring øverst i vassdraget (Hindar og Grande 1987, Hindar m.fl. 1990). Midtre og nedre deler av nedbørfeltet til Otra ligger i sonen for maksimal belastning av forurenset luft og nedbør. Det har ført til forsuring i denne delen av vassdraget. Middel-pH oppstrøms Vennesla har ligget relativt stabilt omkring pH 5.5 de siste årene (Figur 3).

Utslipp av syre fra treforedlingsindustrien i Vennesla har ført til ytterligere forsuring på strekningen Vennesla og til sjøen. Til tross for den store vannføringen i dette vassdraget reduseres pH med 0.2-0.4 enheter i middel (fra pH 5.5) pga industriutslippene (Figur 3). Fra 1988 har det imidlertid vært en positiv utvikling på stasjonene nedstrøms Hunsfoss. pH under 5.0 er imidlertid registrert en rekke ganger og etableringen av en overvåkingsstasjon sommeren 1992 viste at pH kan svinge raskt innenfor et stort variasjonsområde. Industriutslippene endrer ikke aluminiumskonsentrasjonen i Otra.

I 1987 var middelkonsentrasjonen av organisk stoff, målt som kjemisk oksygenforbruk (KOF) på stasjonene nedstrøms Hunsfos Fabrikker 6.0 mg O/L (Figur 3). Det var betydelig høyere enn bakgrunnskonsentrasjonen på 2 mg O/L. I perioden 1988-1992 var det en bedring og i 1992 var middelkonsentrasjonen 4.0 mg O/L.

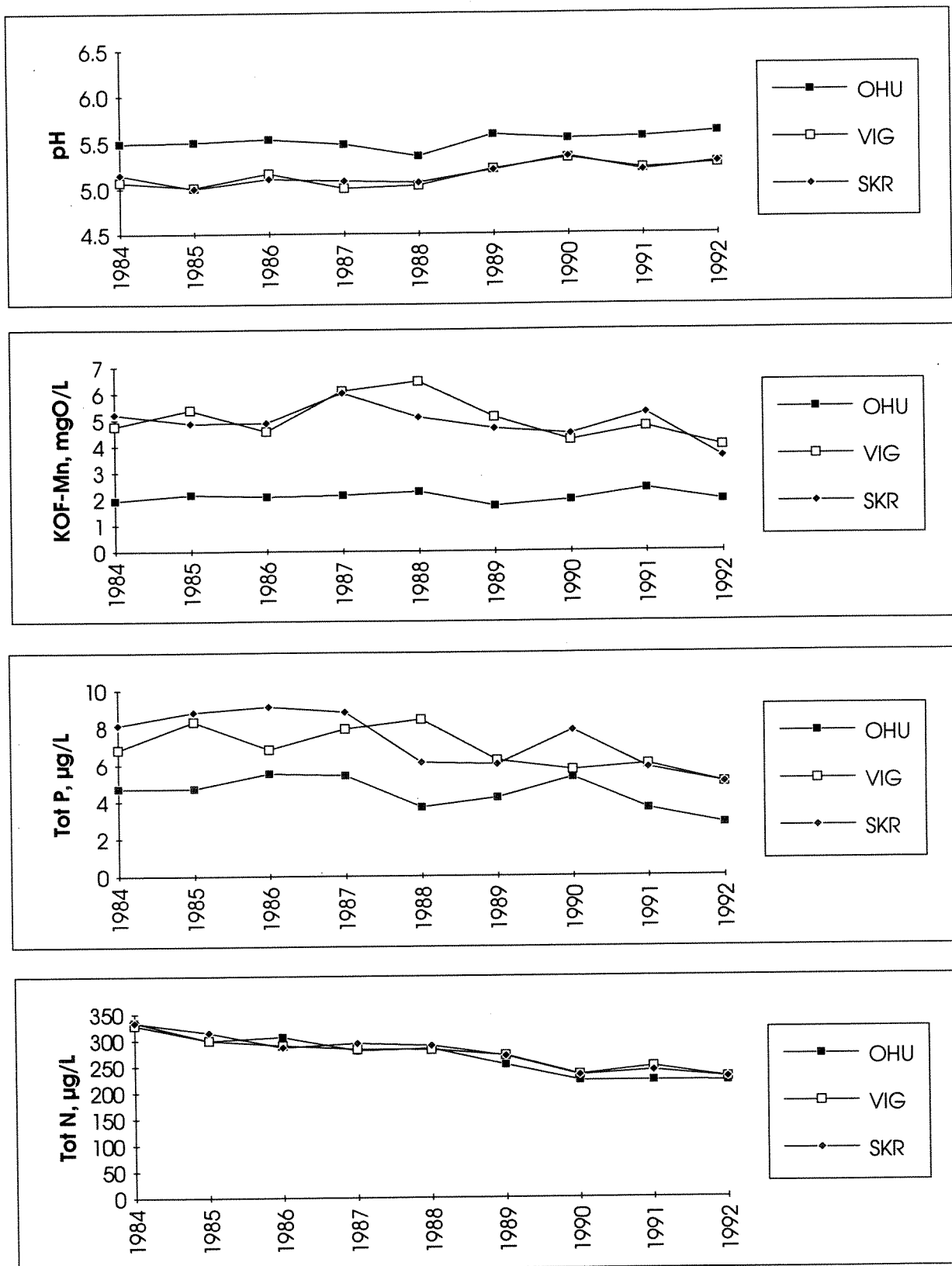
Utslippene av organisk stoff fra Hunsfos Fabrikker har ført til en sterk saprobiering, dvs. soppbegroing. Soppen *Fusarium aquaeductuum* ses som et lyst, slimaktig belegg på overflater av planter og stein nedenfor bedriftene, også i relativt strømsterke partier av elva. Den organiske belastningen og det spesielle organiske substratet i elva på strekningen nedstrøms Hunsfoss gir grobunn for et annet bunndyrsamfunn enn oppstrøms industriutslippene (Hindar m.fl. 1990). Utslippene setter smak på oppvandrende laks.

4.2.2. Husholdningskloakk

Nedre Otra ble fortsatt brukt som resipient for kommunalt avløpsvann, selv om utslippene var redusert i perioden 1988-1990. Den totale forurensningsproduksjonen per år fra befolkningen i nedre del av Otra (Venneslafjorden-Stray) ble i 1982 beregnet til 5 tonn fosfor og 25 tonn nitrogen (Grande et al. 1982). Fram til 1992 er en stadig økende andel av dette tatt hånd om og utslippene av husholdningskloakk vil etterhvert nærmest bli eliminert. Det skyldes opprustning av ledningsnettet og at utslippene fra Vennesla og videre ned mot sjøen koples til en avskjærende kloakkledning som går fram til Tangen i Kristiansand.

Sanitæranlegget ved Vigeland Metal Refinery A/S er koplet inn på det kommunale kloaknettet. Sanitæranleggene ved bedriftene Hunsfos Fabrikker og Norsk Wallboard skal koples inn på den avskjærende kloakkledningen. Dette vil ytterligere bedre vannkvaliteten.

Middelkonsentrasjonen av fosfor nedstrøms Vennesla var markert redusert i perioden 1987-1992 (Figur 3). Reduksjonen i fosfor skyldtes betydelig sanering av kloakkutslipp.



Figur 3. Middelverdier av pH, organisk stoff (målt som kjemisk oksygenforbruk, KOF), total fosfor og nitrogen for stasjoner i Otra i perioden 1984-1992.

Årlige middelkonsentrasjoner av total nitrogen har avtatt med en tredel i perioden 1984-1992 på alle stasjoner nedstrøms Byglandsfjorden (Figur 3). Nitratkonsentrasjonen har imidlertid vært konstant. Det kan skyldes økt omsetning og tilbakeholdelse av nitrogen i Byglandsfjorden. Nitrogenavsetning med nedbør har vist en økning gjennom hele 1980-tallet, dvs. en motsatt tendens.

4.2.3. Samlet vurdering

Hindar og medarbeidere (1990) har vurdert forurensningstilstanden i Otra. Forurensningsgrader for periodene 1987-88 og 1989-90. Nedre del av Otra var markert til sterkt forurenset. Situasjonen var bedre i siste del av perioden enn i første del. Data fra 1991 og 1992 bekrefter denne tendensen for Otra.

4.3. Vannføringens betydning for forurensningstilstanden

Manøvreringen av reguleringsmagasinene i øvre del av Otra fører til endret vannføring på elvestrekninger i hele Otra. Vintervannføringen er økt, flommene er dempet og sommervannføringen er lav på flere elveavsnitt. Minstevannføringen ved Vigeland i nedre del er 50 m³/s både sommer og vinter.

Vannkjemiske data for perioden 1987-1990 er sammenholdt med vannføring ved Vigeland. Her redegjøres det kort for de sammenhenger som er funnet for pH, P, N og KOF.

Episoder med ekstremt lav pH i nedre Otra kan inntreffe ved lav vannføring om sommeren pga industriutslipp. Ekstremepisoder ble ikke påvist i perioden 1987-1990, men vannprøver ble kun tatt en gang pr. måned. En økt minstevannføring kan i prinsippet redusere skadevirkningene av syreutslipp, men bufferevnen er ubetydelig i Otra. Det fører til at den positive effekten av noe høyere vannføring blir beskjedent. Ved normal (uregulert) lavvannføring sommerstid på 10-15 m³/s ville pH ha kommet ned i 3.7-3.9 ved nåværende utslippsnivå.

I øvre deler øker pH ved avtakende vannføring, sannsynligvis fordi elva er mer preget av vann som har hatt lang kontakttid med løsavsetninger og jordsmonn.

Det er ikke funnet signifikante sammenhenger mellom konsentrasjon av P, N eller KOF og vannføring på stasjonen oppstrøms Hunsfoss. Ved minstevannføring er imidlertid P-konsentrasjonen omkring 4-7 µg P/L, dvs. noe høyere enn middelet på 3.8 µg P/L.

Det er ikke funnet vesentlige endringer i middelkonsentrasjonen av total N på strekningen Evje-Skråstad. Det vil si at N-tilførselen fra kloakk og industri ikke er av særlig betydning.

