



# Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt

*Thomas Væringstad, NVE*

*Hege Hisdal, NVE*

6  
2005



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

# **Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt**

Norges vassdrags- og energidirektorat

2005

## Rapport nr. 6 - 2005

### Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Forfattere:** Thomas Væringstad og Hege Hisdal,  
Norges vassdrags- og energidirektorat

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Forsidefoto:** Etneelv, Øystre Slidre, juli 2003; Bjørn E. Lytskjold

**ISSN:** 1502-234X

**ISBN:** 82-410-0559-8

**Sammendrag:** Alminnelig lavvannføring er en lavvannsindeks det refereres til i tre ulike lover, vassdragsreguleringsloven, industrikonsesjonsloven og vannressursloven. For å beregne alminnelig lavvannføring i et vassdrag trenger man uregulerte vannføringsdata for en lang periode. Dersom det ikke finnes data for det aktuelle vassdraget, må man estimere en verdi. Denne rapporten innledes med en beskrivelse av ulike lavvannsindekser. Deretter beskrives ulike metodikk for estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt, med vekt på utvikling av nye regresjonslikninger basert på regionale data. Regional regresjon er en objektiv metode og de nye likningene gir noe bedre resultat enn de gamle. Ytterligere forbedring er mulig, men krever blant annet en gjennomgang av stasjonsnett for vannføring med tanke på lavvann. Detaljert informasjon om løsmasser som er viktig for lavvann, er ikke tilgjengelig for hele Norge. Slik informasjon vil kunne gi ytterligere forbedring. Resultatene fra dette prosjektet er med å danne grunnlaget for fremstilling av lavvannskart for Norge.

**Emneord:** Lavvannsindekser, alminnelig lavvannføring, regional regresjon, umålte felt.

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

Telefon: 22 95 95 95  
Telefaks: 22 95 90 00  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

September 2005

# Innhold

<b>Forord</b>	<b>5</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>9</b>
<b>2. Lavvannsindekser</b>	<b>11</b>
2.1 Alminnelig lavvannføring.....	11
2.2 Andre lavvannsindekser.....	12
<i>Persentiler fra varighetskurven.....</i>	<i>12</i>
<i>Midlere årlig D-dags minimum, MAM(D).....</i>	<i>13</i>
<i>Base flow indeks, BFI.....</i>	<i>14</i>
2.3 Sammenhengen mellom lavvannsindekser .....	14
<b>3. Datagrunnlag</b>	<b>16</b>
3.1 Måleserier .....	16
3.2 Feltparametere .....	18
3.3 Løsmasser og magasinindeks (MI) .....	23
3.4 Regioninndeling og hydrologiske regimer.....	25
<b>4. Metoder for estimering i umålte felt</b>	<b>26</b>
4.1 10 prosent av middelavrenningen .....	26
4.2 Representativt felt.....	27
4.3 Regresjon mot feltkarakteristika.....	27
4.4 Hydrologiske modeller .....	28
<b>5. Ny regional regresjonsanalyse</b>	<b>29</b>
5.1 Metode.....	29
5.2 Regresjon mot feltparametre.....	30
<i>Sommerlavvann.....</i>	<i>31</i>
<i>Vinterlavvann.....</i>	<i>32</i>
5.3 Korrelasjon mot Magasinindeksen, MI.....	33
5.4 Oppsummering.....	34

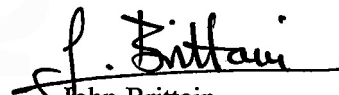
<b>6. Sammenlikning av metoder for estimering i umålte felt</b>	<b>36</b>
<b>7. Konklusjon/Anbefalinger</b>	<b>38</b>
<b>Referanser</b>	<b>40</b>

# Forord

Dagens vassdragsforvaltning må ta hensyn til flere brukerinteresser enn tidligere. Økt konkurranse om vannet har avdekket hydrologiske problemstillinger der generell kunnskap og metodikk for objektiv saksbehandling er mangelfull. I forskningsprogrammet Miljøbasert vannføring ble det i 2001 bevilget midler for å sammenlikne ulike lavvannsindekser. Vannressursloven legger alminnelig lavvannføring til grunn og det er utviklet saksbehandlingsverktøy som gjør det mulig å estimere alminnelig lavvannføring uten målinger. Rapporten tar opp mulige forbedringer av eksisterende metoder for estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt.

Oslo, september 2005

  
Haavard Østhagen  
leder styringsgruppe

  
John Brittain  
programleder



# Sammendrag

Alminnelig lavvannføring er et sentralt begrep i forbindelse med konsesjonsbehandlingen ved inngrep i norske vassdrag. Av den grunn er det fra et hydrologisk synspunkt behov for å vurdere hvor egnet alminnelig lavvannføring er for å karakterisere små vannføringer. Alminnelig lavvannføring er derfor sammenlignet med andre lavvannsindeks, og noen fordeler og ulemper ved indeksene er belyst.

For å beregne alminnelig lavvannføring trengs uregulerte data for en 20-30 års periode. Alminnelig lavvannføring er høyt korrelert med andre lavvannsindeks, men er lite fleksibel fordi den ikke lar seg beregne for ulike sesonger. Alminnelig lavvannføring bestemmes av vassdragets midlere avrenning og feltegenskaper, og disse variablene må derfor tas i betraktning ved estimering i felt uten målinger.

Fram til i dag er alminnelig lavvannføring i umålte felt beregnet ved å benytte en antatt representativ sammenligningsstasjon hvor målinger foreligger. For å lette den hydrologiske saksbehandlingen er det behov for objektive metoder og tilrettelegging av programvare som estimerer alminnelig lavvannføring for bruk i saksbehandlingen. Programmet LAVVANN i NVEs START-system er tidligere i prosjektet utviklet til dette formålet. Programmet estimerer alminnelig lavvannføring via andre lavvannsindeks som funksjon av klima og feltparametre. I dette prosjektet er forbedringspotensialet for LAVVANN vurdert og metoden som benyttes er sammenlignet med subjektive metoder for å beregne alminnelig lavvannføring. Eksisterende regresjonslikninger i LAVVANN for bestemmelse av alminnelig lavvannføring i et testområde i Sør-Norge er forsøk forbedret ved en ny regional regresjonsanalyse. Til slutt er de ulike metodene sammenlignet. Treffsikkerheten av estimatene er vurdert ved bruk av uavhengige valideringsstasjoner.

Dersom alminnelig lavvannføring benyttes som utgangspunkt for fastsettelse av minstevannføring, må en være klar over at denne indeksen for store deler av Norge representerer en typisk vinterverdi som ikke er representativ for de lave vannføringene i sommersesongen. Bortsett fra langs kysten hvor nedbøren kommer som regn stort sett hele året, vil en liten sommervannføring være større enn en liten intervannføring. Det anbefales derfor i stedet å benytte indeks som kan beregnes for sesonger, for eksempel en persentil fra varighetskurven.

For beregning av alminnelig lavvannføring i umålt felt, er følgende metoder sammenliknet: 10% av middelvannføring, bruk av representativt nabofelt med målinger, 'gamle' og 'nye' regresjonslikninger basert på regional regresjon. Resultatene viser at å benytte 10% av middelvannføring kan gi svært store feil. Representative stasjoner og regresjon gir omtrent like gode resultater. Fordelen med regional regresjon er at metoden er rask og objektiv, dvs. at estimatet blir det samme uavhengig av hvem som gjennomfører beregningen.

Mer detaljert beskrivelse av løsmasser og bedre kvalitet på lavvannsmålinger antas å kunne redusere usikkerheten i regresjonsanalysen.





# 1. Innledning

Tradisjonelt har forskning og metodeutvikling innen hydrologi i Norge fokusert på vannføringsparametere som middelvannføringer og flomverdier. Dette har vært motivert av det økonomiske aspektet ved bruken av våre vassdrag, hvor det har vært viktig å estimere kraftpotensialet og å dimensjonere installasjoner i store kraftutbygginger. Imidlertid har et nytt lovverk, større krav til fastsettelsen av minstevannføringspålegg og EUs rammedirektiv for vann økt etterspørselen etter lavvannsdata. Dette har rettet fokus mot forbedret metodikk for beregning av lavvannsindekser i vassdrag uten målinger.

En lavvannsindeks er en vannføring, et tall, som karakteriserer de lave vannføringene i et vassdrag. Indekser som er mye brukt internasjonalt er ofte basert på gjennomsnittet av den minste observerte vannføringen hvert år (midlere årlige minimum), en persentil fra varighetskurven, såkalt base flow separasjon eller resesjonsanalyse. En oversikt er gitt i Hisdal *et al.* (2004). Lavvannsindekser gir blant annet mulighet for å estimere grunnvannsbidrag i et vassdrag, og å si noe om et nedbørfelts tålegrense i forhold til tørke, regulering og forurensing, noe som er av interesse i forbindelse med regionale lavvannsstudier og karakteriseringen av vannforekomster i EUs rammedirektiv for vann.

