Vekst av krypsiv i elver

Betydningen av redusert vannføring i forhold til andre miljøendringer

Stein W. Johansen, NIVA

8
2006

RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

FoU-programmet Miljøbasert vannføring

Programmet Miljøbasert vannføring har som mål å skaffe økt kunnskap om virkninger av sterkt redusert vannføring i vassdrag, slik at forvaltningen får et bedre faglig grunnlag for å fastsette vannføringen ved inngrep i vassdrag. Dette er aktuelt i forbindelse med nye vassdragskonsesjoner, revisjon av vilkår i gamle konsesjoner og som følge av den nye vannressursloven og EUs rammedirektiv for vann. Programmet finansieres av Olje- og energidepartementet og er forankret i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Programmets fase I har en tidsramme på fem år (2001-2005). Programmet er organisert med en styringsgruppe, bestående av representanter fra NVE med lederansvar, energibransjen, naturforvaltningen og interesseorganisasjoner, og et fagutvalg der ulike fagområder er representert. Den daglige ledelse og administrasjon av programmet er knyttet til Vannressursavdelingen i NVE.

Vekst av krypsiv i elver

Betydningen av redusert vannføring i forhold til andre miljøendringer

Norges vassdrags- og energidirektorat
2006

Rapport nr. 8 - 2006

Vekst av krypsiv i elver
Betydningen av redusert vannføring i forhold til andre miljøendringer

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Stein W. Johansen, Norsk institutt for vannforskning

Forsidefoto: Krypsiv i Tovdalselva, v/ Stein W. Johansen
ISSN: 1502-234X
ISBN: 82-410-0585-7

Sammendrag: Målet hatt vært å systematisere årsaksforholdene omkring vekst av krypsiv, basert på eksisterende og nye data generert i vassdragene Vikedalselva, Suldalslågen, Bjerkereimselva, Mandalselva og Tovdalselva frem til og med 2004. For vassdragene er det innhentet data om vannføring, -temperatur og -kvalitet tilbake til 1980. De er bearbeidet og illustrert for å dokumentere tidsutvikling og trender i miljøforholdene for krypsiv i perioden før og etter registreringer av krypsiv startet. Gjennomgang av de ulike vannføringsregimer kombinert med observasjoner av krypsivvekst og ulike miljøvariabler, viser at naturen er komplisert og det er vanskelig å finne entydige sammenhenger. Både regimer med utjevnet vannføring som følge av regulering, og naturlige vannføringsregimer med stor grad av variasjon, har gitt grunnlag for god krypsivvekst. Fellesnevneren har vært tilstedeværelsen av optimale habitater for krypsiv, dvs. sakteflytende partier med en stor grad av finmateriale i substratet og med tilstrekkelig dybde også i perioder med lav vannføring. Motsvarende har vi sett at de samme regimer ikke har gitt grunnlag for god vekst av krypsiv når substratet har vært for grovt eller strømhastigheten for stor.

Ved fastsettelse av miljøbasert vannføring med tanke på å hindre vekst av krypsiv, bør følgende momenter være med:
- dagens tilstand: Kartlegging av mulig utbredelse og omfang.
- substrat: Vurdering av substratet på aktuell vassdragstreng for å vurdere forventet tilstand med nytt vannføringsregime.
- absolutt minstevannføring: Dette nivået vil være avgjørende for størrelsen på arealer med mulig overlevelse av krypsiv generelt, og spesielt i vinterperioden.
- variabiliteten i vannføringen: Nødvendig variabilitet, inkl. spyleflommer, må vurderes i forhold til dagens tilstand mhp. krypsiv, substrat og absolutt minstevannføring.

Emneord: Krypsiv, vannføring, temperatur, vannkvalitet, tidstrender.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua, 0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Internett: www.nve.no

Mars 2006

Innhold

Sammendrag 9
1. Innledning 12
2. Om krypsiv 13
3. Materiale og metoder 13
    3.1 Materiale 13
    3.2 Metoder 14
4. Miljøforhold i de enkelte vassdrag og vekst av krypsiv 15
    4.1 Vikedalsvassdraget 15
        4.1.1 Hydrologi 15
        4.1.2 Temperatur 16
        4.1.3 Vannkvalitet 17
        4.1.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling 17
    4.2 Suldalslågen 20
        4.2.1 Hydrologi 20
        4.2.2 Temperatur 21
        4.2.3 Vannkvalitet 22
        4.2.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling 22
    4.3 Bjerkereimsvassdraget 32
        4.3.1 Hydrologi 32
        4.3.2 Temperatur 32
        4.3.3 Vannkvalitet 34
        4.3.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling 35
    4.4 Mandalsvassdraget 36
        4.4.1 Hydrologi 36
        4.4.2 Temperatur 38
        4.4.3 Vannkvalitet 40
        4.4.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling 41
    4.5 Tovdalsvassdraget 43
        4.5.1 Hydrologi 43
        4.5.2 Temperatur 44
        4.5.3 Vannkvalitet 45
        4.5.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling 45
5. Kobling av miljøforhold til vekst av krypsiv 47
    5.1 Vikedalsvassdraget 47
    5.2 Bjerkereimsvassdraget 48
    5.3 Tovdalsvassdraget 48
    5.4 Mandalsvassdraget 50
    5.5 Suldalslågen 52
6. Miljøbasert vannføring og vekst av krypsiv 55
7. Referanser 61

Forord

Kraftig vekst av krypsiv (*Juncus bulbosus*), er et stort problem i flere vassdrag på Sørlandet. Normalt er krypsiv en liten og uanselig plante, men under visse betingelser kan den danne store og tettvokste bestander, ofte med matter i overflaten. Dette skaper ulemper for ulike former for friluftsliv, som bading, fiske og båtliv. Den kan også ha negativ innvirkning på laksebestanden. Overflatematter med krypsiv oppfattes også som et estetisk problem. Tidligere undersøkelser fant at de fleste problemområder lå i regulerte elveavsnitt med redusert vannføring, men i løpet av de siste årene er problemet også rapportert fra uregulerte elver og innsjøer. Årsakene til problemveksten er trolig sammensatt og andre faktorer som kalking, langtransportert forurensning og klimaendringer kan være medvirkende årsaker.

Det er derfor et stort behov for å finne fram til hva som forårsaker problemveksten. FoU-programmet Miljøbasert vannføring har bevilget midler til Norsk institutt for vannforskning (NIVA) for å klargjøre betydningen av redusert vannføring i forhold til andre miljøendringer. Denne kunnskapen vil være nyttig for forvaltningen både sentralt og lokalt, og som grunnlag for arbeid med ulike praktiske tiltak. Det er imidlertid behov for videre forskning for å finne fram til de mest kostnadseffektive tiltakene for bekjempelse av krypsiv.

Oslo, mars 2006

Haavard Østhagen
leder styringsgruppe

John Brittain
programleder

Sammendrag

Under FoU-programmet Miljøbasert vannføring har det vært arbeidet videre med vekst av krypsiv i elver, og prosjektet har hatt som mål å systematisere årsaksforholdene omkring vekst av krypsiv basert på eksisterende data og nye data generert i vassdragene frem til og med 2004. Den nye kunnskapen skal kunne brukes i beslutningsverktøy for fastsettelse av miljøbasert vannføring i forhold til uønsket krypsivtilgroing.

Status for forekomst og vekst av krypsiv er gjennomgått for de 5 vassdragene Vikedalselva, Suldalslågen, Bjerkereimselva, Mandalselva og Tovdalselva. Det er tatt utgangspunkt i lokaliteter i hvert vassdrag med årlige registreringer i form av bildedokumentasjon. Lengden på tidsserier varier fra 3 til 17 år. For alle vassdragene er det innhentet data om vannføring, vanntemperatur og vannkvalitet tilbake til 1980. Dataene er bearbeidet og illustrert med tanke på å dokumentere tidsutvikling i miljøforholdene for krypsiv i vassdragene i perioden før og etter registreringer av krypsiv startet. Analyse av tidstrender har gitt følgende resultater:

Vikedalsvassdraget. I Vikedalsvassdraget var det ingen av de etablerte overvåkingslokaliteter som viste noen statistisk signifikante trender med hensyn på vekst av krypsiv i perioden 1996-2004. Likevel er det tendenser til økt forekomst av krypsiv på noen av lokalitetene og også klovasshår på en lokalitet innenfor registreringsperioden. Blant miljøvariablene ble det i samme periode påvist økende middelvannføring i vår sommer perioden og økning i middeltemperaturen om vinteren som begge kan tenkes å kunne bidra til økt vekst og overlevelse av planter generelt. En økning i pH kan også tenkes indirekte å kunne ha stimulert til bedre forhold for krypsiv ved økt nedbrytning av organisk materiale og dermed økt tilgang på CO_2 i vannfasen. Disse positive elementene har likevel ikke ført til noen stor endring i miljøforholdene som har fått krypsiv til å vokse betydelig bedre de siste 10 årene. Man kan tenke seg at det naturlige vannføringsregimet fortsatt er styrende for planteveksten i dette vassdraget og at krypsiv synes å holdes nede på et lavt nivå på typiske elvelokaliteter.

Suldalslågen. I Suldalslågen ble det funnet en rekke signifikante trender både for krypsiv og klovasshår for enkeltlokaliteter og for middelverdier av ulike lokalitetstyper over kortere og lengre perioder i tidsrommet 1988-2004. Felles for disse trendene var med få unntak signifikant økning i både krypsiv og klovasshår i de områder av elva som hadde substrat og strømforhold tilpasset disse plantene. Det ble også konstatert trender i flere miljøvariable. Koblet til trender i krypsiv og klovasshår var det flere parametre innen vannføring, vanntemperatur og vannkvalitet som var med på å forklare trender i veksten av både krypsiv og klovasshår. Det var imidlertid vanskelig å finne klare entydige parametre som kunne forklare alt innen de ulike perioder. Ser en på materialet fra Suldalslågen samlet synes det som om nedgangen i middelvannføring, signifikant vannføring og også variansen i de årlige døgnmiddelvannføringer kombinert med en økt temperatur i elva, har vært styrende for den utviklingen vi ser i dag. Forholdene for plantevekst er blitt bedre og har ført til den økte dekningsgrad av både krypsiv og klovasshår på de lokaliteter som i utgangspunktet har et gunstig habitat for disse plantene. Arealet med gunstig habitat kan også ha økt siden redusert vannføring gir mindre strømhastighet og mindre transport av finmateriale ut av systemet. Denne problemstillingen er direkte relatert til miljøbasert vannføring.

Bjerkereimsvassdraget. I Bjerkereimsvassdraget var det ingen av de etablerte overvåkingslokaliteter som viste noen statistisk signifikante trender med hensyn på vekst av krypsiv. Utvalget av lokaliteter var begrenset både i tid og rom og de få lokaliteter som var, hadde heller ikke optimale forhold med hensyn på substrat og strømhastighet for krypsiv. Et unntak var nederste lokaliteten i vassdraget som hadde stor dekning av krypsiv i starten og hvor det ble påvist en ikke signifikant nedadgående trend i perioden 1997-2001. I samme periode var det en ikke signifikant økende trend i årlig middel og signifikant vannføring samt en svak økning i min og maks temperatur. Det var samtidig ingen signifikante trender i vannkvalitetsparameterene. Denne kombinasjonen av miljøforhold gav ingen entydig verken gunstig eller ugunstig situasjon for krypsiv. Mens temperaturen kan ha gitt gunstigere vekstforhold, kan økningen i signifikant vannføring i denne perioden ha bidratt negativt ved å opprettholde et høyt erosjonstrykk og dermed hindret ekspansjon av krypsiv. Flommen høsten 2000 viste trolig også at store bestander av krypsiv kan eroderes kraftig i naturlige systemer og at vannføringen også her er styrende for planteveksten.

Mandalsvassdraget. I Mandalsvassdraget var det 3 lokaliteter med signifikant økende krypsivtrender og 3 lokaliteter med ikke signifikant positiv trend. Totalt sett tyder dette på økt mengde krypsiv i vassdraget i perioden 1996-2004. I den samme perioden var det ingen signifikante trender i årlige vannføringsparametre, med unntak av maks vannføringer ved Smeland kr.st.. Temperaturmessig har det både ved Kjølemo og Håverstad vært en økende trend i middeltemperatur over året, men den er ikke signifikant. Vannkvaliteten viser ingen signifikante trender på ukalkede referanselokaliteter, mens på de kalkpåvirkede har det vært statistisk signifikant økende trender i pH, Ca, ALK-E og i ett tilfelle TOC. Endring i vannkvaliteten som følge av kalkingen og med det positiv CO_2 effekt, synes å ha en større forklaring på økt forekomst av krypsiv på flere lokaliteter i forhold til trender i vannføring og temperatur. En liten kontrast til dette er situasjonen nedstrøms Håverstad kr.st., hvor det er bygd opp store bestander av krypsiv uten kalkpåvirkning før 1996 og hvor bestandene har holdt seg tilnærmet på samme nivå i hele perioden med kalkpåvirkning. I dette tilfellet har utjevnet vannføring over året og stabil høy vintervannføring vært utløsende faktor for den gode krypsivveksten. Senere kan kalkingen ha gjort forholdene ennå gunstigere for krypsiv dersom CO_2 effekten er reell. Rask gjenvekst av krypsiv på renske arealer, samt meget god vekst av årsskudd av krypsiv i dette området etter kalking kan tyde på dette.

Tovdalsvassdraget. I Tovdalsvassdraget var det i perioden 1995-2004 2 lokaliteter med signifikant økt dekning av krypsiv og 2 lokaliteter som hadde økt dekning men ikke signifikant. I tillegg var det en lokalitet nederst i elva med i utgangspunktet høy krypsivdekning, som hadde en ikke signifikant nedgang. I den samme perioden var det ingen signifikante trender i vannføringsparametre, mens det har vært en økende middeltemperatur i vannet på våren og i vekstsesongen. På kalkede lokaliteter har det vært en signifikant økning i pH, Ca, Alk-E og TOC. På referanselokaliteten har det også vært en signifikant økning i pH og TOC i samme periode. For begge lokalitetene med signifikant økende trender i dekning av krypsiv er det trender i vannkvaliteten som gir størst forklaringsgrad. Vannføringsparametrene spiller mindre rolle. Som en mulig forklaring på at vannkvaliteten i form av økende pH har gitt økt vekst av krypsiv enkelte steder, kan det ha en mulig forklaring i CO_2-tilgangen for plantene. Krypsiv er en CO_2-plante og alle faktorer som bidrar til økt CO_2 i vannfasen kan dermed tenkes å påvirke krypsivveksten. I tilfellet Tovdalsvassdraget vil økende pH medføre økt nedbrytning av organisk materiale i systemet som kan frigjøre mer CO_2 til vannfasen. Den økende trenden i TOC kan også sammen med økt pH medføre økt

tilgang på CO_2 ved nedbryting. En generell økning av CO_2-nivået i atmosfæren vil også bidra positivt i samme retning siden det alltid vil tilstrebes likevekt mellom CO_2 i atmosfæren og i vannet.

Miljøbasert vannføring og vekst av krypsiv. En gjennomgang av de ulike vannføringsregimer i de 5 vassdragene kombinert med observasjoner av krypsivvekst og ulike miljøvariabler, viser at naturen fortsatt er komplisert og at det er vanskelig å finne entydige sammenhenger som forklarer alt. Imidlertid synes enkelte faktorer å ha en avgjørende betydning i forhold til andre faktorer når det gjelder vekst av krypsiv. I utgangspunktet synes foruten den selvfølge at planten må være til stede i vassdraget, substratet å være helt avgjørende. Vi har sett at både regimer med utjevnet vannføring som følge av regulering og naturlige vannføringsregimer med stor grad av variasjon har gitt grunnlag for god vekst av krypsiv. Fellesnevneren har vært tilstedeværelsen av optimale habitater for krypsiv, dvs. sakteflytende partier med en stor grad av finmateriale i substratet og med tilstrekkelig dybde også i perioder med lav vannføring. Motsvarende har vi også sett at de samme regimer ikke har gitt grunnlag for god vekst av krypsiv når substratet har vært for grovt eller strømhastigheten for stor. Når det gjelder både vanntemperatur og vannkvalitet synes det som om krypsiv har stor toleransegrense for begge elementer. Planten vokser godt under både kalde reguleringspåvirkede regimer og normaltemperatur-regimer i elver. Planten har vist å kunne utvikle god vekst både i svært surt vann med pH < 5 og kalket vann hvor pH går opp mot 6,5. I tilfellet kalking og god vekst av krypsiv i elver, kan dette skyldes en indirekte effekt ved at høy pH øker nedbrytning av organisk materiale som medfører økt CO_2 -konsentrasjon i vannfasen der krypsiv vokser. Dette er ikke undersøkt konkret i vassdragene våre men burde vært gjort. En kalket vannkvalitet er i seg selv ikke spesielt gunstig for krypsiv.

Som innspill til fastsettelse av miljøbasert vannføring i et vassdrag eller deler av et vassdrag, med tanke på å hindre vekst av krypsiv, bør følgende momenter være med:

- dagens tilstand mhp. krypsiv: En kartlegging av mulig utbredelse og omfang vil gi nødvendig informasjon om plantens eventuelle tilstedeværelse og voksemåte under nåværende vannføringsregime dersom dette ikke er kjent.

- substrat: En vurdering av substratet på den aktuelle vassdragsstreng vil være helt nødvendig for å kunne vurdere en forventet tilstand med et nytt vannføringsregime.

- absolutt minstevannføring: Nivået på absolutt minstevannføring vil være avgjørende for størrelsen på arealer med mulig overlevelse av krypsiv generelt og spesielt i vinterperioden.

- variabiliteten i vannføringen: Nødvendig variabilitet i vannføringen inklusive spyleflommer, må vurderes i forhold til dagens tilstand mhp. krypsiv, substrat og absolutt minstevannføring.

1. Innledning

I 2000 ble det laget en kunnskapstatus over konsekvenser av reguleringsinngrep på vannvegetasjon i elver under NVEs vassdragsmiljøprogram (Johansen m.fl. 2000). I denne rapporten ble det lagt vesentlig vekt på tilgroing av krypsiv og mulige årsaker til dette. Rapporten konkluderte med at de aller fleste problemområdene med krypsiv fantes på regulerte elveavsnitt og at regulering fremsto som en viktig faktor for problemvekst av krypsiv i elver. I samme rapporten ble det gjort en sammenligning av observert krypsivvekst i Mandalselva (sterkt regulert) og Tovdalselva (lite regulert) koblet til en del miljøforhold som klima, hydrologi og vannkvalitet. I perioden 1995-2000 hadde vekst av årsskudd av krypsiv vært tilnærmet like god i begge vassdrag. For perioden 1980-2000 viste sammenligningen at den vesentlige faktoren som skilte disse vassdragene var omfanget av reguleringsinngrep. Både eventuelle naturlige klimarelaterte svingninger i nedbør og temperatur, forsuring og kalking og eventuelle påvirkninger av økte næringstilførsler syntes å virke likt i de to vassdragene. Det ble påpekt at milde vintre med mye nedbør kunne være årsaken til lite tap av krypsivplanter i deler av Tovdalselva som ikke var regulert og at mildt nedbørrikt klima generelt kunne være årsaksfaktor nummer 2 etter regulering for fremvekst av krypsiv i Sørlands-vassdragene.

"Krypsivprosjektet på Sørlandet" ble etablert i 2002. I forkant av oppstart av dette prosjektet, ble det som et forprosjekt utarbeidet en rapport "Krypsiv i Sørlandsvassdrag", som bl.a. oppsummerer resultatene fra en spørreundersøkelse til kommunene i Vest-Agder og Birkenes i Aust-Agder om status for krypsiv i vassdragene (Lynnebakken og Moe 2001). Generelt konkluderte rapporten med at det var økende problemer med tilgroing av krypsiv i vassdragene på Sørlandet. For Tovdals-vassdraget ble det opplyst at den uønskede krypsivveksten startet på 80-tallet. På strekningen fra utløp Herefossfjorden og nedover startet veksten i 90-årene og ble oppgitt å være i sterk økning. Tovdalsvassdraget ble vurdert å være et interessant vassdrag siden problemveksten var nokså ny og sterkt økende (Lynnebakken og Moe 2001).

Straks etter oppstart av "Krypsivprosjektet på Sørlandet", ble noe av innsatsen kanalisert til å få en oversikt over hva som fantes av krypsivdata i Sørlandsvassdragene og om noen av disse data-settene var egnet til å gå videre med i tilfellet årsaksforklaringen til problemvekst av krypsiv (Hindar m.fl. 2003). I forbindelse med dette arbeidet ble det funnet få datasett med tidsutvikling fra samme sted, noe som begrenser bruken av data mot endringer som går over lang tid og som eventuelt har stor årlig variasjon (forsuring, klimavariasjon). Innledende analyser av krypsivdata fra Tovdal- og Mandalselva viste at analyser basert på funn/ikke funn av krypsiv gav liten informasjon om hvilke faktorer som påvirket krypsiv. Dette skyldes at krypsiv er vidt utbredt og at planten er svært tolerant overfor variasjon i miljøet. Problemvekst kjennetegnes bl.a. av høy dekningsgrad for krypsiv. Analysen av dekningsgrad viste at strømhastighet var viktigst for variasjon i dekningsgrad. Det ble også funnet en uavhengig tidstrend som forklarte mye av variasjonen. Videre kunne sommertemperatur (både i luft og vann), høyde over havet og organisk karbon (TOC) i vannet forklare deler av variasjonen.

Under FoU-programmet Miljøbasert vannføring har det vært arbeidet videre med vekst av krypsiv i elver og prosjektet har hatt som mål å systematisere årsaksforholdene omkring vekst av krypsiv basert på eksisterende data og nye data generert i vassdragene frem til og med 2004. Den nye kunnskapen skal kunne brukes i beslutningsverktøy for fastsettelse av miljøbasert vannføring i forhold til uønsket krypsivtilgroing.

I løpet av de senere år har ulike prosjekter gitt muligheten for å følge med tidsutvikling i vann-vegetasjonssamfunnet, inklusive krypsiv. I dette prosjektet har en benyttet data samlet inn i forbindelse med overvåking av biologisk mangfold i Vikedalsvassdraget (Forskref) (Bongard m.fl. 2002), reguleringsundersøkelser i Suldalslågen (Johansen og Lindstrøm 2004), kalkingsovervåking

og FoU-prosjekt om grønnalger og kalking i Bjerkereimsvassdraget (Lindstrøm og Johansen 2001, DN 2002) og kalkingsovervåking i Mandalsvassdraget og Tovdalsvassdraget (DN 2005). Miljø-basert vannføring prosjektet om krypsiv har gjort det mulig å følge utviklingen videre i Suldals-lågen i 2004 etter at overvåkningen tok slutt i 2003. I Mandalsvassdraget har prosjektet bidratt til oppfølging av gjenvekst på renskede arealer til og med 2005-sesongen.

2. Om krypsiv

I utgangspunktet er krypsiv en liten rosettplante (isoetide) som vokser sammen med andre rosett-planter som brasmegras, botnegras og tjønngras i innsjøer og stilleflytende partier i elver i hele Sør-Norge. Planten er flerårig og kan lenge stå som små 10-20 cm høye enkeltrosetter og bare addere til nye blader til den samme rosetten. Problemvekst oppstår på grunnlag av dannelsen av sideskudd (årsskudd, utløpere) fra rosettplanten som kan vokse opp til vel 1 meter pr. år under "gunstige forhold". Hvert sideskudd/årsskudd har ofte nodier med anlegg for røtter og blader for hver 5 – 20 cm oppover stengelen. Fra hvert nodie kan en ny rosettplante eller et nytt sideskudd/ -årsskudd utvikle seg påfølgende vekstsesong.

En rosettplante kan på denne måten gi opphav til 3 m lange planter over flere år. Både i innsjøer og elver er optimal dyp 0,5 – 1,5 m, mens den i begge tilfeller kan komme til overflaten på 2,5 – 3 m dyp. I innsjøer og stille partier i elver vokser plantene til overflaten og kan som et sluttstadium danne tette grønne overflatematter med frøsetting. I elver med mer strøm danner rosettplantene krypende utløpere som gir opphav til nye rosettplanter nedstrøms de gamle. På denne måten fortettes rosettplantene til sammenhengende tepper av krypsiv på elvebunnen. Strømhastigheten vil avgjøre om sideskudd kan nå overflaten og utvikle tette bestander der, eller om teppet av kortvokst krypsiv forblir under vannflaten.

Krypsiv kan altså opptre med flere ulike vekstformer avhengig av hvordan miljøfaktorene virker (Johansen m.fl. 2000). Denne rapporten har fokus på faktorer som generelt gir vekstforhold for krypsiv i elver.

3. Materiale og metoder

3.1 Materiale

Utgangspunktet for prosjektet var allerede etablerte overvåkingslokaliteter i flere vassdrag hvor det var observert krypsiv i større eller mindre omfang. Alle lokalitetene hadde også vært registrert ved hjelp av undervannsfotografering på en av 3 ulike nivåer, dvs. at bilder er blitt tatt enten i faste ruter, faste transekter eller etter såkalt random sampling innenfor et definert område. I utgangs-punktet var ikke lokalitetene etablert kun med tanke på å observere utviklingen av krypsiv (et par unntak), men utviklingen av vannvegetasjonen generelt, dvs. både karplanter, moser og algebegroing.

Det er valgt ut 5 elver hvor en har totalt 54 lokaliteter med dataserier basert på bildemateriale fra 3 til 17 år. Lokalitetene er registrert fra 1 til 4 ganger pr. år. I tabellen nedenfor er gjort en opp-summering av viktige grunnlagsdata i de aktuelle elvene.

Tabell 1. Oversikt over de ulike vassdrag med lokaliteter som har tidsserier med data om krypsiv.

Vassdrag/ elv:	Antall lokali-teter	Tids-periode	Lengde tidsserier	Uregulert	Regulert	Ukalket	Kalket
Vikedalselva	4	1996-2004	3-9 år	x		x	x
Suldalslågen	30	1988-2004	5-17 år		x	x	x
Bjerkereimselva	4	1997-2001	4-5 år	x	(x)	x	x
Mandalselva	11	1996-2004	3-9 år		x	x	x
Tovdalselva	5	1995-2004	4-10 år	x	(x)	x	x

Vekstmiljøet for krypsiv er karakterisert ved klima generelt, vannføringsforhold, temperaturforhold og vannkvalitet i de enkelte vassdrag. Det er benyttet klimadata fra DNMIs E-klima database, data for døgnmiddelvannføring og døgnmiddeltemperatur fra NVEs database HYDRA II og vann-kvalitetsdata fra SFTs sur nedbør overvåking og DNs kalkingsovervåking. I et tilfelle er det benyttet driftsvannføringsdata fra Agder Energi (Smeland kraftstasjon i Mandalsvassdraget).

3.2 Metoder

Krypsiv. Bildematerialet med forekomst av krypsiv er analysert mhp. å kvantifisere dekningsgrad av krypsiv pr. bilde ned på nivå 0,1 % dekning. For hver lokalitet er det beregnet middelverdier for N=20-39 bilder pr. registreringstidspunkt. I Suldalslågen og Vikedalselva er forekomst av klovass-hår kvantifisert på samme måte.

Klimadata. Utgangspunktet for klimadata har vært månedsmidler for nedbør og temperatur. Det er beregnet årsmidler og årssummer og tilsvarende midler for sesonger gjennom året og mellom registreringstidspunkter for krypsiv.

Vannføring. Utgangspunktet har vært døgnmiddelvannføring ved forskjellige målestasjoner. Det er beregnet minimum-, middel-, median- og maksvannføringer for ulike år og perioder i forhold til registreringstidspunkter for krypsiv. Det er også beregnet årsvolum og signifikant vannføring for perioder. Signifikant vannføring er her definert som middelverdien av de 1/3 høyeste vannføringer i en periode og kan brukes som et mål på erosjonstrykk på plantesamfunnene. For å få et uttrykk for graden av variasjon i vannføringen (variansen) er brukt standard avvik for døgnmiddelvannføringer for en gitt periode. For flere av måleseriene har det vært større eller mindre huller i dataene. Ved mindre huller er benyttet lineær interpolasjon for å få sammenlignbare års eller sesongmidler. Større huller har ført til manglende data i tidsseriene.

Temperatur. Utgangspunktet har vært døgnmiddeltemperatur ved forskjellige målestasjoner. Det er beregnet minimum-, middel-, median- og makstemperaturer for ulike år og perioder i forhold til registreringstidspunkter for krypsiv. Det er også beregnet graddag-summer (akkumulerte døgn-grader) for ulike perioder. For flere av måleseriene har det vært større eller mindre huller i dataene. Ved mindre huller er benyttet lineær interpolasjon for å få sammenlignbare års eller sesongmidler. Større huller har ført til manglende data i tidsseriene.

Vannkvalitet. For de ulike vannkvalitetsparametre er det beregnet årsmiddelverdier og midler for sesonger gjennom året og mellom registreringstidspunkter for krypsiv. De anvendte vannkvalitets-parametre har vært pH, Ca, ALK-E, Konduktivitet, Cl, TOC, NO_3 og Tot-P. For Suldalslågen er også turbiditet tatt med.

Statistiske trendanalyser. For å vurdere eventuelle trender i vekst av krypsiv på de ulike lokaliteter samt trender i de ulike miljøvariabler, er det benyttet en ikkeparametrisk Mann-Kendall Test (Mann 1945, Kendall 1975). Denne statistiske testen undersøker tilstedeværelsen av en monoton økende

eller avtagende trend og beregner et Sen's slope estimat for en eventuell lineær trend basert på årlige verdier (Sen 1968). Sen's slope tolkes akkurat på samme måte som et stigningstall i vanlig regresjon. Mann-Kendall testen krever minst 4 observasjoner, noe som gjør at en del lokaliteter ikke kan testes for trend. Likeledes kreves det minimum 10 observasjoner i en tidsserie for å beregne konfidensintervaller for Sen's slope estimatet. Signifikansnivå for trend/ ikke trend er satt til 0,05 %. I resultattabellene er signifikante trender markert med ***= $p < 0,001$, **= $p < 0,01$, *= $p < 0,05$ og += p litt over men svært nær 0,05.

I de tilfeller hvor man har flere tidspunkter med krypsivregistreringer pr. år, for eksempel vår og høst i Suldalslågen, har man benyttet en "seasonal" Mann-Kendall test (Hirsh & Slack 1984). For å teste om signifikante trender i dekningsgrad av krypsiv på enkelte lokaliteter kan forklares ved hjelp av trender i ulike miljøvariabler har man benyttet en såkalt partial Mann-Kendall test (PMK-test) (Libiseller & Grimvall 2002). Signifikansnivåer er de samme som nevnt ovenfor.