Det er imidlertid funnet vesentlig lavere konsentrasjon av nitrat ved lave vannføringer

nedstrøms Hunsfoss (Figur 4). Det tyder på at det skjer et biologisk opptak av N ved lave vannføringer. Det er fullt mulig at soppen *Fusarium aquaeductuum* forårsaker dette opptaket. Opptak av både ammonium og nitrat er påvist for denne soppen (Painter 1954). Vannføringen må være over 100 m³/s før konsentrasjonen når opp mot 150-200 µg N/L. Nitrat-reduksjonen gjenspeiles ikke i konsentrasjonen av Tot N.

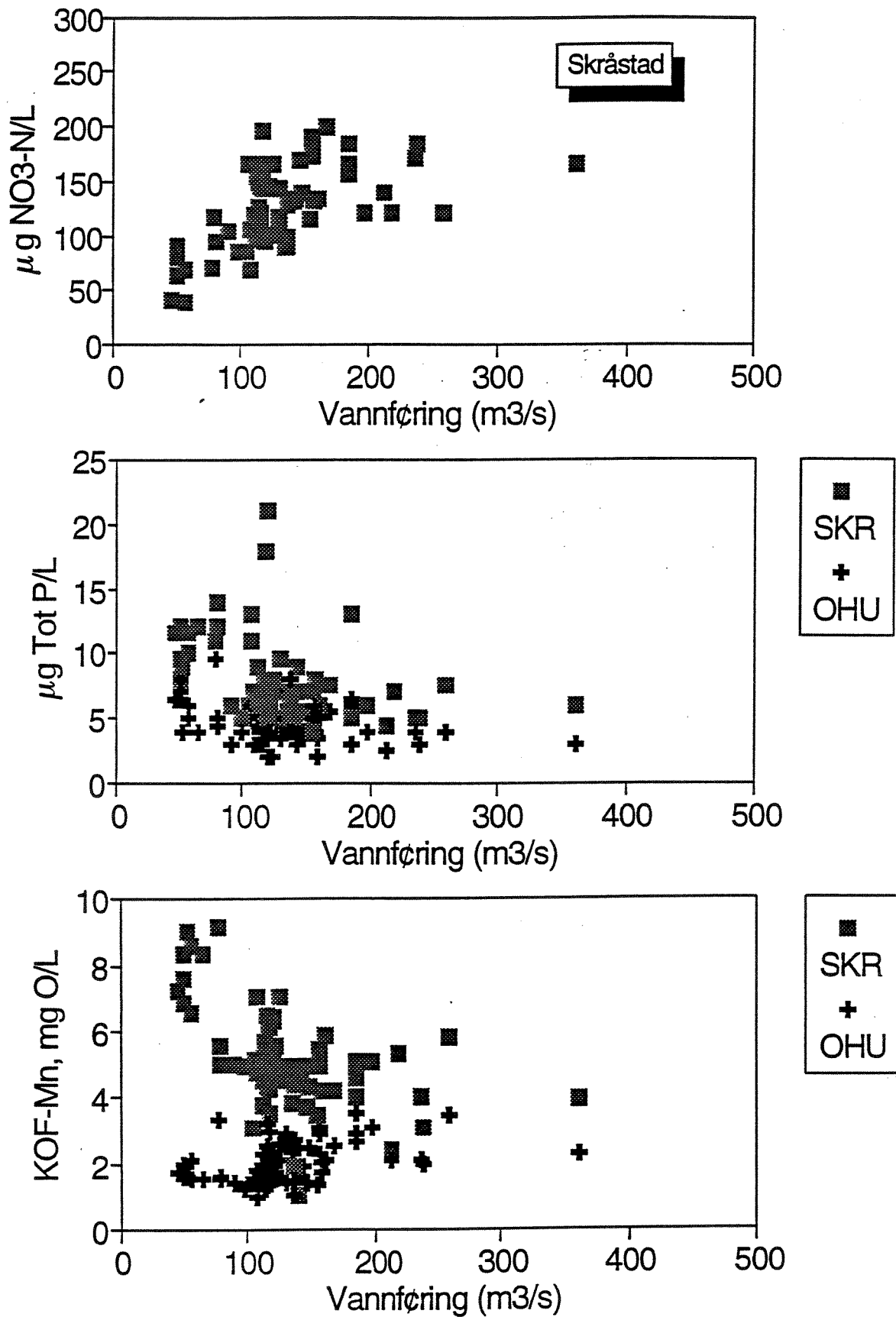
Det er registrert en betydelig økning i P-konsentrasjonen nedstrøms Hunsfoss ved avtakende vannføring (Figur 4). Det vil si at P-tilførslene kamuflerer det biologiske opptaket som utvilsomt finner sted. Dette opptaket er det mulig å beregne utfra forholdet mellom opptaket av N og P i biologisk materiale. Nitratreduksjonen er maksimalt 100 µg N/L ved en vannføringsreduksjon fra 200-300 m³/s til 50 m³/s. Tilsvarende P-reduksjon blir maksimalt 5-10 µg P/L hvis all N-reduksjon skyldes biologisk opptak og når N/P-forholdet i det biologiske materialet er 10:1 - 20:1. Dette er betydelig når den maksimale konsentrasjonen av total fosfor ligger på omkring 15 µg P/L. Uten P-retensjon ville konsentrasjonen ved disse forutsetningene vært omkring 50 % høyere ved minstevannføring, eller: utslippene kan være 50 % høyere enn konsentrasjonen skulle tilsi ved lave vannføringer.

Også konsentrasjonen av organisk materiale (målt som KOF) økte nedstrøms Hunsfoss ved avtakende vannføring (Figur 4). Ved vannføringer på over 100 m³/s var konsentrasjonen 4-6 mg O/L, mens den var 7-9 ved 50 m³/s. Spredningen på observasjonene er imidlertid stor ved alle vannføringer. Det er derfor åpenbart stor variasjon i utslippsmengde og/eller retensjon i elva. Det er rimelig å anta at konsentrasjonen ved minstevannføring ville være omlag 2 mg O/L høyere hvis det ikke forekom noen form for selvrensing/retensjon i elvestrengen.

Fra 06.07.92 og fram til 20.07.92 ble vannføringen i Otra forsøksvis redusert helt ned til 20 m³/s. I denne perioden ble produksjonen ved Hunsfos Fabrikker stanset pga ferieavvikling. Vannføringsreduksjonen resulterte i at sjøvannet trengte lengere innover i elva og at saltvanns-"tungen", som vanligvis ligger nær bunnen, ble presset oppover i vannmassen. Dette ble registrert bl.a. ved en økning i konduktiviteten på stasjonen ved Skråstad i perioden. Analysene fra denne stasjonen kunne derfor ikke brukes til å beregne effektene på forurensningssituasjonen i Otra ved denne endringen i vannføring.

Den 01.07.92 var imidlertid den nye overvåkingsstasjonen for pH på plass, slik at effektene av vannføringsendring og stans ved bedriften kunne følges fra time til time ved Vigelandsdammen. Før endringene var pH omkring 4.5-5.0. Ved stans i produksjonen økte pH til opp mot 8.0 for deretter å avta til 5.6. I perioden 06.07.92 - 11.07.92 var Vigelandsdammen tørrlagt. Det resulterte i at pH-elektroden ble stående i luft. Verdiene er derfor ikke reelle for denne perioden.

I fellesferien lå pH svært konstant på 5.5. Da produksjonen ved Hunsfos Fabrikker ble tatt opp igjen, avtok pH gradvis til 4.1-4.5. Den 20.07.92 økte vannføringen til over 100 m³/s. Dette hadde liten effekt på pH i Otra ved Vigeland.



Figur 4. Forholdet mellom konsentrasjonen av nitrat, total fosfor og organisk stoff (som KOF) ved Skråstad og vannføring ved stasjon 1007-12 Vigeland (NVE).

4.4. Simulering av vannføring

Beregningene er utført ved å holde en eller flere faktorer konstant. I tillegg er effektene ved konkrete vannføringer vurdert. De vannføringene i Otra som er vurdert spesielt på de tre strekningene er gitt i tabell 2 (avsnitt 3.1.).

På strekningen Kilefjorden og ned til Iveland kraftstasjon og på strekningen oppstrøms Steinsfoss kraftstasjon vil ulike minstevannføringer først og fremst ha betydning for vannets surhet og dermed for levevilkårene for fisk og andre organismer på disse strekningene. Det er ikke lokale utslipp av betydning som skulle påvirke vannkvaliteten i ugunstig retning. Oppstrøms Nomeland kraftstasjon (Figur 1) er det ikke aktuelt å gjøre beregninger fordi strekningen med redusert vannføring er helt ubetydelig.

Nedstrøms Vennesla er det både utslipp fra industri og husholdninger. Utslippene reduserer pH, øker konsentrasjonen av organisk stoff betydelig og øker konsentrasjonen av fosfor i elva. Effektene er sterk tilgroing av soppen *Fusarium aquaeductuum*, sannsynligvis redusert nedbrytingshastighet av organisk materiale, dramatisk endring av sammensetningen av bunnlevende organismer og utilstrekkelige leve- og reproduksjonsforhold for laks.