Alminnelig lavvannføring er den mest brukte lavvannsindeksen i norsk vannressursforvaltning. I hydrologisk saksbehandling er det derfor behov for å estimere alminnelig lavvannføring for umålte felt. Det kan være i forbindelse med etablering av mikro- og mini kraftverk, eller for uttak av vann til irrigasjon, oppdrettsanlegg etc. Estimater av alminnelig lavvannføring kan variere som følge av metode og valg av observasjonsserie og observasjonsperiode. Det er uheldig om beregningen blir gjenstand for diskusjon. Det er derfor en fordel dersom en kan komme frem til objektive metoder som gir estimater med liten usikkerhet. For å unngå lang saksbehandlingstid er det også viktig raske og relativt enkle beregningsmetoder. Regional regresjon basert på at feltegenskaper og klima er bestemmende for vannføringen, er en slik metode som blant annet er utviklet innen FRIEND (Flow Regimes from International and Experimental Network Data) prosjektet (Gustard, 1993; Gustard og Cole, 2002). Metoden benyttes i vannressursforvaltningen i blant annet Storbritannia (Young *et al.*, 2000) og Østerrike (Laaha, 2003). Regionale regresjonslikninger for lavvannsindekser ble også utviklet for Norge (Krokli, 1988), men alminnelig lavvannføring var ikke en av indeksene som ble beregnet. Tidligere i dette prosjektet (Skaugen *et al.*, 2002) ble alminnelig lavvannføring inkludert og et programsystem utviklet, slik at saksbehandlere raskt og objektivt kan beregne alminnelig lavvannføring og andre sentrale lavvannsindekser for umålte felt.

Nye måter for beregning av feltkarakteristika og lenger og flere målestasjoner av vannføring har gitt en motivasjon for å vurdere om de regionale regresjonslikningene for å beregne lavvannsindekser i umålte felt kan forbedres. I dette prosjektet er nye

regresjonsligninger for alminnelig lavvannføring utarbeidet og sammenliknet med eksisterende ligninger og andre metoder for estimering av alminnelig lavvannføring.

I prosjektet er ulike lavvannsindeks og deres egnethet for bruk i Norge vurdert. Videre er ulike metoder for estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt sammenliknet, og fordeler og ulemper ved de ulike metodene vurdert. Målet er å si hvor godt resultat metodene gir i forhold til hverandre og å komme med en anbefaling for metode for estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt.

I kapittel 2 gis en kort innføring i alminnelig lavvannføring og andre sentrale lavvannsindeks samt fordeler og ulemper ved indeksene. Deretter er sammenhengen mellom de ulike indeksene beskrevet. Datagrunnlaget og benyttede feltkarakteristika for analysene er nærmere beskrevet i kapittel 3. Kapittel 4 gir en beskrivelse av ulike metoder for å beregne lavvannsindeks i umålte felt. De regionale regresjonsanalysene er omhandlet i kapittel 5. Regresjonsligninger som beskriver sammenhengen mellom alminnelig lavvannføring og feltegenskaper er gitt. Korrelasjonen mellom alminnelig lavvannføring og en magasin-indeks basert på tilgjengelige løsmassekart er også omhandlet. Kapittel 6 beskriver resultatene fra analysene og sammenlikner de ulike metodene for estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt. Konklusjonene fra analysene og prosjektet er sammenfattet i kapittel 7.

## 2. Lavvannsindekser

*Lavvannføringer i uregulerte vassdrag kommer som en følge av en nedgang i tilgjengelig vannmengde i en gitt periode og over et gitt område. Lite nedbør gjerne kombinert med høy fordampning eller nedbør lagret i form av snø og is over en lengre periode er de dominerende årsakene. Ofte kan det være hensiktsmessig å karakterisere disse hendelsene ved et tall, en indeks, som beskriver og kvantifiserer en side eller karakteristikk ved lavvannføringene. Lavvannsindekser bestemmes gjerne direkte ut fra en vannføringsserie eller karakteristiske lavvannføringer fra denne. I dette kapitlet beskrives noen vanlige lavvannsindekser.*

### 2.1 Alminnelig lavvannføring

For å beregne alminnelig lavvannføring trengs en uregulert vannføringsserie. Forutsatt at klimaendringer ikke har gitt eller vil gi vesentlige endringer i lavvannføringen, vil en observasjonslengde på 20-30 år være tilstrekkelig for å få stabile verdier (Erichsen og Tallaksen, 1995). Alminnelig lavvannføring blir beregnet ved først å sortere hvert enkelte års vannføringsverdier. Fra den sorterte årsserie blir vannføring nummer 350 tatt ut. Disse vannføringene danner en ny serie som igjen sorteres. Av denne serien blir den laveste tredjedelen tatt vekk, og alminnelig lavvannføring er da den laveste gjenværende verdien.

Beregning av alminnelig lavvannføring for vassdrag med observasjoner bærer preg av at denne karakteristikken ble definert i en tid da beregningene ble gjort manuelt uten datamaskiner. Alminnelig lavvannføring er en størrelse som kun brukes i Norge. Alminnelig lavvannføring ligger ofte fra 6 til 12 % av middelvannføringen, men variasjoner fra under 1% til over 50 % forekommer. Relasjonen mellom alminnelig lavvannføring og andre lavvannsindekser er diskutert i kapittel 2.3.

Det regionale mønsteret i alminnelig lavvannføring over landet gjenspeiler i grove trekk variasjonene i spesifikk avrenning, som igjen gjenspeiler nedbørsfordelingen (Erichsen og Tallaksen, 1995). I tillegg er det store lokale variasjoner fra vassdrag til vassdrag som skyldes egenskaper ved nedbørfeltet. Vassdragets selvregulering er av stor betydning, og felt med høy effektiv innsjøprosent har relativt sett høy alminnelig lavvannføring. De geologiske forholdene er også avgjørende for lavvannføringene. Alminnelig lavvannføring øker når løsmassearealet øker, men da denne felt-egenskapen kun i begrenset grad er kartlagt i Norge, er det ofte vanskelig å ta grunnforholdene i betraktning. Videre er alminnelig lavvannføring (spesifikk) gjerne større for store enn for små felt, og vil ofte avta med økende andel snaufjell og helning i feltet. På Vestlandet, med hyppige mildværsperioder, vil alminnelig lavvannføring normalt være høyere enn på Østlandet, som vanligvis har en langt mer stabil vinter. Denne effekten vil og gjøre seg gjeldende avhengig av feltets høydeforhold.

Alminnelig lavvannføring er definert slik at den må beregnes uavhengig av sesong, og gir derfor i mange vassdrag et galt inntrykk av det hydrologiske lavvannsregime. For eksempel vil et innlandsvassdrags naturlige lavvannføringer varierer gjennom året, og en vinterlavvannføring er ofte en lite sannsynlig lavvannføring resten av året.

En fordel med å benytte alminnelig lavvannføring for å karakterisere lave vannføringer er de lange tradisjonene ved bruk av denne indeksen. Alminnelig lavvannføring er et vel etablert og akseptert begrep. Likevel er det et problem at denne indeksen ofte blandes sammen med begreper som minstevannføring og naturlig lavvannføring.

## 2.2 Andre lavvannsindekser

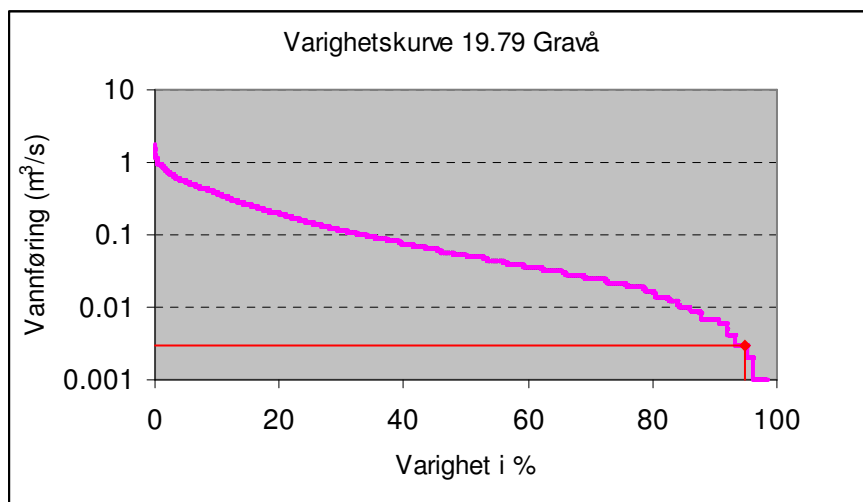
I hydrologisk litteratur er det referert til en rekke forskjellige lavvannsindekser. Hisdal *et al.* (2004) beskriver mange vel etablerte indekser som benyttes internasjonalt. Dersom en ønsker å benytte lavvannsindekser som kan beregnes for ulike sesonger, kan ikke alminnelig lavvannføring benyttes. Det kan også være aktuelt å benytte andre lavvannsindekser ved internasjonalt samarbeid, for eksempel i forbindelse med EUs rammedirektiv for vann. I det følgende er derfor andre sentrale lavvannsindekser kort beskrevet.

### Persentiler fra varighetskurven

Varighetskurven viser den empiriske kumulative frekvensen til vannføring som en funksjon av prosenten av tiden vannføringen overskrider denne. Kurven konstrueres ved å rangere verdiene i en vannføringsserie, og for hver verdi beregnes overskridelsesfrekvensen. For å bedre leseligheten på kurven, plottes ofte vannføringen på logaritmisk skala. En varighetskurve representerer variabiliteten i vannføringen i et nedbørfelt. Både små og store vannføringer representeres. Vassdrag med ulik selvreguleringsevne, avrenningsregimer eller klima, kan ha veldig forskjellige kurver.