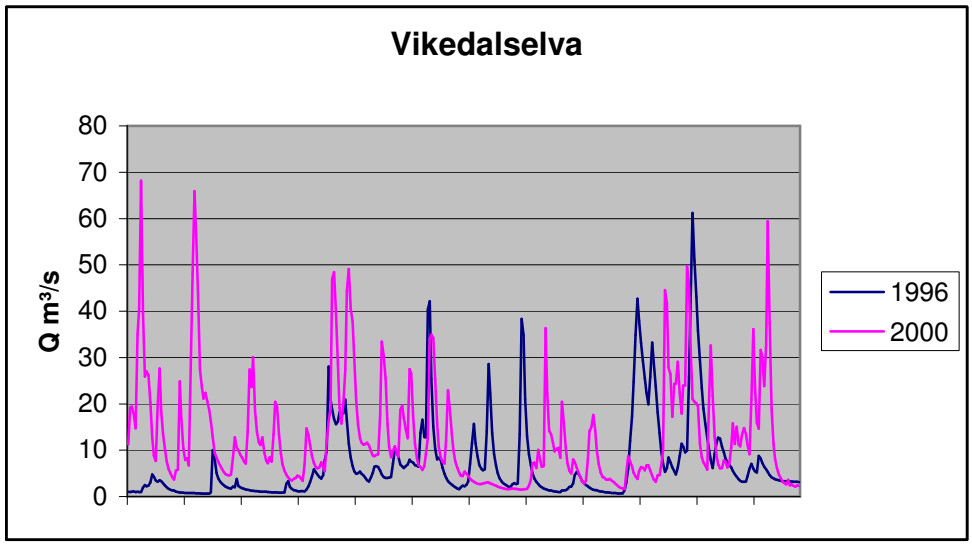
4. Miljøforhold i de enkelte vassdrag og vekst av krypsiv

4.1 Vikedalsvassdraget

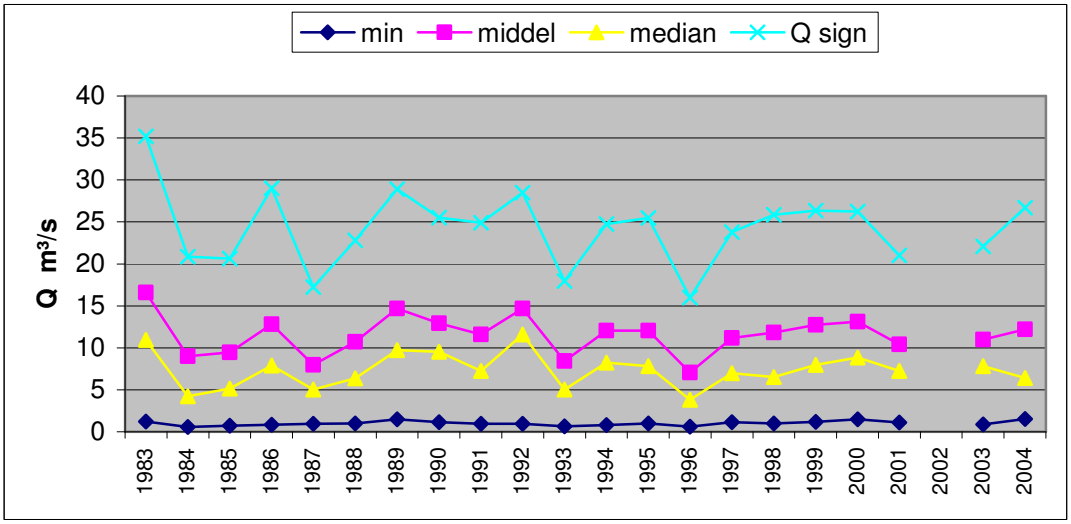
Vikedalselva ligger i Rogaland og har et nedbørfelt på 118,4 km². Elva er uregulert med en middel-vannføring på 10,3 m³/s. Normal årsnedbør ligger på 2816 mm. Elva har vært kalket siden 1987.

4.1.1 Hydrologi

Det hydrologiske regimet i Vikedalsvassdraget er illustrert i figur 1 ved døgnmiddelvannføringer i et tørt og et vått år innenfor perioden med krypsivregistreringer. Begge årene er karakterisert ved stor variasjon i vannføring. Vannføringen kan gå ned mot 0,6 m³/s både sommer og vinter både for kortere og lengre perioder. Tilsvarende kan en ha hyppige regnflommer til alle årstider, også i vinterperioden. Tidsutvikling i vannføringen er fremstilt i figur 2. Det ble ikke funnet noen signifikant trend i de årlige minimums- eller maksimumsvannføringer, samt middel-, median- og signifikant vannføring for måleperioden 1983-2004. For perioden 1996-2004 med krypsiv-registreringer ble det funnet en signifikant ($p < 0,01$) økning i middelvannføringen i vår-sommer perioden.



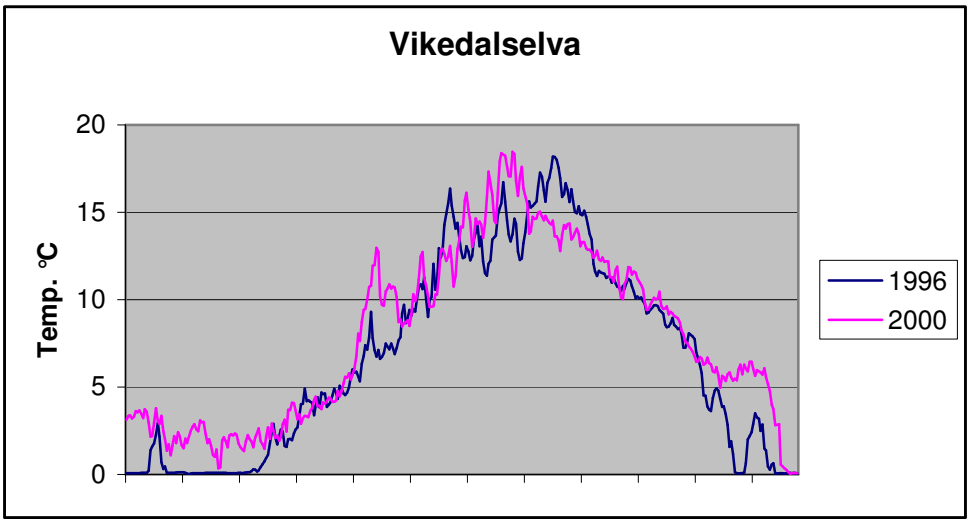
Figur 1. Døgnmiddelvannføring i Vikedalselva målt ved Holmen i et tørt år (1996) og et vått år (2000) i perioden med krypsivregistreringer. Middelvannføringen var på henholdsvis 7,1 og 13,1 m³/s de 2 årene.



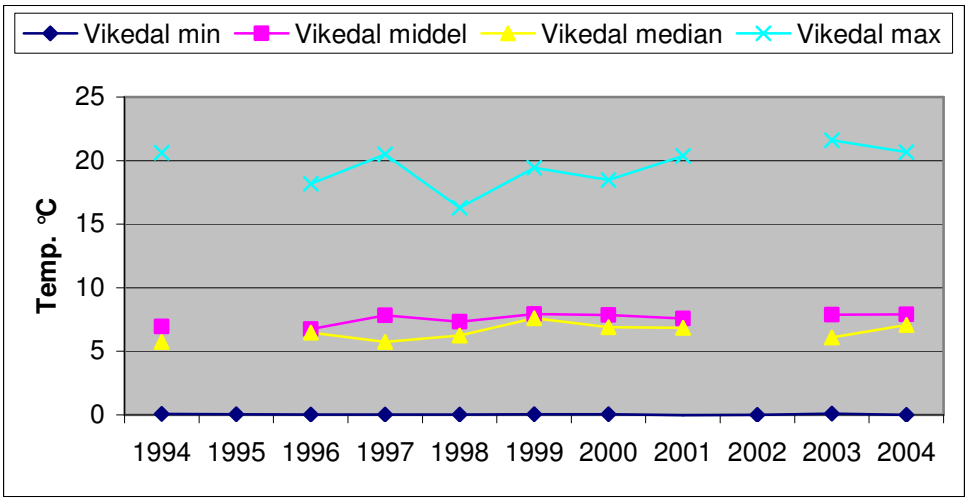
Figur 2. Tidsutvikling for vannføringsparametre i Vikedalselva i perioden 1983-2004. Årlige minimums-, middel- og medianvannføringer samt beregnet signifikant vannføring.

4.1.2 Temperatur

Temperatur regimet i Vikedalsvassdraget er illustrert i figur 3 ved døgnmiddeltemperaturer i et tørt og et vått år innenfor perioden med krypsivregistreringer. I et tørt og kaldt år kommer temperaturen i elva ned mot 0°C i lengre perioder om vinteren og sjansen for isdannelse er stor. I et vått år som 2000 holdt temperaturen seg godt over 0°C hele vinteren som følge av mildvær og relativ høy vannføring. Tidsutvikling i vanntemperatur er fremstilt i figur 4. For perioden 1994-2004 er det funnet en signifikant ($p < 0,05$) økning i årsmiddeltemperaturen og i vinter-vår-perioden. For perioden med krypsivregistreringer 1996-2004 er det bare funnet en svak signinfikant ($p = 0,05$) økning i middeltemperaturen om vinteren.



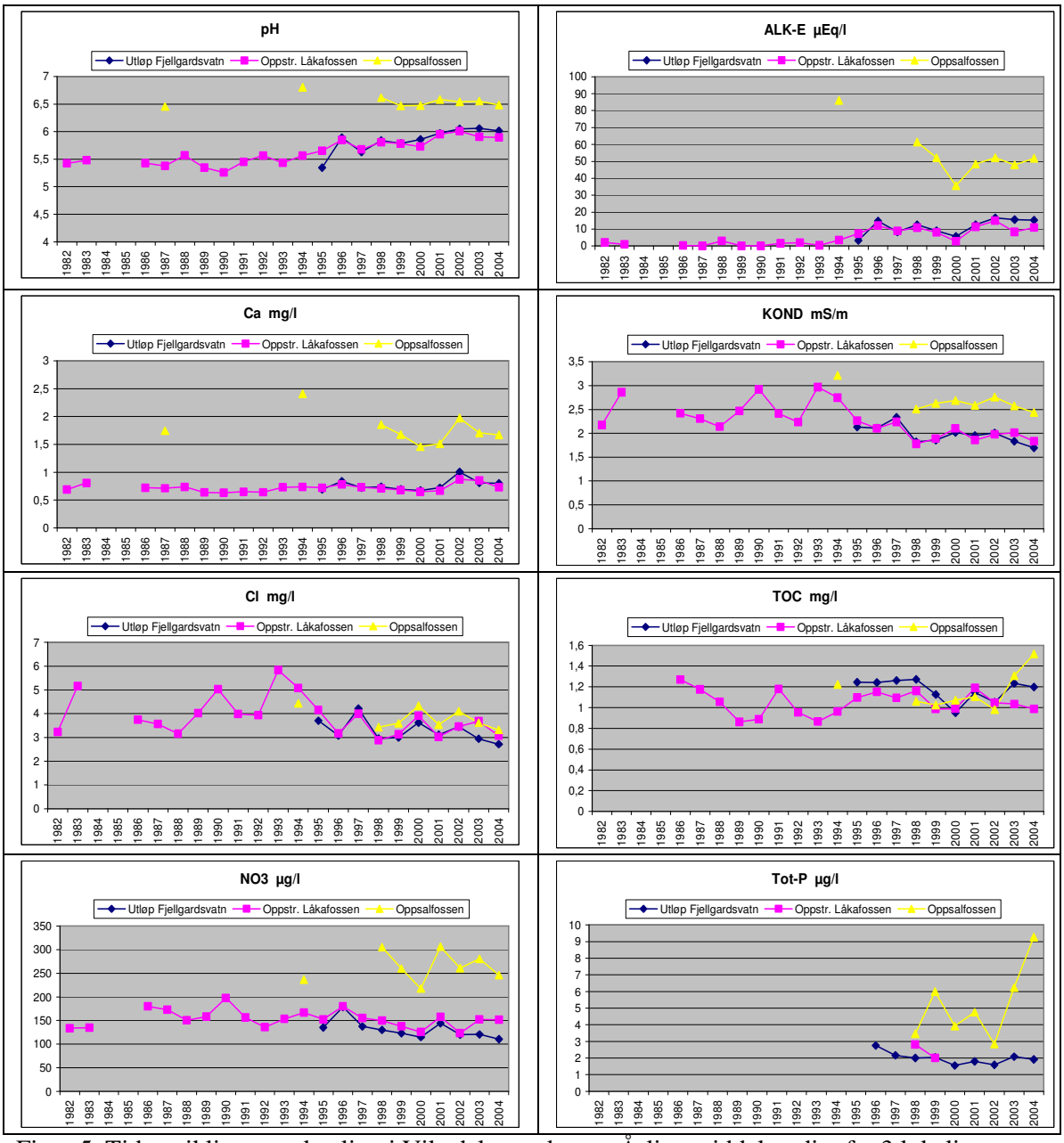
Figur 3. Døgnmiddeltemperatur i Vikedalselva i et tørt år (1996) og et vått år (2000) i perioden med krypsivregistreringer. Døgngradsummen var på henholdsvis 2472 og 2872 de 2 årene.



Figur 4. Tidsutvikling i vanntemperaturen i Vikedalsvassdraget for perioden 1994-2004. Årlige minimums-, maksimums-, middel- og medianverdier.

4.1.3 Vannkvalitet

Vannkvaliteten i Vikedalsvassdraget er fremstilt i figur 5. Vikedalselva har ikke vært blant de sureste elvene siden årsmidler for pH alltid har ligget høyere enn 5. Det har likevel vært behov for kalking av hensyn til laks og sjøørret, noe som har gjort at det har blitt stor forskjell mellom vannkvaliteten oppstrøms og nedstrøms kalkingsanlegget. Begge vannkvaliteter synes å være tilstrekkelig for vekst av krypsiv, men det er registrert større forekomster av krypsiv oppstrøms kalkingen, noe som kan reflektere naturlige forskjeller i habitater. Trendanalyse viser en signifikant ($p < 0,05$) økning og nedgang i henholdsvis pH og NO_3 på referanselokaliteten utløp Fjellgardsvatn i perioden med krypsivregistreringer. Det er ikke påvist signifikante trender i de andre parametrene i samme perioden.



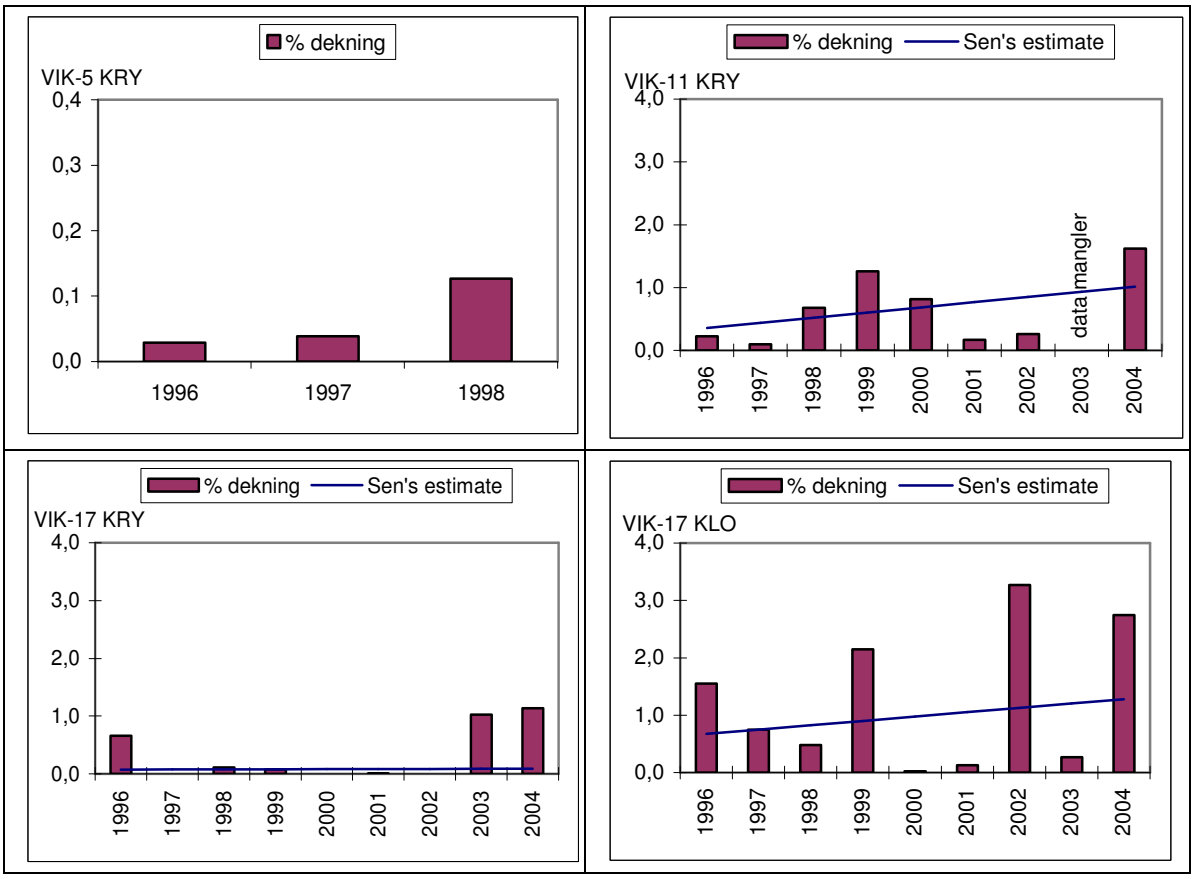
Figur 5. Tidsutvikling vannkvalitet i Vikedalsvassdraget. Årlige middelverdier fra 3 lokaliteter; utløp Fjellgardsvatn og oppstrøms Låkafossen ligger oppstrøms kalkdoserer, mens Oppsalfossen ligger nedstrøms kalking.

4.1.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling

Utvalget av undersøkte lokaliteter er begrenset og to av de fire lokalitetene har for korte tidsserier (3 år) for trendanalyse. For de to resterende lokaliteter VIK-11 og VIK-17 henholdsvis oppstrøms og nedstrøms kalking, ble det ikke påvist noen signifikant trend i dekningsgrad av krypsiv (tabell 2). Heller ikke for klovasshår som finnes i større mengder enn krypsiv på VIK-17, ble det påvist noen signifikant trend. Generelt er dekningsnivået for krypsiv lavt på alle lokalitetene, noe som viser at miljøforholdene på de undersøkte lokaliteter ikke har gitt spesielt gode vekstvilkår for krypsiv.

Tabell 2. Resultater av Mann-Kendall test for trend i dekningsgrad av krypsiv (KRY) og klovasshår (KLO) på 4 lokaliteter i Vikedalsvassdraget.

Lok.	Første år	Siste år	Antall år	Signifikans trend	Sen's estimate	Dekningsnivå %	Strøm-hastighet	Dominerende substrat
VIK-5 KRY	1996	1998	3			0,03 – 0,13	Middels	Stein, grus
VIK-11 KRY	1996	2004	8		0,083	0,1 – 1,62	Sterk	Stein, grus
VIK-14 KRY	2002	2004	3			0,01 – 0,02	Sterk	Stein
VIK-17 KRY	1996	2004	9		0,002	0 – 1,13	Sterk	Stein, grus
VIK-17 KLO	1996	2004	9		0,076	0,02 – 3,27	Sterk	Stein, grus



Figur 6. Tidsutvikling i dekningsgrad av krypsiv (KRY) og klovasshår (KLO) på 3 lokaliteter i Vikedalsvassdraget. Beregnet Sen's estimate er inntegnet. Ingen signifikante trender.

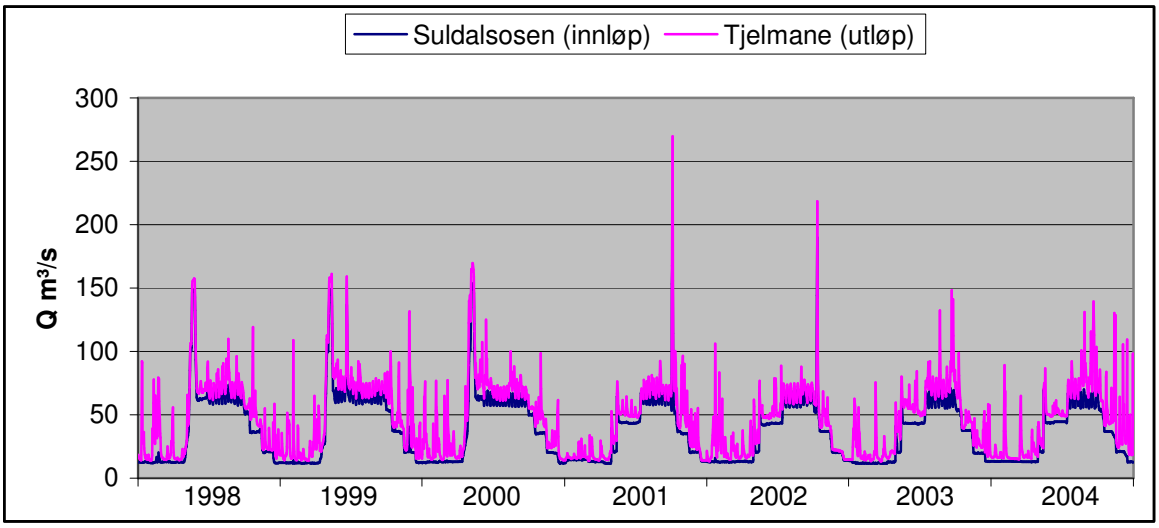
4.2 Suldalslågen

Suldalslågen (22 km lang) ligger i Rogaland og er kraftig regulert med minstevannføring ut av Suldalsvatn. Naturlig drenerte Suldalslågen et nedbørfelt på 1458,1 km², hvorav 158,7 km² var nedstrøms utløpet av Suldalsvatn. Naturlig uregulert middelvannføring ut av Suldalsvatn er beregnet til 92,2 m³/s for perioden 1931-1990. Normal årsnedbør ligger på rundt 2200 mm langs Suldalslågen. Med dagens regulering har Suldalslågen et restfelt på ca. 135 km², mens middelvannføringen ut av Suldalsvatn er nede i 33,5 m³/s. Elva har vært fullkalket siden 1998.

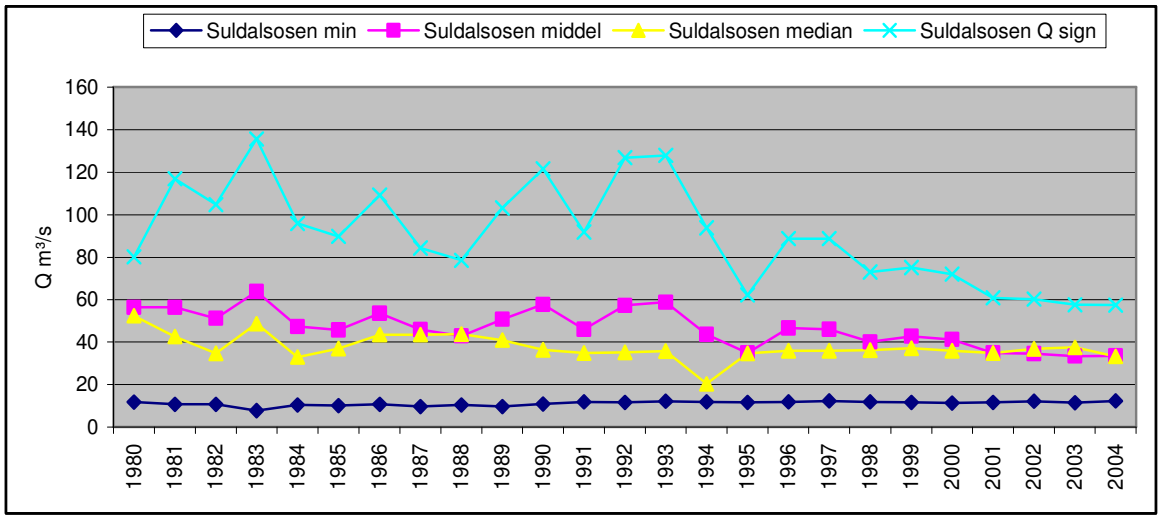
4.2.1 Hydrologi

Det hydrologiske regime i Suldalslågen er illustrert i figur 7 ved døgnmiddelvannføringer målt øverst og nederst i elva. Vannføringen er i stor grad styrt av slipp av minstevannføring over dammen ved Suldalsosen. Absolutt minstevannføring her har vært 12 m³/s i hele perioden med krypsivregistreringer. Fra restfeltet til Suldalslågen bidrar store og små sidevassdrag til en normalt gradvis økende vannføring nedover i elva til utløpet. Det er derfor også en gradvis økning i variabiliteten i vannføringen fra øverst til nederst i elva. Tidsutvikling i vannføring er fremstilt i figurene 8 og 9. Ser en på hele perioden fra 1980 til 2004 har det vært en statistisk signifikant ($p < 0,001$) nedgang i middelvannføringen og signifikant vannføring ut av Suldalsvatn. Dette gjelder også variansen i døgnmiddelvannføringen. For perioden med krypsivregistreringer 1988-2004 er situasjonen den samme. Ser en på den siste perioden 1998-2004 hvor det ble lagt inn noen nye lokaliteter hvor utviklingen av krypsiv er fulgt opp, er det fortsatt en signifikant nedgang i middelvannføringen ($p < 0,05$) og signifikant vannføring ($p < 0,01$). Dette tilsier at Suldalslågens øvre deler har fått en stadig økende stabilitet i vannføringen i den aktuelle perioden.

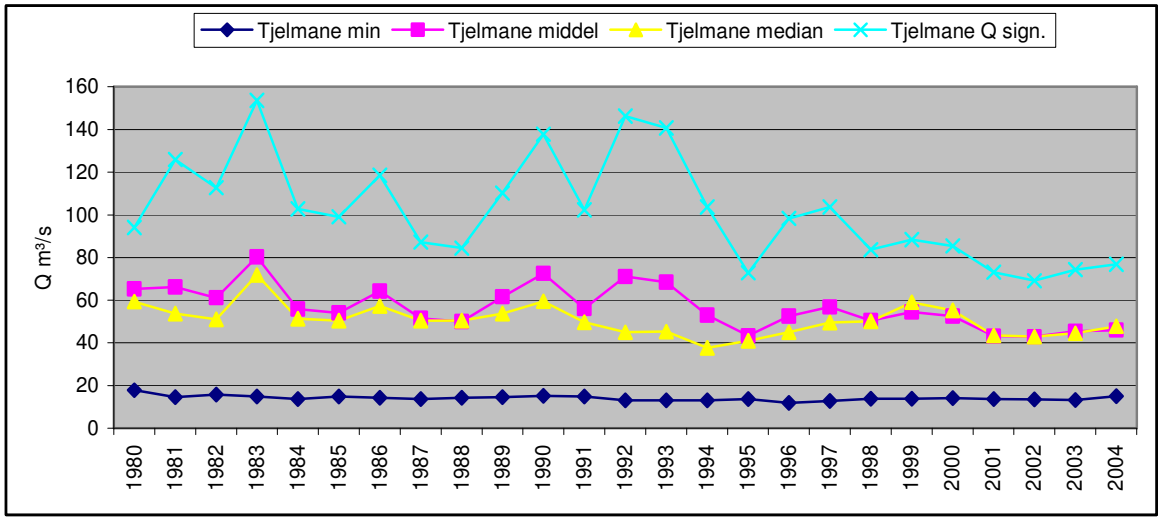
Ser en på vannføringen nederst i elva ved Tjelmane har det vært en statistisk signifikant nedgang også her i middelvannføring ($p < 0,001$) og signifikant vannføring ($p < 0,01$) i perioden 1980-2004. Tilsvarende nedgang er også tilfelle for perioden 1988-2004 ($p < 0,01$ for begge parametre). I denne perioden har det også vært en statistisk signifikant ($p < 0,05$) nedgang i maksvannføringer. Ser en på siste perioden 1998-2004 er det ingen signifikante trender, men både årlige middelvannføringer og signifikant vannføring i denne perioden er blant de laveste siden 1980.



Figur 7. Døgnmiddelvannføring i Suldalslågen i perioden 1998-2004 målt ved Suldalsosen (innløp) og Tjelmane (utløp).



Figur 8. Tidsutvikling for vannføringsparametre i Suldalslågen ved Suldalsosen i perioden 1980-2004. Årlige minimums-, middel- og medianvannføringer samt beregnet signifikant vannføring.



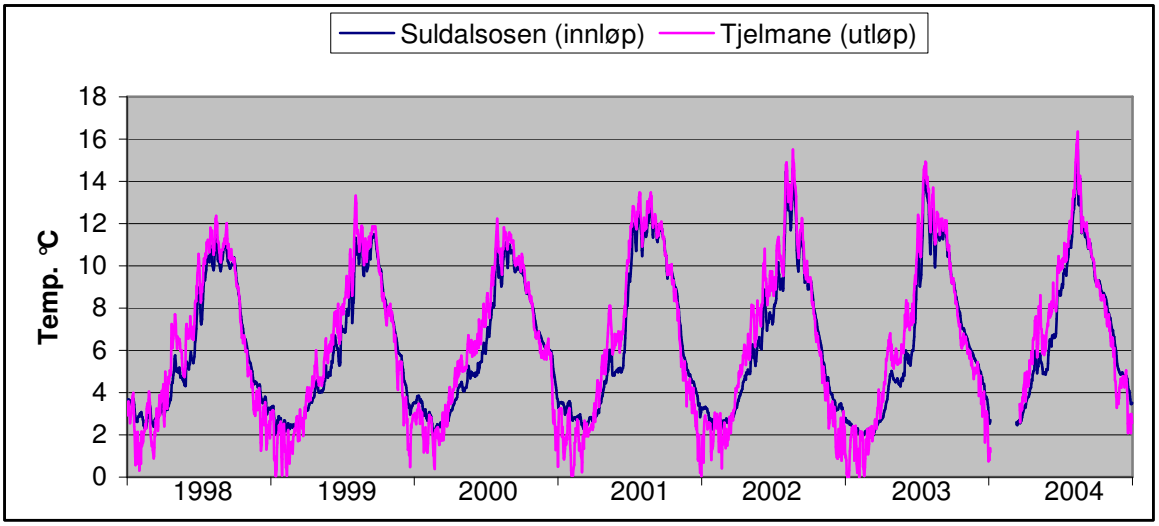
Figur 9. Tidsutvikling for vannføringsparametre i Suldalslågen ved Tjelmane i perioden 1980-2004. Årlige minimums-, middel-og medianvannføringer samt beregnet signifikant vannføring.

4.2.2 Temperatur

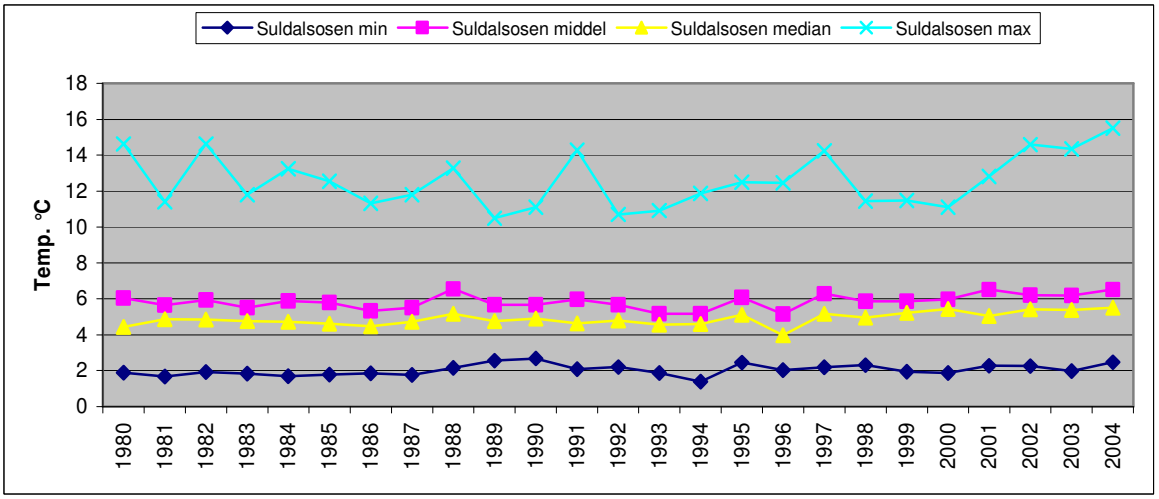
Temperatur regimet i Suldalslågen er illustrert i figur 10 med døgnmiddeltemperatur målt øverst og nederst i elva. Temperaturen er i stor grad styrt av temperaturen på vannet ut av Suldalsvatn som i utgangspunktet er relativt kaldt. Om vinteren slippes det sjelden kaldere vann enn +2 °C. Dette avkjøles noe videre nedover i elva og kan komme ned mot 0 °C nederst i elva i ekstra kalde perioder. Dette er imidlertid sjelden og kortvarig slik at isdannelse i elva er et sjeldent fenomen med dagens minstevannføring. Om våren, sommeren og tidlig høst varmes vannet opp nedover elva før det senhøstes igjen avkjøles. På denne måten er det ofte en temperaturgradient i elva fra øverst til nederst.