4.4.1. Effekter på surhet ved Iveland og Steinsfoss

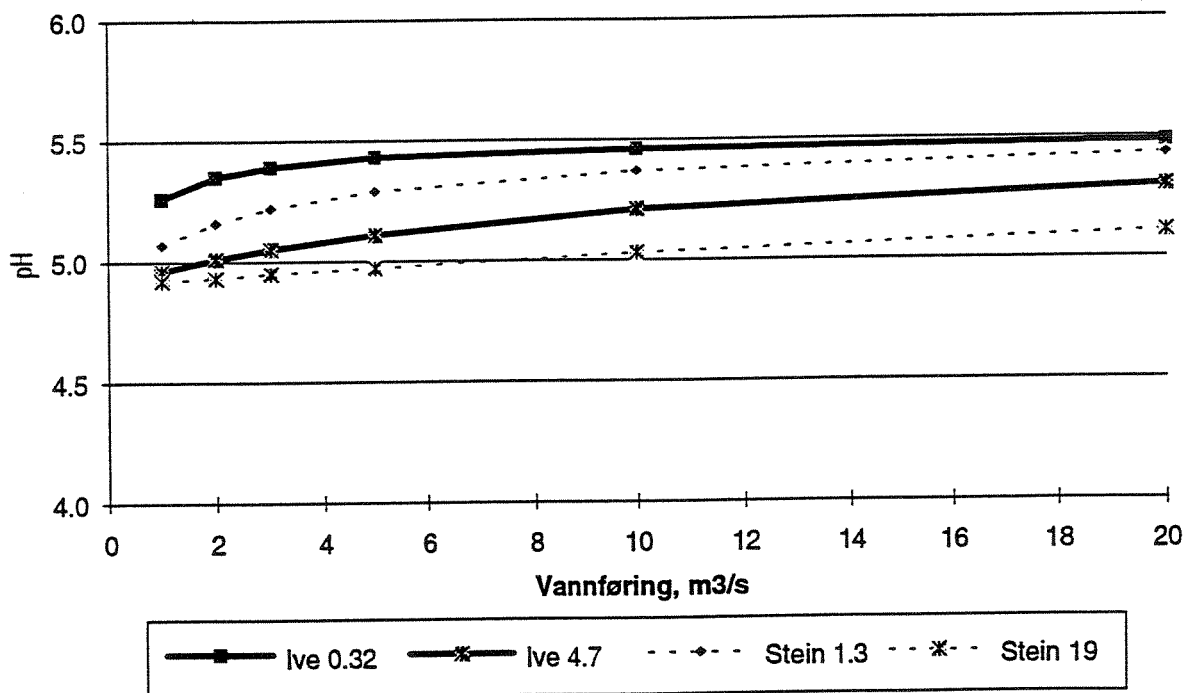
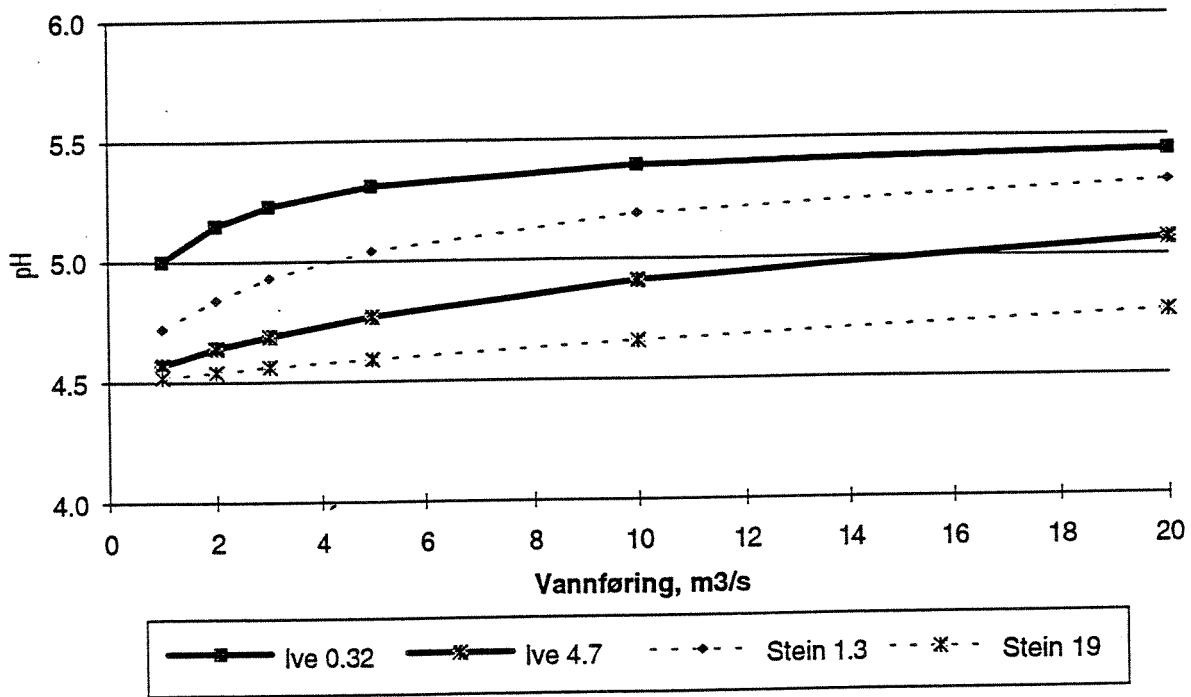
pH i det vannet som kommer fram til strekningene med redusert vannføring, er satt lik middel-pH ved Evje. Midlere pH ved Evje er 5.5, mens variasjonsområdet (2*st.avviket) i perioden 1987-1990 er beregnet til 5.1-5.9.

Vannkvaliteten i øvre del av de strekningene som har minstevannføring er helt dominert av Otra-vann. Denne vannkvaliteten vil gradvis bli endret fram til nedre del av strekningene. Fortynningen skjer med surere og aluminiumsholdig vann; pH på 4.7-5.0 og aluminiumskonsentrasjoner på 250-300 µg/L Al er registrert i sidevassdragene, men ennå lavere pH-verdier kan trolig forekomme. Her er brukt pH 4.5 og 4.9 i sidevassdragene som utgangspunkt for beregningene.

Ved maksimal vannføring i lokalfeltene, vil vannkvaliteten der kunne dominere strekningene med minstevannføring. Figur 5 viser eksempler på resulterende surhet ved ulike blandingsforhold mellom vann fra lokalfeltene og "rest"-vann fra Otra.

pH i lokalfeltene = 4.9

Ved middelvannføring i Iveland lokalfelt ($0.32 \text{ m}^3/\text{s}$) vil pH i Otra bli redusert med mer enn 0.1-0.2 enheter ved vannføringer i Otra på under $2\text{-}3 \text{ m}^3/\text{s}$. Denne vannføringen i Otra vil derfor være et minimum for å unngå vesentlig endret vannkjemi for fisk og andre organismer under disse betingelsene. Ved maksimal vannføring i lokalfeltet ($4.7 \text{ m}^3/\text{s}$), vil alle alternative vannføringer i Otra gi pH-reduksjon i Otra med mer enn 0.2 enheter som resultat. Ved vannføringer på $1\text{-}2 \text{ m}^3/\text{s}$ i Otra vil OTRAS vannkvalitet under disse forhold være helt dominert av sidevassdraget.



Figur 5. Resultat-pH etter blanding av vann fra Otravann med vann fra lokalfeltene Iveland og Steinsfoss. Vann fra Otravann er lagt inn med pH 5.5 i beregningene, mens vann fra lokalfeltene er lagt inn med pH 4.5 (øverst) og 4.9. Vannføringen i lokalfeltene er hhv. middelvannføring og antatt maksimal vannføring.

Lokalfeltet til Steinsfoss er vesentlig større, slik at betingelsene for å opprettholde vannkvaliteten i Otra er langt dårligere enn ved Iveland. Det ses i Figur 5 ved at kurvene for Otra-Steinsfoss ligger under kurvene for Otra-Iveland. Ved middelvannføring i lokalfeltet ($1.3 \text{ m}^3/\text{s}$) vil pH bli redusert med mer enn 0.1-0.2 enheter ved vannføringer i Otra på under $5-10 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved maksimal vannføring i lokalfeltet ($19 \text{ m}^3/\text{s}$) vil vannkvaliteten i Otra bli vesentlig dårligere, selv ved vannføringer i Otra på opp til $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved vannføringer på under $5-10 \text{ m}^3/\text{s}$ i Otra vil OTRAS vannkvalitet under disse forhold være helt dominert av sidevassdraget.

pH i lokalfeltene = 4.5

Hvis pH er 4.5 i lokalfeltene og 5.5 i Otra, vil pH-endringene i Otra bli langt større. De samme eksempler som over blir gjennomgått for dette tilfellet.

Ved middelvannføring i Iveland lokalfelt vil pH i Otra bli redusert med mer enn 0.1-0.2 enheter ved vannføringer i Otra på under $5-10 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved maksimal vannføring i lokalfeltet vil vannkvaliteten i Otra bli vesentlig dårligere selv ved vannføringer i Otra på opp til $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved vannføringer på under $10-15 \text{ m}^3/\text{s}$ i Otra vil pH i Otra være under 5.0.

Ved middelvannføring i Steinsfoss lokalfelt vil pH bli redusert med mer enn 0.1-0.2 enheter ved vannføringer i Otra på under $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved maksimal vannføring i lokalfeltet vil pH i Otra være under 4.7 ved alle alternative vannføringer i Otra ($1-20 \text{ m}^3/\text{s}$).

Det er hele tiden regnet med pH 5.5 i Otra. Hvis pH er ned mot 5.1 i Otra, vil endringene i terskelområdene bli mindre fordi vannkvaliteten i Otra likner mer på den i sidevassdragene, men resultatet vil bli et enda lavere pH-nivå. Hvis pH i Otra er opp mot 5.9, vil endringene bli større, men resultatet vil bli et høyere pH-nivå enn det som er beregnet over.

4.4.2. Effekter på surhet nedstrøms Vennesla

Utslipp fra industribedriftene i Vennesla reduserer pH med flere tideler, i middel fra 5.5 til 5.1-5.2 fram til 1992. Hvis vannføringen i Otra er $50 \text{ m}^3/\text{s}$ og vannmengden fra Hunsfos Fabrikker er $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (middel i følge Traaen og Johannessen 1987), vil det si at syreutslippet fra Hunsfos Fabrikker er 14 kekv/døgn. Hvis en skal vurdere konsekvenser for fisk, er imidlertid slike gjennomsnittsbetraktninger mindre interessante.

Det er registrert episoder med pH ned mot 4.2 nedstrøms Hunsfos Fabrikker. Varigheten av slike episoder er kritisk for fisk. Det er her kombinasjonen av vannføring og utslippenes størrelse og varighet som er viktige. Ved de samme betraktninger som over, vil det si at syreutslippet blir 260 kekv/døgn (pH = 2.45 i avløpsvannet). I følge PFI var døgnutslippet fra Hunsfos Fabrikker beregnet til 200 kekv/døgn midt på 1980-tallet (Hoel 1986).