En lavvannsindeks kan tas direkte fra kurven som en persentil som overskrides ofte. For eksempel er 95 persentilen ( $Q_{95}$ ) den vannføringen som overskrides 95 prosent av tiden i observasjonsperioden. Figur 1 viser et eksempel på en varighetskurve fra målestasjon 19.79 Gravå. Rød linje viser  $Q_{95}$  tatt fra varighetskurven, og tilsvarer i dette tilfellet en verdi rundt 5 % av middelavløpet.

Varighetskurven og tilhørende persentiler er tilknyttet det statistiske begrepsapparatet som er vanlig innen hydrologi. Ulike persentiler er ofte benyttet som lavvannsindekser internasjonalt. I Norge er  $Q_{95}$  foreslått som ett av flere kriterier for å definere sterkt modifiserte vannforekomster i EUs vanndirektiv. Metoden kan også benyttes for å beregne lavvannsindekser for sesonger. Det er til og med mulig å beregne en varighetskurve for en bestemt dag i året forutsatt at tilstrekkelige verdier er tilgjengelige.

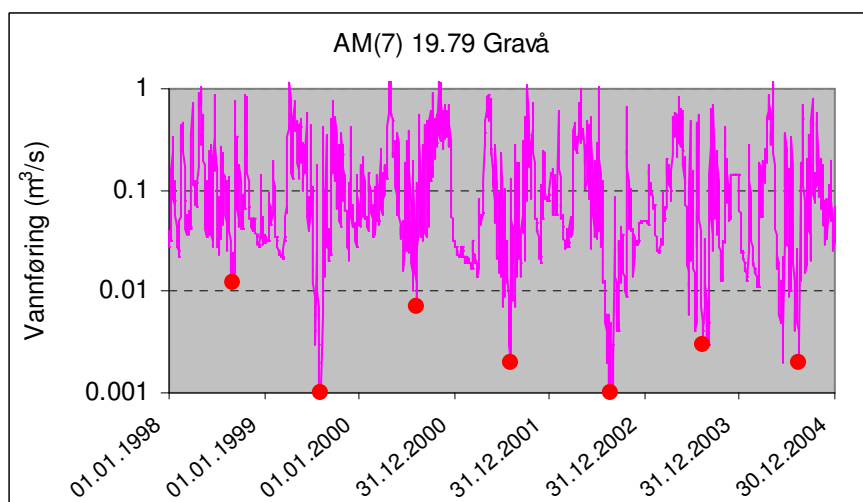


Figur 1. Varighetskurve for målestasjon 19.79 Gravå. Rød linje indikerer 95 persentilen,  $Q_{95}$ .

## Midlere årlig D-dags minimum, MAM(D)

Midlere årlig D-dags minimum vannføring, MAM(D), bestemmes ut fra en årlig minimum over D-dags vannføringen. Den enkleste av disse er 1-dags minimum som tilsvarer gjennomsnittet av den minste døgnmiddelvannføringen hvert år. Når  $D > 1$  vil metoden bestå av å fremstille et hydrogram hvor vannføringen er midlet over de forrige D-dagene. Middelerdien av den minste vannføringen hvert år i denne "filtrerte" serien gir da MAM(D). Den filtrerte serien kan også benyttes som utgangspunkt for frekvensanalyser av en D-døgns årlig minimum serie, AM(D).

Denne indeksen er velkjent innen det vanlige hydrologiske begrepsapparatet og er mye benyttet i internasjonal sammenheng. Også denne metoden kan benyttes for sesonger. Figur 2 viser årlig 7-døgns minimum (røde prikker) for 19.79 Gravå.



Figur 2. Årlig 7-døgn minimumsverdier, AM(7), i perioden 1998-2004 for målestasjon 19.79 Gravå.

## Base flow indeks, BFI

En metode for å anslå andel grunnvann som strømmer inn i et vassdrag, er knyttet til estimering av lavvann gjennom "base flow indeks" (BFI). Vannføringen i en elv kan forenklet betraktes som sammensatt av to hovedkomponenter, en rask overflateavrenning og et forsinket tilsig som tilsvarer "base flow". "Base flow" består av grunnvannstilsig og vann fra andre lagrede magasiner (for eksempel myr, innsjø, umettet sone). BFI kan beregnes ved en hydrogram-separasjonsprosedyre og oppgis ofte i prosent av det totale avløpet. Indeksen kan beregnes basert på sesong. Høy BFI betyr stor andel grunnvannstilsig og dermed også store lavvannsverdier. Estimering av BFI for norske vassdrag er beskrevet i Wong og Colleuille (2005). Estimering av BFI kan brukes til estimering av grunnvannstilstand i nedbørfelt uten grunnvannsobservasjoner, hvor det kun foretas vannføringsmålinger.

### 2.3 Sammenhengen mellom lavvannsindeks

Generelt er det høy korrelasjon mellom persentiler fra varighetskurven og MAM (D)-indeks, mens disse er noe lavere korrelert med resesjonsbaserte indekser og BFI (Hisdal *et al.*, 2004). Det er derfor mulig å avlede én indeks fra andre indekser ved hjelp av regresjon. Erichsen og Tallaksen (1995) foretok en sammenligning av ulike lavvannsindeks og kom frem til at alminnelig lavvannføring generelt er noe mindre enn 95 persentilen fra varighetskurven og noe større enn midlere årlig 1-døgns minimumsvannføring, MAM(1). Den høye korrelasjonen mellom MAM(1) og alminnelig lavvannføring er også påpekt av Otnes og Ræstad (1978). På bakgrunn av de høye observerte korrelasjonene er det rimelig å anta at en også kan estimere alminnelig lavvannføring ved hjelp av andre lavvannsindeks.

Krokli (1988) fant ved hjelp av enkle regresjonssammenhenger hvordan klima og feltparametere kunne beskrive lavvannføringer. Disse sammenhengene ble så benyttet til å estimere lavvannsindeks i nedbørfelt uten vannføringsmålinger. Norge ble delt inn i syv regioner. For hver region ble regional regresjon for å bestemme MAM(7) for sommer- og vintersesongen. Deretter blir disse indeksene benyttet til å bestemme MAM (30), MAM(60), og AM10(D) for D=7,30,60. For å bestemme sammenhengen mellom alminnelig lavvannføring (AL) og MAM(7) beregnet ved hjelp av regresjonslikningene i Krokli (1988), ble det i Skaugen *et al.* (2002) sett på sammenhengen mellom observert  $\min\{MAM(7)_{vinter}, MAM(7)_{sommer}\}$  og observert alminnelig lavvannføring for datamaterialet benyttet av Krokli (1988). Samvariasjonen er høy og kan beskrives ved regresjonslikningen:

$$AL = 0.879 \min\{MAM(7)_{vinter}, MAM(7)_{sommer}\} + 0.0038 \quad (1)$$

Denne sammenhengen kan benyttes til å beregne alminnelig lavvannføring ut fra regresjonslikningene funnet i Krokli (1988).

Korrelasjonskonstanten mellom BFI basert på årsverdier og alminnelig lavvannføring ble i dette prosjektet, for 21 stasjoner i Sør-Norge, funnet til å være

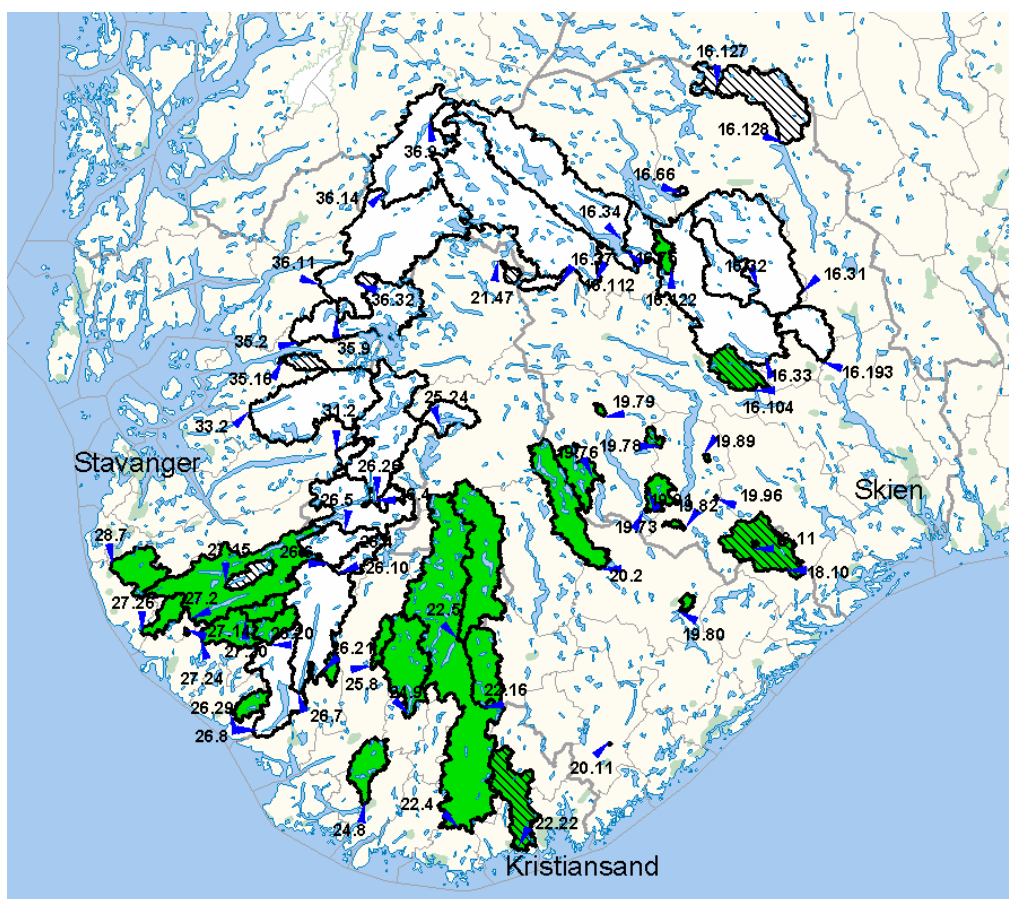
rundt  $r = 0.75$ , altså lavere enn mellom MAM(7) og alminnelig lavvannføring. Beregnet BFI basert på årsverdier er i Norge i stor grad styrt av volumet til vårflommene. Det kan derfor forventes at korrelasjonen mellom BFI og alminnelig lavvannføring beregnet for dominerende lavvannssesong vil være høyere.