Tidsutvikling i vanntemperaturen er illustrert i figurene 11 og 12. Øverst i elva har det i perioden 1980-2004 vært en signifikant ($p < 0,01$) økning i den årlige mediantemperaturen. Det samme er tilfelle for perioden 1988-2004 med krypsivregistreringer. I denne perioden har det også vært en

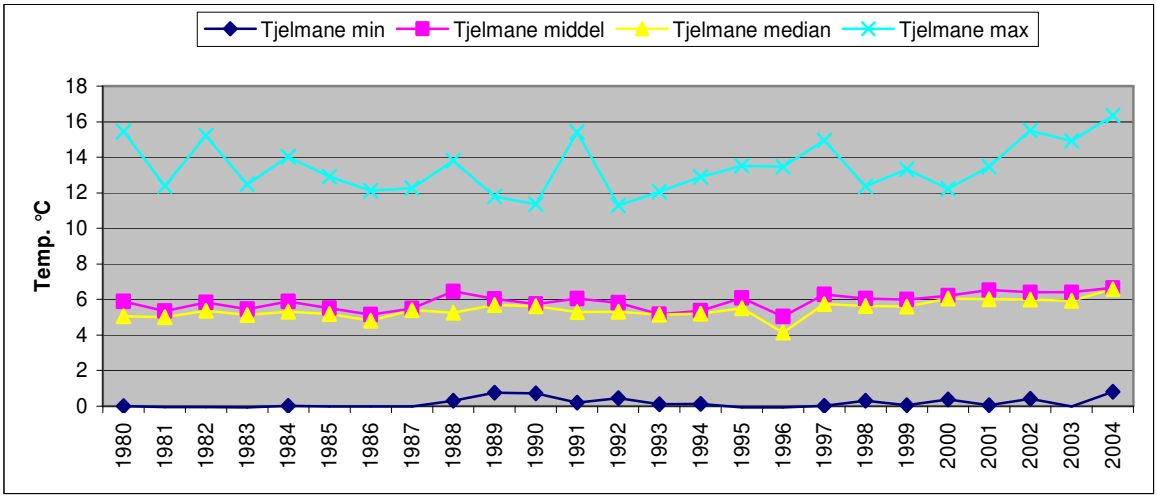
signifikant ($p < 0,05$) økning i makstemperaturer. I siste perioden 1998-2004 har det vært en signifikant ($p < 0,05$) økning i både årlig makstemperatur og døgngradsum. Nederst i elva ved Tjelmane har det i perioden 1980-2004 vært en signifikant økning i både årlig median- ($p < 0,001$) og middeltemperatur ($p < 0,01$) samt døgngradsum ($p < 0,01$). For perioden 1988-2004 er det signifikante ($p < 0,05$) økende trender for årlig median- og makstemperatur. For siste perioden 1998-2004 er det også svakt økende trender i middeltemperatur og døgngradsum, men bare maks temperaturen viser en statistisk signifikant ($p < 0,05$) økende trend.



Figur 9. Døgnmiddeltemperatur i Suldalslågen i perioden 1998-2004 målt ved Suldalsosen (innløp) og Tjelmane (utløp).



Figur 10. Tidsutvikling i vanntemperaturen i Suldalslågen ved Suldalsosen for perioden 1980-2004. Årlige minimums-, maksimums-, middel- og medianverdier.



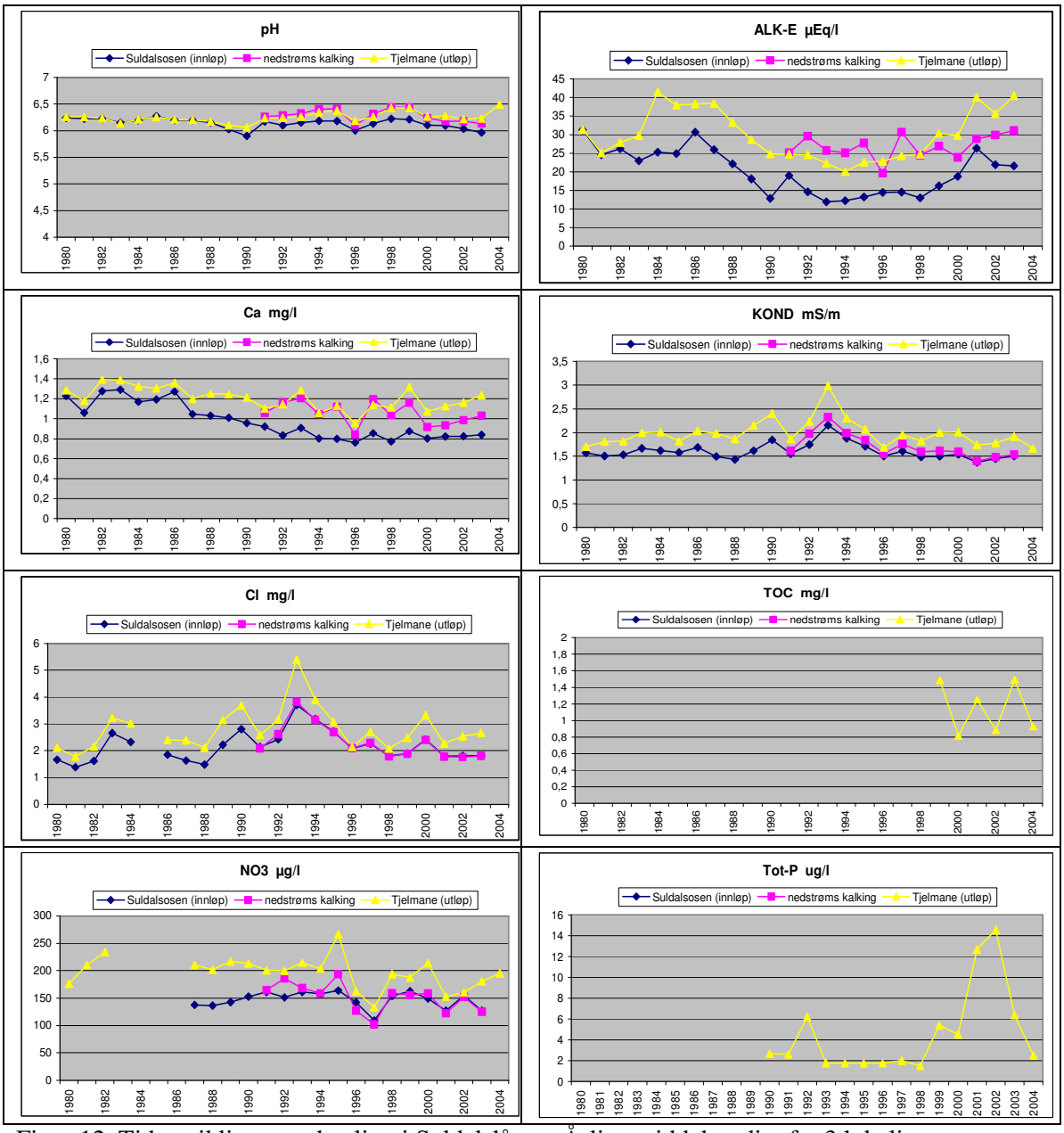
Figur 11. Tidsutvikling i vanntemperaturen i Suldalslågen ved Tjelmane for perioden 1980-2004. Årlige minimums-, maksimums-, middel- og medianverdier.

4.2.3 Vannkvalitet

Tidsutvikling i vannkvaliteten i Suldalslågen er fremstilt i figur 12. Etter 1980 da man begynte å slippe minstevannføring til Suldalslågen økte forskjellen i vannkvalitet mellom øverst og nederst i Suldalslågen fordi betydningen av vann fra restfeltet ble større. Dette fremgår tydelig av figur 12 ved en generelt høyere konduktivitet, alkalinitet, Ca, Cl og nitrat nederst i vassdraget. Etter at man begynte å tappe vann fra Blåsjø ned i Suldalsvatn mot slutten av 80-tallet økte også forskjellene i pH øverst og nederst i elva. For perioden 1980-2004 er det en statistisk signifikant nedgang i Ca ($p < 0,001$), pH ($p < 0,01$) og alkalinitet ($p < 0,05$) øverst i elva. I samme perioden er det svak signifikant økning i pH ($p < 0,05$), nedgang i Ca ($p < 0,01$) og nedgang i NO_3 ($p < 0,05$). I perioden med krypsivregistreringer 1988-2004 har det vært en signifikant ($p < 0,05$) nedgang i Ca øverst i elva, mens det nederst i elva har vært en signifikant økning ($p < 0,05$) i pH og nedgang ($p < 0,05$) i konduktivitet og NO_3. For siste perioden 1998-2004 er det bare en signifikant nedadgående trend i pH øverst i elva ($p < 0,01$) og en økende trend ($p < 0,05$) i alkalinitet nederst i elva.

4.2.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling

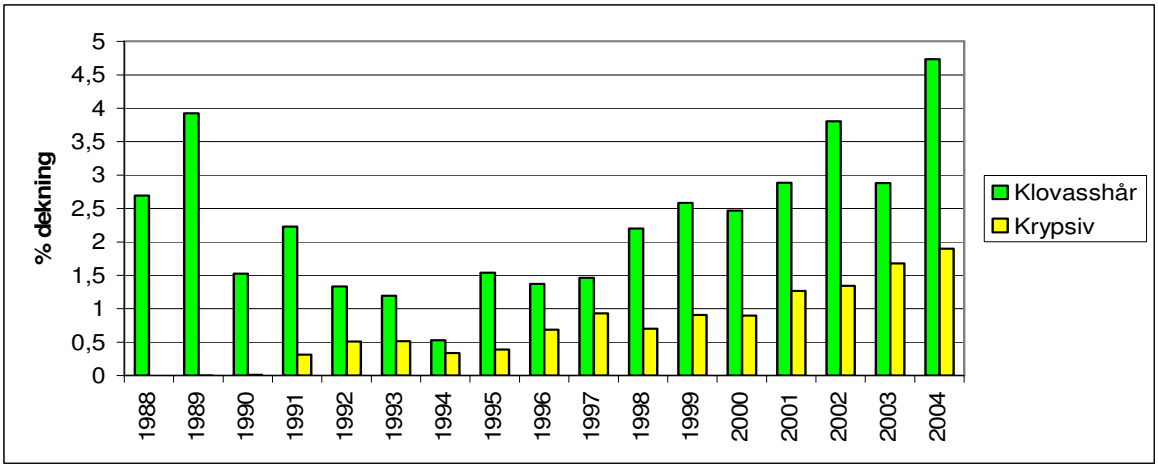
Suldalslågen er det vassdraget som er best undersøkt mhp. tidsutvikling i vannvegetasjon hvor også krypsiv inngår. I dette vassdraget finnes også en annen karplante, klovasshår (*Callitriche hamulata*) som hele tiden har hatt større utbredelse, og som kan vokse på de samme habitater som krypsiv. Tidsutvikling i utbredelse og forekomst av klovasshår er derfor også tatt med i denne gjennomgangen. Undersøkelsene i Suldalslågen har pågått siden 1988 og det er etablert en rekke lokaliteter i forbindelse med ulike formål til forskjellige tidspunker (Johansen 1995, 1997, Johansen og Lindstrøm 2004). Således finnes det tidsserier på overvåkingslokaliteter fra 1988, transekter fra 1991, renskede arealer fra 1992 og 1998, gyteområder fra 1993 og oppvekstområder for ungfisk fra 1998. Til sammen dekker alle lokalitetene et vidt spekter av habitater for krypsiv fra øverst til nederst i elva. Et viktig moment er at samtlige lokaliteter er vanndekket ved minstevannføring og har således aldri vært tørrlagt i perioden 1988-2004.



Figur 12. Tidsutvikling vannkvalitet i Suldalslågen. Årlige middelverdier fra 3 lokaliteter; Suldalsosen (innløp) før kalking, en stasjon nedstrøms kalking i øvre del av elva og Tjelmane nederst i elva.

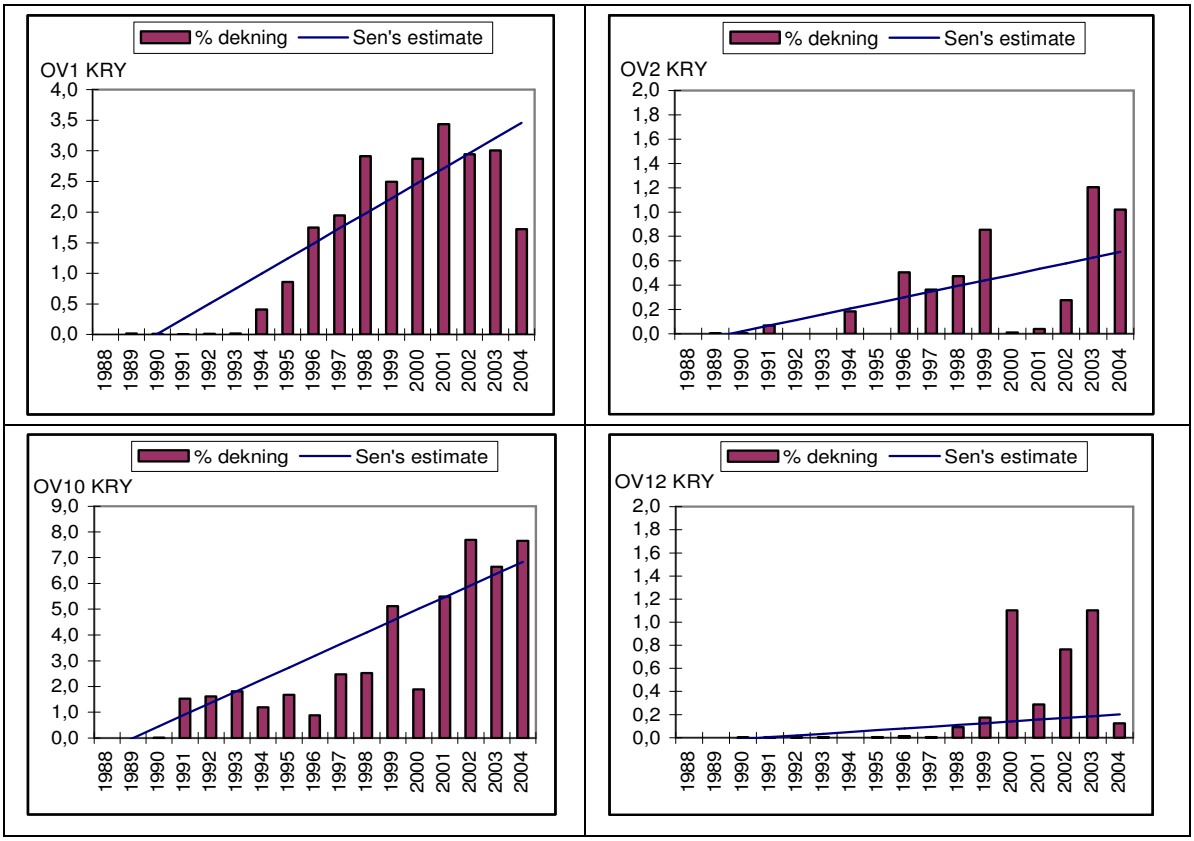
Overvåkingslokaliteter.

Figur 13 viser tidsutvikling for dekningsgraden av krypsiv og klovasshår på 12 overvåkings-stasjoner som årlige middelverdier i perioden 1988-2004. Klovasshår hadde relativt stor dekning i begynnelsen men gikk gradvis ned til et minimum i 1994. Etter dette tidspunkt har det vært en mer eller mindre jevn økning. Krypsiv var nærmest fraværende og vokste svært spredt på slutten av 80-tallet. Fra og med 1991 har den kommet inn som et fast element og har hatt en jevnt økt forekomst spesielt etter 1998. For hele perioden har klovasshår hatt en nesten signifikant ($p = 0,05$) økning, mens krypsiv har hatt en klar signifikant ($p < 0,001$) økning.



Figur 13. Tidsutvikling for dekningsgraden av klovasshår og krypsiv på 12 overvåkingsstasjoner i Suldalslågen i perioden 1988 – 2004.

Resultater av trendanalyse for de enkelte lokaliteter er satt opp i tabell 3. Det fremgår her en stor variasjon i dekningsnivåer både for krypsiv og klovasshår på de ulike lokaliteter. Bare 5 lokaliteter har signifikante trender i dekningen av klovasshår, mens 8 lokaliteter har signifikante trender i krypsivdekning (figur 14). Det er en tendens til at de største forekomster av både klovasshår og krypsiv kommer i områder med liten til middels strømhastighet og en betydelig andel grus og sand i substratet. Det finnes imidlertid unntak der både krypsiv og klovasshår kan etablere seg på grovere substrat og ved noe høyere strømhastigheter der substratet er dekket av kompakte tepper av levermoser fylt med sand som det stedvis er mye av i Suldalslågen (Johansen og Lindstrøm 2004).



Figur 14. Eksempler på tidsutvikling i dekningsgrad av krypsiv (KRY) på 4 overvåkingslokaliteter i Suldalslågen med signifikant økende trend. Beregnet Sen's estimate er inntegnet.

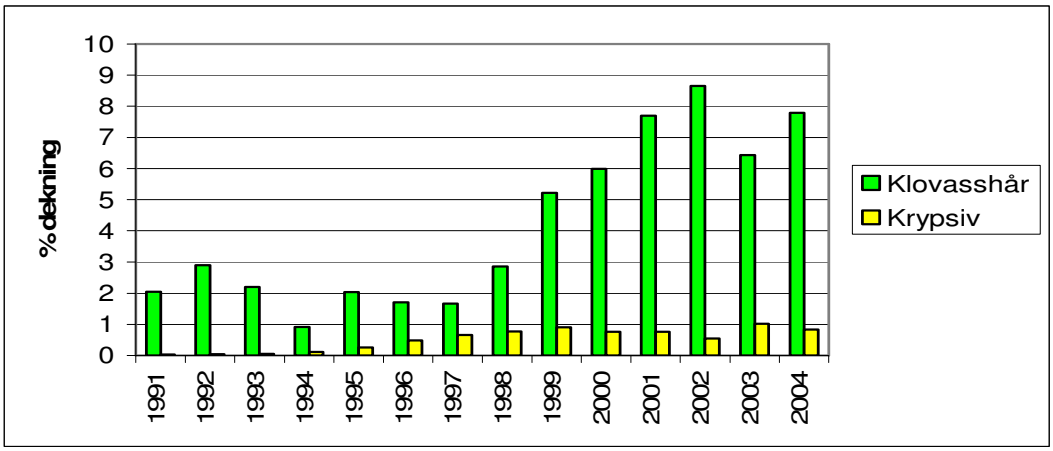
Tabell 3. Resultater av Mann-Kendall test for trend i dekningsgrad av krypsiv (KRY) og klovasshår (KLO) på 12 overvåkingslokaliteter i Suldalslågen.

Lok.	Første år	Siste år	Antall år	Signifikans trend	Sen's estimate	Dekningsnivå %	Strøm-hastighet	Dominerende substrat
OV1 KLO	1988	2004	17		-0,004	0,03 -0,77	Middels	Stor stein
OV2 KLO	1988	2004	17	*	0,006	0 – 0,19	Liten	Stor stein
OV4 KLO	1988	2004	17		-0,010	0,30 – 4,77	Middels	Stein, sand
OV5 KLO	1988	2004	13	*	0,434	2,40 – 15,6	Middels	Stein, grus
OV6 KLO	1988	2004	17		0,212	1,85 – 26,7	Liten	Sand, grus
OV8 KLO	1988	2004	17		0,027	0,22 – 4,38	Sterk	Stein, grus
OV10 KLO	1988	2004	17	**	0,630	1,96 – 15,3	Middels	Stein, sand
OV11 KLO	1988	2004	17		-0,025	0,01 – 2,73	Sterk	Stein
OV12 KLO	1988	2004	17	+	0,013	0,02 -0,77	Middels	Stein, grus
OV14 KLO	1988	2004	17	**	0,016	0 – 0,92	Middels	Stor stein
OV15 KLO	1988	2004	17	**	0,047	0,03 – 1,66	Sterk	Stor stein
OV18 KLO	1988	2004	17		-0,003	0 – 0,46	Sterk	Stein, grus
OV1 KRY	1988	2004	17	***	0,246	0 – 3,44	Middels	Stor stein
OV2 KRY	1988	2004	17	**	0,046	0 – 1,20	Liten	Stor stein
OV4 KRY	1988	2004	17		0,000	0 – 0,05	Middels	Stein, sand
OV5 KRY	1988	2004	13	*	0,011	0 – 0,69	Middels	Stein, grus
OV6 KRY	1988	2004	17	**	0,295	0 – 11,3	Liten	Sand, grus
OV8 KRY	1988	2004	17		0,009	0 – 1,59	Sterk	Stein, grus
OV10 KRY	1988	2004	17	***	0,456	0 – 7,69	Middels	Stein, sand
OV11 KRY	1988	2004	17	*	0,001	0 – 0,30	Sterk	Stein
OV12 KRY	1988	2004	17	***	0,015	0 – 1,10	Middels	Stein, grus
OV14 KRY	1988	2004	17	*	0,000	0 – 0,06	Middels	Stor stein
OV15 KRY	1988	2004	17		0,001	0 – 0,13	Sterk	Stor stein
OV18 KRY	1988	2004	17		0,000	0 – 0,11	Sterk	Stein, grus

Transektlokaliteter.

Figur 15 viser tidsutvikling for dekningsgraden av krypsiv og klovasshår på 5 transektlokaliteter som årlige middelverdier i perioden 1991-2004. For både krypsiv og klovasshår er det signifikant ($p < 0,001$ og $p < 0,01$) økende trend i dekning i perioden. Ser en på de enkelte transekter (tabell 4) er det bare 2 transekter med signifikant ($p < 0,001$) økning i dekning av krypsiv, mens 3 transekter

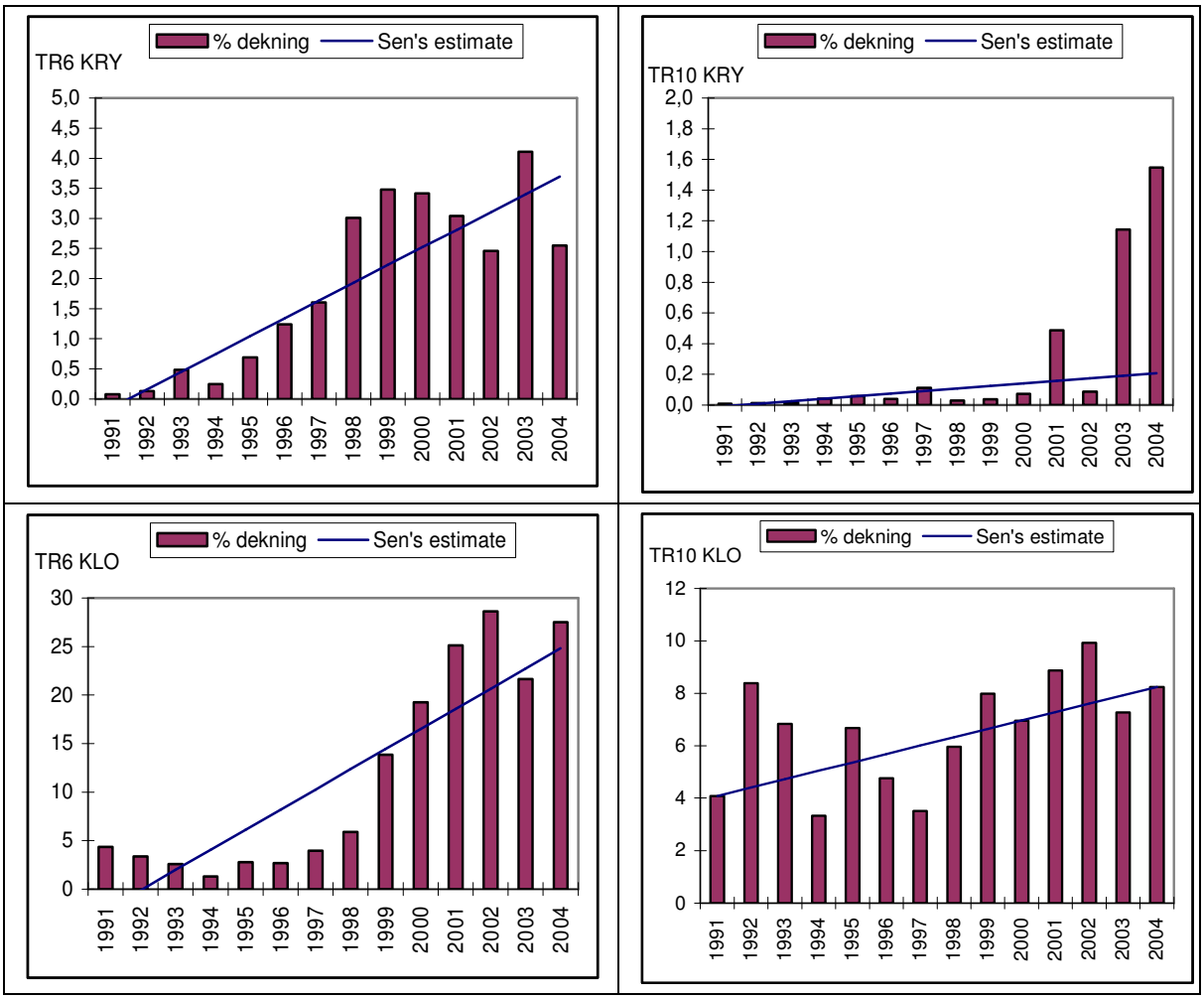
har en signifikant ($p < 0,05$ og $p < 0,01$) økning i klovasshår. Transektene som bidrar mest til økningen av både krypsiv og klovasshår ligger i deler av elva med middels til liten strømhastighet og et stort innslag av sand og grus i substratet.



Figur 15. Tidsutvikling for dekningsgraden av klovasshår og krypsiv på 5 transekt-lokaliteter i Suldalslågen i perioden 1991 – 2004.

Tabell 4. Resultater av Mann-Kendall test for trend i dekningsgrad av krypsiv (KRY) og klovasshår (KLO) på 5 transektlokaliteter i Suldalslågen.

Lok.	Første år	Siste år	Antall år	Signifikans trend	Sen's estimate	Dekningsnivå %	Strøm-hastighet	Dominerende substrat
TR2 KRY	1991	2004	14		-0,002	0 – 1,42	Liten	Stor stein
TR6 KRY	1991	2004	14	***	0,295	0,1 – 4,11	Liten	Sand, grus
TR8 KRY	1991	2004	14		0,000	0 – 0,10	Sterk	Stein, grus
TR10 KRY	1991	2004	14	***	0,017	0 – 1,55	Middels	Stein, sand
TR18 KRY	1991	2004	14		0,000	0 – 0,04	Sterk	Stein, grus
TR2 KLO	1991	2004	14	+	-0,001	0 – 0,11	Liten	Stor stein
TR6 KLO	1991	2004	14	**	2,078	1,30 – 28,6	Liten	Sand, grus
TR8 KLO	1991	2004	14	**	0,228	0,35 – 3,39	Sterk	Stein, grus
TR10 KLO	1991	2004	14	*	0,320	3,33 – 9,92	Middels	Stein, sand
TR18 KLO	1991	2004	14		-0,002	0 – 1,23	Sterk	Stein, grus



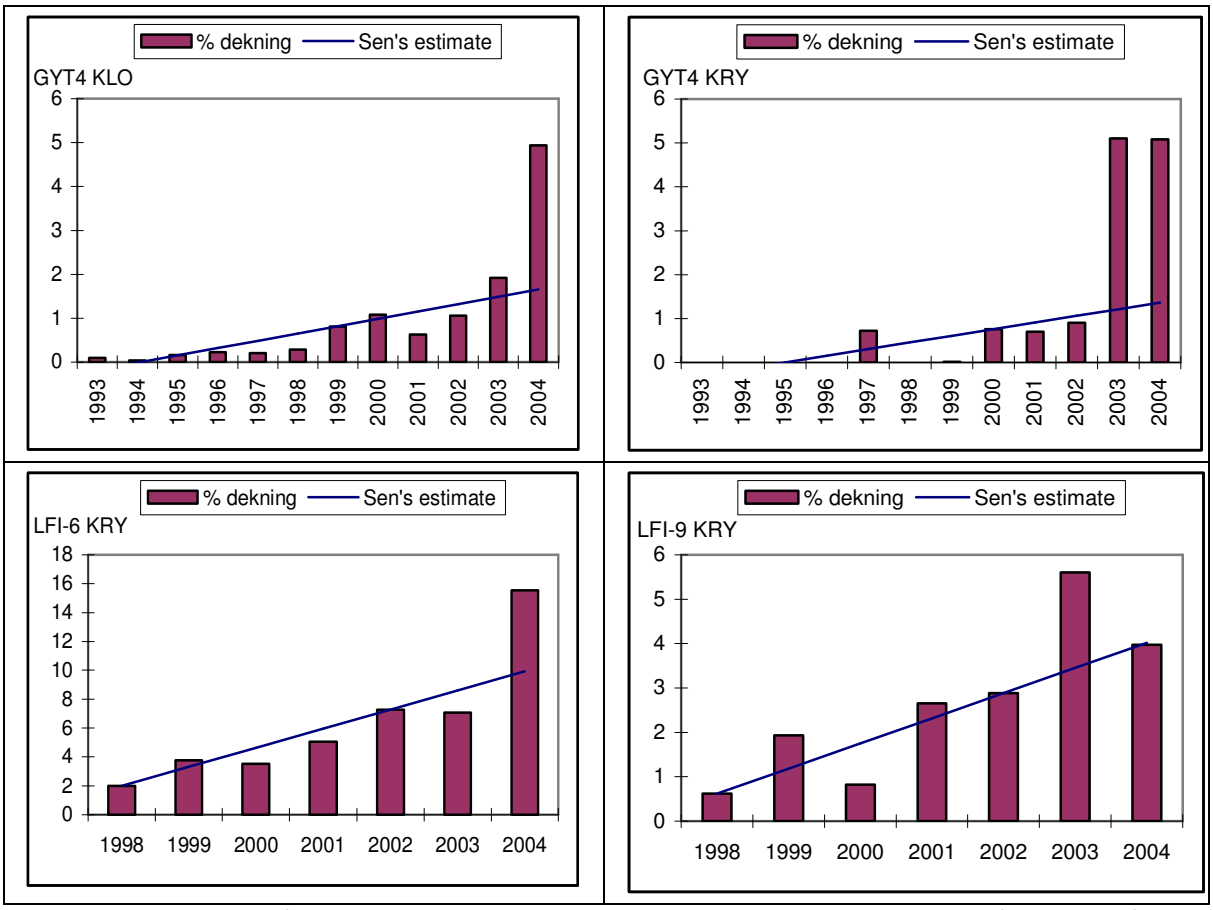
Figur 16. Eksempler på tidsutvikling i dekningsgrad av krypsiv (KRY) og klovasshår (KLO) på 2 transektlokaliteter i Suldalslågen med signifikant økende trend. Beregnet Sen's estimate er inntegnet.

Gyteområder og oppvekstområder for ungfisk.

I suldalslågen har det vært gjort undersøkelser av vegetasjonsforhold både på gyteområder og oppvekstområder for ungfisk. I tabell 5 er resultater av trendanalyse på dekningsgrad av krypsiv og klovasshår oppsummert. For 2 av gyteområdene var det ingen signifikant trend verken for krypsiv eller klovasshår i perioden 1993-1998. De to andre lokalitetene ble fulgt opp videre til og med 2004. På den ene ble det funnet en signifikant ($p < 0,05$) økning i klovasshår, mens den andre viste signifikant ($p < 0,001$) økning i både krypsiv og klovasshår. Økningen har primært foregått i siste del av perioden (figur 17). På 2 av de 4 oppvekstlokalitetene er det funnet signifikante ($p < 0,05$) økninger i dekningen av krypsiv i perioden 1998-2004 (figur 17). Det har også vært tilfeller av økt forekomst av klovasshår på disse lokalitetene. På oppvekstlokalitetene har en hatt kombinasjonen av relativt liten strømhastighet og en del sand og grus i substratet.