Det er innført bestemmelser om en minstevannføring på $50 \text{ m}^3/\text{s}$ nedstrøms Vennesla. Uten slik minstevannføring ville endringen i surhet være langt større enn i dag. Ved de to

alternative utslipp beregnet over (14 og 260 kekv/L) ville pH i Otra nedstrøms Hunsfoss bli redusert fra 5.5 til hhv. 4.9 og 3.7 ved lavvannføring på 15 m³/s.

De beregningene som er gjort over danner grunnlaget for å beregne effekter av å endre minstevannføringen fra 50 m³/s til 30 eller 80 m³/s. Beregningene er vist i tabell 4. Ved relativt små og moderate utslipp fra fabrikken (2 og 14 kekv/døgn, tilsvarende pH 4.5 og 3.7 i avløpsvannet) vil effekten av endret minstevannføring fra 50 til 30 eller 80 m³/s være marginal. pH vil endre seg en tidel opp eller ned hvis utslippet er 14 kekv/døgn. Hvis utslippet er maksimalt, dvs. 260 kekv/døgn, vil endringene være mer markerte, men vil ha liten praktisk betydning fordi pH-nivået allerede er svært lavt.

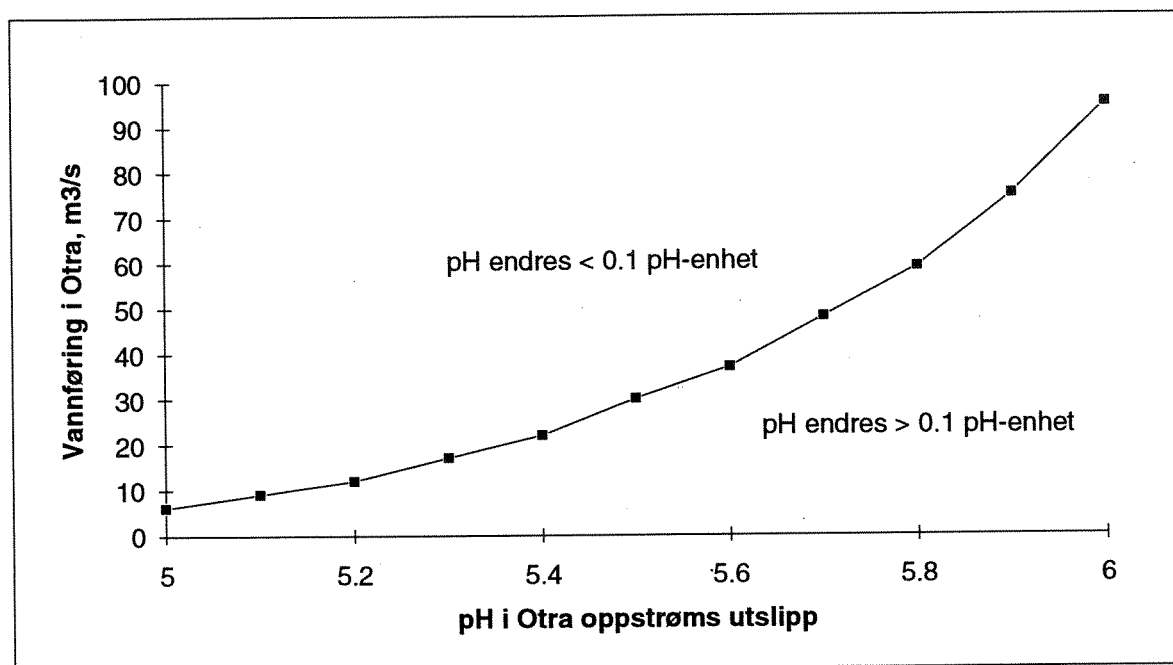
Tabell 4. pH i Otra ved endret minstevannføring fra 50 m³/s (uthevet) til hhv. 30 eller 80 m³/s. pH i Otra er satt til 5.5. Utslippet fra Hunsfoss fabrikk er satt til 2, 14 eller 260 kekv/døgn. Utslippet på 2 kekv/døgn er tatt med for å vise effektene av å øke pH i utslippsvannet fra Hunsfoss fra 3.7 (14 kekv/døgn) eller 2.45 (260 kekv/døgn) til 4.5.

| Minstevannføring m ³ /s | Utslipp 2 kekv/døgn | Utslipp 14 kekv/døgn | Utslipp 260 kekv/døgn |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 30 | 5.40 | 5.07 | 4.00 |
| 50 | 5.44 | 5.20 | 4.20 |
| 80 | 5.46 | 5.29 | 4.39 |

Hvis pH i utslippsvannet fra Hunsfos Fabrikker er 4.5 (2 kekv/døgn) eller høyere, vil utslippet kun ha betydning for kombinasjonen av god vannkvalitet (pH nær 6.0) i Otra og lav vannføring (under 50 m³/s). Dette er vist i figur 6.

I figur 7 er det vist en mer generell sammenheng mellom pH i Otra og vannføringen. Scenarier for tre ulike utslippsmengder av sterk syre er vist, nemlig 2, 14 og 260 kekv/døgn. I figurene er det lagt inn hjelpelinjer som viser hvilke endringer i pH som inntreffer under gitte kombinasjoner av pH i Otra oppstrøms Vennesla og vannføring. Grensekurver for pH 5.5 og 5.3 i Otra nedstrøms industriutslippene er vist. Fra figurene kan en dermed se hvilke kombinasjoner av pH i Otra oppstrøms industriutslippene og vannføring som sikrer at pH er over hhv. 5.5 og 5.3 nedstrøms industriutslippene.

Når utslippene er 2 kekv/døgn, dvs. pH 4.5 (Figur 7), og vannføringen i Otra over nåværende minstevannføring på 50 m³/s, må pH i Otra være over 5.7 før pH-endringene blir større enn 0.1 enhet. pH vil aldri endre seg mere enn 0.2 enheter med nåværende manøvreringsreglement hvis utgangs-pH i Otra er under 6.0.

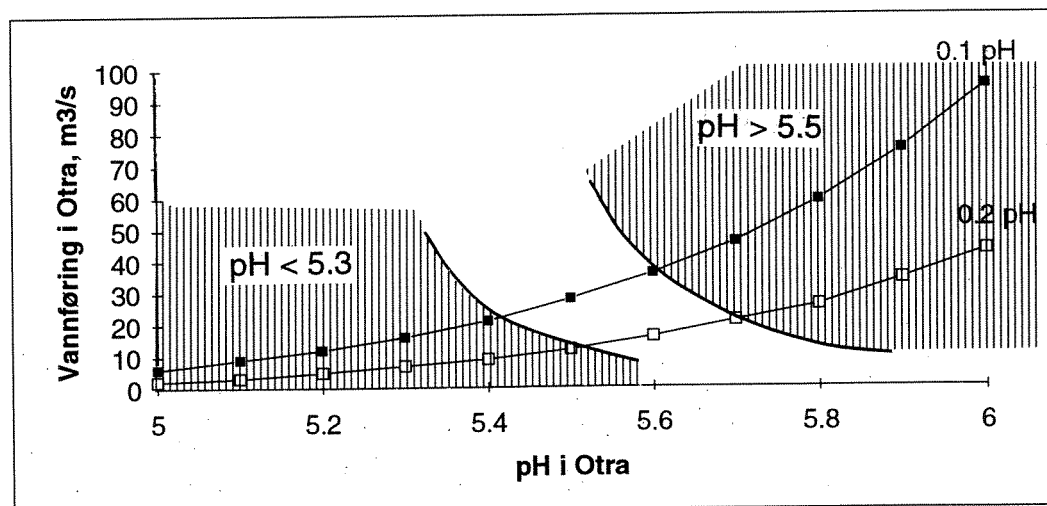


Figur 6. Kombinasjoner av pH og vannføring i Otra som skal til for å endre pH med mer enn 0.1 pH-enhet i Otra når industriutslippet er 2 kekv/døgn.

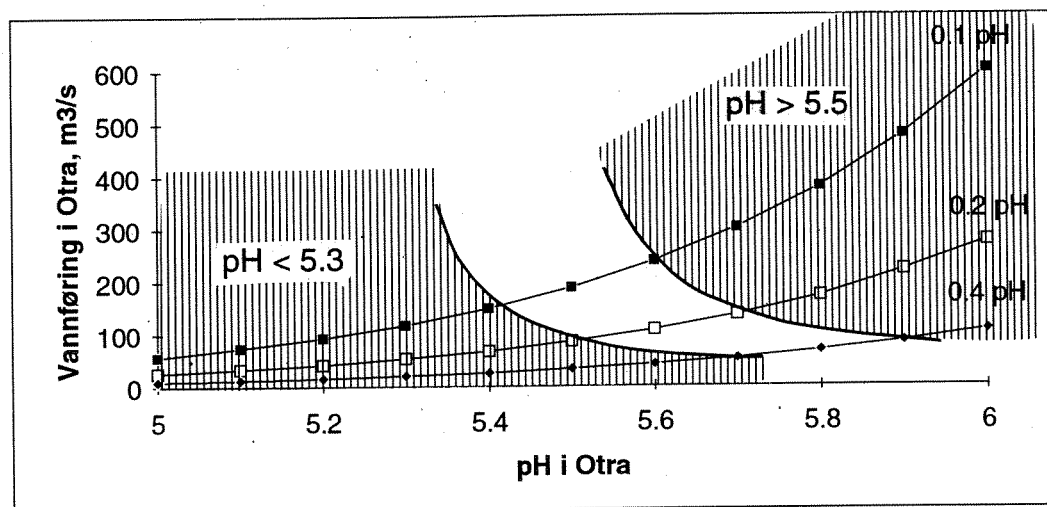
Når utslippene er 14 kekv/døgn, dvs. pH 3.7 i utslippene (Figur 7), og vannføringen over 145 m³/s (middelvannføring i Otra), må pH i Otra være over 5.4 før pH-endringene blir større enn 0.1 enhet. pH vil aldri endre seg mere enn 0.2 enheter hvis vannføringen er over 300 m³/s og utgangs-pH i Otra er under 6.0. pH vil aldri endre seg mere enn 0.4 enheter hvis vannføringen er over 100 m³/s og utgangs-pH i Otra er under 6.0.