# 3. Datagrunnlag

## 3.1 Måleserier

Et utvalg på 61 målestasjoner i Sør-Norge (Figur 3 og Tabell 1) er benyttet for å vurdere om nye regresjonsligninger vil gi bedre estimater av alminnelig lavvannføring. Alle stasjonene er vurdert med hensyn på observasjonsperiode, datakvalitet, kurvekvalitet. Stasjonene som ikke har oppfylt kvalitetskontrollen er forkastet og ikke benyttet i analysene. Stasjonene tilhører i henhold til vassdragsinndelingen i Norge vassdragene 016 – 036, noe som tilsvarer region 4 og 5 i Krokli (1988) og region 2 i programmet LAVVANN (Skaugen *et al.* 2002). Regionene i Krokli (1988) er valgt med hensyn på geografi og den administrative vassdragsinndeling i Norge, og er dermed ikke nødvendigvis homogen med hensyn på klima og geologi.



Figur 3. Oversikt over tilgjengelige målestasjoner. Stasjoner med hvit bakgrunn har dominerende vinterlavvann og grønn bakgrunn har dominerende sommerlavvann. Skraverte nedbørfelter er valideringsstasjoner.

Datasettet er delt opp i tre ulike grupper: stasjoner med dominerende vinterlavvann (24 stasjoner, hvit bakgrunn i Figur 3), stasjoner med dominerende sommerlavvann (26 stasjoner, grønn bakgrunn i Figur 3) og et valideringssett (11 stasjoner, skravert i Figur 3) som er et tilfeldig utvalg av stasjoner med både dominerende vinterlavvann og sommerlavvann. Krokli (1988) hadde tilgjengelig 34 stasjoner i sin analyse fra samme området. Dette vil si at antall stasjoner har økt til nesten det dobbelte. I tillegg har man siden 1988 ytterligere 17 år med observasjoner for en del av de opprinnelige 34 stasjonene.

**Tabell 1. Oversikt over benyttede målestasjoner.**

Stasjon	Måle- periode	Areal (km <sup>2</sup> )	Q <sub>M</sub> obs (l/s/km <sup>2</sup> )	Q <sub>M</sub> * (l/s/km <sup>2</sup> )	Alm.l.vf (l/s/km <sup>2</sup> )	MAM(7) <sub>s</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	MAM(7) <sub>v</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Lavvanns- sesong
16.31 Omnesfoss	1921-1957	806	29.8	28.3	3.18	6.76	4.20	Vinter
16.32 Hjartsjø	1919-1957	215	27.4	27.4	2.27	4.39	3.10	Vinter
16.33 Seljordvatn	1912-1944	728	18.8	18.8	3.38	6.65	4.15	Vinter
16.34 Totak	1895-1957	855	37.0	37.0	4.08	15.04	4.16	Vinter
16.37 Vinjevatn	1919-1955	907	43.7	43.7	3.77	16.78	4.07	Vinter
16.66 Grosettjern	1949-dd.	6.48	19.8	29.2	2.16	3.55	2.93	Vinter
16.75 Tannsvatn	1955-dd.	117	22.5	22.8	2.54	4.74	3.56	Vinter
16.104 Kilen	1962-dd.	121	17.4	15.7	0.69	1.21	2.23	Sommer
16.112 Byrteåi	1967-dd.	37.3	52.0	50.2	1.55	10.62	2.20	Vinter
16.122 Grovåi	1972-dd.	42.7	25.8	19.2	1.12	2.18	2.41	Sommer
16.127 Viertjern	1977-dd.	49.0	21.1	29.4	1.86	5.14	2.24	Vinter
16.128 Austbygdåi	1976-dd.	344	21.8	25.5	1.35	4.41	1.32	Vinter
16.193 Hørte	1961-dd.	156	29.9	15.5	2.24	2.99	3.35	Vinter
18.10 Gjerstad	1980-dd.	237	29.3	25.1	0.62	0.80	2.88	Sommer
18.11 Tjellingtjernbekk	1981-dd.	2.16	28.7	24.0	0.00	0.00	1.39	Sommer
19.73 Kilåi bru	1968-dd.	64.4	27.5	28.5	0.50	1.20	3.18	Sommer
19.76 Tovsløytjønn	1969-2002	115	32.0	32.8	2.67	3.38	6.64	Sommer
19.78 Grytå	1977-dd.	18.7	21.4	24.2	1.76	2.35	3.74	Sommer
19.79 Gravå	1970-dd.	6.31	20.1	22.1	0.32	0.48	2.54	Sommer
19.80 Stigvassåni	1972-dd.	14	26.3	27.4	0.43	0.71	2.79	Sommer
19.82 Rauåna	1972-dd.	8.93	22.1	23.9	0.34	0.67	2.35	Sommer
19.89 Skornetten	1973-2002	2.62	25.2	27.3	0.00	0.38	1.53	Sommer
19.91 Åbogtjønn	1973-2002	1.15	27.0	31.0	0.00	0.87	1.74	Sommer
19.96 Storgama	1974-dd.	0.52	32.7	39.0	0.00	0.00	1.92	Sommer
20.2 Austenå	1924-dd.	277	36.0	36.6	3.42	4.74	6.93	Sommer
20.11 Tveitdalen	1972-dd.	0.44	34.1	34.7	0.00	0.00	2.27	Sommer
21.47 Lislefjødd	1972-1995	19	35.8	35.8	1.32	5.74	1.63	Vinter
22.4 Kjølamo	1896-1930	1757	46.7	46.8	4.28	5.93	6.98	Sommer
22.5 Austerhus	1922-1957	413	43.6	43.5	3.49	5.31	5.35	Sommer
22.16 Myglevatn	1951-dd.	182	44.9	44.8	0.81	1.74	4.21	Sommer
22.22 Søgne	1973-dd.	210	29.9	29.9	1.45	2.24	5.60	Sommer
24.8 Møska	1978-dd.	121	50.2	50.2	2.50	3.61	7.96	Sommer
24.9 Tingvatn	1922-dd.	272	61.0	61.2	2.47	5.15	6.38	Sommer
25.8 Mygland	1931-dd.	46.9	57.6	58.0	1.45	2.73	3.97	Sommer
25.24 Gjuvvatn	1971-dd.	97	65.4	65.4	7.41	18.48	7.26	Vinter

26.4 Fidjedalsvatn	1919-1969	506	85.6	80.7	5.42	18.18	5.36	Vinter
26.5 Dorgefoss	1913-1969	808	76.4	76.4	4.53	13.29	4.79	Vinter
26.6 Lindeland	1913-1969	963	74.2	74.2	5.42	14.85	5.12	Vinter
26.7 Sirdalsvatn	1894-1964	1528	70.1	70.1	7.31	14.93	7.44	Vinter
26.8 Lundevatn	1897-1964	1899	68.2	68.2	9.14	18.66	10.90	Vinter
26.10 Liland	1933-1970	72.7	64.2	64.2	2.31	7.02	5.21	Vinter
26.20 Årdal	1970-dd.	77.3	67.0	68.1	5.02	5.05	10.76	Sommer
26.21 Sandvatn	1970-dd.	27.5	61.8	62.1	4.76	5.45	10.73	Sommer
26.26 Jogla	1973-dd.	31.1	70.4	70.5	2.73	4.63	3.70	Vinter
26.29 Refsvatn	1978-dd.	52.9	58.4	58.4	4.95	4.52	7.22	Sommer
27.2 Bjerkreim bru	1970-dd.	638	79.3	79.3	15.11	15.64	15.44	Sommer
27.2 Saglandsvatn	1971-1992	1.85	43.2	41.7	3.24	3.24	9.19	Sommer
27.15 Austrumdal	1980-dd.	60.5	95.8	95.8	11.42	13.44	17.06	Vinter
27.20 Gya	1933-dd.	60.7	97.1	97.1	4.51	5.93	8.42	Sommer
27.24 Helleland	1896-dd.	186	79.6	79.5	9.85	12.14	19.98	Sommer
27.26 Hetland	1970-dd.	69.5	58.0	58.5	3.15	4.32	7.12	Sommer
28.7 Haugland	1918-dd.	140	49.8	49.8	3.31	6.00	8.51	Sommer
31.2 Lysedalen	1953-1984	47.2	90.5	90.5	11.33	16.80	10.87	Vinter
33.2 Tveid	1896-1956	513	88.9	88.9	10.69	24.46	11.52	Vinter
35.2 Hauge bru	1905-1980	394	85.5	87.0	5.88	24.70	7.16	Vinter
35.16 Djupadalsvatn	1990-dd.	45.4	65.0	70.48	5.59	7.51	8.22	Vinter
35.9 Osali	1982-dd.	22.6	86.6	86.6	4.78	15.66	7.12	Vinter
36.9 Middal	1968-dd.	46.4	62.2	62.2	3.17	17.44	2.20	Vinter
36.11 Stråpa	1904-1964	1307	73.5	73.5	5.33	25.89	5.85	Vinter
36.14 Røldalsvatn	1913-1964	496	72.2	73.2	3.22	26.07	3.72	Vinter
36.32 Lauvastøl	1985-dd.	20.5	105.1	105.1	4.88	18.29	5.07	Vinter

\*  $Q_M$  betegner middelavrenningen for perioden 1961-1990 beregnet fra NVEs avrenningskart.