Tabell 5. Resultater av Mann-Kendall test for trend i dekningsgrad av krypsiv (KRY) og klovasshår (KLO) på 4 lokaliteter i gyteområder (GYT) og 4 lokaliteter med oppvekstområder for ungfisk (LFI) i Suldalslågen.

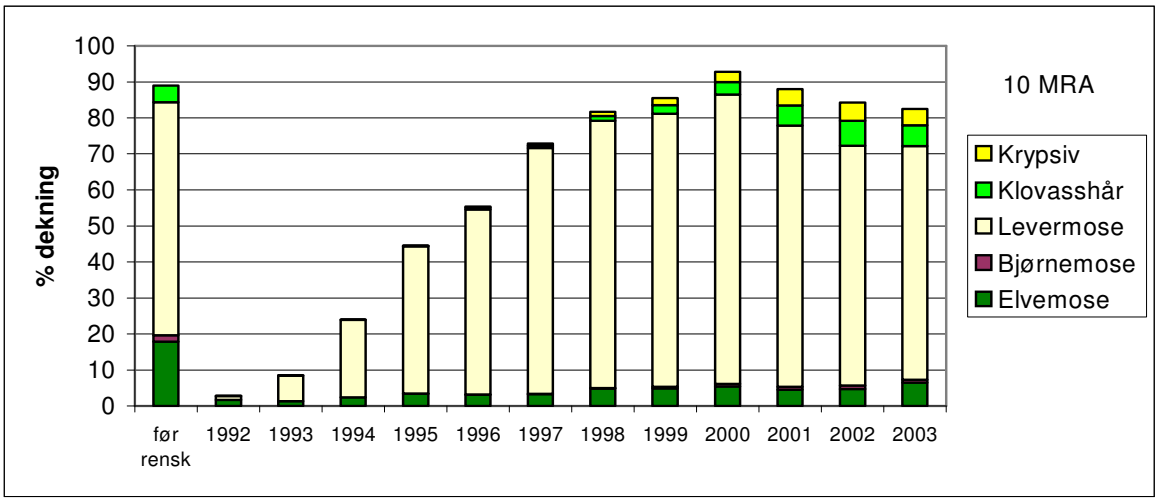
Lok.	Første år	Siste år	Antall år	Signifikans trend	Sen's estimate	Dekningsnivå %	Strøm-hastighet	Dominerende substrat
GYT1 KLO	1993	1998	6		0,127	0,13 - 3,28	Sterk	Stein, grus
GYT1 KRY	1993	1998	6		-0,089	0 – 0,67	Sterk	Stein, grus
GYT2 KLO	1993	1998	6		-0,118	0,12 – 1,12	Middels	Stein, grus
GYT2 KRY	1993	1998	6		0,000	0 – 1,59	Middels	Stein, grus
GYT3 KLO	1993	2004	12	*	0,095	0 – 2,04	Sterk	Stein, grus
GYT3 KRY	1993	2004	12		-0,010	0 – 1, 61	Sterk	Stein, grus
GYT4 KLO	1993	2004	12	***	0,167	0,04 – 4,94	Middels	Stein, grus
GYT4 KRY	1993	2004	12	***	0,151	0 – 5,10	Middels	Stein, grus
LFI-1 KLO	1998	2004	7	+	0,472	0,14 – 3,17	Liten	Stein, grus
LFI-1 KRY	1998	2004	7		0,179	0,07 – 3,86	Liten	Stein, grus
LFI-6 KLO	1998	2004	7	*	1,078	4,56 – 12,6	Liten	Stein, sand
LFI-6 KRY	1998	2004	7	*	1,319	1,99 – 15,5	Liten	Stein, sand
LFI-9 KLO	1998	2004	7		0,197	5,7 – 16,4	Liten	Stein, sand
LFI-9 KRY	1998	2004	7	*	0,567	0,62 – 5,60	Liten	Stein, sand
LFI-16 KLO	1998	2004	7	**	0,415	0,20 – 4,43	Liten	Stein, grus
LFI-16 KRY	1998	2004	7		0,017	0 – 0,25	Liten	Stein, grus



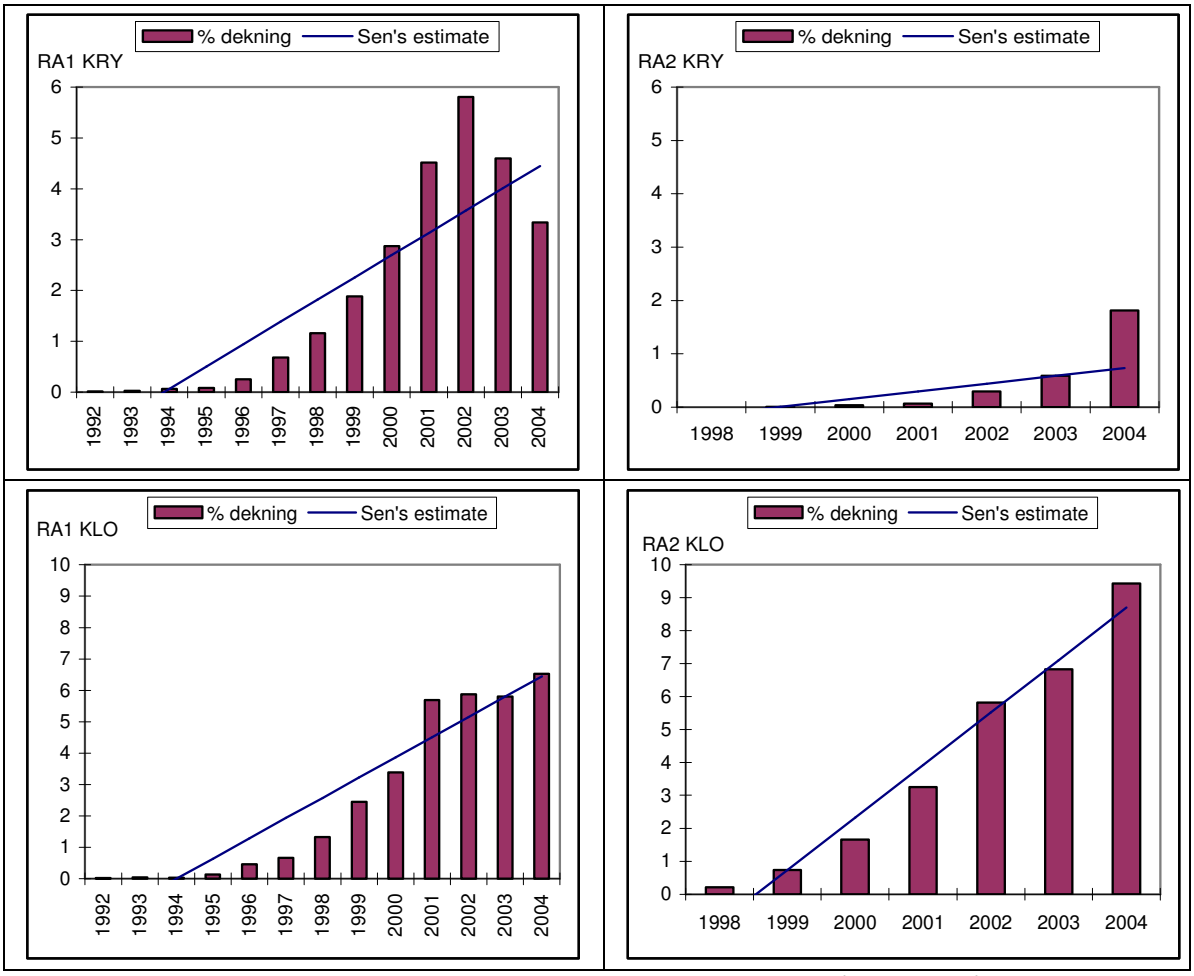
Figur 17. Eksempler på tidsutvikling i dekningsgrad av krypsiv (KRY) og klovasshår (KLO) på lokalitet GYT4 og krypsiv på 2 oppvekstlokaliteter LFI-6 og 9 i Suldalslågen med signifikant økende trender. Beregnet Sen's estimate er inntegnet.

Renskede arealer.

En viktig erfaring fra Suldalslågen har vært hastighet på tilgroing og suksesjonsprosesser etter rensking. Dersom substratet får ligge i ro etter rensking er det levermosene som etablerer seg først og vokser meget raskt (figur 18). Etter 5 år var dekningen av levermoser større enn utgangspunktet. Ved maksimal vegetasjonsdekning var alle hulrom mellom steiner etablert med mose og gjenværende areal som ikke hadde vegetasjon var toppen av større steiner som er mest eksponert. Elvemosen *Fontinalis* viste en meget langsom tilvekst på dette arealet og tapte konkurransen om plass i forhold til levermosene. Etter som levermosene vokste i høyden og dannet puter begynte de å fange opp sand og en fikk et sandfylt mosedekke som etter hvert ble et godt substrat for karplanter som klovasshår og krypsiv. Begge disse plantene har røtter som trenger feste i finkornet substrat. Et tegn på at levermosene begynner å fange opp sand er at bjørnemose dukker opp som enkeltskudd i et ellers homogent levermosedekke. Både etableringen av karplanter og bjørnemose er eksempler på en klar suksesjon som skjer på denne type arealer i Suldalslågen under dagens forhold. Et tilsvarende areal ble rensket i 1998. Også på dette arealet fikk man en tilsvarende suksesjon, men betydelig raskere (Johansen og Lindstrøm 2004). Dette gjaldt spesielt for klovasshår (figur 19). For begge arealer var det en signifikant ($p < 0{,}001$) økning både i dekningen av krypsiv og klovasshår i periodene etter rensking.



Figur 18. Tidsutvikling i perioden 1992-2003 i % dekning av moser og karplanter på et areal rensket i 1992. Arealet er permanent vanndekket i et område med middels strømhastighet.



Figur 19. Tidsutvikling i dekningsgrad av krypsiv (KRY) og klovasshår (KLO) på 2 arealer rensket for vegetasjon i Suldalslågen. I alle tilfeller signifikant ($p < 0{,}001$) økende trend. Beregnet Sen's estimate er inntegnet.

Tabell 6. Resultater av Mann-Kendall test for trend i dekningsgrad av krypsiv (KRY) og klovasshår (KLO) på 2 renskede arealer i Suldalslågen.

Lok.	Første år	Siste år	Antall år	Signifikans trend	Sen's estimate	Dekningsnivå %	Strøm-hastighet	Dominerende substrat
RA1 KLO	1992	2004	13	***	0,644	0,03 – 6,52	Middels	Stein, sand
RA1 KRY	1992	2004	13	***	0,438	0,01 – 5,81	Middels	Stein, sand
RA2 KLO	1998	2004	7	***	1,593	0,21 – 9,43	Middels	Stein, sand
RA2 KRY	1998	2004	7	***	0,146	0 – 1,81	Middels	Stein, sand

4.3 Bjerkereimsvassdraget

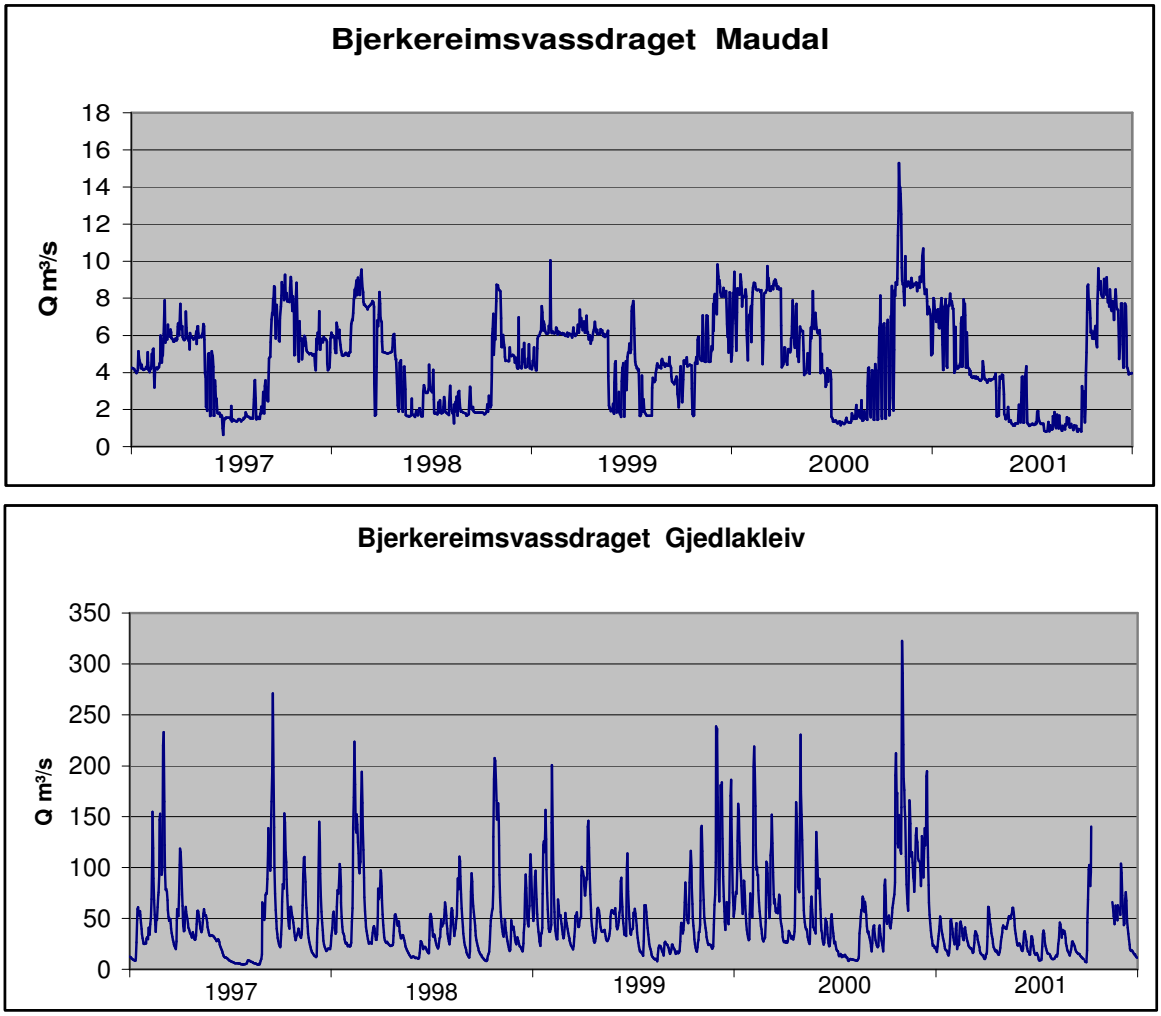
Bjerkereimsvassdraget ligger i Rogaland og har et nedbørfelt på 705,8 km² (før regulering). Middelvannføringen (før regulering) ligger på 54,4 m³/s og normal årsnedbør på 2358 mm. Elva er kalket med doserer siden 1997 pluss diverse innsjøkalking fra høsten 1996.

4.3.1 Hydrologi

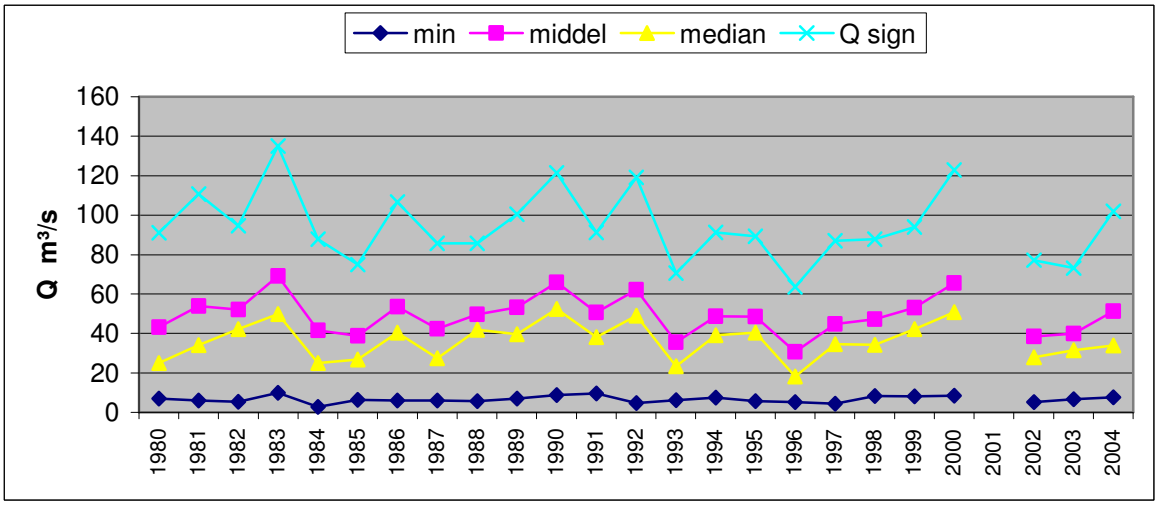
Det hydrologiske regimet i Bjerkereimsvassdraget er illustrert i figur 20 ved døgnmiddelvann-føringer ved Maudal og Gjedlakleiv. Maudal representerer en sidegrein øverst i vassdraget påvirket av regulering. Utløpet av kraftverket sørger for en generell utjevning av vannføringen i denne sidegreina. Frekvensen av flommer er mindre og vintervannføringen er relativt mer stabil og forutsigbar enn den ville ha vært uten reguleringen. Gjedlakleiv representerer vassdragets nedre deler og er tilnærmet upåvirket av den beskjedne reguleringen i de øvre deler. Her er det betydelig større variasjon i vannføringen og hyppigheten av større og mindre nedbørsflommer er stor. Tidsutvikling i vannføringen ved Gjedlakleiv er fremstilt i figur 21. Det ble ikke funnet noen signifikant trend i de årlige minimums- eller maksimumsvannføringer, samt middel-, median- og signifikant vannføring for måleperioden 1980-2004. For perioden 1997-2001 med krypsiv-registreringer ble det funnet en ikke signifikant ($p = 0,05$) økning i middelvannføring og signifikant vannføring. Tidsserien for Maudal viser en signifikant økning i årlig minimumsvannføring og en signifikant nedgang i årlig maksimalvannføring, noe som tyder på en utvikling mot mindre variabel vannføring i perioden 1980-2004. For perioden med krypsivregistreringer er det ingen tilsvarende trender.

4.3.2 Temperatur

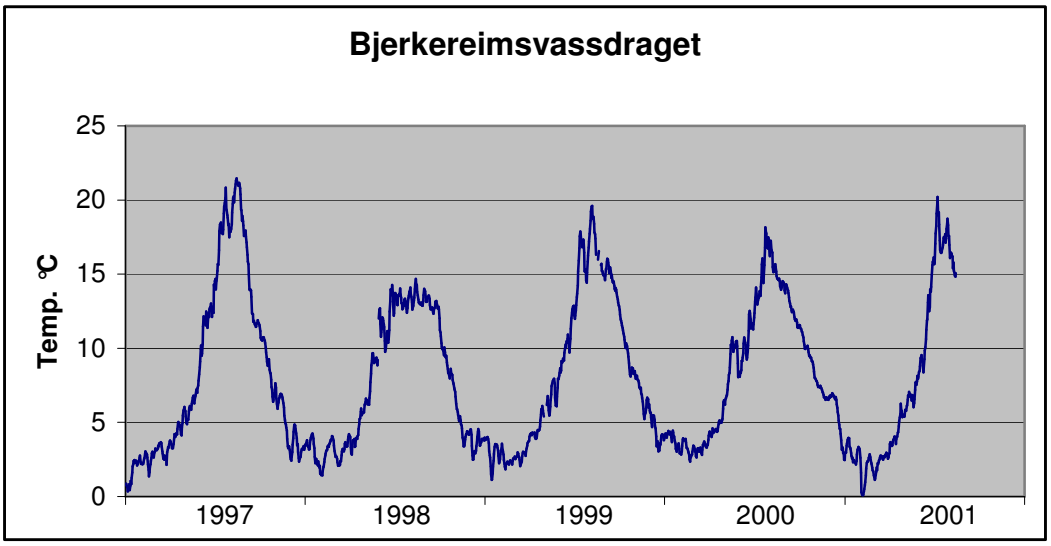
Temperatur regimet i Bjerkereimsvassdraget er illustrert i figur 22 ved døgnmiddeltemperaturer i perioden med krypsivregistreringer. I denne perioden var det bare vinteren 2001 at temperaturen i en kort periode gikk ned mot 0°C. Ellers har vintertemperaturen vært så vidt høy at muligheten for isdannelse har vært ubetydelig. Tidsutvikling i vanntemperatur er fremstilt i figur 23. For perioden 1994-2001 er det funnet en signifikant ($p < 0,05$) økning i mediantemperaturen for året og maksimumstemperaturen i høst-vinter perioden. For perioden med krypsivregistreringer 1997-2001 er det bare funnet en svak signinfikant ($p = 0,05$) økning i minimums- og maksimumstemperaturen henholdsvis i høst og vinter perioden.



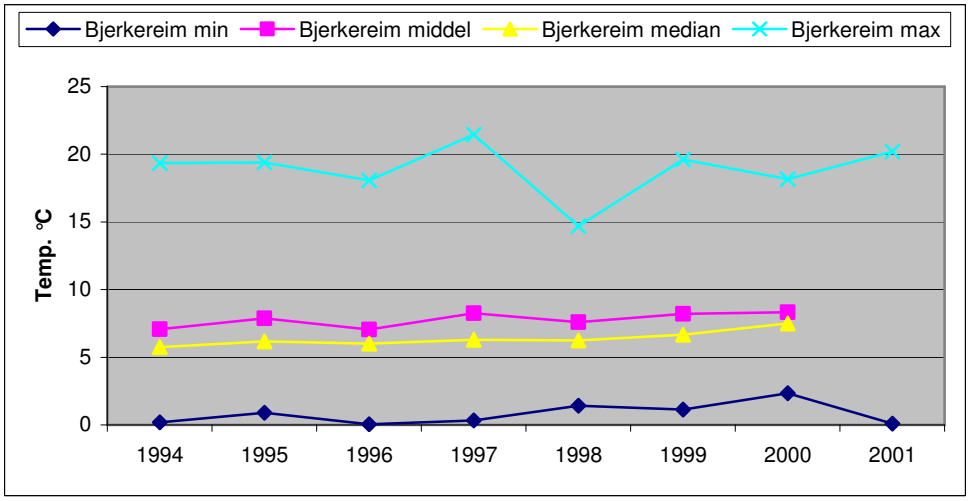
Figur 20. Døgnmiddelvannføring i Bjerkereimsvassdraget målt ved Maudal og Gjedlakleiv i perioden 1997-2001 med krypsivregistreringer.



Figur 21. Tidsutvikling for vannføringsparametre i Bjerkereimsvassdraget ved Gjedlakleiv i perioden 1980-2004. Årlige minimums-, middel- og medianvannføringer samt beregnet signifikant vannføring.



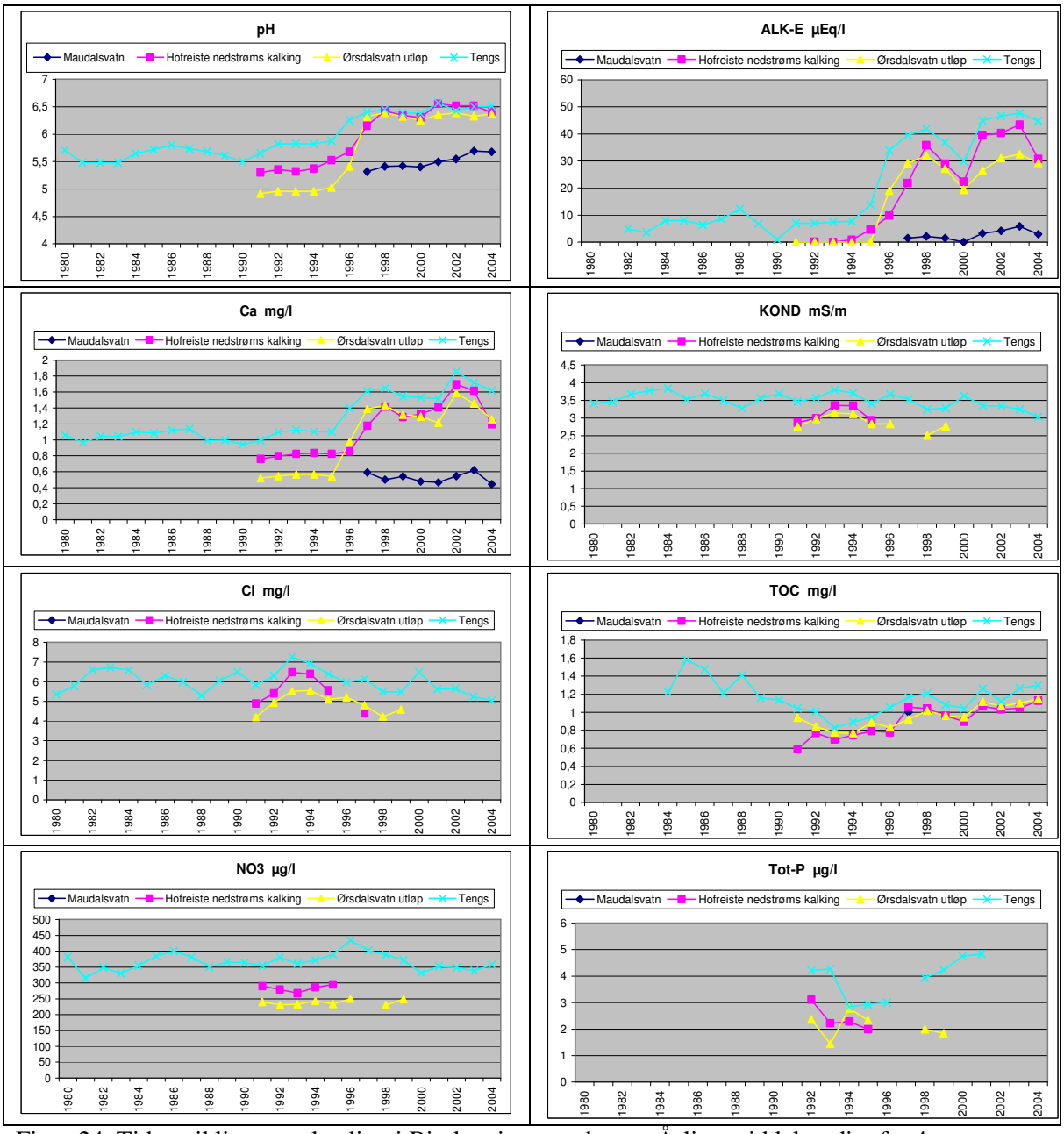
Figur 22. Døgnmiddeltemperatur i Bjerkereimsvassdraget i perioden 1997-2001 med krypsivregistreringer.



Figur 23. Tidsutvikling i vanntemperaturen i Bjerkereimsvassdraget for perioden 1994-2001. Årlige minimums-, maksimums-, middel- og medianverdier.

4.3.3 Vannkvalitet

Vannkvaliteten i Bjerkereimsvassdraget er fremstilt i figur 24. Før kalking i 1996-1997 var vannkvaliteten noe ulik i de forskjellige deler av vassdraget. De sureste delene hadde pH < 5 og Ca-verdier < 0,6 mg/l mens de nedre deler av vassdraget hadde årlige middelverdier i pH > 5,5 og Ca-konsentrasjoner rundt 1 mg/l. Etter kalking har pH, Ca og alkaliniteten økt betydelig. Uavhengig av kalkingen er det en generelt svak økning i pH og TOC i vassdraget. I den korte perioden med krypsivregistreringer var det ingen signifikante trender i noen av vannkvalitets-parametrene.



Figur 24. Tidsutvikling vannkvalitet i Bjerkereimsvassdraget. Årlige middelverdier fra 4 lokaliteter; Maudalsvatn ukalket, Hofreiste nedstrøms kalkdoserer (oppstart 1997), utløp Ørsdalsvatn (kalket siden høsten 1996) og Tengs (nederst i vassdraget).

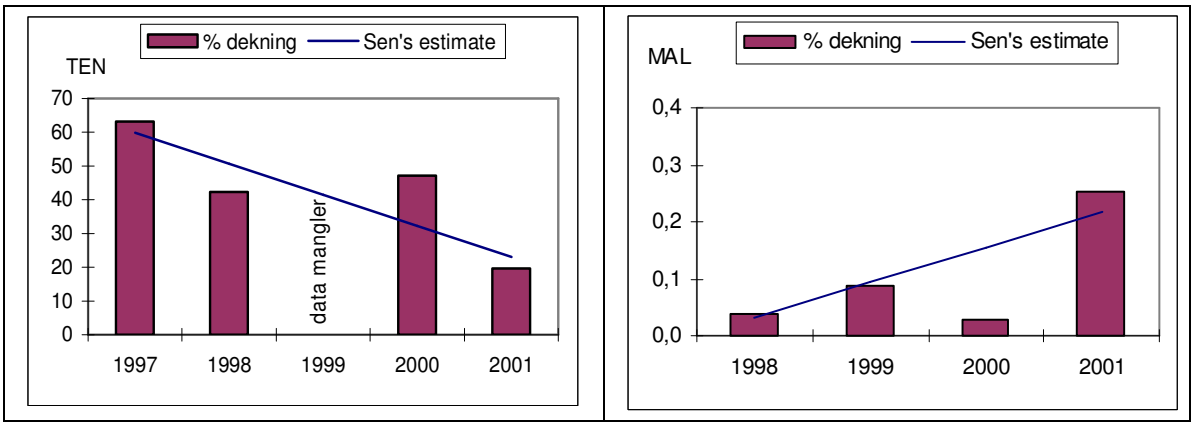
4.3.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling

Utvalget av undersøkte lokaliteter er begrenset samtidig som tidsseriene er i korteste laget for statistisk trendanalyse. Det ble ikke påvist noen signifikant trend i dekningsgrad av krypsiv på noen av lokalitetene (tabell 7). På tre av lokalitetene var dekningsnivået for krypsiv svært lavt, noe som viser at miljøforholdene på disse lokalitetene ikke har gitt spesielt gode vekstvilkår for krypsiv. Felles for disse lokalitetene er at de har hatt dominans av stor stein i substratet og lite grus og sand egnet for krypsivkolonisering. På lokaliteten nederst i vassdraget (TEN) er elva mer stilleflytende og sand og grus dominerer substratet. Her har også krypsiv etablert seg i større bestander og dekningsnivået har variert mellom 19,7 – 63,2 % (figur 25). Til tross for en betydelig nedgang i

dekningsgrad fra 2000 til 2001, er det ingen signifikant nedadgående trend på lokaliteten. Nedgangen siste året kan derfor skyldes erosjon i krypsivbestanden som følge av den største flommen og den høyeste signifikante vannføring i hele registreringsperioden 1997-2001.

Tabell 7. Resultater av Mann-Kendall test for trend i dekningsgrad av krypsiv på 4 lokaliteter i Bjerkereimsvassdraget.

Lok.	Første år	Siste år	Antall år	Signifikans trend	Sen's estimate	Dekningsnivå %	Strøm-hastighet	Dominerende substrat
MAU	1998	2001	4		0	0 – 0,01	Middels	Stor stein
MAL	1998	2001	4		0,062	0,03 – 0,25	Sterk	Stor stein
ØRS	1997	2001	5		0	0 – 0,01	Middels	Stor stein
TEN	1997	2001	4		-9,213	19,7 – 63,2	Liten	Grus, sand



Figur 25. Tidsutvikling i dekningsgrad av krypsiv på 2 lokaliteter i Bjerkereimsvassdraget. Beregnet Sen's estimate er inntegnet. Ingen signifikante trender.