Når utslippene er 260 kekv/døgn, dvs. pH 2.45 (Figur 7), er det kun få kombinasjoner av utgangs-pH og vannføring som gir pH i Otra på over 5.3 eller 5.5. Hvis maksimal vannføring settes til 1500 m³/s (middelvannføring * 10), er det bare nedre halvdel av figur 7 som gjelder. Hvis utgangs-pH er 5.9-6.0, må vannføringen være maksimal for å holde pH over 5.5 i Otra. Hvis utgangs-pH er 5.5 i Otra må vannføringen være maksimal for å holde pH over 5.3 i nedre del av Otra. I praksis vil alle kombinasjoner av utgangs-pH og vannføring gi pH under 5.3 når utslippene er så store fordi pH sjelden kommer over 5.5 ved høy vannføring. Hvis vannføringen er lavere enn 200-250 m³/s og utgangs-pH er 5.0 i Otra, vil pH endres med mer enn 0.4 tideler.

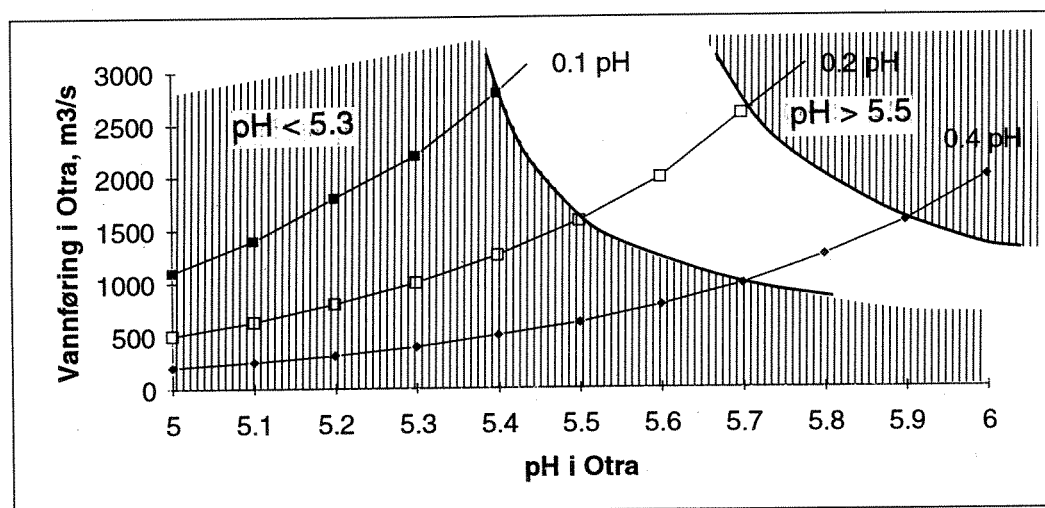
Utslipp:
2 kekv/døgn
(pH=4.5)



Utslipp:
14 kekv/døgn
(pH=3.7)



Utslipp:
260 kekv/døgn
(pH=2.45)



Figur 7. Endringer av Otra-vann med ulik pH oppstrøms industriutslipp og ved forskjellige vannføringer når industriutslippene av sterk syre er 2, 14 og 260 kekv/døgn, tilsvarende pH 4.5, 3.7 og 2.45. Hjelpelinjene viser hvilke endringer i pH som inntreffer under gitte kombinasjoner av utgangs-pH i Otra og vannføring. Grensekurver for å holde pH over hhv. 5.5 og 5.3 nedstrøms industriutslippene er vist.

4.4.3. Effekter på konsentrasjonen av P, N og organisk stoff

Tilførslene av fosfor, nitrogen og organisk stoff er beregnet på ulike vis, slik det er redegjort for. Datamaterialet fra perioden 1987-1990 ga grunnlag for å beregne en viss reduksjon/retensjon ved vannføringer under 150 m³/s. Reduksjonen er beregnet som en lineær funksjon for vannføringer mellom 50 og 150 m³/s. Funksjonen er gjort gjeldende for vannføringer ned til 20 m³/s. For vannføringer over 150 m³/s er det ikke lagt inn reduserte konsentrasjoner, selv om det åpenbart også skjer opptak i biologisk materiale ved disse vannføringene. Det er altså en rent empirisk tilnærming, som gir et svakt knekkpunkt i kurvene ved vannføringer omkring 150 m³/s.

I Figur 8 er det vist hvilken betydning vannføringen i Otra har for fortykning av P, N og KOF-tilførslene. Observerte (for nitrat) eller beregnede reduksjon/retensjon (P og KOF) er lagt inn for å vise betydningen av det som antas å være biologisk opptak og dermed retensjon av disse stoffene.

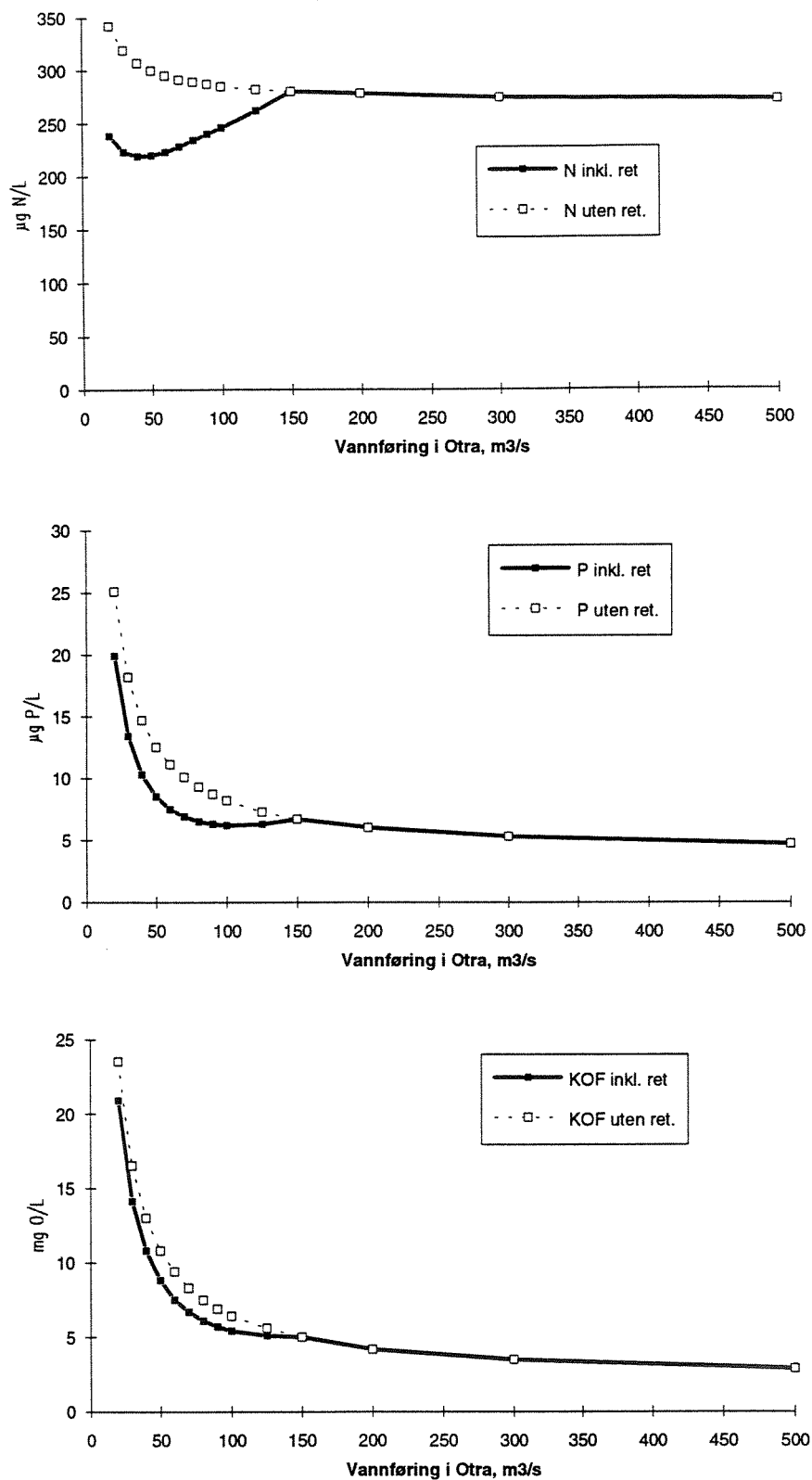
For konsentrasjonen av tot N vil nivået for minstevannføringen ikke ha noen praktisk betydning. Lave vannføringer vil gi noe redusert konsentrasjon. Ved 20 og 30 m³/s skjer det imidlertid en viss økning i N-konsentrasjonen igjen, men ikke til betenkelige nivåer.

En reduksjon av minstevannføring fra 50 m³/s til 30 m³/s vil ha en relativt dramatisk virkning på P-konsentrasjonen. Endringen vil gi nær en dobling av konsentrasjonen. Datagrunnlaget er svært usikkert for fosfor, slik at dette bare antyder hvilke endringer som i enkelte tilfeller kan inntreffe. En økning av minstevannføringen til 80 m³/s vil neppe ha noen vesentlig betydning for forurensningsnivået ved de utslippsnivåene som ligger til grunn for beregningene.

Konsentrasjonen av organisk stoff, målt som KOF, er betydelig (omkring 8 mg O/L) ved en minstevannføring på 50 m³/s. Ved 100 m³/s er konsentrasjonen omkring 5 mg O/L, mens avtak i minstevannføringen til 30 m³/s vil tredoble konsentrasjonen av KOF.

En økning av minstevannføringen til 80 m³/s vil redusere konsentrasjonen av KOF med omkring 3 mg O/L. Det er svært tvilsomt om det vil ha noen betydning for soppbegroingen med dagens utslippsmengder. Hvis industriutslippene reduseres, kan en økning av minstevannføringen bli mer interessant for å ytterligere forbedre vannkvaliteten.