### 3.2 Feltparametere

Alle feltparametere benyttet i analysen er hentet ut på en enhetlig måte ved hjelp av GIS og kart med målestokk 1:50 000. En oversikt over hvilke feltparametre som inngår i regresjonsanalysen er gitt i Tabell 2. Tabell 3 viser hvilke verdi feltparametrene har for stasjonene som inngår i den nye regresjonsanalysen. Midlere spesifikk avrenning er hentet fra Astrup (2001) og NVEs avrenningskart (NVE, 2002).

**Tabell 2. Beskrivelse av feltparametre benyttet i regresjonsanalysen.**

Betegnelse	Beskrivelse
Areal	Nedbørfeltets areal (km <sup>2</sup> )
Akse	Feltlengde (km), definert som en rett linje fra utløpet til det fjerneste punktet i nedbørfeltet.
Myr	Myrprosent (%)
Skog	Skogprosent (%)
Hmax	Høyeste punktet i nedbørfeltet (m o.h.)
Hmin	Laveste punkt i nedbørfeltet (m o.h.)
Sjø	Sjøprosent (%)
QM	Midlere spesifikt avrenning (ls <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )
dHmax	Største høydeforskjell i nedbørfeltet (m) (Hmax – Hmin)
Snaufj	Snaufjellprosent (%)
Elvele	Elvelengde (km)
Dyrk	Prosent av dyrket mark (%)
Elvegrad	Elvegradient (m/km), definert som (maks høydeforskjell langs Elvele)/Elvele
Grad1085	Elvegradient mellom 10 og 85 prosent av elvestrengen (m/km)
Feltgrad	Feltgradient (m/km)
Urban	Urbanprosent (%)
Bredde	Feltbredde (km), definert som (Areal/Akse)
Effpro	Effektiv sjøprosent (%), vekter nedbørfeltene til sjøene avhengig av hvor i feltet sjøene ligger.

**Tabell 3. Feltparametere for alle stasjoner som inngår i analysen (beregnet ved hjelp av GIS fra kart i målestokk 1:50 000).**

Stasjon	Areal (km <sup>2</sup> )	Sjø (%)	Effpro (%)	dHmax (m)	Snau fj (%)	Myr (%)	Skog (%)	Dyrk (%)	Urban (%)	Elvele (km)	Hmin (moh)	Hmax (moh)	Elvegrad (m/km)	Grad1085 (m/km)	Feltle (km)	Feltgrad (m/km)	Bredde (km)
16.31 Omnesfoss	806	6.1	0.21	1789	18.8	4.9	60.2	0.12	0.01	58.0	63	1852	22.8	19.2	40.5	28.0	19.9
16.32 Hjartsjø	215	6.4	1.23	1370	14.0	6.1	62.8	0.00	0.00	37.5	157	1527	29.2	31.2	26.5	30.1	8.1
16.33 Seljordvatn	728	6	2.46	1410	21.4	3.8	60.6	0.00	0.07	71.2	117	1527	15.5	16.4	52.9	32.1	13.8
16.34 Totak	855	17.3	1.75	941	59.8	5.4	20.0	0.34	0.03	82.6	687	1628	10.0	7.7	64.9	22.6	13.2
16.37 Vinjevatn	907	10.4	1.19	1253	51.2	1.8	32.9	0.46	0.02	87.2	466	1719	11.4	12.0	65.3	27.9	13.9
16.66 Grosetjern	6.48	7.1	3.06	180	2.4	20.2	66.8	0.00	0.00	3.5	939	1119	30.8	44.0	2.5	18.2	2.6
16.75 Tannsvatn	117	40.1	4.59	584	16.5	19.5	53.4	0.44	0.11	20.1	699	1283	14.8	12.8	14.6	19.7	8.0
16.104 Kilen	121	4.8	0.81	972	9.1	1.4	81.8	0.00	0.00	27.9	96	1068	27.2	17.0	16.1	31.0	7.5
16.112 Byrteåi	37.3	4.3	0.12	834	80.1	0.2	12.4	0.03	0.00	15.7	699	1533	44.2	48.7	12.5	39.3	3.0
16.122 Grovåi	42.7	3.1	0.27	479	21.9	11.6	59.8	0.00	0.00	18.5	718	1197	20.5	25.4	12.1	24.7	3.5
16.127 Viertjern	49.0	10.2	1.51	333	88.0	2.0	0.0	0.00	0.00	12.3	1105	1438	20.5	20.5	9.2	14.0	5.3
16.128 Austbygdåi	344	4.1	0.12	1280	55.9	3.8	32.6	0.03	0.03	46.8	203	1483	24.6	24.6	34.8	18.4	9.9
16.193 Hørte	156	3.1	0.27	1101	17.3	2.5	74.5	0.00	0.00	27.3	99	1200	29.8	10.4	19.1	28.0	8.2
18.10 Gjerstad	237	3.4	0.14	606	3.0	5.1	81.3	0.00	0.02	31.1	52	658	18.7	12.7	21.1	23.4	11.2
18.11 Tjellingtjernbekk	2.16	1.9	1.21	235	10.0	4.6	68.5	0.00	0.00	1.6	225	460	74.0	64.3	2.4	22.0	0.9
19.73 Kilåi bru	64.4	9.7	1.74	644	14.2	5.2	55.4	0.00	0.00	18.8	273	917	26.7	21.6	11.0	22.0	5.8
19.76 Tovsløyttjønn	115	13.5	3.13	464	18.2	6.1	61.2	0.16	0.00	20.6	536	1000	20.1	12.4	13.6	22.6	8.4
19.78 Grytå	18.7	14.9	7.29	380	42.7	2.3	37.0	0.00	0.00	8.4	634	1014	29.8	21.5	6.6	23.1	2.8
19.79 Gravå	6.31	0.3	0.00	693	17.3	4.6	69.3	3.96	0.00	5.6	361	1054	105.4	108.6	4.5	25.6	1.4
19.80 Stigvassåni	14	1.8	0.23	267	0.0	4.4	91.5	0.00	0.00	7.1	151	418	31.5	11.9	6.0	21.8	2.3
19.82 Rauåna	8.93	0.1	0.00	520	1.3	2.4	90.6	0.00	0.00	7.0	223	743	29.7	25.8	6.8	35.9	1.3
19.89 Skornetten	2.62	0.4	0.00	343	20.1	1.2	77.9	0.00	0.00	2.4	545	888	97.6	109.3	2.6	19.2	1.0
19.91 Åbogtjønn	1.15	4.3	3.35	204	11.8	4.4	80.0	0.00	0.00	1.2	637	841	31.4	40.4	1.3	30.9	0.9
19.96 Storgama	0.52	11.5	4.02	80	63.9	1.9	21.2	0.00	0.00	1.0	582	662	26.1	25.1	1.1	20.2	0.5