4.4 Mandalsvassdraget

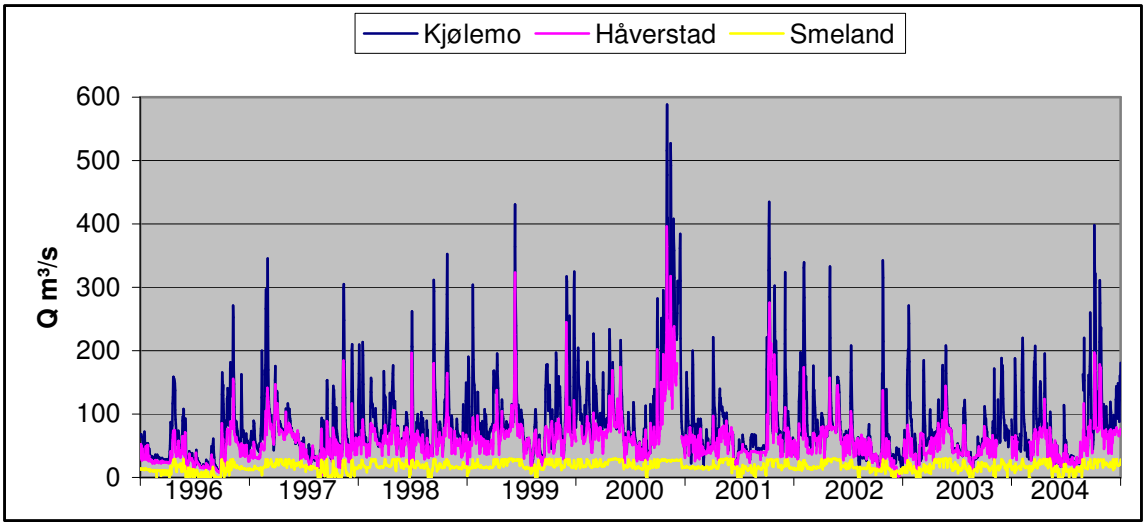
Mandalselva ligger i Aust- og Vest-Agder og har et nedbørfelt på 1809 km². Elva er sterkt regulert med en middelvannføring på 85,5 m³/s. Normal årsnedbør ligger på 1485 mm. Elva er kalket siden 1997.

4.4.1 Hydrologi

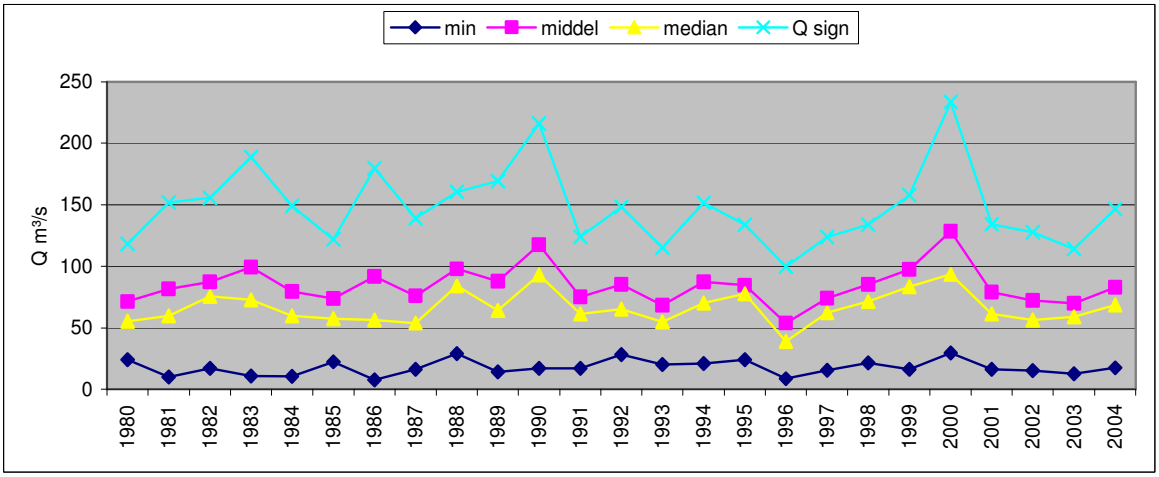
Det hydrologiske regimet i Mandalsvassdraget er sterkt preget av den omfattende reguleringen. Alle de undersøkte lokaliteter for krypsiv er påvirket av mer eller mindre ulike vannførings-regimer. I figur 26 er det hydrologiske regimet illustrert ved døgnmiddelvannføring ved Kjølemo og Håverstad, samt driftsvannføring ved Smeland kr.st. gjort om til døgnmiddelvannføring. Vannføringen ved Kjølemo er påvirket av maks driftsvannføring 110 m³/s i Laudal kr.st.. Tilsvarende er vannføringen ved Håverstad påvirket av maks driftsvannføring 69 m³/s ved Håverstad kr.st.. Smeland kr.st. har maks driftsvannføring på 30 m³/s, men pga. døgnregulering (stans på natten), blir døgnmiddelvannføringen oftest mindre enn dette.

Tidsutvikling i vannføring er fremstilt i figurene 27-29. Det ble ikke funnet noen statistisk signifikant trend i de årlige minimums- eller maksimumsvannføringer, samt middel-, median- og signifikant vannføring ved Kjølemo og Håverstad verken for måleperioden 1980-2004 eller perioden 1996-2004 med registreringer av krypsiv. Dog er det en klar økning i middel-, median- og

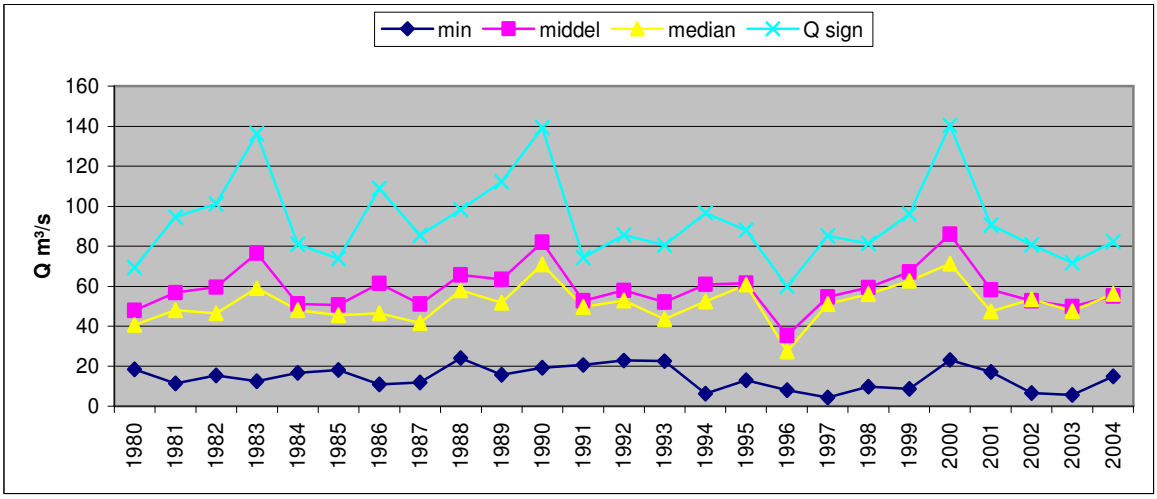
signifikant vannføring i perioden 1996-2000. På Håverstad har det vært en signifikant ($p < 0,05$) økning i medianvannføring i sommersesongen i perioden 1980-2004. Smeland er spesiell med effektkjøringsregime. Her har det også vært en klar økning i middel-, median- og signifikant vannføring i perioden 1996-2000, men ingen tilsvarende signifikante trender i perioden 1996-2004. I denne perioden har det imidlertid vært en signifikant økende trend i årlig maks vannføring der overløpsflommer ikke er tatt med.



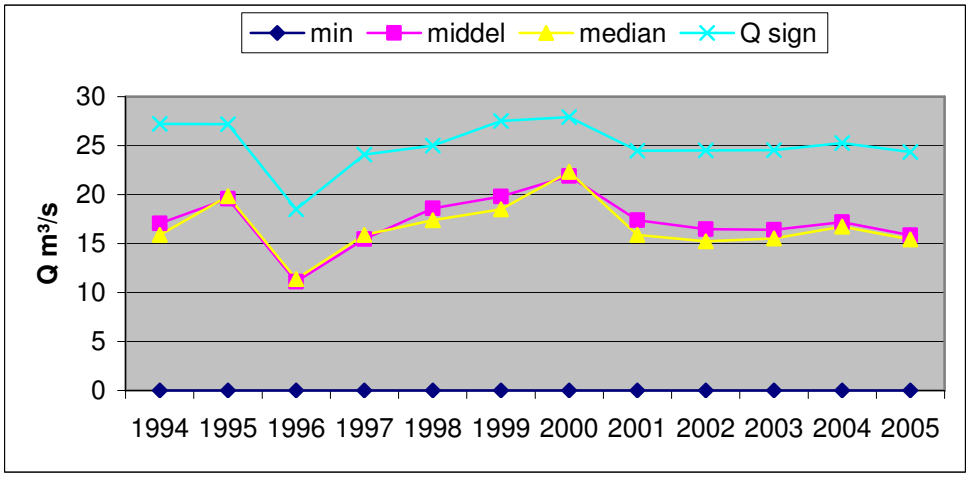
Figur 26. Døgnmiddelvannføring i Mandalsvassdraget målt ved Kjølemo og Håverstad i perioden 1996-2004 med krypsivregistreringer. Driftsvannføring ved Smeland kr.st. målt som døgnmiddelverdier.



Figur 27. Tidsutvikling for vannføringsparametre i Mandalsvassdraget målt ved Kjølemo i perioden 1980-2004. Årlige minimums-, middel- og medianvannføringer samt beregnet signifikant vannføring.



Figur 28. Tidsutvikling for vannføringsparametre i Mandalsvassdraget målt ved Håverstad i perioden 1980-2004. Årlige minimums-, middel- og medianvannføringer samt beregnet signifikant vannføring.



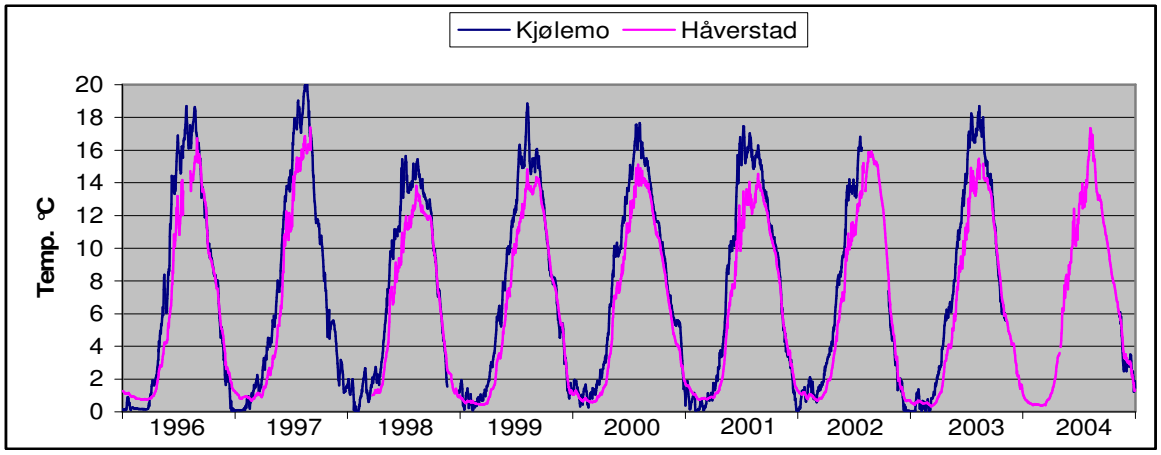
Figur 29. Tidsutvikling for vannføringsparametre i Mandalsvassdraget målt ved Smeland i perioden 1994-2004. Årlige minimums-, middel- og medianvannføringer samt beregnet signifikant vannføring basert på driftsvannføring i Smeland kr.st. Overløpsflommer og minstevannføring er ikke tatt med i beregningene.

4.4.2 Temperatur

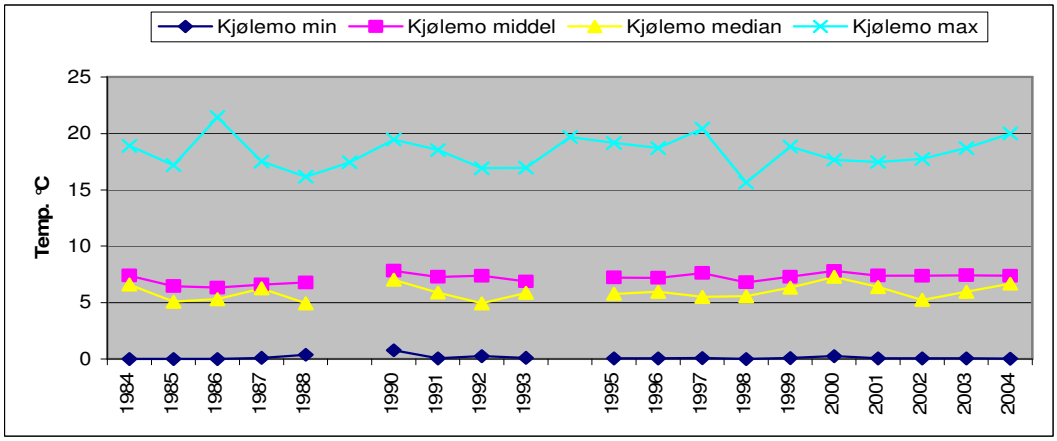
Temperaturregimet i Mandalsvassdraget er illustrert ved døgnmiddeltemperatur målt ved Kjølemo og Håverstad i perioden 1996-2004 med krypsivregistreringer (figur 30). Ved Håverstad er det mindre svingninger i vanntemperaturen sammenlignet med Kjølemo. Vintertemperaturen går sjelden eller aldri ned mot 0 °C. Sammen med en relativt stabil høy vannføring ut fra Håverstad kr.st. i vinterperioden gir dette svært liten mulighet for isdannelse og man får gode overlevelsesforhold for krypsiv. Kjølemo representerer de nedre partier av Mandalselva nedstrøms Laudal kr.st.. Her kan vintertemperaturen gå ned mot 0 °C, men ikke over lengre perioder. Isdannelse er derfor sjeldent også her. På våren og sommeren får man en oppvarming av vannet fra Håverstad og nedover i vassdraget.

Figurene 31 og 32 viser tidsutvikling i vanntemperaturen. Ved Kjølemo er det en statistisk signifikant ($p < 0,05$) økning i middeltemperaturen i perioden 1984-2004. For perioden 1996-2004

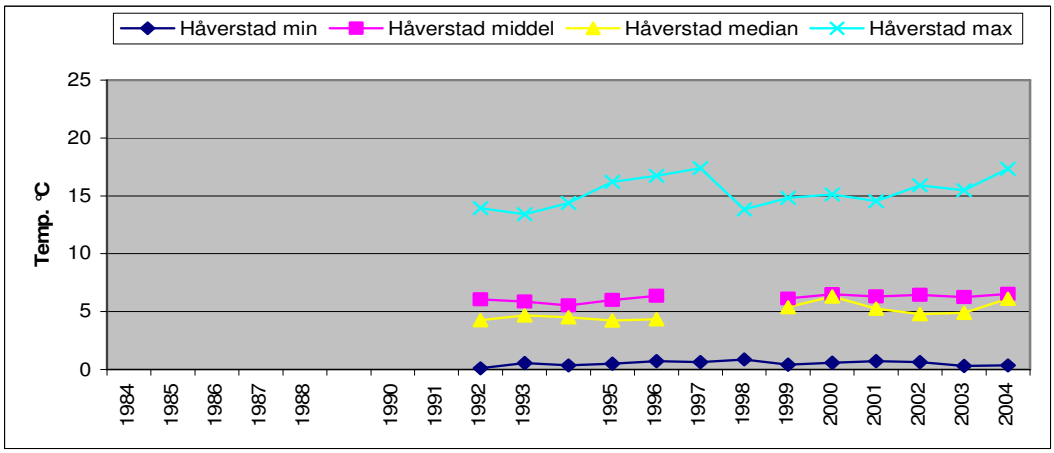
er det også en økende tendens men ikke signifikant. Ved Håverstad er det en signifikant ($p < 0,05$) økning i årlig middel- og maksimumstemperatur i perioden 1992-2004. For perioden 1996-2004 er det også en økende tendens, men ikke signifikant.



Figur 30. Døgnmiddeltemperatur i Mandalsvassdraget målt ved Kjølemo og Håverstad i perioden 1996-2004 med krypsivregistreringer.



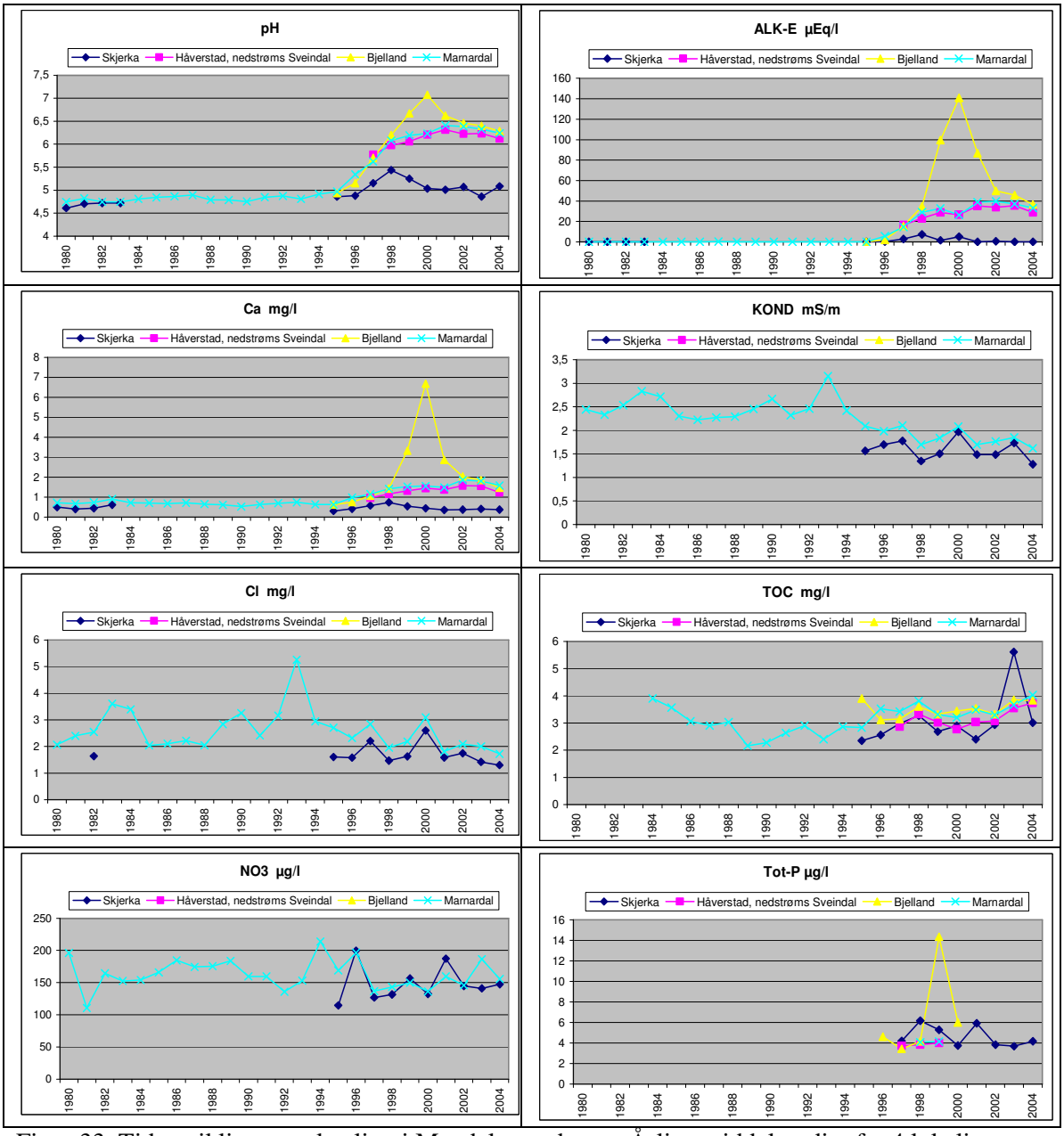
Figur 31. Tidsutvikling i vanntemperaturen i Mandalsvassdraget målt ved Kjølemo for perioden 1984-2004. Årlige minimums-, maksimums-, middel- og medianverdier.



Figur 32. Tidsutvikling i vanntemperaturen i Mandalsvassdraget målt ved Håverstad for perioden 1992-2004. Årlige minimums-, maksimums-, middel- og medianverdier.

4.4.3 Vannkvalitet

Vannkvaliteten i Mandalselva er fremstilt i figur 33. Mandalselva var kronisk sur med pH < 5 i en lengre periode før kalking. Etter fullkalking har det skjedd en markert og signifikant ($p < 0,001$) økning i pH, Ca og alkalinitet (ALK-E). Konduktiviteten har hatt en tilsvarende signifikant nedgang. I perioden 1996-2004 med registreringer av krypsiv er det ingen statistisk signifikante trender på referanselokaliteten Skjerka. For de kalkpåvirkede lokaliteter er det en signifikant ($p < 0,05$) økning i pH og alkalinitet ved Marnardal. Ved Håverstad er økningen signifikant bare for alkalinitet. Ved Marnardal er det også en signifikant ($p < 0,01$) økende trend i Ca. Kun Bjelland viser en statistisk signifikant ($p < 0,05$) økende trend i TOC. Nitrat viser ingen signifikant trend verken før eller etter kalking på noen av lokalitetene.



Figur 33. Tidsutvikling vannkvalitet i Mandalsvassdraget. Årlige middelverdier fra 4 lokaliteter; Skjerka ukalket, Håverstad nedstrøms Sveindal (kalkpåvirket), Bjelland (kalkpåvirket) og Marnardal (kalkpåvirket nederst i vassdraget).

4.4.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling

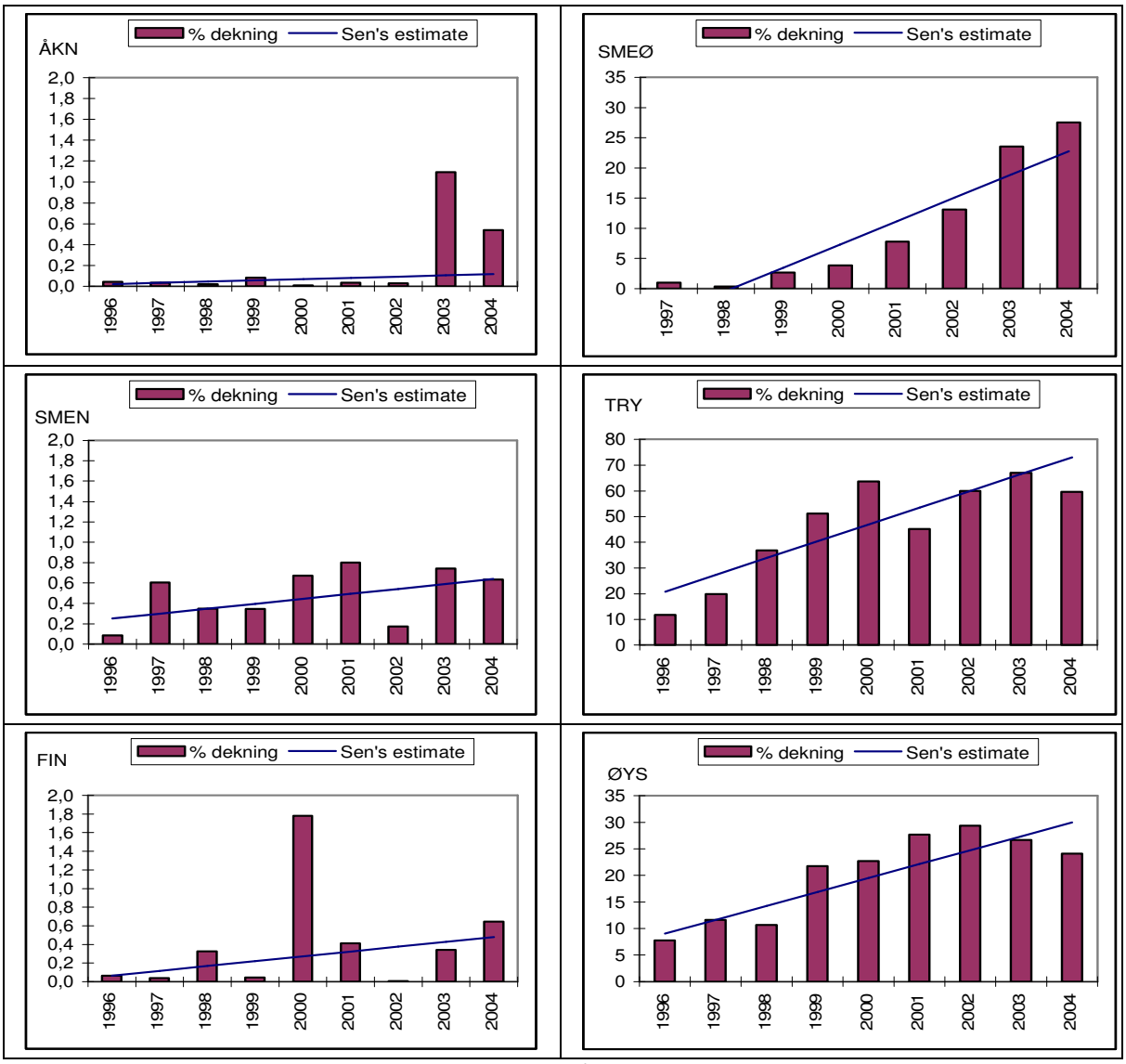
De 6 lokalitetene i Mandalsvassdraget med krypsivregistreringer i form av dekningsgrad er oppsummert i tabell 8. ÅKN er øverste lokaliteten i vassdraget. Den er upåvirket av kalking men er påvirket av kjøringen i Logna kraftstasjon. Et mosedominert substrat med stein og lite grus gjør det vanskelig for krypsiv å etablere seg i dette området. Det er likevel en liten økning i dekningsgrad de to siste årene, men ikke statistisk signifikant. SMEØ ligger nedstrøms utløp Smeland kraftverk som driver døgnregulering. Lokaliteten er også lagt rett oppstrøms kalkdosering og er således ikke kalkpåvirket. Lokaliteten er dominert av steinsubstrat, men har også noe sand og grus. Dekningen av krypsiv viser en signifikant ($p < 0,001$) økning i perioden 1997-2004 fra < 0,5 % til vel 25 % dekning (figur 34). Noen hundre meter nedstrøms ligger lok. SMEN som er påvirket av kalking og har mindre andel sand i substratet. Denne lokaliteten har svært lav dekning av krypsiv og viser ingen signifikant trend i den samme perioden.

Lenger ned i vassdraget mellom utløp Bjelland kraftverk og Mannflåvann ligger lokaliteten TRY. Krypsiv var godt etablert i dette området allerede i 1996 men har vist en signifikant ($p < 0,05$) økning i perioden fram til 2004 og synes å ha flatet ut på et meget høyt dekningsnivå. Lokaliteten har gunstige substrat- og strømforhold. Nedstrøms det siste kraftverket Laudal kr.st., er det etablert to lokaliteter. FIN ved Marnardal har et småsteinet substrat med noe grus. Her synes imidlertid strømforholdene å være for sterke til at krypsiv kan etablere stabile bestander. Det er ikke funnet noen signifikant trend i dekningsgraden. ØYS ved Øyslebø har noe større stein i substratet men også en del grus. Strømhastigheten er imidlertid lavere, noe som har gjort det lettere for krypsiv å etablere seg. Det har vært en signifikant ($p < 0,05$) økning av dekningsgraden av krypsiv fra 7,8 % til et nivå rundt 25 % dekning i perioden 1996-2004 som nå synes å ha stabilisert seg.

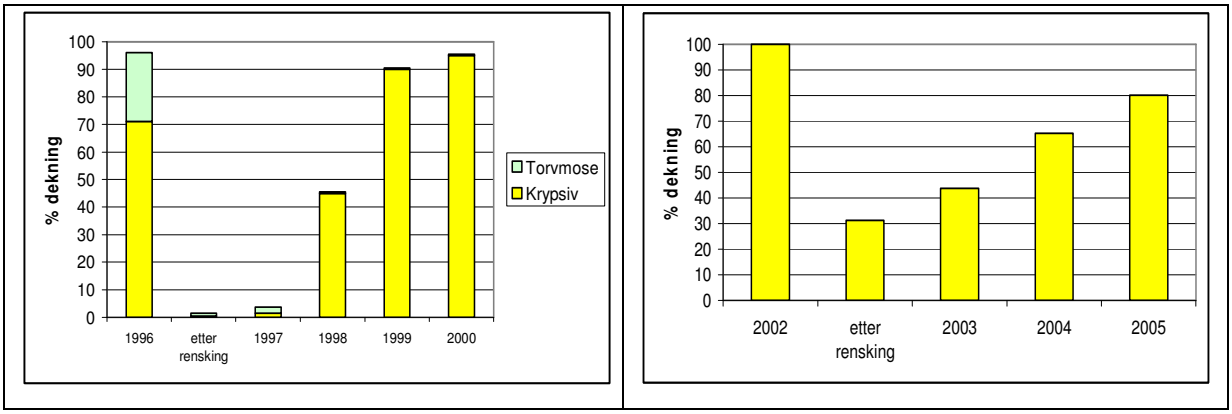
I Mandalselva ved Sveindal nedstrøms utløpet av Håverstad kr.st. har det vært utført renskeforsøk med krypsiv i flere omganger siden 1996 (Brandrud og Johansen 1997). Dette området hadde allerede i 1993 meget store bestander av krypsiv i overflaten (Johansen 1993) og situasjonen har holdt seg mer eller mindre stabil helt fram 2005, da de foreløpig siste registreringene er foretatt. Substratet i dette området er dominert av sand og grus og elva er sakteflytende. Resultatene av to ulike renskeforsøk er illustrert i figur 35. I 1996 ble et felt på 100 m² rensket manuelt og praktisk talt alt krypsivet ble fjernet. I 2002 ble et felt på 1000 m² rensket maskinelt med gravemaskin. På dette arealet var det ca. 30 % dekning av krypsiv igjen etter rensking. Gjenveksten var stor og etter bare 3 år var situasjonen nesten tilbake til utgangspunktet før rensking i begge tilfeller. Felles for disse feltene er at de ligger i områder med store bestander av krypsiv på alle kanter. Tilgangen på nytt plantemateriale er derfor konstant og letter nykolonisering. Dersom større arealer hadde blitt rensket på samme måte kan gjenveksten ha gått noe langsommere. Forsøkene viser imidlertid klart at miljøforholdene som har skapt de store krypsivbestandene i dette området fortsatt har vært til stede i hele perioden 1996-2005.

Tabell 8. Resultater av Mann-Kendall test for trend i dekningsgrad av krypsiv på 6 lokaliteter i Mandalsvassdraget.

Lok.	Første år	Siste år	Antall år	Signifikans trend	Sen's estimate	Dekningsnivå %	Strøm-hastighet	Dominerende substrat
ÅKN	1996	2004	9		0,012	0,01 – 1,09	Sterk	Stein
SMEØ	1997	2004	8	***	3,862	0,38 – 27,6	Sterk	Stein
SMEN	1996	2004	9		0,049	0,08 – 0,80	Sterk	Stein
TRY	1996	2004	9	*	6,533	11,6 – 67,0	Middels	Stein, sand
FIN	1996	2004	9		0,052	0,01 – 1,78	Sterk	Små stein
ØYS	1996	2004	9	*	2,618	7,8 – 29,4	Middels	Stein, grus



Figur 34. Tidsutvikling i dekningsgrad av krypsiv på 6 lokaliteter i Mandalsvassdraget. Beregnet Sen's estimate er inntegnet. Signifikante trender på lokalitetene SMEØ ($p < 0,001$), TRY ($p < 0,05$) og ØYS ($p < 0,05$).