Figur 8 viser også at fortykning med Otravann ikke vil redusere konsentrasjonen av KOF til under 3 mg O/L før ved 500 m³/s i Otra. Det er godt mulig at en konsentrasjonsøkning fra bakgrunnen på 2 mg O/L og til 3 mg O/L pga industriutslippet fortsatt vil gi grunnlag for begroing med soppen *Fusarium aquaeductuum*. Det vil si at utslippet må reduseres betydelig før en kan tenke på at vannføringen vil ha noen innvirkning på begroingen.



Figur 8. Betydningen av vannføring i Otra for fortyningen av fosfor-, nitrogen- og organisk stoff (som KOF)-tilførslene. Observert eller beregnet reduksjon for N, P og KOF ved lave vannføringer er lagt inn for å vise betydningen av det som antas å være biologisk opptak og dermed retensjon av disse stoffene.

4.5. Simulering av tilførsler

4.5.1. Syretilførsel

Langtransportert luftforurensning forsurer midtre og nedre deler av Otra i så stor grad at elvevannet har en pH på 5.5 i middel oppstrøms Vennesla. Effekten av en generell reduksjon i nedfallet av sulfat og nitrat vil være at forsuringen avtar. Det vil imidlertid føre for langt å beregne slike effekter her. Vi henviser derfor til arbeidet med naturens tålegrenser, der effekten av endringer i deponisjon i forhold til den naturlige bufferkapasiteten i avgrensede områder står sentralt.

Fra det arbeidet som er referert over skal det imidlertid nevnes følgende: Sentrale og sørlige områder i Otrå nedbørfelt vil sannsynligvis forbli forsuret, selv om nedfallet av sure komponenter reduseres langt mer enn nåværende internasjonale avtaler tilsier. Det vil si at den situasjonen som er beskrevet for områdene med redusert vannføring mellom Steinsfoss og Kilefjorden fortsatt vil gjelde i mange tiår. Øvre deler av Otra vil kunne bedres fordi naturens tålegrenser ikke er overskredet i samme grad.

Selv om middel-pH i Otra skulle øke til omkring 6.0, ville Otra fortsatt bli sterkt forsuret av industriutslipp med dagens utslippspraksis ved Hunsfos Fabrikker. Det er fordi utslippene fortsatt vil være dominerende i forhold til bufferkapasiteten i Otra.

Det som da gjenstår som interessant i flerbrukssammenheng er industriutslippene. Hunsfos Fabrikker er igang med omlegging av prosesser, slik at utslippene i praksis vil være avsyret i løpet av 1994. De beregningene som ble vist tidligere viser at et utslipp fra fabrikken med pH 4.5 ikke vil ha noen vesentlig innvirkning på Otra. Det er derfor en betydelig sikkerhetsmargin knyttet til et slikt utslipp mot ytterligere forsuring, selv ved vannføringer ned til 30 m³/s.

Hvis industriutslippet ikke skal gi en pH-reduksjon i Otra på mer enn 0.2 enheter fra pH 5.5, må følgende betingelser oppfylles ved vannføringer på 30, 50 og 80 m³/s: pH i utslippet må være over hhv. 4.2, 4.0 eller 3.8. Det tilsvarer døgnutslipp på hhv. 5, 7 eller 12 kekv/døgn. Hvis pH i Otra øker til 6.0, må følgende betingelser oppfylles ved vannføringer på 30, 50 og 80 m³/s: pH i utslippet må være over hhv. 4.7, 4.5 eller 4.3. Det tilsvarer døgnutslipp på hhv. 1.5, 2.3 eller 3.7 kekv/døgn.

4.5.2. Tilførsel av P, N og organisk stoff

Det er ikke sannsynlig at reduserte tilførsler av nitrogen og organisk stoff fra menneskelig aktivitet oppstrøms Vennesla vil ha noen vesentlig innvirkning på vannkvaliteten i Otra. Siden tilførselene fra skog og fjell dominerer fullstendig vil endringer i de andre kildene være mindre interessante.

Det er sannsynlig at en reduksjon i tilførselene av fosfor fra landbruksavrenning, gjødselkjellere og husholdningskloakk vil redusere konsentrasjonen av fosfor oppstrøms

Vennesla. Dette er imidlertid ikke av vesentlig betydning for vannkvaliteten, siden fosforkonsentrasjonen er under 4 µg P/L i middel. Enkeltobservasjoner på over 6 µg P/L er sjeldne.

Reduksjoner i N-tilførsler i nedre del av Otra ser ikke ut til å være av betydning fordi tilførselene allerede nå er uten særlig betydning.

Reduksjoner i utslipp av P og organisk stoff vil åpenbart kunne bedre vannkvaliteten i elva nedstrøms Hunsfos. Beregningene av utslippsmengder viste at P-tilførsler fra kloakk var tredoblet nedstrøms Vennesla. Industriutslippene utgjorde 20 % av fosfortilførselene og hele 60 % av tilførselene av organisk materiale til Otra.

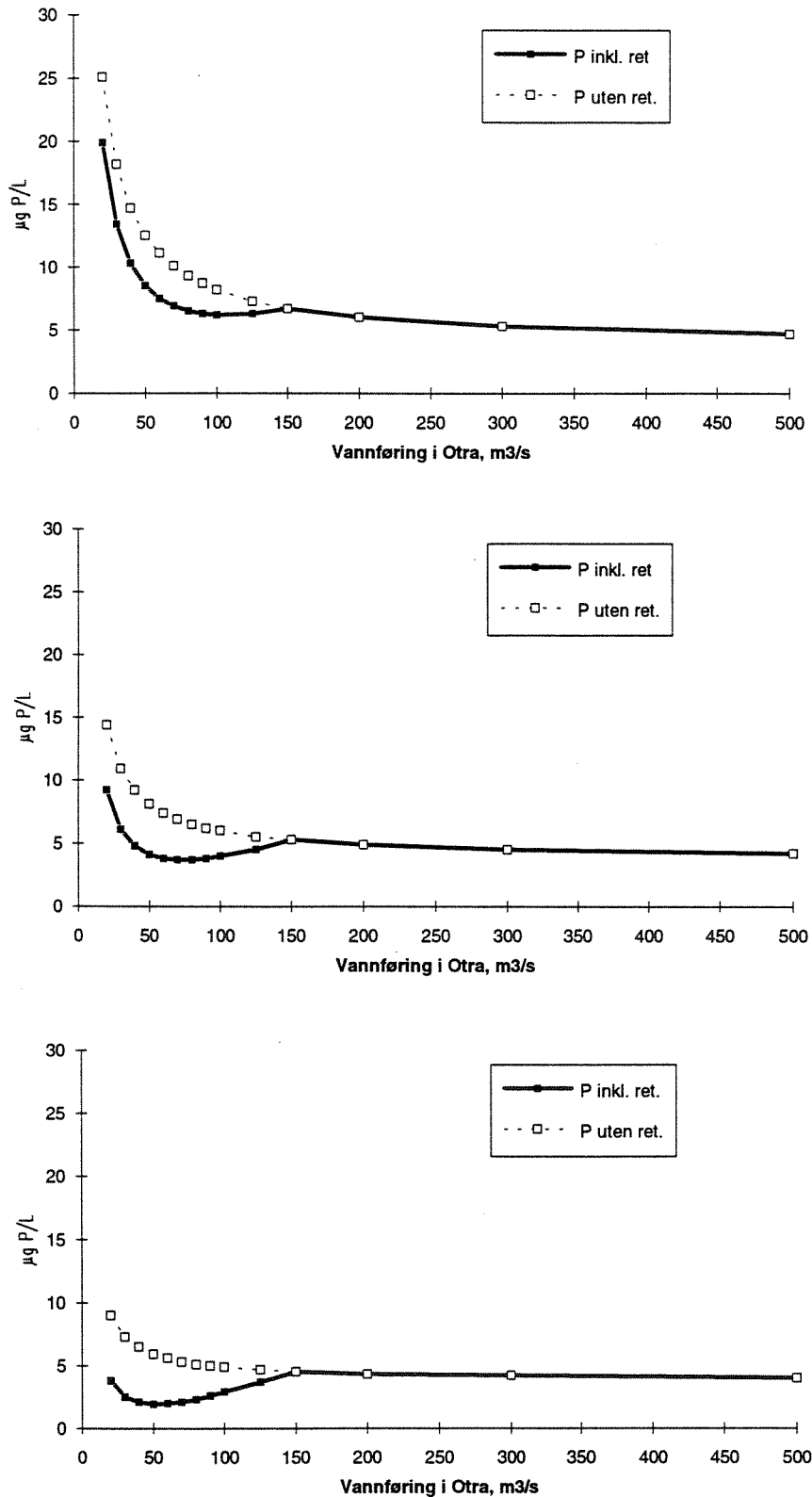
Vi har valgt å se på effektene av å redusere de totale P- og KOF-utslipp på strekningen Vennesla-Kristiansand med 50 % og 75 %. Resultatene både med og uten beregnet reduksjon/retensjon i elvestrengen er vist i Figur 9 og 10. Reduksjonen er beregnet med det samme empiriske materialet som for dagens utslippsnivå og vil derfor kunne være for stor for et atskillig lavere utslippsnivå.

Resultatene av utslippsreduksjoner for P og KOF ved vannføringer på 30, 50 og 80 m³/s er gitt i tabell 5. P-reduksjoner på 50 - 75 % er trolig realistisk fordi mesteparten av kloakken skal ledes til den avskjærende kloakkledningen fra Vennesla til Kristiansand. KOF-reduksjoner på nær 50 % vil skje innen juli 1994, med 1990 som basisår i henhold til ny konsesjon for Hunsfos Fabrikker, se oversikten i samlerapporten for 1987-1990 (Hindar m.fl. 1990).