Forts. Tabell 3

Stasjon	Areal (km <sup>2</sup> )	Sjø (%)	Effpro (%)	dHmax (m)	Snau fj (%)	Myr (%)	Skog (%)	Dyrk (%)	Urban (%)	Elvele (km)	Hmin (moh)	Hmax (moh)	Elvegrad (m/km)	Grad1085 (m/km)	Feltle (km)	Feltgrad (m/km)	Bredde (km)
20.2 Austenå	277	11.9	1.61	912	20.3	5.6	61.9	0.07	0.00	52.8	241	1153	13.1	11.4	41.6	22.4	6.7
20.11 Tveitdalen	0.44	0	0.00	55	0.0	0.0	100.0	0.00	0.00	0.6	200	255	41.5	39.3	0.9	32.0	0.5
21.47 Lislefjodd	19	0	0.00	542	80.1	12.4	5.1	0.00	0.00	9.0	892	1434	25.5	23.7	7.8	16.2	2.4
22.4 Kjølemono	1757	0	0.00	1151	33.1	6.2	47.2	1.26	0.02	139.2	10	1161	7.5	5.2	101.8	24.1	17.3
22.5 Austerhus	413	7.4	1.62	900	42.2	4.9	40.6	0.62	0.00	70.3	261	1161	11.2	11.1	46.8	27.0	8.8
22.16 Myglevatn	182	5.5	1.53	489	11.0	12.1	63.6	0.39	0.00	37.6	252	741	11.3	6.2	23.8	20.5	7.7
22.22 Søgne	210	4.1	0.05	480	0.1	5.9	79.8	4.83	0.67	54.5	6	486	6.8	5.8	30.6	24.2	6.9
24.8 Møska	121	9.1	1.47	600	8.6	3.1	77.1	0.98	0.00	30.0	8	608	18.2	14.9	19.6	29.3	6.2
24.9 Tingvatn	272	9.4	2.99	779	36.8	6.2	37.1	1.14	0.01	46.0	185	964	13.7	13.0	30.8	27.3	8.8
25.8 Mygland	46.9	5.1	0.06	549	30.3	8.7	16.1	0.43	0.00	20.5	328	877	19.3	10.9	16.3	29.1	2.9
25.24 Gjuvvatn	97	16.4	6.96	481	83.3	0.2	0.0	0.00	0.00	20.6	950	1431	20.5	15.8	12.7	24.3	7.6
26.4 Fidjedalsvatn	506	14.7	2.15	855	75.5	0.8	7.3	0.08	0.00	55.2	566	1421	8.8	8.5	42.3	26.6	12.0
26.5 Dorgefoss	808	13.1	1.68	958	75.1	0.8	8.2	0.27	0.00	69.8	463	1421	8.4	7.2	52.0	27.0	15.5
26.6 Lindeland	963	12	1.27	1183	73.6	0.8	10.3	0.38	0.00	82.0	238	1421	9.9	9.7	62.4	28.4	15.4
26.7 Sirdalsvatn	1528	11.7	1.79	1371	63.4	1.5	17.9	0.66	0.02	122.6	50	1421	8.2	9.2	100.1	29.9	15.3
26.8 Lundevatn	1899	12.4	2.63	1372	56.1	1.5	22.9	1.04	0.06	143.1	49	1421	7.0	7.9	116.9	30.6	16.3
26.10 Liland	72.7	11.3	2.58	678	78.8	0.3	8.1	0.06	0.00	23.0	305	983	26.4	25.2	17.8	28.0	4.1
26.20 Årdal	77.3	9	2.16	637	24.7	2.3	38.2	2.16	0.00	15.6	113	750	28.1	33	13.1	35.6	5.9
26.21 Sandvatn	27.5	10	2.44	266	35.2	8.8	44.3	1.38	0.00	14.1	306	572	14.4	17.9	6.3	25.0	4.4
26.26 Jogla	31.1	2.9	0.00	584	92.4	0.6	2.9	0.00	0.00	9.6	612	1196	45.6	40.9	8.1	29.8	3.9
26.29 Refsvatn	52.9	9.3	1.00	510	58.7	1.1	22.7	1.59	0.00	16.7	35	545	20.4	18.4	13.0	38.2	4.1
27.2 Bjerkreim bru	638	12.4	1.47	958	53.8	0.9	17.0	2.58	0.05	57.2	54	1012	13.8	14.0	47.4	37.0	13.5
27.2 Saglandsvatn	1.85	21.1	19.34	178	15.7	3.2	25.4	2.70	0.00	1.8	120	298	10.6	0.1	1.7	27.6	1.1
27.15 Austrumdal	60.5	13.2	5.18	627	66.9	1.2	11.4	0.26	0.00	24.1	309	936	21.0	20.6	16.0	39.0	3.8
27.20 Gya	60.7	7.6	0.35	701	56.1	2.7	19.9	1.29	0.00	18.8	202	903	25.2	20.4	12.9	37.2	4.7
27.24 Helleland	186	8.4	0.88	816	48.5	1.1	22.6	4.13	0.02	34.6	87	903	17.0	15.2	27.4	35.7	6.8

**Forts. Tabell 3**

Stasjon	Areal (km <sup>2</sup> )	Sjø (%)	Effpro (%)	dHmax (m)	Snau fj (%)	Myr (%)	Skog (%)	Dyrk (%)	Urban (%)	Elvele (km)	Hmin (moh)	Hmax (moh)	Elvegrad (m/km)	Grad1085 (m/km)	Feltle (km)	Feltgrad (m/km)	Bredde (km)
27.26 Hetland	69.5	6.1	0.14	532	60.5	3.3	12.6	4.98	0.00	20.5	23	555	20.2	8.5	17.0	25.5	4.1
28.7 Haugland	140	6.1	0.37	414	0.0	1.4	7.2	20.21	0.12	29.1	16	430	9.6	8.9	17.4	15.8	8.1
31.2 Lysedalen	47.2	7.1	0.70	1031	84.8	0.0	7.9	0.00	0.00	14.1	78	1109	59.1	61.6	11.6	43.8	4.1
33.2 Tveid	513	13.7	1.31	1232	70.8	0.6	9.4	0.41	0.00	53.3	46	1278	22.2	25.4	38.5	32.6	13.3
35.2 Hauge bru	394	35.5	2.50	1576	70.4	0.6	10.2	0.00	0.00	56.1	23	1599	21.3	24.2	39.3	30.3	10.0
35.16 Djupadalsvatn	45.4	10.0	3.54	790	46.1	3.8	33.1	0.00	0.00	20.2	338	1128	35.2	38.8	13.2	25.7	3.4
35.9 Osali	22.6	12.3	4.92	702	80.4	1.3	5.9	0.00	0.00	11.1	643	1345	45.8	39.9	5.7	37.5	3.9
36.9 Middal	46.4	3.9	0.08	853	91.3	0.1	1.6	0.00	0.00	10.2	833	1686	70.8	76.4	8.9	29.4	5.2
36.11 Stråpa	1307	8.9	2.58	1618	70.0	0.5	16.6	0.29	0.02	91.0	69	1687	15.8	12.1	69.4	35.3	18.8
36.14 Røldalsvatn	496	7.9	2.07	1309	80.9	0.4	7.2	0.26	0.02	44.1	380	1689	25.6	21.7	35.9	32.5	13.8
36.32 Lauvastøl	20.5	2.6	0.33	808	81.5	0.9	13.7	0.00	0.00	8.1	619	1427	85.9	99.2	5.7	40.3	3.6

### 3.3 Løsmasser og magasinindeks (MI)

De geologiske forholdene i Norge er dominert av lite permeabel berggrunn og løsmasser. Av løsmassene er morene dominerende. Sand- og grusavsetninger forekommer som glasifluviale og fluviale avsetninger, og finere materiale som silt og leire i form av marine avsetninger.

Dekningen av løsmasser over berggrunnen er viktig for de hydrologiske forholdene, og representerer sammen med sjøer nedbørfeltets potensielle magasin. To viktige begreper er effektiv porøsitet og permeabilitet. Effektiv porøsitet er volumet av porer der vannet kan bevege seg fritt og denne øker generelt med økende kornstørrelse. Permeabilitet, eller hydraulisk konduktivitet ( $k$ ), representerer mediets vanngjennomtrengelighet og vil være avhengig av poresystemet og mengden vann i dette. Høy effektiv porøsitet tilsier også høy permeabilitet. Et nedbørfelts evne til å opprettholde vannføringen i lavvannsperiodene er avhengig av lagringsvolum (mektighet og effektiv porøsitet), og dens evne til å avgi vann (permeabilitet). Gunstig effektiv porøsitet og permeabilitet i betydning høy lavvannføring finnes først og fremst i sand- og grusavsetninger.

Ut fra klassifiserte løsmasser er det forsøkt å finne et kvantitativt uttrykk for effekten disse har på lavvannføringer og her spesielt på alminnelig lavvannføring. En metode for å beregne en magasinindeks (MI) beskrevet i Tallaksen (1987) er benyttet. Metoden baseres på å dele inn løsmassene i fem grupper, hvor gruppene kan betegnes etter magasineringsevnen på følgende måte:

*Gruppe 1: Meget lav (bart fjell og ur)*

*Gruppe 2: Lav (tynn morene, tynn forvitret, marint materiale, skredmateriale, myr)*

*Gruppe 3: Middels (tykk morene)*

*Gruppe 4: Høy (tykk forvitret)*

*Gruppe 5: Meget høy (fluvialt- og glasifluvialt materiale, sjø)*

Gruppene er nærmere beskrevet i Tallaksen (1987). Ut i fra arealandelen i prosent for hver av gruppene, ( $a_i$ ,  $i = 1, \dots, 5$ ) og en vektfaktor ( $f_1 = 1$ ,  $f_2 = 2$ ,  $f_3 = 4$ ,  $f_4 = 5$ ,  $f_5 = 10$ ) blir magasinindeksen MI bestemt ved følgende likning:

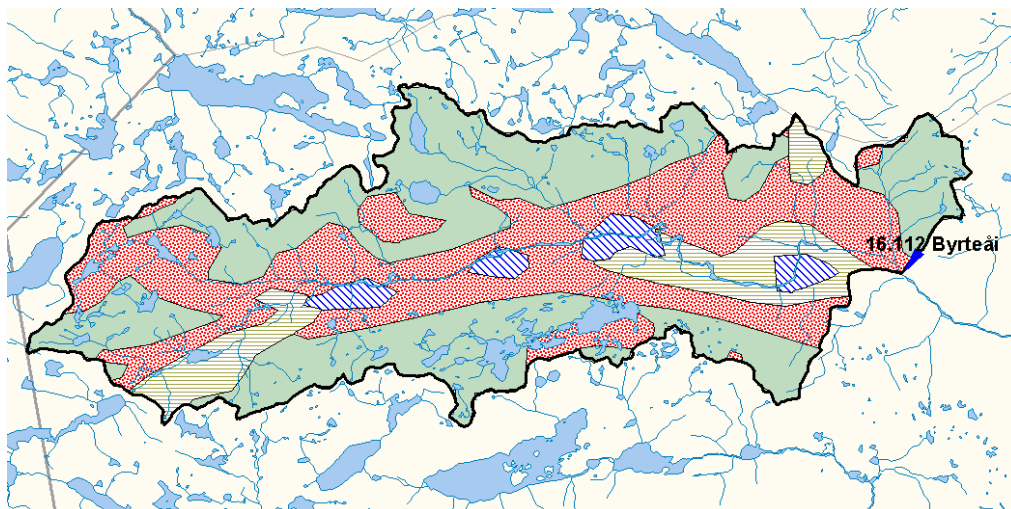
$$MI = 1/100 \sum_{i=1}^5 a_i \cdot f_i \quad (2)$$

MI vil være et tall mellom 1 og 10 og bestemmes for hvert nedbørfelt ut fra arealandelen av de fem gruppene og vektfaktorene. En MI verdi på 1 betyr at feltet har en veldig liten magasineringsevne, mens 10 tilsier en veldig stor magasineringsevne.

Det eksisterende kvartærgeologiske kartgrunnlaget som beskriver løsmasseforholdene i Norge er begrenset. Ved finere målestokk enn 1:1 000 000 er dekningsgraden varierende, og med ulik målestokk.



For regionen som er studert i dette prosjektet, var kart med målestokk 1:250 000 tilgjengelig for 42 av 61 stasjoner. Fortrinnsvis er det ønskelig med kart i større målestokk og mer detaljert oppløsning, men her var dekningsgraden ikke god nok. Digitale kartdata (NGU) over fylkene Telemark, Aust-Agder og Vest-Agder ble benyttet. Figur 4 viser et eksempel på inndelingen i grupper etter løsmassekart for målestasjon 16.112 Byrteåi.



Figur 4. Inndeling av ulike MI-indeksgrupper basert på løsmassekart for nedbørfeltet til målestasjon 16.112 Byrteåi.

Beregnet MI-indeks er gitt i Tabell 4 (stasjoner med dominerende vinterlavvann) og 5 (stasjoner med dominerende sommerlavvann). MI-indeksen for de 42 feltene varierer fra 1.0 til 3.5, med et gjennomsnitt på 2.1. Variasjonsområdet er relativt lite noe som kommer av at området er preget av mye fjellgrunn og relativt tynne løsmasselag. Kart med større målestokk ville antagelig ha gitt noe større variasjon.

Tabell 4. Beregnet MI-indeks for stasjoner med dominerende vinterlavvann.

Stasjon	Areal	Alm.l.vf.	MI
16.31 Omnesfoss	806	3.18	2.16
16.32 Hjartsjø	215	2.27	2.16
16.33 Seljordvatn	728	3.38	2.26
16.34 Totak	855	4.08	2.35
16.37 Vinjevatn	907	3.77	2.06
16.66 Grosettjern	6.48	2.16	3.06
16.75 Tannsvatn	117	2.54	2.75
16.112 Byrteåi	37.3	1.55	2.08
16.127 Viertjern	49.0	1.86	3.32
16.128 Austbygdåi	344	1.35	3.23
16.193 Hørte	156	2.24	2.33
21.47 Lislefjædd	19.0	1.32	2.26
25.24 Gjuvvatn	97.0	7.41	1.48
26.4 Fidjedalsvatn	506	5.42	1.47
26.5 Dorgefoss	808	4.53	1.72
26.6 Lindeland	963	5.42	1.76
26.7 Sirdalsvatn	1528	7.31	1.94
26.10 Liland	72.7	2.31	1.75
26.26 Jogla	31.1	2.73	1.85

**Tabell 5. Beregnet MI-indeks for stasjoner med dominerende sommerlavvann.**

Stasjon	Areal	Alm.l.vf.	MI
16.104 Kilen	121	0.69	1.86
16.122 Grovåi	42.7	1.12	1.97
18.10 Gjerstad	237	0.62	1.58
18.11 Tjellingtjernbekk	2.16	0.00	1.28
19.73 Kilåi bru	64.4	0.50	1.63
19.76 Tovsløyjtjønn	115	2.67	1.98
19.78 Grytå	18.7	1.76	1.34
19.79 Gravå	6.31	0.32	2.21
19.80 Stigvassåni	14.0	0.43	1.64
19.82 Rauåna	8.93	0.34	2.41
19.89 Skornetten	2.62	0.00	1.85
19.91 Åbogtjønn	1.15	0.00	1.68
19.96 Storgama	0.52	0.00	1.00
20.2 Austenå	277	3.42	1.50
20.11 Tveitdalen	0.44	0.00	1.84
22.4 Kjølemo	1757	4.28	2.32
22.5 Austerhus	413	3.49	1.91
22.16 Myglevatn	182	0.81	1.85
22.22 Søgne	210	1.45	3.31
24.8 Møska	121	2.50	1.97
24.9 Tingvatn	272	2.47	2.58
25.8 Mygland	46.9	1.45	1.70
26.21 Sandvatn	27.5	4.76	3.53

### 3.4 Regioninndeling og hydrologiske regimer

Regionen er karakterisert ved store klimatiske forskjeller. Nedbøren er hovedsakelig styrt av lavtrykk fra sørvest. Fra kysten blir fuktige luftmasser hevet og store mengder nedbør utløst p.g.a. orografisk effekt. Nedbørens maksimumssone ligger rundt 50-100 km inn fra kysten. På lesiden av fjellene er nedbørmengden relativt liten. Meteorologiske stasjoner i området viser at nedbøren basert på normalperioden 1961-1990, varierer mellom 515 mm/år ved Øvre Mår i Telemark til over 2800 mm/år ved Maudal i Rogaland (Førland, 1993). Potensiell fordampningen er relativt beskjedent og varierer fra ca 200 mm/år i fjellområdene i vest til 550 mm/år langs kysten. Spesifikt avrenning varierer fra ca 10 ls<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup> i enkelte innlandsområder til 130 ls<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup> i fjellområdene i sørvest. Kystområdene og lavereliggende innlandsområder har vanligvis lavvannføringer i sommer-/høstsesongen, innlandsområder og høyereliggende fjellområder om vinteren.

Krokli (1988) baserte sin analyse på at det i tillegg til feltkarakteristika, var naturlig å klassifisere i henhold til region og sesong. Regionene er definert avhengig av når på året henholdsvis flom og lavvann inntreffer og reflekterer de klimatiske mekanismene som bestemmer avrenningsmønsteret. Dette er en velkjent metode for klassifisering av hydrologiske regimer og resultatet for Norden er vist i Tollan (1977). For estimering av lavvannsindeks er det hensiktsmessig å definere regioner ut fra den sesongmessige inndelingen av lavvannsperioden. Et typisk innlandsklima vil ha den mest utpregede lavvannssesongen om vinteren, mens et lavlandsområde langs kysten vil ha den om sommeren.

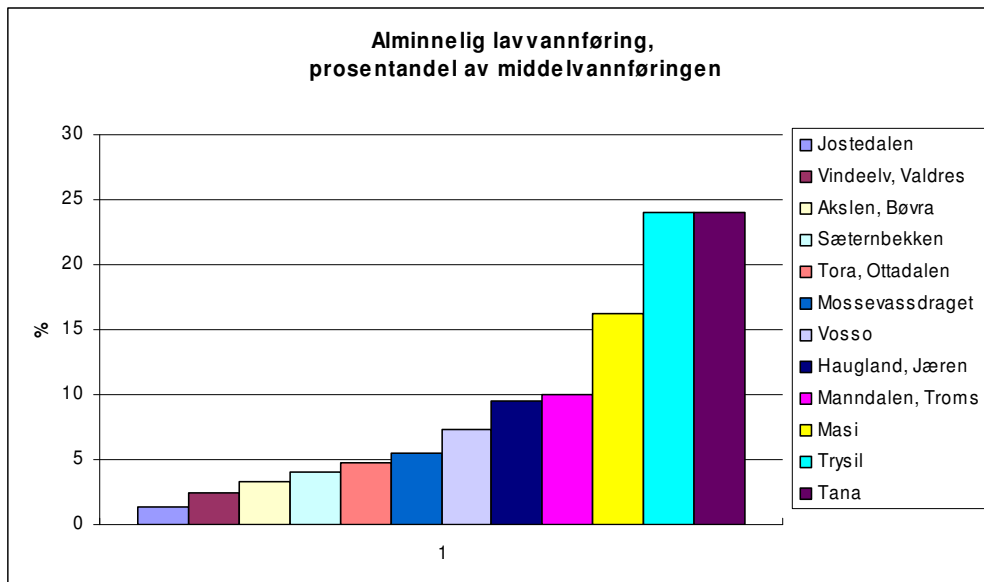
## 4. Metoder for estimering i umålte felt