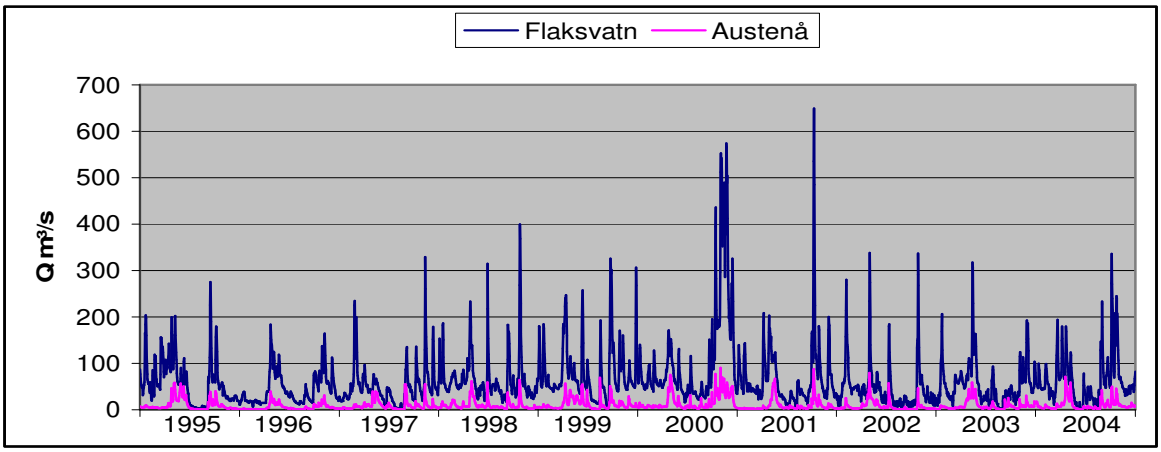
Figur 35. Tilgroing på renskede arealer med krypsiv nedstrøms Håverstad kraftverk ved Sveindal i Mandalselva. Manuell rensking av areal 100 m² i 1996 og maskinell rensking av areal 1000 m² i 2002.

4.5 Tovdalsvassdraget

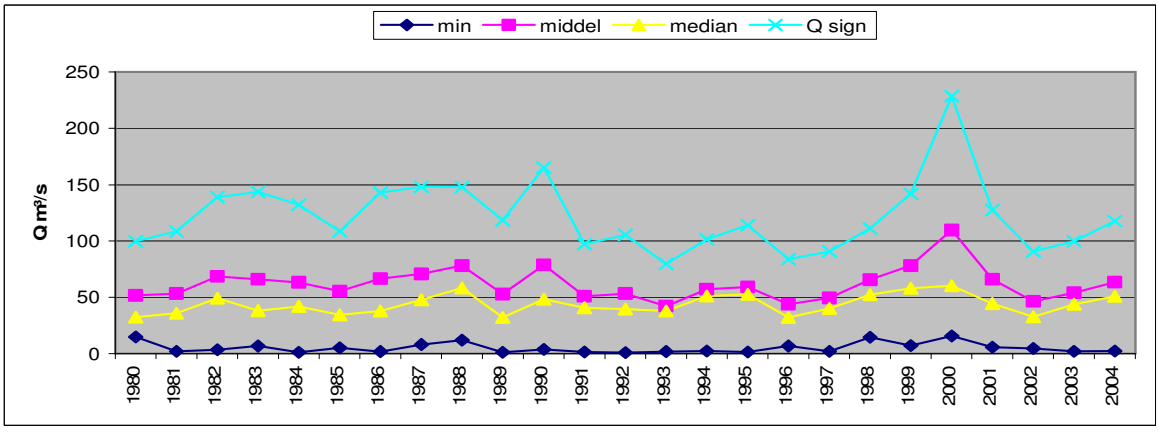
Tovdalselva ligger i Telemark, Aust- og Vest-Agder og har et nedbørfelt på 1885 km². Elva er delvis regulert ved Uldalsgreina i vest og Hanefossen kraftverk. Østre del ned til Herefossfjorden er uregulert. Middelvannføringen ligger på 65 m³/s og normal årsnedbør på 1293 mm. Elva er kalket siden 1996.

4.5.1 Hydrologi

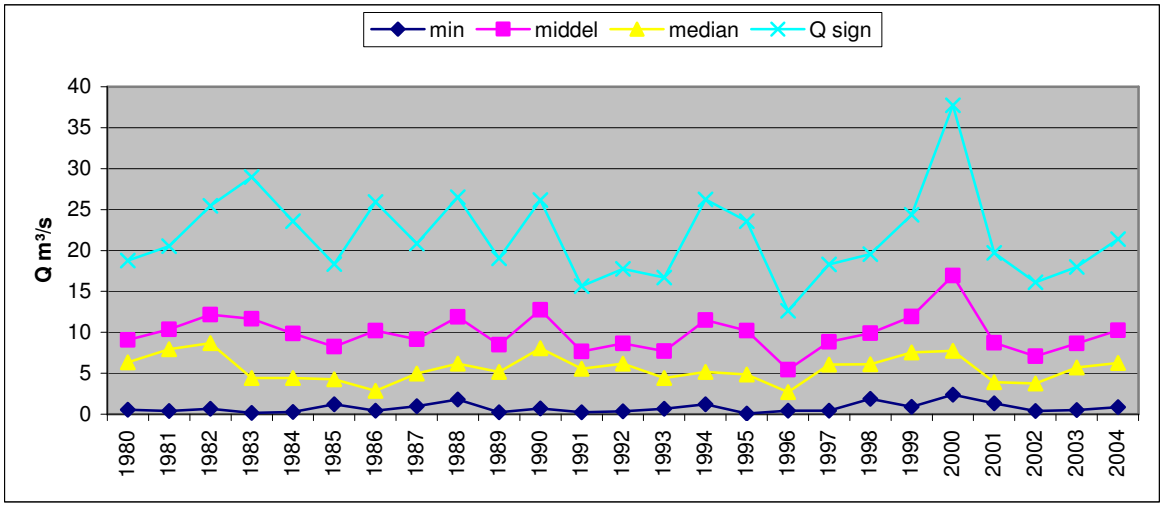
Det hydrologiske regimet i Tovdalselva er illustrert i figur 36 ved døgnmiddelvannføringer ved Austenå og Flaksvatn i perioden med krypsivregistreringer. Austenå representerer uregulert tilstand i de øvre deler av vassdraget, mens Flaksvatn representerer de nedre deler av vassdraget hvor også vann fra den regulerte Uldalsgreina inngår. Det har vært to store flommer i perioden, høsten 2000 og 2001. Variasjonen i vannføring er generelt stor gjennom året. Tidsutvikling i vannføringen ved Flaksvatn og Austenå er fremstilt i figurene 37 og 38. Det ble ikke funnet noen signifikant trend i de årlige minimums- eller maksimumsvannføringer, samt middel-, median- og signifikant vann-føring på noen av de to målestasjonene for måleperioden 1980-2004. For perioden 1995-2004 med kryp-sivregistreringer ble det heller ikke funnet signifikante trender i noen av parametrene. I deler av denne perioden 1996-2000 var det imidlertid en jevn økning i årlig middelvannføring og signifikant vannføring, samt relativt høyere årlig minimumsvannføring. Dette kan generelt ha vært en gunstig periode for etablering, vekst og overlevelse av krypsiv i vassdraget.



Figur 36. Døgnmiddelvannføring i Tovdalselva målt ved Austenå og Flaksvatn i perioden 1995-2004.



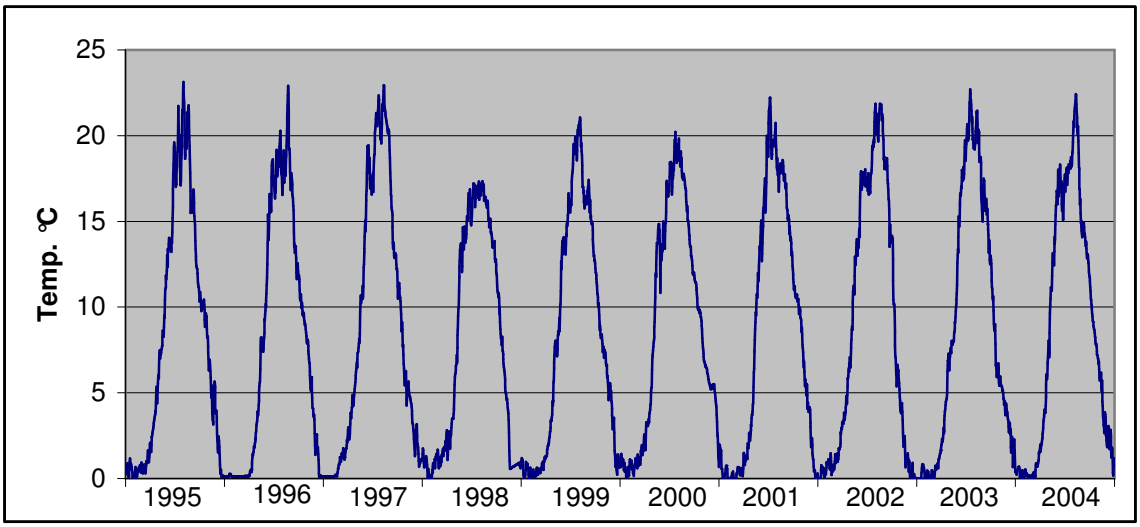
Figur 37. Tidsutvikling for vannføringsparametre i Tovdalselva ved Flaksvatn i perioden 1980-2004. Årlige minimums-, middel- og medianvannføringer samt beregnet signifikant vannføring.



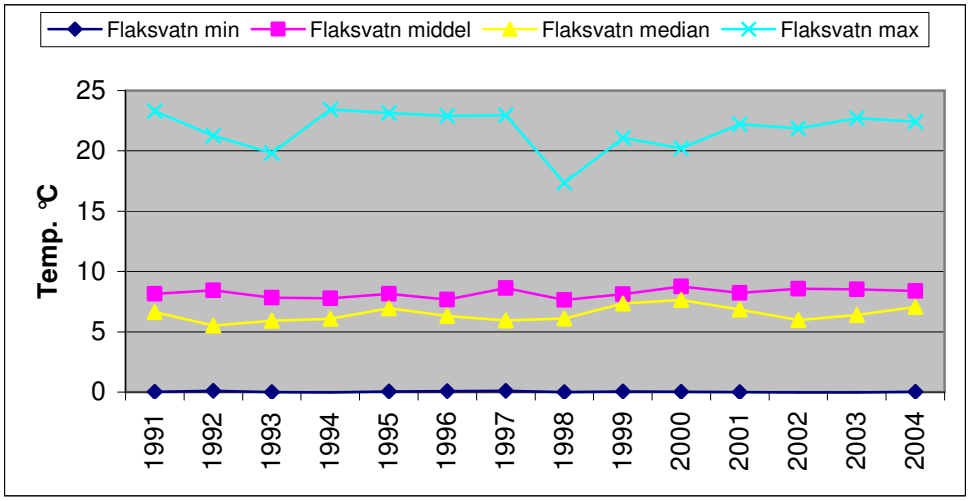
Figur 38. Tidsutvikling for vannføringsparametre i Tovdalselva ved Austenå i perioden 1980-2004. Årlige minimums-, middel- og medianvannføringer samt beregnet signifikant vannføring.

4.5.2 Temperatur

Temperatur regimet i Tovdalselva målt i nedre deler ved Flaksvatn er illustrert i figur 39 ved døgnmiddeltemperaturer i perioden med krypsivregistreringer. Vintertemperaturen har hvert år kommet ned mot 0°C, men varigheten av perioden med så lav temperatur har variert. Vintrene 1996 og 1997 synes å være de siste vintrene med relativt lange kuldeperioder og dermed mulighet for isdannelse. Tidsutvikling i vanntemperatur er fremstilt i figur 40. For perioden 1991-2004 er det funnet en signifikant ($p < 0,05$) økning i mediantemperaturen for vekstsesongen mai-november men ingen signifikante trender i årlige min.-, middel-, median- eller maksimumstemperaturer. For perioden med krypsivregistreringer 1995-2004 er det funnet en signifikant ($p < 0,05$) økning i middeltemperaturen på våren og for vekstsesongen mai-november. Det er da også en svak men ikke signifikant økning i den årlige graddagsum i perioden. Dette kan tyde på at det temperatur-messig har blitt noe gunstigere vekstsesonger for krypsiv.



Figur 39. Døgnmiddeltemperatur i Tovdalselva ved Flaksvatn i perioden 1995-2004 med krypsiv-registreringer.



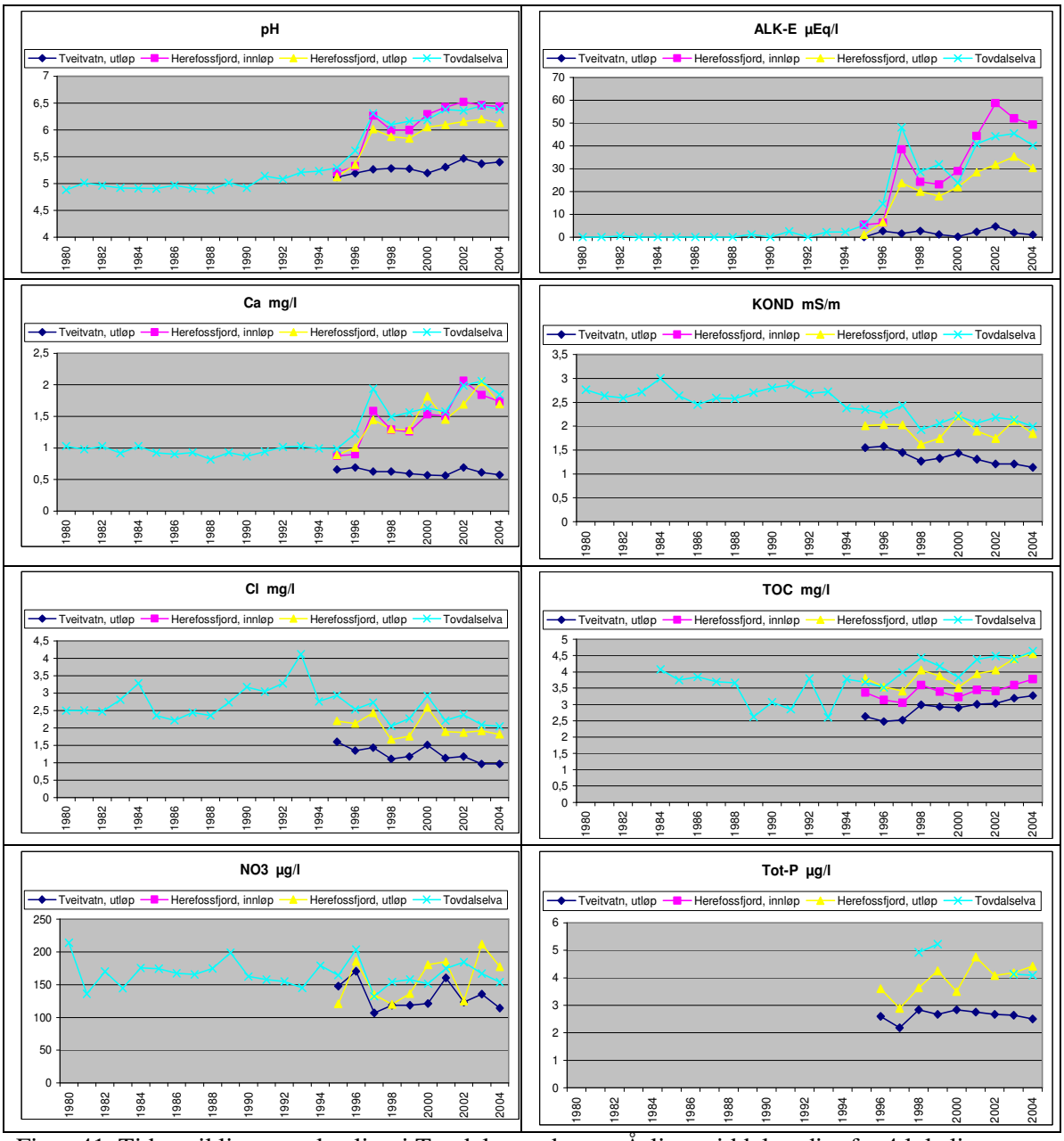
Figur 40. Tidsutvikling i vanntemperaturen i Tovdalselva for perioden 1991-2004. Årlige minimums-, maksimums-, middel- og medianverdier.

4.5.3 Vannkvalitet

Vannkvaliteten i Tovdalselva er fremstilt i figur 41. Tovdalselva var kronisk sur med pH < 5 i en lengre periode før kalking. Etter fullkalking har det skjedd en markert og signifikant ($p < 0,001$) økning i pH, Ca og alkalinitet (ALK-E). Konduktiviteten har hatt en tilsvarende signifikant nedgang. Perioden 1995-2004 med registreringer av krypsiv viser også signifikante ($p < 0,01$ og $p < 0,05$) økninger i pH, Ca, alkalinitet og TOC på de kalkpåvirkede lokaliteter. På referanse-lokaliteten ved Tveitvatn har det vært en signinfikant ($p < 0,01$) økning i både pH og TOC og en tilsvarende signifikant ($p < 0,01$) nedgang i konduktivitet og klorid. Nitrat viser ingen signifikant trend verken før eller etter kalking.

4.5.4 Vekst av krypsiv – tidsutvikling

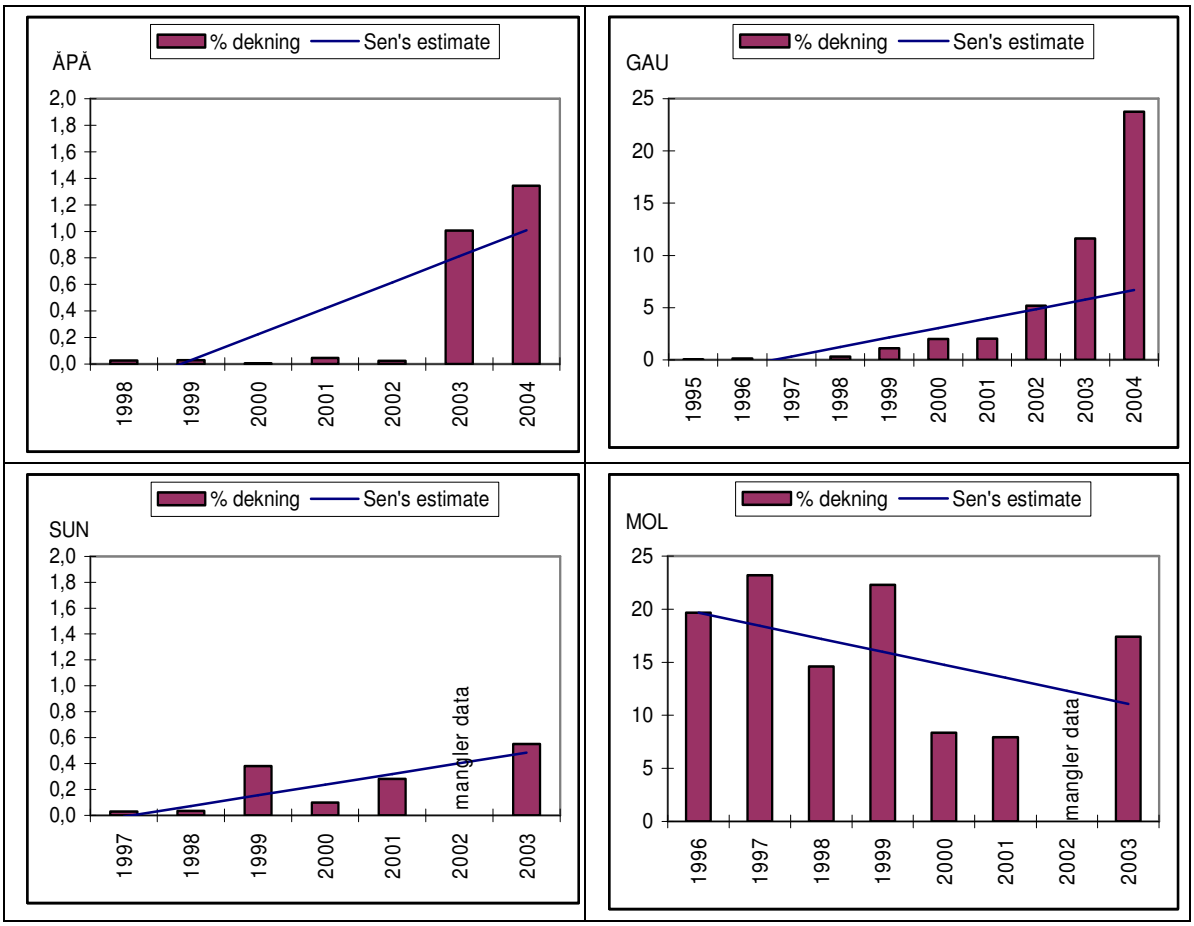
De 6 lokalitetene i Tovdalsvassdraget med krypsivregistreringer i form av dekningsgrad er oppsummert i tabell 9. ÅPÅ ligger øverst i vassdraget og er upåvirket av kalking. Et mosedominert substrat med stein og lite grus gjør det vanskelig for krypsiv å etablere seg. Det er likevel en liten økning i dekningsgrad de to siste årene men ikke statistisk signifikant. Lokalitetene AUS-1 og 2 ligger tett opptil kalkdoserer ved Bås på henholdsvis grovt og fint substrat. På grovt substrat har det hele tiden vært svært lav dekning med krypsiv og ingen signifikant trend. På fint substrat i mer sakteflytende parti har dekningsgraden av krypsiv vært meget høy i hele perioden. Her er det for få år med observasjoner til at trender kan analyseres. Lokaliteten GAU ligger ved Gauslå mellom doserer ved Bås og innløp Herefossfjorden. Her har det vært en signifikant ($p < 0,001$) økning i krypsivdekning fra nær 0 % til over 20 % dekning (tabell 9, figur 42). Det tok flere år før krypsivet etablerte seg men når plantene først hadde fått feste synes miljøforholdene å ha vært meget gunstig en periode. Lokaliteten SUN ligger like nedstrøms Herefossfjorden på noe grovt substrat. Dekningsgraden av krypsiv er svært beskjeden, men viser likevel en signifikant ($p < 0,05$) økning i perioden. Nederste lokalitet MOL ligger nedstrøms Flaksvatn. Middels strømhastighet og en del sand og grus i substratet har vært gunstig for kolonisering av krypsiv, som har vært til stede med store bestander og høy dekningsgrad lenge før kalkingen startet opp. Det er ikke påvist noen signifikant trend i dekningsgraden i perioden.



Figur 41. Tidsutvikling vannkvalitet i Tovdalsvassdraget. Årlige middelverdier fra 4 lokaliteter; Tveitvatn ukalket, Herefossfjorden innløp (kalkpåvirket), Herefossfjorden utløp (kalkpåvirket) og Tovdalselva (nederst i vassdraget ved Boenfoss).

Tabell 9. Resultater av Mann-Kendall test for trend i dekningsgrad av krypsiv på 6 lokaliteter i Tovdalsvassdraget.

Lok.	Første år	Siste år	Antall år	Signifikans trend	Sen's estimate	Dekningsnivå %	Strøm-hastighet	Dominerende substrat
ÅPÅ	1998	2004	7		0,196	0,01 – 1,34	Sterk	Stein
AUS-1	1998	2004	6		0,004	0,03 – 0,55	Sterk	Stor stein
AUS-2	2001	2004	3			44,2 – 78,0	Liten	Grus, sand
GAU	1995	2004	10	***	0,907	0,01 – 23,8	Sterk	Stein
SUN	1997	2003	6	*	0,082	0,03 – 0,55	Sterk	Stor stein
MOL	1996	2003	7		-1,226	7,9 – 23,2	Middels	Stein, sand



Figur 42. Tidsutvikling i dekningsgrad av krypsiv på 4 lokaliteter i Tovdalsvassdraget. Beregnet Sen's estimate er inntegnet. Signifikante trender på lokalitetene GAU ($p < 0,001$) og SUN ($p < 0,05$).

5. Kobling av miljøforhold til vekst av krypsiv

I dette avsnittet er det forsøkt å finne sammenhenger mellom observert vekst av krypsiv og miljø-forhold i vassdragene. I flere av vassdragene er det funnet signifikante trender i dekningsgrad av krypsiv på flere lokaliteter, mens andre lokaliteter i samme vassdrag ikke oppviser de samme trender. På samme måte er det funnet signifikante trender for enkelte miljøvariable. I det følgende vil hvert vassdrag bli behandlet for seg.

5.1 Vikedalsvassdraget

I Vikedalsvassdraget var det ingen av de etablerte overvåkingslokaliteter som viste noen statistisk signifikante trender med hensyn på vekst av krypsiv. Likevel er det tendenser til økt forekomst av krypsiv på noen av lokalitetene og også klovasshår på en lokalitet innenfor registreringsperioden. Blant miljøvariablene ble det i samme periode påvist økende middelvannføring i vår sommer perioden og økning i middeltemperaturen om vinteren som begge kan tenkes å kunne bidra til økt vekst og overlevelse av planter generelt. En økning i pH kan også tenkes indirekte å kunne ha stimulert til bedre forhold for krypsiv ved økt nedbrytning av organisk materiale og dermed økt

tilgang på CO_2 i vannfasen. Disse positive elementene har likevel ikke ført til noen stor endring i miljøforholdene som har fått krypsiv til å vokse betydelig bedre de siste 10 årene. Man kan tenke seg at det naturlige vannføringsregimet fortsatt er styrende for planteveksten i dette vassdraget og at krypsiv synes å holdes nede på et lavt nivå på typiske elvelokaliteter.

Andre observasjoner i Vikedalsvassdraget tyder på at krypsiv trives godt i innsjøene. Eksempelvis har Røyravatn hatt store bestander av krypsiv i littoralsonen i hele perioden siden 1993. Det synes også å ha blitt mer krypsiv i samme periode i andre innsjøer nær utløpsosen hvor det er svakt strømmende vann. Dette viser både at vannkvaliteten er gunstig for krypsivvekst i dette vassdraget og at strømhastighetsparameteren er viktig. Dette kan igjen være et argument for at variabiliteten i vannføringen er for stor til at krypsiv får gode nok vekstbetingelser på elvelokalitetene.

5.2 Bjerkereimsvassdraget

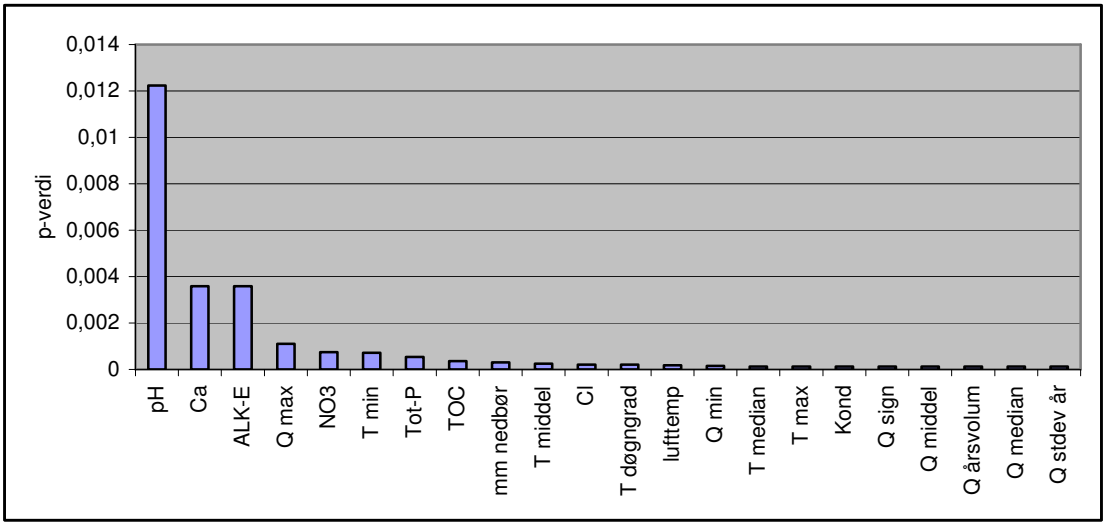
I Bjerkereimsvassdraget var det ingen av de etablerte overvåkingslokaliteter som viste noen statistisk signifikante trender med hensyn på vekst av krypsiv. Utvalget av lokaliteter var begrenset både i tid og rom og de få lokaliteter som var, hadde heller ikke optimale forhold med hensyn på substrat og strømhastighet for krypsiv. Et unntak var nederste lokaliteten i vassdraget som hadde stor dekning av krypsiv i starten og hvor det ble påvist en ikke signifikant nedadgående trend i perioden 1997-2001. I samme periode var det en ikke signifikant økende trend i årlig middel og signifikant vannføring samt en svak økning i min. og maks. temperatur. Det var samtidig ingen signifikante trender i vannkvalitetsparameterene. Denne kombinasjonen av miljøforhold gav ingen entydig verken gunstig eller ugunstig situasjon for krypsiv. Mens temperaturen kan ha gitt gunstigere vekstforhold, kan økningen i signifikant vannføring i denne perioden ha bidratt negativt ved å opprettholde et høyt erosjonstrykk og dermed hindret ekspansjon av krypsiv. Flommen høsten 2000 viste trolig også at store bestander av krypsiv kan eroderes kraftig i naturlige systemer og at vannføringen også her er styrende for planteveksten.

En av lokalitetene var plassert i øvre deler av vassdraget på en strekning påvirket av regulering og med en middelvannføring på < 5 m³/s. Vannføringsregimet har et typisk forløp med høy vinter-vannføring og lav sommervannføring. Krypsiv hadde svært liten dekning og det var ingen trender i miljøvariablene omkring vannføring og vannkvalitet i den relativt korte perioden med krypsiv-registreringer. I et lenger tidsperspektiv har imidlertid utviklingen gått mot en mindre variabel vannføring. Uegnet substrat kan være en årsak til liten etablering og vekst av krypsiv i dette området. Grovt mosedekket substrat dominerer. Strømhastigheten kan også være begrensende. Samtidig er det ingen overvåking av temperatur ved lokaliteten som kan si noe om sesong-variasjoner og isforhold. Vannføringsregimet isolert sett burde kunne gi grunnlag for mer vekst av krypsiv enn det som er observert. Dette kan være et eksempel på at andre faktorer er begrensende uten at en i denne omgang kan påvise hvilke det kan være.

5.3 Tovdalsvassdraget

I Tovdalsvassdraget var det 2 lokaliteter med signifikant økt dekning av krypsiv og 2 lokaliteter som hadde økt dekning men ikke signifikant. I tillegg var det en lokalitet nederst i elva med i utgangspunktet høy krypsivdekning, som hadde en ikke signifikant nedgang. I den samme perioden var det ingen signifikante trender i vannføringsparametre, mens det har vært en økende middel-temperatur i vannet på våren og i vekstsesongen. På kalkede lokaliteter har det vært en signifikant økning i pH, Ca, Alk-E og TOC. På referanselokaliteten har det også vært en signifikant økning i pH og TOC i samme periode. Størst endringer synes altså å ha vært i den kjemiske vannkvaliteten som følge av kalkingen.