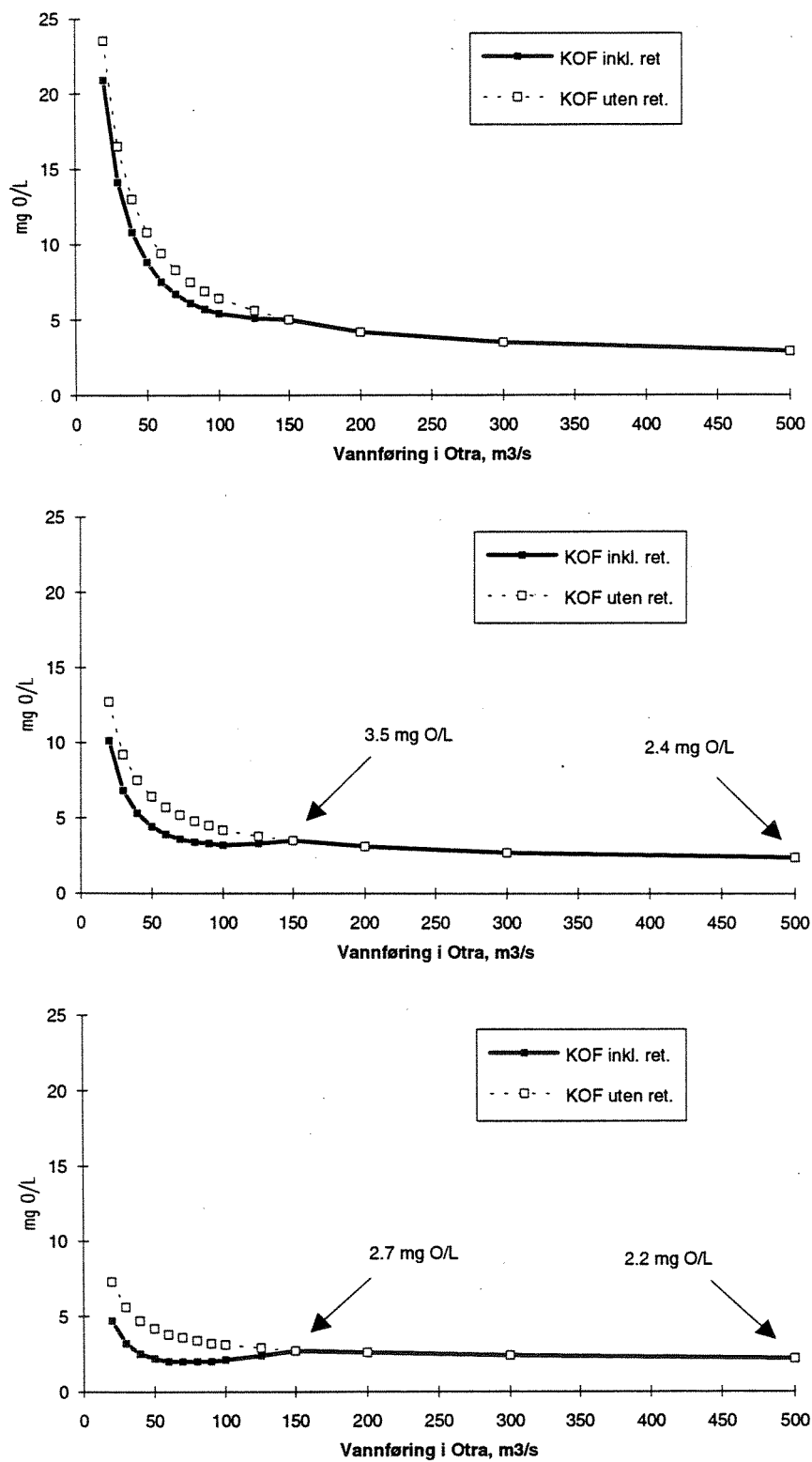
Tabell 5. Vannkvalitet i Otra som resultat av forskjellige kombinasjoner av vannføring og utslippsreduksjoner for fosfor (P) og organisk stoff målt som KOF. Tall i parentes framkommer ved å inkludere en beregnet reduksjon/retensjon i selve vannstrengen.

| Vannføring (m ³ /s) | Fosfor | | |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Uten red. µg P/L | 50 % red. µg P/L | 75 % red. µg P/L |
| 30 | 18.0 (13.5) | 11.0 (6.0) | 7.5 (2.5) |
| 50 | 12.5 (8.5) | 8.0 (4.0) | 6.0 (2.0) |
| 80 | 9.5 (6.5) | 6.5 (3.5) | 5.0 (2.5) |

| Vannføring (m ³ /s) | Organisk stoff (KOF) | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | Uten red. mg O/L | 50 % red. mg O/L | 75 % red. mg O/L |
| 30 | 16.5 (14.0) | 9.0 (7.0) | 5.5 (3.0) |
| 50 | 11.0 (9.0) | 6.5 (4.5) | 4.0 (2.0) |
| 80 | 7.5 (6.0) | 5.0 (3.5) | 3.5 (2.0) |



Figur 9. Betydningen av ingen (øverst) eller hhv. 50 % (midten) eller 75 % (nederst) reduserte tilførsler av fosfor for vannkvaliteten i Otra ved forskjellige vannføringer i Otra. Observert eller beregnet reduksjon ved lave vannføringer er lagt inn for å vise betydningen av det som antas å være biologisk opptak og dermed retensjon av disse stoffene.



Figur 10. Betydningen av ingen (øverst) eller hhv. 50 % (midten) eller 75 % (nederst) reduserte tilførsler av organisk stoff, målt som KOF, for vannkvaliteten i Otra ved forskjellige vannføringer i Otra. Observert eller beregnet reduksjon ved lave vannføringer er lagt inn for å vise betydningen av det som antas å være biologisk opptak og dermed retensjon av disse stoffene.

Betydningen (som konsentrasjonsendring) av endret vannføring vil være størst hvis det ikke skjer utslippsreduksjoner, men konsentrasjonene vil da fortsatt være relativt høye. Ved store utslippsreduksjoner kan imidlertid vannføringen (fortynningen) avgjøre om utslippene får uheldige konsekvenser.

5. DISKUSJON

Vannkvaliteten i Otra er preget av 1) generell forsurening og utslipp av syre fra industrien i Vennesla, 2) utslipp av lett tilgjengelig organisk stoff og 3) utslipp av fosfor fra husholdningskloakk, landbruk og industri. Endret vannføring pga reguleringer i vassdraget setter rammer for hvilken effekt de forskjellige utslippene har i forskjellige vassdragsavsnitt.

På de elvestrekningene mellom Kilefjorden og Steinsfoss som har bestemmelser om minstevannføring kan forsurening pga tilførsler fra lokalfeltene være et problem hvis det er et mål at fisk skal leve på disse strekningene. Nedstrøms Vennesla fører nåværende bestemmelser om minstevannføring til at de mest ekstreme pH-verdier (ned mot pH 3.7-3.8) unngås. pH mellom 4.7 og 5.0 er imidlertid ikke uvanlig. Industriutslippene gir en reduksjon i pH på 0.2-0.4 som årsmiddel.

Eutrofiering anses ikke som et problem oppstrøms Vennesla, men utslipp av kloakk og industri i Vennesla fører til økt konsentrasjon av lett tilgjengelig fosfor fra Vennesla og ned til sjøen.

Saprobiering, dvs. begroing med sopp, gjør elva lite attraktiv på strekningen Vennesla-sjøen. Med dagens utslipp vil selv store endringer i vannføring ikke gi bedre forhold. Lett tilgjengelig fosfor, selv i små konsentrasjoner (Ormerod m. fl. 1966), gir grobunn for soppen og de planter som lever på denne elvestrekningen. Surheten gir trolig en viss reduksjon i nedbrytingshastigheten av soppbegroingen, men ikke for selve veksten. *Fusarium aquaeductuum* vokser godt innenfor pH-området 4-9 (Painter 1954).

De forskjellige scenarier er gruppert i to: 1) endring i vannføring med gjeldende utslippsnivå (for perioden 1987-1990) og 2) endringer i utslipp og konsekvenser ved forskjellige vannføringer.

Gradvise endringer gir selvfølgelig et helt spekter av surhet og ulike konsentrasjoner for P, N og organisk stoff. Dette kommer delvis fram i de figurer som er utarbeidet. Felles for beregningene er imidlertid at en eller flere faktorer er holdt konstant. For oversiktens skyld og som en direkte oppfølging av ønsker fra prosjektets styringsgruppe er konsekvenser ved enkelte faste vannføringer beregnet.

5.1. Strekingen Kilefjorden-Steinsfoss

Surhet og vannføring i hhv. Otra og lokalfeltene gir grunnlag for å beregne effektene av ulike minstevannføringer på de berørte elvestrekningene. Strekingen oppstrøms Iveland kraftstasjon har et relativt lite lokalfelt, og er dermed mere robust mot endret vannkvalitet enn strekingen oppstrøms Steinsfoss. Det vil i praksis si at minstevannføringen oppstrøms Iveland kan være mindre enn oppstrøms Steinsfoss hvis en vil holde seg over visse pH-verdier.

Siden Otra har lav pH og liten evne til å avsyre tilførsler og siden de aktuelle minstevannføringer ikke er veldig forskjellig fra de vannføringer som kan inntreffe i lokalfeltene, er begge strekninger sårbare. Det er grunn til å tro at sterk nedbør, som gir rask vannføringsrespons i lokalfeltene, ikke resulterer i samme økning i Otras vannføring. Det vil si at de mest ekstreme kombinasjoner av vannføringer lett kan inntreffe. I disse tilfellene er det også grunn til å tro at de mest ekstreme kombinasjoner av surhet (lav pH i lokalfeltene) vil inntreffe, siden pH som regel er lav ved høy vannføring.

Det er de siste årene avslørt at blanding av surt, aluminiumsholdig vann og vann med høyere pH kan gi en vannkvalitet som faktisk er mer giftig for fisk enn det sure vannet i seg selv (Rosseland m.fl, 1992). Årsaken er endringen av aluminiums tilstandsform. På elvestrekningene oppstrøms Iveland og Steinsfoss er betingelsene for denne blandsonekjemien til stede. Det kan føre til at vannkvaliteten er giftig for fisk en større del av året og på en lengere strekning enn det en kommer fram til ved å se på pH og aluminium alene.