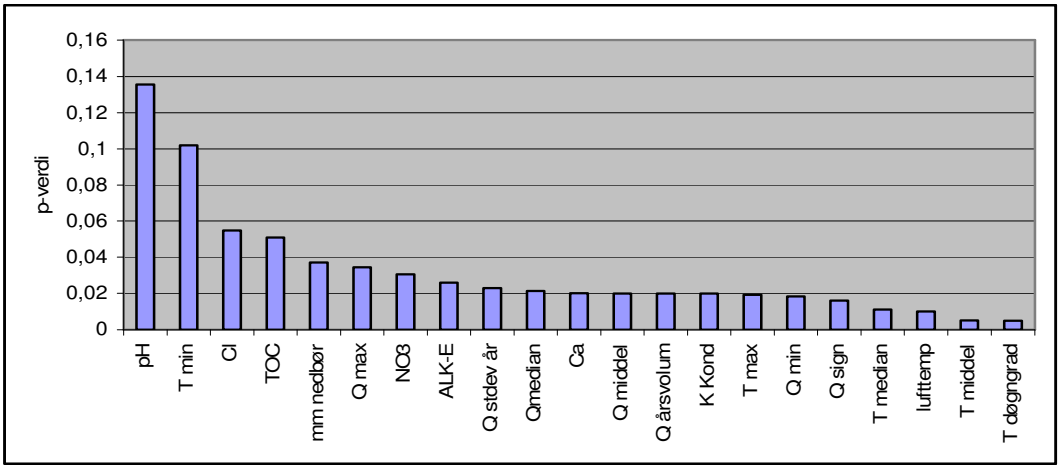
For å teste om signifikante trender i dekningsgrad av krypsiv kan forklares ved hjelp av trender i ulike miljøvariabler har man benyttet en såkalt partial Mann-Kendall test (PMK). På lokalitet GAU viste krypsiv en sterkt signifikant økende trend med p-verdi p=0,000123. Ved å kjøre PMK med en og en av de aktuelle miljøvariabler, viste hele 18 av 22 variable å gi en høyere p-verdi for krypsiv-trenden enn den opprinnelige samtidig som krypsivtrenden fortsatt er signifikant på nivå $p < 0,05$ (figur 43). Det betyr at alle de 18 parametre teoretisk sett er med på å forklare noe av krypsiv-trenden. Bare 3 av variablene ga imidlertid en betydelig økning av p-verdien, dvs. med en faktor > 10. Disse 3 pH, Ca og ALK-E som er svært godt korrelert, har dermed størst forklaringsverdi i forhold til den økende krypsivtrenden på denne lokaliteten.



Figur 43. Partial Mann-Kendall test av miljøvariable relatert til krypsivtrend på lok. GAU i Tovdalsvassdraget. Nye p-verdier for krypsivtrend justert for samtlige miljøparametre. Opprinnelig p-verdi for krypsiv var p=0,000123.

På lokalitet SUN viste krypsiv en mindre signifikant økende trend med p-verdi p=0,019389 enn ved GAU. Dekningsnivået var også betydelig mindre enn ved SUN. PMK-test gav i dette tilfellet et noe annet resultat. Av de 21 variable gav 14 høyere p-verdi for krypsivtrenden enn den opprinnelige, men bare 10 samtidig som krypsivtrenden var signifikant på nivå $p < 0,05$ (figur 44). For 4 av variablene ble krypsivtrenden ikke signifikant, dvs. den nye p-verdi ble > 0,05. Dette tolkes dithen at disse variablene har en meget høy forklaringsgrad i forhold til krypsivtrenden. Igjen er det pH som kommer best ut.

For begge lokalitetene i Tovdalsvassdraget med signifikant økende trender i dekning av krypsiv er det altså trender i vannkvaliteten som gir størst forklaringsgrad. Vannføringsparametrene spiller mindre rolle. Som en mulig forklaring på at vannkvaliteten i form av økende pH har gitt økt vekst av krypsiv enkelte steder, kan det ha en mulig forklaring i CO_2-tilgangen for plantene. Krypsiv er en CO_2-plante og alle faktorer som bidrar til økt CO_2 i vannfasen kan dermed tenkes å påvirke krypsivveksten. I tilfellet Tovdalsvassdraget vil økende pH medføre økt nedbrytning av organisk materiale i systemet som kan frigjøre mer CO_2 til vannfasen. Den økende trenden i TOC kan også sammen med økt pH medføre økt tilgang på CO_2 ved nedbryting. En generell økning av CO_2-nivået i atmosfæren vil også bidra positivt i samme retning siden det alltid vil tilstrebes likevekt mellom CO_2 i atmosfæren og i vannet.



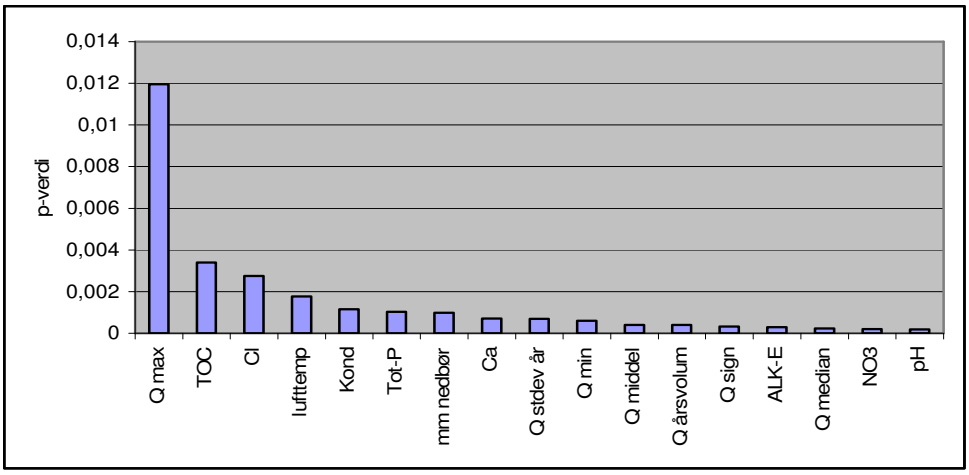
Figur 44. Partial Mann-Kendall test av miljøvariable relatert til krypsivtrend på lok. SUN i Tovdalsvassdraget. Nye p-verdier for krypsivtrend justert for samtlige miljøparametre. Opprinnelig p-verdi for krypsiv var p=0,019389.

5.4 Mandalsvassdraget

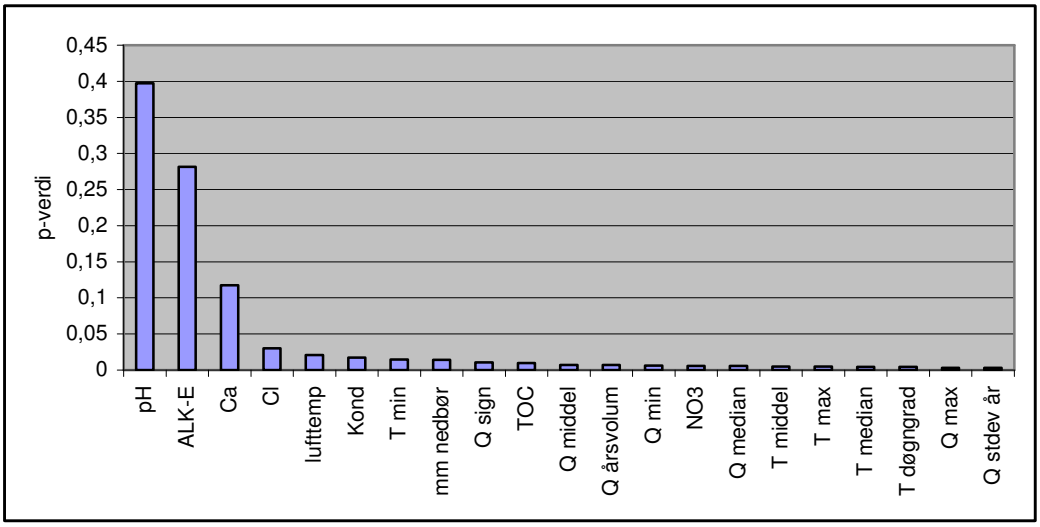
I Mandalsvassdraget var det 3 lokaliteter med signifikant økende krypsivtrender og 3 lokaliteter med ikke signifikant positiv trend. Totalt sett tyder dette på økt mengde krypsiv i vassdraget i perioden 1996-2004. I den samme perioden var det ingen signifikante trender i årlige vannførings-parametre, med unntak av maks vannføringer ved Smeland kr.st.. Temperaturmessig har det både ved Kjølemo og Håverstad vært en økende trend i middeltemperatur over året, men den er ikke signifikant. Vannkvaliteten viser ingen signifikante trender på ukalkede referanselokaliteter, mens på de kalkpåvirkede har det vært statistisk signifikant økende trender i pH, Ca, ALK-E og i ett tilfelle TOC.

Ved testing av krypsivtrend mot miljøvariable ved SMEØ, dvs. lokaliteten påvirket av effekt-regulering og upåvirket av kalking, var det 9 av 17 variable som gav høyere p-verdi for krypsiv-trenden enn den opprinnelige p = 0,000648, samtidig som krypsivtrenden fortsatt er signifikant på nivå p < 0,05 (figur 45). Maks vannføring (Q max) gav størst forklaringsgrad mens de andre vannføringsparametre ikke bidro noe til forklaringen av krypsivtrenden. Det må bemerkes at miljøvariabelene knyttet til denne lokaliteten ikke er optimale med hensyn på vannkvalitet da den stammer fra en referanselokalitet i en annen del av vassdraget. Temperaturdata finnes ikke og de genererte vannføringsparametre basert på driftsvannføring ved kraftverket er ikke korrigert for minstevannføring og flomoverløp. På denne bakgrunn skal det ikke spekuleres mer i årsaks-forklaring til den markerte økende trend i krypsivdekningen, men man kan tenke seg at vann-føringsregimet har hatt en avgjørende betydning selv om det i denne omgang ikke lar seg sannsynliggjøre fullt ut. I alle fall har krypsiv klart å ekspandere og vokse bra under dette regimet.

Ved testing av krypsivtrend mot miljøvariable ved lokaliteten ØYS nederst i vassdraget, var det 9 av 21 variable som gav høyere p-verdi for krypsivtrenden enn den opprinnelige p = 0,006172, samtidig som krypsivtrenden fortsatt er signifikant på nivå p < 0,05 (figur 46). For 3 av variablene ble krypsivtrenden ikke signifikant, dvs. den nye p-verdi ble > 0,05. Disse variablene; pH, ALK-E og Ca som er sterkt korrelert og som henger sammen med kalkingen i vassdraget har dermed en meget høy forklaringsgrad i forhold til krypsivtrenden. En tilsvarende PMK-test for miljøvariable ved lokaliteten TRY gir mye av det samme resultatet som for ØYS. Vannkvalitetsparametrene relatert til kalking gir en overstyrende forklaringsgrad til krypsivtrenden, mens vannførings-relaterte og temperaturrelaterte parametre har en minimal forklaringsgrad.



Figur 45. Partial Mann-Kendall test av miljøvariable relatert til krypsivtrend på lok. SMEØ i Mandalsvassdraget. Nye p-verdier for krypsivtrend justert for samtlige miljøparametre. Opprinnelig p-verdi for krypsiv var p=0,000648.



Figur 46. Partial Mann-Kendall test av miljøvariable relatert til krypsivtrend på lok. ØYS i Mandalsvassdraget. Nye p-verdier for krypsivtrend justert for samtlige miljøparametre. Opprinnelig p-verdi for krypsiv var p=0,006172.

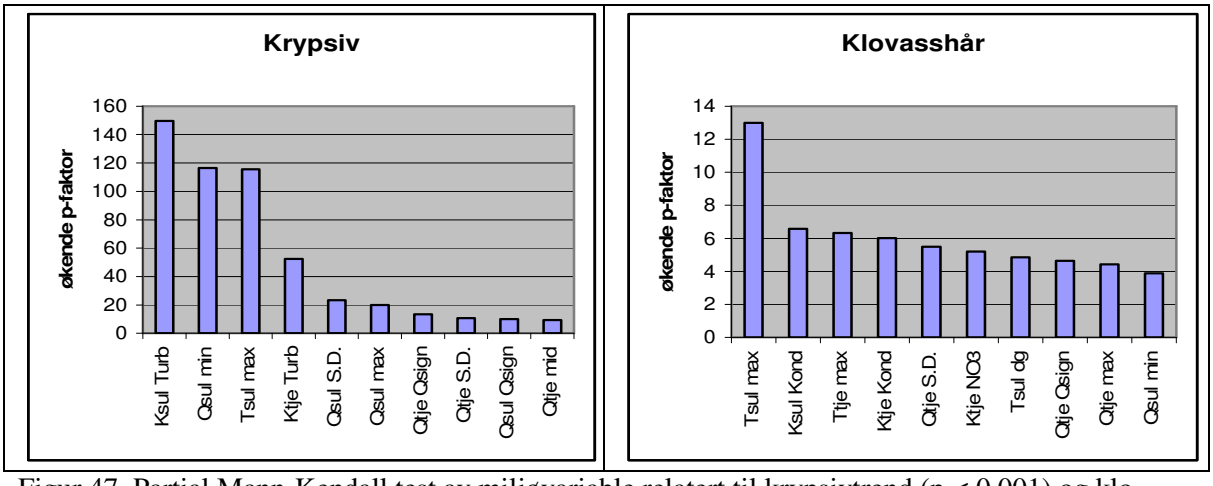
For Mandalsvassdraget som Tovdalsvassdraget synes altså endring i vannkvaliteten som følge av kalkingen og med det positiv CO_2 effekt, å ha en større forklaring på økt forekomst av krypsiv på flere lokaliteter i forhold til trender i vannføring og temperatur. En liten kontrast til dette er situasjonen nedstrøms Håverstad kr.st. i Mandalsvassdraget hvor det er bygd opp store bestander av krypsiv uten kalkpåvirkning før 1996 og hvor bestandene har holdt seg tilnærmet på samme nivå i hele perioden med kalkpåvirkning. I dette tilfellet har utjevnet vannføring over året og stabil høy vintervannføring vært utløsende faktor for den gode krypsivveksten. Senere kan kalkingen ha gjort forholdene ennå gunstigere for krypsiv dersom CO_2 effekten er reell. Den raske gjenveksten av krypsiv på de renske flatene omtalt tidligere, samt meget god vekst av årsskudd av krypsiv i dette området etter kalking (DN 2005), kan tyde på dette.

5.5 Suldalslågen

I Suldalslågen ble det funnet en rekke signifikante trender både for krypsiv og klovasshår for enkeltlokaliteter og for middelverdier av ulike lokalitetstyper over kortere og lengre perioder i tidsrommet 1988-2004. Felles for disse trendene var med få unntak signifikant økning i både krypsiv og klovasshår i de områder av elva som hadde substrat og strømforhold tilpasset disse plantene. Det ble også konstatert trender i flere miljøvariable. I denne omgang er det gjort PMK-tester på de trender som ble omtalt i foregående kapitel. I alle testene er det brukt 38 miljøvariabler hvorav 2 klimarelaterte (nedbør og lufttemperatur), 12 vannføringsparametre (6 + 6), 10 vann-temperaturparametre (5 + 5) og 14 vannkvalitetsparametre (7 + 7) for øverst og nederst i elva. Det har også vært mulig å ta hensyn til årstid i dette tilfellet da det finnes to observasjonstidspunkter (april og november) hvert år.

Overvåkingslokaliteter.

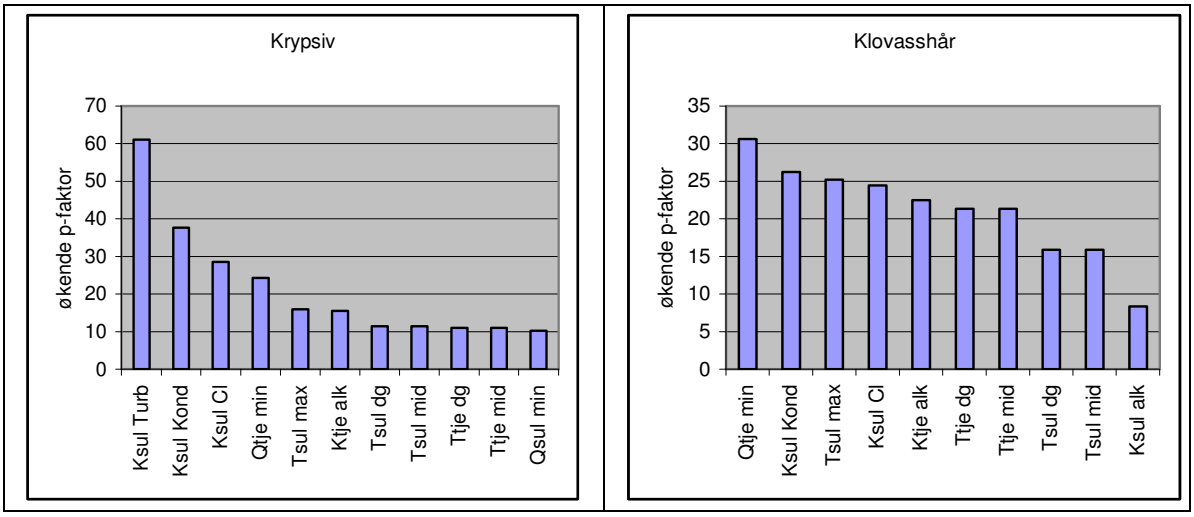
Den lengste tidsserien dekker perioden 1988-2004 på 12 overvåkingslokaliteter. Her viser krypsiv en signifikant økende trend alene med $p < 0,001$. Tilsvarende har klovasshår en mindre signifikant økende trend med $p < 0,05$. Når vi prøver å forklare disse trender gjennom å bruke PMK-testen med de 38 forklaringsvariablene finner vi fortsatt signifikante krypsivtrender. Med PMK-testen er det hele 35 variable som gir en økende p-verdi (dvs. mindre statistisk signifikans) for krypsiv-trenden samtidig som den er signifikant på nivå $p< 0,001$. 9 av disse variablene gir en økt p-verdi med en faktor > 10 (figur 47). Blant disse finner vi 6 vannføringsrelaterte parametre, en på temperatur og to på vannkvalitet. De 6 vannføringsparametrene er min, maks, S.D. (variasjons-parameter) og signifikant vannføring øverst i elva og S.D. og signifikant vannføring nederst i elva. Makstemperaturen øverst og turbiditeten øverst og nederst i elva var de resterende parametre. Dette tolkes slik at vannføringsregimet er med på å forklare en del av krypsivtrenden, men ikke helt.
I tilfellet klovasshår er det hele 28 variable som gir en økende p-verdi i forhold til den opprinnelige trenden, men bare 7 av disse med en fortsatt signifikant trend i klovasshår på nivå $p < 0,05$. De andre 21 variable gir høyere p-verdier og er i stor grad med på å forklare trenden i klovasshår. Blant de 10 variabler som gir høyest p-verdi er det 3 relatert til temperatur og vannkvalitet og 4 relatert til vannføring. Således er trender i maks temperatur og døgngradsum sammen med konduktivitet og nitrat med på å forklare trenden i klovasshår i tillegg til signifikant vannføring, variabiliteten i vannføringen og min og maks. Det er med andre ord vanskelig å peke ut en entydig forklaringsvariabel i dette tilfellet.



Figur 47. Partial Mann-Kendall test av miljøvariable relatert til krypsivtrend ($p < 0,001$) og klo-vasshårtrend ($p < 0,05$) i perioden 1988-2004 på overvåkingslokaliteter i Suldalslågen. Økende p-faktor er beregnet som forholdet mellom opprinnelig og ny p-verdi for trenden i krypsiv og klo-vasshår justert for de utvalgte miljøvariabler.

Transektlokaliteter.
For tidsserien med 5 transektlokaliteter i perioden 1991-2004 viser krypsiv en signifikant økende trend alene med $p < 0,001$. Tilsvarende har klovasshår en mindre signifikant økende trend med $p < 0,01$. Med PMK-testen er det hele 34 variable som gir en økende p-verdi for krypsivtrenden samtidig som den er signifikant på nivå $p< 0,01$. Bare 11 av disse variablene gir en økt p-verdi med en faktor > 10 (figur 48). Blant disse er det 4 vannkvalitetsparametre (turbiditet, konduktivitet, klorid og alkalinitet), minimumsvannføring øverst og nederst i elva og 5 temperaturparametre, hvorav både middeltemperatur øverst og nederst i elva er med. I dette tilfellet synes trender i vann-temperaturen å ha en noe større forklaringsgrad for krypsivtrenden enn vannføringen. Det er vanskelig å se den reelle betydningen av de vannkvalitetsparametrene som gav størst forklarings-grad.

For klovasshår er det hele 33 variable som gir en økende p-verdi i forhold til den opprinnelige trenden, samtidig som den er signifikant på nivå $p< 0,05$. Bare en variabel gir en fortsatt ikke signifikant trend for klovasshår. Det var 9 variabler som gav en økt p-verdi med en faktor > 10 (figur 48). Blant disse var det bare en vannføringsvariabel, minimumsvannføring nederst i elva, 3 vannkvalitetsparametre (konduktivitet, klorid og alkalinitet) og 5 temperaturparametre hvorav både middeltemperatur øverst og nederst i elva er med. Også for klovasshår synes trender i vann-temperaturen å ha en noe større forklaringsgrad enn vannføringen i denne perioden.

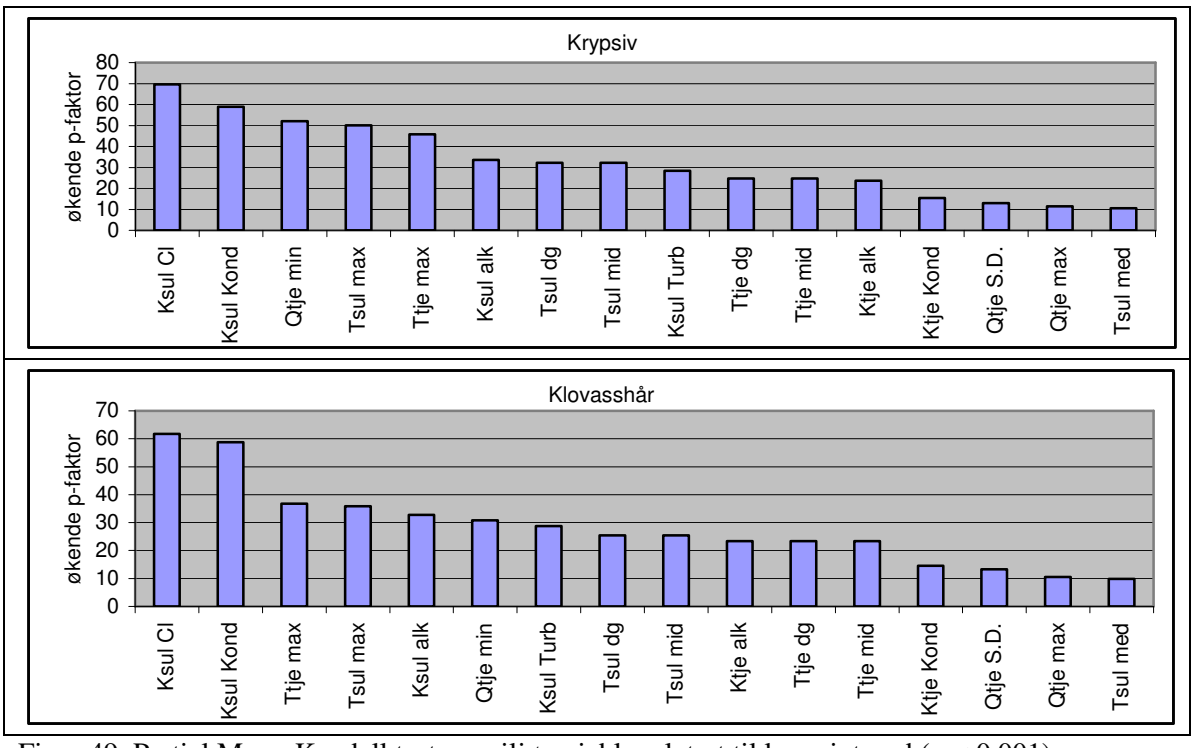


Figur 48. Partial Mann-Kendall test av miljøvariable relatert til krypsivtrend ($p < 0,001$) og klovasshårtrend ($p < 0,01$) i perioden 1991-2004 på transektlokaliteter i Suldalslågen. Økende p-faktor er beregnet som forholdet mellom opprinnelig og ny p-verdi for trenden i krypsiv og klovasshår justert for de utvalgte miljøvariabler.

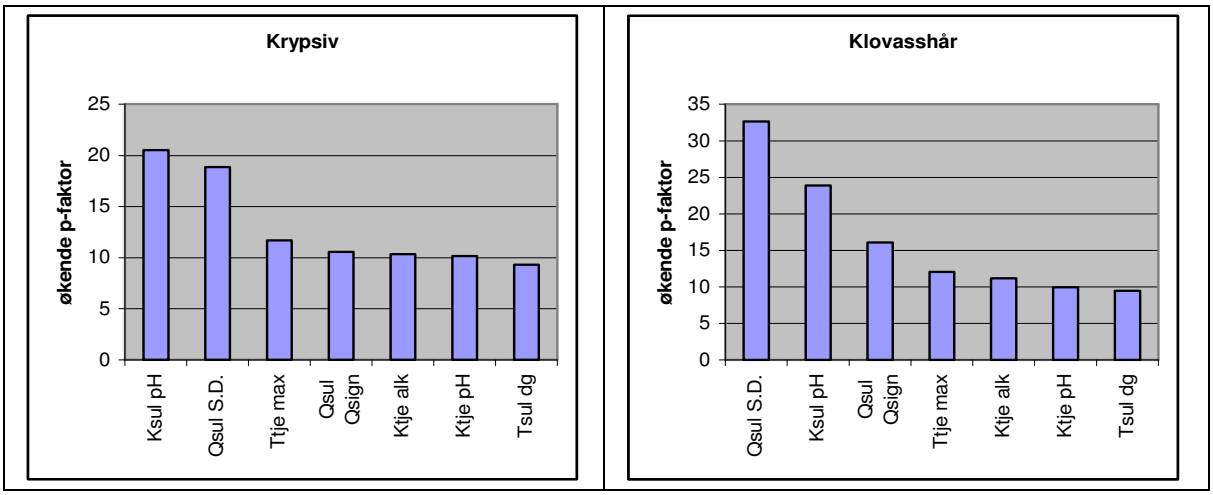
Renskede arealer.
På et areal rensket for vegetasjon i 1992 fikk man en statistisk signifikant økende trend både for krypsiv og klovasshår på nivå $p < 0,001$. PMK-testen viste at hele 36 av variablene gav en økende p-verdi for både krypsiv og klovasshår trendene samtidig som de fortsatt var signifikant på nivå $p< 0,001$. 16 variabler gav en økt p-verdi med en faktor > 10 både i forhold til krypsiv og klovass-hår (figur 49). Blant disse var det 6 relatert til vannkvalitet, 3 til vannføring og 7 til vann-temperatur. Blant vannkvalitetsparameterne kjenner vi igjen alkaliniteten fra de kalkede vass-dragene, mens konduktivitet, klorid og turbiditet er det vanskeligere å tenke seg bidraget fra. Trender i min og maks samt variabiliteten (Q S.D.) i vannføring nederst i elva bidrar tydelig til å forklare noe av trenden i plantevekst. Det gjør også flere av temperaturvariablene som middel og maks temperatur både øverst og nederst i elva.

På et areal rensket for vegetasjon i 1998 fikk man en statistisk signifikant økende trend både for krypsiv og klovasshår på nivå $p < 0,01$. PMK-testen viste at hele 35 av variablene gav en økende p-verdi for krypsivtrenden samtidig som den fortsatt var signifikant på nivå $p < 0,05$. Tilsvarende for klovasshår gav de samme variablene økende p-verdi samtidig som den fortsatt var signifikant på nivå $p < 0,05$ med unntak av 3 variable. Blant disse 3 var både signifikant vannføring (Q sign) og variabiliteten i vannføring (Q S.D.) øverst i elva. For både krypsiv og klovasshår var det de samme 7 variable som gav en økt p-verdi med en faktor > 10 (figur 50) og som dermed viser størst forklaringsgrad. Blant disse variablene finner vi de nevnte Q sign og Q S.D. øverst i elva, døgn-gradsum øverst i elva og maks temperatur nederst i elva samt pH øverst og nederst og alkalinitet.

Prøver man å se på materialet fra Suldalslågen samlet og frigjøre seg litt fra statistisk signifikante trender, synes det som om nedgangen i middelvannføring, signifikant vannføring og også variansen i de årlige døgnmiddelvannføringer kombinert med en økt temperatur i elva, har vært styrende for den utviklingen vi ser i dag. Forholdene for plantevekst er blitt bedre og har ført til den økte dekningsgrad av både krypsiv og klovasshår på de lokaliteter som i utgangspunktet har et gunstig habitat for disse plantene. Arealet med gunstig habitat kan også ha økt siden redusert vannføring gir mindre strømhastighet og mindre transport av finmateriale ut av systemet. Denne problemstillingen er direkte relatert til miljøbasert vannføring.



Figur 49. Partial Mann-Kendall test av miljøvariable relatert til krypsivtrend ($p < 0,001$) og klovasshårtrend ($p < 0,001$) i perioden 1992-2004 på et rensket areal i Suldalslågen. Økende p-faktor er beregnet som forholdet mellom opprinnelig og ny p-verdi for trenden i krypsiv og klovasshår justert for de utvalgte miljøvariabler.



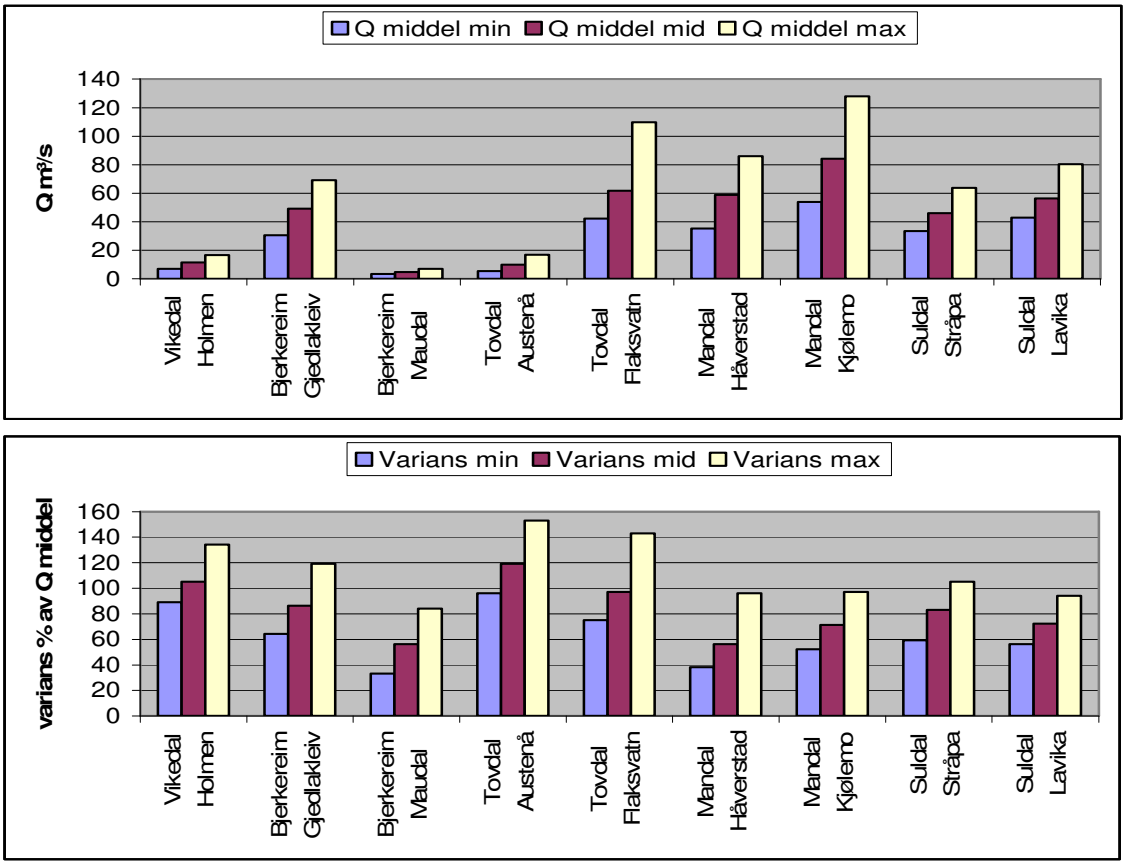
Figur 50. Partial Mann-Kendall test av miljøvariable relatert til krypsivtrend ($p < 0,01$) og klovasshårtrend ($p < 0,01$) i perioden 1998-2004 på et rensket areal i Suldalslågen. Økende p-faktor er beregnet som forholdet mellom opprinnelig og ny p-verdi for trenden i krypsiv og klovasshår justert for de utvalgte miljøvariabler.

6. Miljøbasert vannføring og vekst av krypsiv

Koblingen av miljøforhold til vekst av krypsiv i elver viste at krypsiv har en vid toleranse for variable miljøforhold. Planten kan vokse under svært variable vannføringsregimer, temperaturregimer og kjemisk vannkvalitet. Til tross for dette er det likevel helt grunnleggende for planten å ha et substrat å vokse i. Det må derfor alltid finnes et minimum av finmateriale i form av sand og grus i elvesubstratet for at planten skal kunne etablere seg og vokse på samme sted over tid. Naturlige habitater for krypsiv og andre planter utformes i vassdragene på bakgrunn av substratets sammensetning og det naturlige vannføringsregime. Endringer i det naturlige vannføringsregimet vil derfor alltid gi mulighet for endringer i de eksisterende habitater og dannelse av nye habitater som kan tas i bruk av organismer tilpasset de nye miljøforholdene. I tilfellet plantevekst har vi de klassiske eksempler fra Otra og Mandalsvassdraget nedstrøms utløp kraftverk på at endret vannføringsregime har ført til dannelsen av gunstige habitater for meget god vekst av krypsiv. I disse tilfellene har substratet vært meget gunstig i utgangspunktet. Endringen i vannføringsregimet har bestått i å dempe de naturlige svingninger gjennom året og fremfor alt en økning av vannføringen i vinterperioden i forhold til det naturlige. I disse tilfellene har man ikke hatt miljøbasert vannføring i tankene. Her er det produksjonen i kraftverkene som har bestemt vannføringsregimet. I Otra er det også eksempel på at sterkt redusert vannføring i form av minstevannføring på strekninger med terskelbassenger, har gitt opphav til betydelig økt vekst av krypsiv. I dette tilfellet kan man snakke om en form for miljøbasert vannføring, men tydeligvis en type vannføring gunstig for andre hensyn enn hensynet til å hindre meget god vekst av krypsiv.

I det følgende skal vi se nærmere på de vannføringsregimer som er gjeldende for de vassdrag og vassdragsavsnitt som er gjennomgått med hensyn til vekst av krypsiv i denne rapporten. Siden det er tydelige sammenhenger mellom utjevnet vannføring over året og god krypsivvekst flere steder, er det tatt utgangspunkt i middelverdien av døgnmiddelvannføringer gjennom året og variansen i disse (standard avvik). Dette forteller noe om variabiliteten og stabiliteten i vannføringsregimene. Variansen er i tabeller og figurer fremstilt som prosent av middelvannføringen. I figur 51 og tabell 10 er satt opp en oversikt over variasjon i årsmiddel for døgnmiddelvannføring og variansen i

årlige døgnmiddelvannføringer i siste 25-års periode i alle vassdragene. Figurene 52-56 illustrerer tidsutvikling for middelvannføring og varians i den samme perioden.

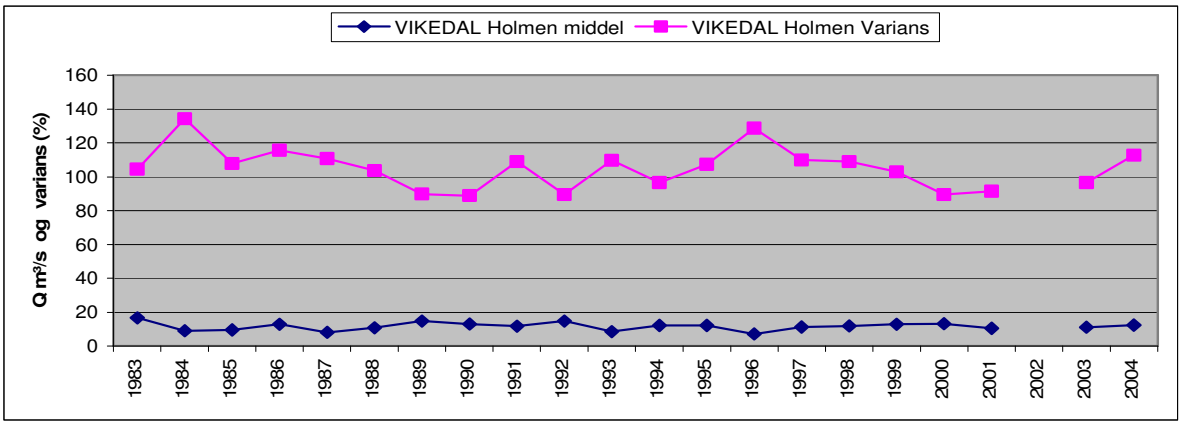


Figur 51. Min., middel og max av årlige middelvannføringer og variansen i døgnmiddel-vannføringer gjennom året i ulike perioder ved målestasjoner i Vikedalsvassdraget (1983-2004), Bjerkereimsvassdraget (1980-2004), Tovdalsvassdraget (1980-2004), Mandalsvassdraget (1980-2004) og Suldalslågen (1981-2004).

Tabell 10. Min., middel og max av årlige middelvannføringer og variansen i døgnmiddel-vannføringer gjennom året i ulike perioder ved målestasjoner i Vikedalsvassdraget, Bjerkereims-vassdraget, Tovdalsvassdraget, Mandalsvassdraget og Suldalslågen.

Vassdrag	Periode	Q middel min	Q middel mid	Q middel max	Varians % min	Varians % mid	Varians % max
Vikedal Holmen	1983-2004	7,1	11,5	16,6	89	105	134
Bjerkereim Gjedlakleiv	1980-2004	30,6	49,1	69,1	64	86	119
Bjerkereim Maudal	1980-2004	3,4	4,7	6,8	33	56	84
Tovdal Austenå	1980-2004	5,4	9,9	16,9	96	119	153
Tovdal Flaksvatn	1980-2004	42,2	61,8	109,7	75	97	143
Mandal Håverstad	1980-2004	35,4	58,7	85,9	38	56	96
Mandal Kjølemo	1980-2004	53,8	84,2	128	52	71	97
Suldal Stråpa	1981-2004	33,4	46,2	63,7	59	83	105
Suldal Lavika	1981-2004	42,8	56,4	80,3	56	72	94
Suldal Stråpa	1998-2004	33,4	37,2	42,7	59	67	73
Suldal Lavika	1998-2004	42,8	47,8	54,4	56	59	64

Vikedalsvassdraget.
Vikedalselva med en middelvannføring på 11,5 m³/s i siste 25-årsperioden, er det minste vassdraget med i denne rapporten. Elva har en stor varians i døgnmiddelvannføringer gjennom året på 89-134 %. Middel for perioden ligger på 105 %. Basert på trender i krypsivdekning fra de undersøkte lokaliteter har ikke dette vannføringsregimet gitt grunnlag for ekstra vekst av krypsiv utover det normale.



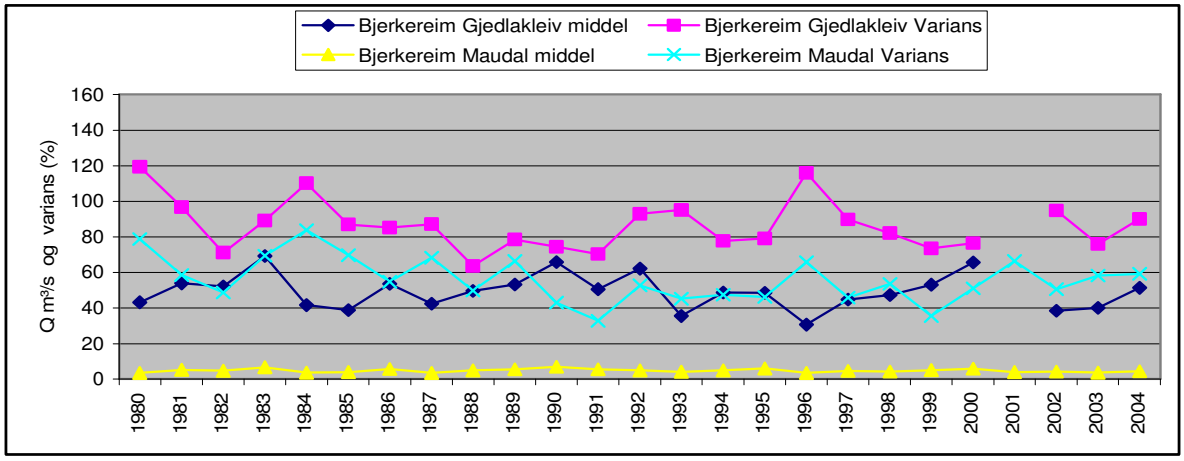
Figur 52. Vikedalsvassdraget. Årsmiddelvannføring og varians i årlige døgnmiddelvannføringer i perioden 1983-2004.

Bjerkereimsvassdraget.
Bjerkereimselva ved Gjedlakleiv har hatt en middelvannføring på 49,1 m³/s i siste 25-årsperioden. Det har vært en stor varians i døgnmiddelvannføringer gjennom året på 64-119 %. Middel for perioden ligger på 86 %. Dette vannføringsregimet synes ikke å ha gitt grunnlag for ekstra vekst av krypsiv utover det normale på lokaliteter som i utgangspunktet har dårlig substrat for krypsiv eller for stor strømhastighet. Der hvor det i utgangspunktet har vært et gunstig habitat for krypsiv er det imidlertid eksempel på at dette regimet har muliggjort fremvekst av større krypsivbestander. Ved Maudal har middelvannføringen vært betydelig lavere på 4,7 m³/s. Varians i døgnmiddelvannføringer gjennom året har også vært relativt lav og variert mellom 33-84 %. Middel for perioden ligger på 56 %. Dette regimet er påvirket av utløp kraftverk. Lokaliteten som var påvirket av dette vannføringsregimet hadde svært lite krypsiv. Dette vannføringsregimet bærer preg av utjevning og med typisk forhøyet vintervannføring. Når en da ikke har vekst av krypsiv må dette være et eksempel på at andre faktorer virker begrensende. I dette tilfellet er det sannsynlig at habitatet i utgangspunktet er dårlig for krypsiv både i form av for lite finsubstrat og for stor strømhastighet.

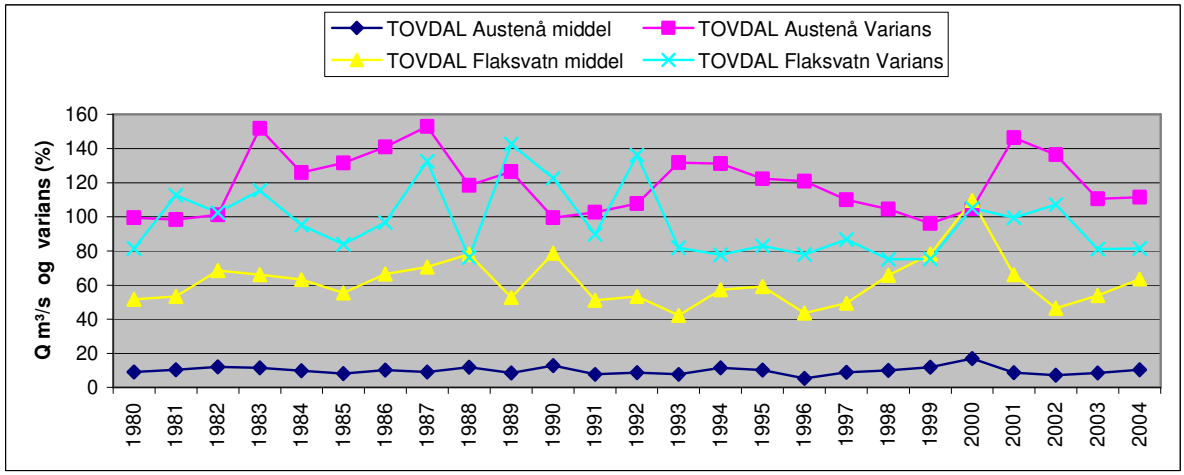
Tovdalsvassdraget.
I Tovdalsvassdraget er det undersøkt lokaliteter som er påvirket av to vannføringsregimer. I øvre uregulerte del av vassdraget i øst har det ved Austenå vært en middelvannføring på 9,9 m³/s i siste 25-årsperioden. Elva har her en stor varians i døgnmiddelvannføringer gjennom året på 96-153 %. Middel for perioden ligger på 119 %. Under dette vannføringsregimet er det ikke observert trender i form av økt vekst av krypsiv på lokaliteter som i utgangspunktet har dårlig substrat for krypsiv eller for stor strømhastighet. Der hvor det i utgangspunktet har vært et gunstig habitat for krypsiv er det imidlertid eksempel på at dette regimet har muliggjort fremvekst av større krypsivbestander. Dette gjelder både før og etter perioden med kalking.

Flaksvatn representerer vannføringsregimet i vassdragets nedre deler. Her har middelvannføringen ligget på 61,8 m³/s og med en varians gjennom året på 75-143 %. Middel for perioden ligger på 97 %. Variansen i vannføringen er litt mindre enn ved Austenå og kan dermed tyde på at reguleringen i den vestre greina oppstrøms Herefossfjorden har litt utjevnende virkning på vannføringsregimet nedstrøms Herefossfjorden. Variansen i vannføringen er fortsatt stor sammenlignet med forholdene

i Mandalselva. Under dette vannføringsregimet er det ikke observert trender i form av økt vekst av krypsiv på lokaliteter som i utgangspunktet har dårlig substrat for krypsiv eller for stor strøm-hastighet. Der hvor det i utgangspunktet har vært et gunstig habitat for krypsiv er det imidlertid eksempel på at dette regimet har muliggjort fremvekst av større krypsivbestander. Dette gjelder både før og etter perioden med kalking.



Figur 53. Bjerkereimsvassdraget. Årsmiddelvannføring og varians i årlige døgnmiddelvannføringer i perioden 1980-2004. Gjedlakleiv nederst i vassdraget. Maudal reguleringspåvirket strekning i øvre del av vassdraget.



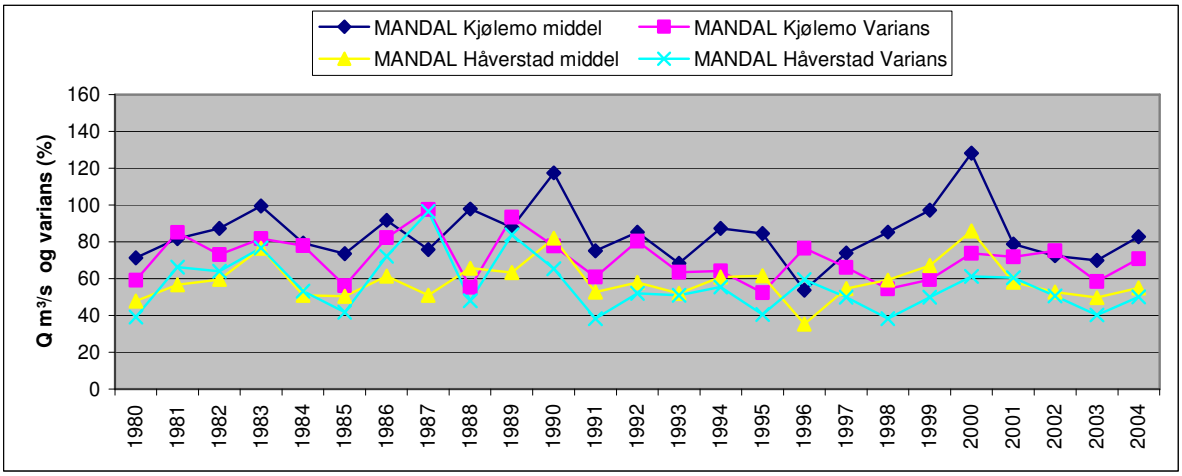
Figur 54. Tovdalsvassdraget. Årsmiddelvannføring og varians i årlige døgnmiddelvannføringer i perioden 1980-2004. Flaksvatn nederst i vassdraget litt reguleringspåvirket. Austenå høyere opp i vassdraget upåvirket av regulering.

Mandalsvassdraget.

I Mandalsvassdraget er det flere vannføringsregimer som gjelder. Ikke alle er utredet i denne omgang. Ved Håverstad har middelvannføringen vært på 58,7 m³/s, omtrent samme nivå som ved Flaksvatn i Tovdalselva. Ved Håverstad har imidlertid variansen i vannføringen vært betydelig lavere innenfor 38-96 % og med et middel for perioden på bare 56 %. Under dette vannførings-regimet har det utviklet seg betydelig problemvekst med krypsiv siden habitatet i utgangspunktet var gunstig for krypsiv.

Ved Kjølemo nederst i vassdraget har middelvannføringen vært på 84,5 m³/s. Variansen har variert i området 52-97 % med en middelverdi på 71 %. Dette vannføringsregimet har hatt noe større varians i vannføring enn ved Håverstad, men har også gitt grunnlag for god vekst av krypsiv på egnede habitater.

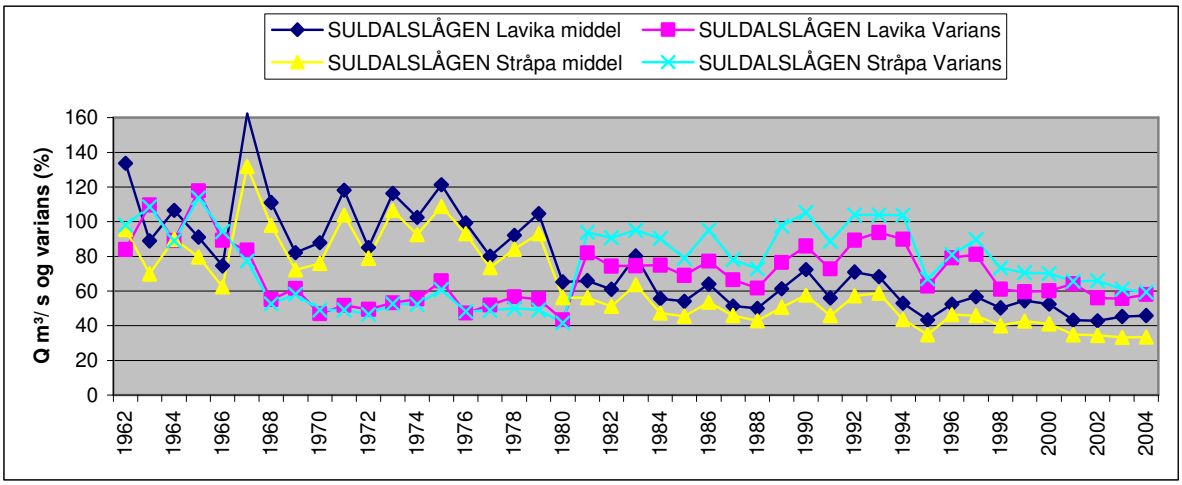
Vannføringsregimet nedstrøms Smeland kr.st. er preget av døgnpendling, dvs. at det kan variere mye gjennom døgnet fra 0 til 30 m³/s som driftsvannføring. Graden av døgnpendling kan i tillegg variere gjennom året slik at det periodevis kan gå 30 m³/s sammenhengende over flere døgn eller 0 m³/s i lengre perioder ved eksempelvis revisjon på kraftverket. En minstevannføring på < 1 m³/s og tilsig fra et mindre restfelt gjør likevel slik at elveleiet aldri tørker helt ut. Det finnes mao. habitater hvor bl.a. krypsiv kan overleve dekket av vann hele tiden. Dette ekstreme vannføringsregimet har også vist seg å kunne underholde god vekst av krypsiv. En del av forutsetningen for dette er selvsagt minstevannføringen og i utgangspunktet gunstig substrat.



Figur 55. Mandalsvassdraget. Årsmiddelvannføring og varians i årlige døgnmiddelvannføringer i perioden 1980-2004. Kjølemo nederst i vassdraget. Håverstad nedstrøms utløp Håverstad kr.st..

Suldalslågen.

Suldalslågen har vært påvirket av reguleringer i to omganger. Som det fremgår av figur 56 har dette ført til store endringer i vannføringsregimet over tid. Elva var uregulert fram til 1967 og påvirket av regulering fram til 1980, da det ble bygget en dam ved utløp Suldalsvatn. Etter dette har det gått minstevannføring i Suldalslågen. Perioden 1967-1980 er preget av høye middelvannføringer som i uregulert tilstand, men med en betydelig mindre varians i vannføringen. Etter 1980 ble middel-vannføringen redusert betydelig mens variansen i døgnmiddelvannføringer over året økte. I perioden etter 1980 har det også vært en tendens til mindre slipp av vann fra Suldalsvatn, spesielt i perioden etter 1998. I perioden 1998-2004 har årlige middelvannføringer variert mellom 33,4 og 42,7 m³/s. Tilsvarende har variansen i døgnmiddelvannføringer gjennom året variert mellom 59 og 73 %. I denne perioden er det påvist den største økning av både krypsiv og klovasshår i elva. Siden vegetasjonsregistreringene startet i 1988 har det vært en periode 1989-1993 hvor utbredelsen av klovasshår gikk tilbake og krypsiv holdt seg på et meget lavt nivå. I denne perioden var det samtidig relativt høye årlige middelvannføringer og stor varians gjennom året. I tilfellet diskusjon om grenseverdier og miljøbasert vannføring i forhold til redusert vekst av krypsiv, fremstår periodene 1989-1993 og 1998-2004 som to kontraster hvorav den ene hindrer vekst og den andre fremmer vekst.



Figur 56. Suldalslågen. Årsmiddelvannføring og varians i årlige døgnmiddelvannføringer i perioden 1962-2004. Stråpa øverst i elva utløp Suldalsvatn, Lavika nederst i elva.

En gjennomgang av de ulike vannføringsregimer i de 5 vassdragene kombinert med observasjoner av krypsivvekst og ulike miljøvariabler, viser at naturen fortsatt er komplisert og at det er vanskelig å finne entydige sammenhenger som forklarer alt. Imidlertid synes enkelte faktorer å ha en avgjørende betydning i forhold til andre faktorer når det gjelder vekst av krypsiv. I utgangspunktet synes foruten den selvfølge at planten må være til stede i vassdraget, substratet å være helt avgjørende. Vi har sett at både regimer med utjevnet vannføring som følge av regulering og naturlige vannføringsregimer med stor grad av variasjon har gitt grunnlag for god vekst av krypsiv. Fellesnevneren har vært tilstedeværelsen av optimale habitater for krypsiv, dvs. sakteflytende partier med en stor grad av finmateriale i substratet og med tilstrekkelig dybde også i perioder med lav vannføring. Motsvarende har vi også sett at de samme regimer ikke har gitt grunnlag for god vekst av krypsiv når substratet har vært for grovt eller strømhastigheten for stor. Når det gjelder både vanntemperatur og vannkvalitet synes det som om krypsiv har stor toleransegrense for begge elementer. Planten vokser godt under både kalde reguleringspåvirkede regimer og normal-temperaturregimer i elver. Planten har vist å kunne utvikle god vekst både i svært surt vann med pH < 5 og kalket vann hvor pH går opp mot 6,5. I tilfellet kalking og god vekst av krypsiv i elver, kan dette skyldes en indirekte effekt ved at høy pH øker nedbrytning av organisk materiale som medfører økt CO_2 -konsentrasjon i vannfasen der krypsiv vokser. Dette er ikke undersøkt konkret i vassdragene våre men burde vært gjort. En kalket vannkvalitet er i seg selv ikke spesielt gunstig for krypsiv.

Som innspill til fastsettelse av miljøbasert vannføring i et vassdrag eller deler av et vassdrag, med tanke på å hindre vekst av krypsiv, bør følgende momenter være med:

- **dagens tilstand mhp. krypsiv**: En kartlegging av mulig utbredelse og omfang vil gi nødvendig informasjon om plantens eventuelle tilstedeværelse og voksemåte under nåværende vannføringsregime dersom dette ikke er kjent.
- **substrat**: En vurdering av substratet på den aktuelle vassdragsstreng vil være helt nødvendig for å kunne vurdere en forventet tilstand med et nytt vannføringsregime.
- **absolutt minstevannføring**: Nivået på absolutt minstevannføring vil være avgjørende for størrelsen på arealer med mulig overlevelse av krypsiv generelt og spesielt i vinter-perioden.
- **variabiliteten i vannføringen**: Nødvendig variabilitet i vannføringen inklusive spyle-flommer, må vurderes i forhold til dagens tilstand mhp. krypsiv, substrat og absolutt minstevannføring.

7. Referanser

Bongard, T., Brettum, P., Bønsnes, T., Fjellheim, A., Halvorsen, G., Hesthagen, T., Johansen, S.W. Kvambekk, Å.S., Raddum, G., Saksgård, R., Aagaard, K. 2002.
FORSKREF - Forskning- og referansevassdrag. Årsrapporter Atna og Vikedal 1997-1999. – DN-utredning 2002-7, 187 sider.

Brandrud, T.E. og Johansen, S.W. 1997.
Tiltak mot krypsiv. Vegetasjonsfjerning i Sveindalområdet i Mandalsvassdraget 1996. – NIVA-rapport 3759-97, 26 sider.

DN 2002.
Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2001. – DN-notat 2002-1, 268 sider.

DN 2005.
Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2004. – DN-notat 2005-2, 258 sider.

Hirsch, R.M., Slack, J.R., 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. Water Resources Research 20, 727-732.

Johansen, S.W. 1993.
Krypsiv i Mandalsvassdraget. Status for utbredelse, vurdering av tilgroing og årsaker, samt forslag til tiltak. – NIVA-rapport O-93091 (lpnr. 2954), 56 sider.

Johansen, S.W. 1995.
Lakseforsterkningsprosjektet i Suldalslågen. Mose og algebegroing. Flompåvirkning og gjengroing etter rensking. – LFS-rapport nr. 15, Høvik, 74 sider.

Johansen, S.W. 1997.
Begroingsundersøkelser i Suldalslågen. Tidsutvikling, effekter av tiltak og utspyling av organisk materiale. – LFS-rapport nr. 37, 96 sider.

Johansen, S.W. og Lindstrøm, E.-A. 2004.
Begroingsundersøkelser i forbindelse med prøvereglement og kalkingsovervåking i perioden 1998-2003. Sluttrapport. – Suldalslågen Miljørapport nr. 41, 55 sider, Statkraft SF.

Lindstrøm, E-A. og Johansen, S.W. 2001.
Mengdemessig utvikling av algebegroing etter kalking - årsaker og effekter. Års- og datarapport for 1998, 1999 og 2000. Norsk institutt for vannforskning, NIVA. L. nr. 4451-2001. 58 sider.

Kendall M.G. 1975.
Rank Correlation Methods. – Charles Griffin, London.

Libiseller, C., Grimvall, A., 2002. Performance of partial Mann–Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. – Environmetrics 13, 71-84.

Mann H.B. 1945. Nonparametric Tests against Trend. – Econometrica 13, 245-259.

Sen, P.K. 1968.
Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. –- Journal of the American Statistical Association. 63:1379-1389.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring:

Nr. 1-02 Thomas Skaugen, Marit Astrup, Zelalem Mengistu, Bjarne Krokli: Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag (28 s.)

Nr. 1-03 Eva B. Thorstad, Finn Økland, Nils Arne Hvidsten, Peder Fiske, Kim Aarestrup: Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag (51 s.)

Nr. 2-03 Per Ivar Bergan, Carsten S. Jensen, Finn R. Gravem, Jan Henning L'Abée-Lund, Anders Lamberg, Peder Fiske: Krav til vannføring og temperatur for oppvandring av laks og sjøørret (63 s.)

Nr. 1-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z) Rapport 1. Formål og metoder (67 s.)

Nr. 2-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis, Bjørn Frengstad: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 2. Materiale og feltmålinger (113 s.)

Nr. 3-04 Hervé Colleuille, Wai Kwok Wong, Panagiotis Dimakis: Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 3. Grunnvannsmodellering (114 s.)

Nr. 4-04 Bjørn Ove Johnsen og Nils Arne Hvidsten: Krav til vannføring i sterkt regulerte smålaksvassdrag (68 s.)

Nr. 5-04 Torulv Tjomsland: Abiotiske effekter i reguleringsmagasiner. Temperatur- og isforhold i Follsjøen og i vassdraget nedenfor (25 s.)

Nr. 6-04 Svein Jakob Saltveit, Peder Fiske, Åge Brabrand, Harald Sægrov, Ola Ugedal: Bruk av fangststatistikk for å belyse effekt av endret vannføring på fisk (46 s.)

Nr. 7-04 Peder Fiske, Arne Johan Jensen: Mot en modell for sammenhengen mellom vannføring og fiskeproduksjon. Fase 1 - Evaluering av presmoltsammenhenger (30 s.)

Nr. 1-05 Hans-Petter Fjeldstad, Tharan Fergus, Nils Reidar Bøe Olsen: Habitatforbedrende tiltak - geomorfologiske prosesser, sedimenttransport, erosjon og simulering av optimale forhold for fisk (34 s.)

Nr. 2-05 Åge Brabrand, Trond Bremnes, Svein Jakob Saltveit, Andreas G. Koestler, Jim Bogen: Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk (64 s.)

Nr. 3-05 Gunnar G. Raddum, Arne Fjellheim, Gaute Velle: Populasjonsstrukturen hos bunndyr i Aurlandselva i relasjon til endringer i vannføring og temperatur (48 s.)

Nr. 4-05 Arve Misund, Hervé Colleuille, Oddmund Soldal: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom grunnvann og elvevann i et typisk vestlandsdalføre: Osa, Hordaland (84 s.)

Nr. 5-05 Wai Kwok Wong, Hervé Colleuille: Elv og grunnvann. Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering (62 s.)

Nr. 6-05 Thomas Væringstad, Hege Hisdal: Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt (40 s.)

Nr. 7-05 Hege Hisdal: Regional metodikk for estimering av lavvannskarakteristika (53 s.)

Nr. 8-05 Hervé Colleuille, Panagiotis Dimakis, Wai Kwok Wong: Elv og grunnvann. Sluttrapport - Oppsummering og anbefalinger (41 s.)

Nr. 1-06 Knut Alfredsen, Morten Stickler, Tommi Linnansaari: Verknader av is på habitat for fisk i elver med habitattiltak og minstevassføring (43 s.)

Nr. 2-06 Finn R. Gravem, Jan-Petter Magnell, Kjetil Sandsbråten: Tilsigsstyrt minstevannføring (42 s.)

Nr. 3-06 Jo Vegar Arnekleiv, Gunnar G. Raddum, Tore Olav Sandnæs, Arne Fjellheim, Tharan Fergus: Evaluering av terskler som avbøtende tiltak i et utvalg vassdrag i Midt- og Vest-Norge (79 s.)

Nr. 4-06 Sven Erik Gabrielsen, Torbjørn Kirkhorn, Bjørn T. Barlaup, Sigve Næss: Habitatprosjektet i Modalen. Bruk av datamodeller for å beskrive kvalitative og kvantitative endringer i leveområdene for aure før og etter terskelbygging i regulert vassdrag (63 s.)

Nr. 5-06 Bror Jonsson, Nina Jonsson: Betydningen av miljøforhold for oppvandring hos kjønnsmoden laks (31 s.)

Nr. 6-06 Bjørn T. Barlaup, Sven Erik Gabrielsen, Helge Skoglund, Tore Wiers: Utlegging av gytegrus i tilknytning til terskler som habitatforbedrende tiltak for aure og laks (30 s.)

Nr. 7-06 Edgar Vegge, Ørnulf Haraldstad: Krypsiv i sørlandsvassdrag. Årsaker og tiltak (34 s.)

Nr. 8-06 Stein W. Johansen: Vekst av krypsiv i elver. Betydningen av redusert vannføring i forhold til andre miljøendringer (61 s.)