Beregningene for Iveland viser at maksimal vannføring i lokalfeltet vil gi en betydelig reduksjon i pH i Otra, selv om vannføringen i Otra er 20 m³/s. Ved middelvannføring i lokalfeltet er situasjonen langt bedre, men det hjelper lite hvis fisken allerede er død ved høyere vannføringer. For Otra på strekingen Kringsjø-Steinsfoss (figur 2) er situasjonen langt mer alvorlig fordi nesten enhver kombinasjon av pH og aktuell minstevannføring gir en betydelig forverring av vannkvaliteten i Otra. Det lokale nedbørfeltet oppstrøms Kringsjø er noe mindre enn nedbørfeltet oppstrøms Iveland kraftstasjon. Det vil si at de beregningene som er gjort for Ivelandfeltet til en viss grad vil gjelde også for dette feltet.

Vinteren vil være spesielt kritisk for fisk som måtte oppholde seg på de aktuelle elvestrekningene, fordi kun lave minstevannføringer (1 og 2 m³/s) er aktuelle. Milde vintre kan gi avrenningsforhold som er typiske for høstflommer, men stor nitrogenavrenning pga manglende opptak i vegetasjon og tele i bakken kan gi økt forsuring. Lav temperatur kan forsterke giftvirkningen av aluminium fordi det giftige området utvides. Det kan skje ved at den polymeriseringen av de lavmolekylære, uorganiske Al-forbindelsene (giftige) som finner sted når pH øker ikke skjer i samme grad ved lav temperatur som ved høy temperatur (Lydersen m. fl. 1990).

Hvis det ikke anses som ønskelig å øke vannføringen i Otra på de omtalte strekningene til et nivå som kan sikre overlevelse og reproduksjon av fisk, kan det kalkes i lokalfeltene. For

feltet ved Iveland kan kalken spres i Homevatnet. Det vil trolig være tilstrekkelig til å sikre hele elvestrekningen, fordi strekningen fra dam til Homevatnvassdraget (figur 2) ikke påvirkes i særlig grad av lokalt tilsig. Bekken fra Grunnevatn til Kringsjø må kalkes kontinuerlig for å bedre vannkvaliteten fra Kringsjø og ned til Steinsfoss kraftstasjon. Begge disse tiltakene anses som lette å gjennomføre teknisk. Antatt totalkostnad for kalk er omkring kr. 300.000.- per år.

5.2. Strekningen Vennesla - sjøen

5.2.1. Surhet

Gjennomsnittsbetraktninger er i virkeligheten lite relevant når vi diskuterer surhet og levestandard for fisk og andre organismer. Relativt korte episoder med giftig vannkvalitet forårsaket av syreutslipp er i seg selv kritiske. Med en midlere reduksjon i pH fra 5.5 til 5.1-5.3, oppstår det meget lett episoder som er skadelige for fisk. En økning av minstevannføringen til 80 m³/s har derfor kun marginal betydning for fisken i elva. En reduksjon til 30 m³/s vil gi redusert pH, men situasjonen vil ikke bli vesentlig endret for fisken.

Reduserte utslipp fra Hunsfos Fabrikker kan gi fisk muligheter for overlevelse gjennom lengre tid. Hvis utslippene har en pH over 4.0 i den samme vannmengde fra fabrikken som er brukt i beregningene, reduseres pH i Otra mindre enn 0.2 pH-enheter ved vannføringer i Otra på 50 m³/s eller mer. Hvis vannføringen reduseres til 30 m³/s, stilles det noe større krav til utslippet fra fabrikken.

En økning av pH i Otra til 6.0, f.eks. ved at Byglandsfjorden kalkes, vil stille enda større krav til kvaliteten på industriutslippet for å hindre betydelig reduksjon i pH (pH > 4.5 ved 50 m³/s). Hvis deler av prosessen ved Hunsfos Fabrikker legges om og det skjer en nøytralisering av de øvrige sure utslipp, vil det være en betydelig sikkerhetsmargin for vannkvaliteten på disse utslippene.

5.2.2. Eutrofiering

Det er gjort beregninger av hvilken effekt ulike reduksjoner av fosfor (50 og 75 % reduksjon) i nedre Otra vil ha for vannkvaliteten. Nivået ved vannføringer under 150 m³/s vil være sterkt avhengig av graden av P-opptak i elvestrengen. Det er her antydning en betydelig retensjon utfra de lave nitrat-konsentrasjonene som er registrert ved lave vannføringer.

Uansett retensjonsgrad gir reduserte utslipp i denne størrelsesorden sannsynligvis en betydelig effekt på forurensningssituasjonen. Ved 50 m³/s vil P-konsentrasjonen komme ned på et nivå som vanligvis ikke oppfattes som et stort problem. Her skal en imidlertid huske på at den økningen som finner sted i dag i stor grad skyldes lett tilgjengelig P. Selv små

økninger kan derfor gi grunnlag for økt vekst av uønsket begroing og vegetasjon i elvestrengen.

En reduksjon i middelvanntføring til 30 m³/s vil gi et P-nivå som sannsynligvis ikke er akseptabelt, selv om P-utslippet reduseres med 50 %. En økning til 80 m³/s kan da ha en relativt stor betydning for forurensningssituasjonen. Den "riktige" minstevanntføringen vil være svært avhengig av både den reduksjonen i utslipp som finner sted og den selvrensingsevne som vil gjelde ved de nye utslippsnivåene. Lavere utslippsnivå kan gi grunnlag for en redusert vekst i vassdraget og dermed redusere den selvrensing som finner sted i dag. Det vil sannsynligvis også være slik at reduserte utslipp gjør vanntføringen til en mere kritisk faktor for vannkvaliteten enn den er i dag.

5.2.3. Saprobiering

Dagens utslipp av organisk stoff til Otra gir grunnlag for en betydelig og sjenerende begroing av sopp. Endring av minstevanntføring til 30 eller 80 m³/s spiller en helt marginal rolle for begroingen fordi konsentrasjonen av organisk materiale fortsatt vil være høy. Med dagens utslippsnivå er konsentrasjonen ved 50 m³/s fire ganger høyere enn bakgrunnsnivået i elva. Utslippene må reduseres svært mye før vanntføringen kan bli en viktig begrensende faktor for soppbegrøing.

En reduksjon av utslippene til det halve vil fortsatt gi høy konsentrasjon av organisk stoff målt som kjemisk oksygenforbruk (KOF), selv ved en vanntføring på 80 m³/s. 75 % reduksjon og minstevanntføring på 80 m³/s kan gjøre forholdene bedre. Det avhenger av selvrensingsevnen i elva. Her kan vannets surhet spille en viktig rolle. Hvis syreutslippene opphører, kan nedbrytingen av soppen skje raskere. Det kan igjen føre til redusert akkumulasjon av biomasse. Hvis utslippene av organisk stoff reduseres med 75 %, syreutslippene opphører og fosforutslippene reduseres betydelig, kan den samlede effekt føre til at vanntføringen blir en kritisk faktor. Den vannkvaliteten vi da opererer med vil være så forskjellig fra dagens at vi ikke på forhånd kan slå fast effektene på soppbegrøing eller effektene av endret minstevanntføring.

Undervannsvegetasjonen vil få økte muligheter til å slå seg opp hvis soppbegrøingen reduseres. Vi kan ikke på forhånd fastslå hvilke arter som vil kunne dominere eller hvilke følger endringene kan få for elvas utseende. Soppbegrøing vil sannsynligvis forekomme umiddelbart nedstrøms utslippspunktet så lenge det skjer utslipp fra fabrikk. Ved store reduksjoner kan det imidlertid utvikles et normalt vegetasjonssamfunn nedover i elva.

Hvis soppbegrøingen avtar til et minimum, vil det gi grunnlag for en vesentlig endring av bunndyrsamfunnet på strekningen Vennesla-sjøen. Dette samfunnet er i dag sterkt preget av det spesielle substratet som finnes der (Hindar m. fl., 1990). Et mer naturlig bunndyrsamfunn vil trolig være en forutsetning for å utnytte elvas potensiale for fiskeproduksjon fullt ut.

6. LITTERATUR

Grande, M., Wright, R. F., Brettum, P., Lindgaard, T. og Romstad, R. 1982. Otra 1981. Rutineovervåking. Overvåkingsrapport 55/82. O-8000208, SFT/NIVA, Oslo, 74 s.

Hindar, A. og Grande, M. 1987. Otra 1980-86. Tiltaksorientert overvåking. SFT/NIVA. Overvåkingsrapport 292/87. 106 s.

Hindar, A., Aanes, K.J. og Bækken, T. 1990. Otra 1987-1990. Tiltaksorientert overvåking. Overvåkingsrapport 472/91, SFT/NIVA. 68 s.

Holtan, H. (red.) 1989. Vannkvalitetskriterier for ferskvann. Håndbok (perm) i seks seksjoner. NIVA/SFT.

Holtan, H. og Åstebøl, S.O. 1990. Håndbok i innsamling av data om forurensningstilførsler til vassdrag og fjorder. O-89043/O-892301. NIVA/JORDFORSK. 53 s.

Lydersen, E., Salbu, B., Poleo, A.B.S. and Muniz, I.P. 1990. The influence of temperature on aqueous aluminium chemistry. *Water, Air, and Soil Pollution* 51: 203-215.

Ormerod, J.G., Grynne, B. and Ormerod, K.S. 1966. Chemical and physical factors involved in the heterotrophic growth response to organic pollution. *Verh. int. Verein theor. angew. Limnol.* 16: 906-910.

Painter, H.A. 1954. Factors affecting the growth of some fungi associated with sewage purification. *J. Gen. Microbiol.* 10: 177-190.

Rosseland, B.O., Blakar, I.A., 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. Pollut.* 78: 3-8.

Styringsgruppen for flerbruksplan for Nedre Otra, 1989. Flerbruksplan for Nedre Otra. 91 s.

Traaen, T. og Johannessen, M. 1987. Tiltak for å bedre vannkvaliteten i Otravassdraget. Tiltaksorientert overvåking. Overvåkingsrapport 301/88, SFT/NIVA. 29 s.

Vennerød, K. 1984. Håndbok i innsamling av data om forurensningstilførsler til vassdrag og fjorder. O-82014. NIVA. 48 s.

NIVA



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

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

ISBN 82-577-2531-5