*I små og uregulerte vassdrag finnes oftest ingen målestasjoner. I store og regulerte vassdrag kan det være vanskelig å finne stasjoner med et tilstrekkelig antall år med uregulerte data. Observasjoner fra før reguleringene ble satt i drift kan være tilgjengelig, men seriene er ofte korte samt at datakvaliteten er varierende. I tillegg er data i noen tilfeller fra en periode som ikke representerer dagens klima. Dersom det ikke foreligger observasjoner eller observasjonene er utilstrekkelige, er det behov for å estimere alminnelig lavvannføring. I praktisk bruk er det i hovedsak benyttet tre ulike estimeringsmetoder; 10 prosent av middelavrenningen, representativt felt og regional regresjon. De tre fremgangsmåtene er nærmere beskrevet under. I tillegg beskrives mulighetene for bruk av nedbør-avløp modeller.*

### 4.1 10 prosent av middelavrenningen

En enkel måte å estimere alminnelig lavvannføring på, har vært å anta at midlere årlig avløp også er en bestemmende faktor for alminnelig lavvannføring. Som et grovt estimat er det derfor sagt at alminnelig lavvannføring er lik 10 prosent av middelvannføringen. En antar da at klimatiske forhold har størst betydning for lavvannføringen i vassdraget. Midlere årlig avrenning kan enkelt estimeres ut fra NVEs avrenningskart (NVE, 2002) for Norge for normalperioden 1961-1990. Usikkerheten i NVEs avrenningskart er antatt å variere fra  $\pm 5\%$  til  $\pm 20\%$ . Den vil normalt øke når størrelsen av området som betraktes avtar. Metoden er enkel, rask og objektiv, men svært unøyaktig.

Figur 5 viser alminnelig lavvannføring i prosent av midlere årlig avløp for et utvalg målestasjoner i Norge. En ser av figuren at alminnelig lavvannføring varierer fra under 2% til over 20% av middelvannføringen. Dette viser at å benytte 10% av midlere årlig avløp kan gi store feil. Generelt vil en overestimere alminnelig lavvannføring i små nedbørfelt og underestimere i store nedbørfelt.



Figur 5. Alminnelig lavvannføring i prosent av midlere årlig avløp.

## 4.2 Representativt felt

Det benyttes ofte en såkalt representativ stasjon for å beregne alminnelig lavvannføring i umålte felt. Lavvannsindeksener som alminnelig lavvannføring, er svært følsom for klimaet og vassdragets feltegenskaper, og kjennskap til vassdraget er derfor av stor betydning for et godt estimat. Norge er et land med variert klima og de lokale forskjellene kan være store. Den mest nærliggende stasjonen er derfor ikke nødvendigvis den som gir best resultat. Siden alminnelig lavvannføring for umålte felt kan variere avhengig av valg av stasjon og til en viss grad av den perioden som ligger til grunn, er det viktig at flere referansestasjoner vurderes. Viktige faktorer er klima, høydefordeling og selvreguleringsevnen til nedbørfeltet. Selvreguleringen er i stor grad styrt av sjøer, grunnforhold, helning og andel av snaufjell og myr. Metoden krever tilgang til uregulerte måleserier av en viss lengde (helst 20-30 år). Den spesifikke lavvannsindeksen er antatt å være den samme for estimeringsfeltet og det representative feltet. Metoden er tidkrevende og subjektiv, men gir ofte godt resultat i områder med bra stasjonsdekning.

## 4.3 Regresjon mot feltkarakteristika

Fordi alminnelig lavvannføring i stor grad bestemmes av ulike feltegenskaper, gir det ofte dårlig resultat å relatere til middelavrenning alene. Sammenhengen mellom feltegenskapene og lavvannsindeksener et godt utgangspunkt for etablering av regresjonssammenhenger. Dette er tidligere gjort av Krokli (1988) for MAM(7) for sommer og vintersesongen for Norge delt inn i syv regioner. Antagelsen bygger på at innen en tilstrekkelig homogen region, er klima- og feltparametere styrende for nedbørfeltets lavvannsregime. En homogen region kan defineres ut fra forskjellige kriterier, men det er vanlig å gå ut fra et geografisk område, eller en klassifisering av stasjonene basert på sammenhengen i avrenningsmønsteret. Fordi prosessene som styrer lavvannføringen om vinteren og sommeren er forskjellige, er det naturlig å se

på ulike sesonger separat. En detaljert matematisk beskrivelse av regional regresjon, en type multivariat analyse, er gitt i Haan (1977) og flere eksempler hvor hensikten er å estimere lavvannsindeksler i umålte felt, er beskrevet i Demuth og Young (2004).

## 4.4 Hydrologiske modeller

Det er også mulig å estimere lavvannsindeksler ved å benytte begrepsmessige nedbør-avløp modeller. Slike modeller beskriver det totale hydrologiske kretsløpet i et nedbørfelt. De ulike prosessene beskrives ved hjelp av matematiske sammenhenger med empirisk eller fysisk opprinnelse. Forenklinger gjøres avhengig av anvendelsesområde. Et eksempel på en slik modell som er i operativ bruk i Norge, er HBV-modellen (Bergström 1976). Denne beregner daglig avløp basert på nedbør og temperatur som inngangsdata. Månedsverdier for potensiell fordampning og feltkarakteristika er også nødvendig.

Ved å kalibrere modellen regionalt eller benytte passende parametersett, kan modellen benyttes til estimering av lavvannsindeksler. Det er en forutsetning at lange serier av nedbør og temperatur er tilgjengelig. Vanligvis kalibreres modellen for å gi gode estimater for middelavrenning og flom. Dette gjør at de små vannføringer ofte overestimeres, og dermed vil estimatene av lavvannsindeksler bli for store. Kalibrering spesielt med tanke på gode simuleringer av små vannføringer er derfor viktig. Dette er et ressurs- og tidkrevende arbeid, og metoden er ikke benyttet i dette prosjektet.

## 5. Ny regional regresjonsanalyse

*Regionale regresjonslikninger for estimering av alminnelig lavvannføring gir mulighet for estimering i umålte nedbørfelt ved bruk av programmet LAVVANN. Tre forhold gir et grunnlag for å anta at nye regresjonslikninger vil gi mer nøyaktige estimater:*

- *Mulighetene til å beregne feltkarakteristika på en enhetlig måte ved hjelp av GIS*
- *Flere og lengre måleserier i forhold til det opprinnelige utvalget*
- *Benytte alminnelig lavvannføring som responsvariabel uten å gå veien om MAM(7)*

*Resultatene av den nye regionale regresjonsanalysen for testområdet Telemark, Agder og Rogaland er beskrevet i det følgende. Datagrunnlaget er beskrevet i kapittel 3.*

### 5.1 Metode

En regional regresjonsanalyse inkluderer flere steg og metoden benyttet her er multipel lineær regresjon. Først må det bestemmes hvilken avhengig karakteristikk (responsvariabel) som skal estimeres. Dette er som oftest avhengig av brukerinteressene og begrensninger i tilgjengelig datasett. I vårt tilfelle var det naturlig å ta utgangspunkt i alminnelig lavvannføring.

Steg to er forbundet med å dele inn området som studeres i "tilstrekkelig" homogene områder. Det finnes mange metoder for å gjøre dette og noen vanlige metoder er kort beskrevet i Smakhtin (2001). Det er her valgt å benytte samme regioninndeling som i Krokli (1988). Det ble også tidlig klart at vinter- og sommerlavvann er styrt av ulike prosesser. Regionen ble derfor ytterligere delt opp i to basert på i hvilken sesong de laveste vannføringene opptrer.

Videre må det for hver målestasjon tas ut feltkarakteristika (uavhengige forklaringsvariable) som skal benyttes i analysen. Det er gjerne en innbyrdes korrelasjon mellom ulike feltkarakteristika. Dette fører til at de ofte gir deler av den samme effekten på responsvariabelen. Ved et stort utvalg av forklaringsvariable vil det derfor være mange ulike regresjonslikninger som gir nesten samme estimerings-resultat. Hvilke forklaringsvariable som kommer med i regresjonen er dermed ikke nødvendigvis de som er høyest korrelert med responsvariabelen, men de som gir en ytterligere forklaring av variabiliteten til responsvariabelen. Det er derfor variable som er lavt korrelerte seg i mellom som velges. For å bestemme hvilke forklaringsvariable som kommer med i analysen, er en stegvis regresjonsprosedyre som følger Efroymsons metode (Draper, 1981) benyttet. Regresjonsparameterne ble estimert ved ordinær minste kvadraters metode i analyseverktøyet S-PLUS.

Regresjonsanalysen ble utført på både uttransformerte og log-transformerte data. Regresjon mot uttransformerte data gav i enkelte tilfeller negative avløp. Log-transformerte verdier ble derfor valgt.

## 5.2 Regresjon mot feltparametre

I begynnelsesfasen av utvelgelse av forklaringsvariable var det noen overraskelser. Variable som urbanprosent og dyrket mark kom med som signifikante forklaringsvariable med relativ høy positiv korrelasjon. Det er vanskelig å gi en fornuftig fysisk forklaring på dette. Ser en nærmere på variasjonsområdet til henholdsvis urbanprosenten og andel dyrket mark for analysestasjonene er dette i området 0-0.7 % og 0-20 %. Dette er et veldig lite variasjonsområde (spesielt for urbanprosenten) og når for eksempel et estimeringsfelt har høy andel av disse, vil betydningen av parametrene overvurderes, og urealistiske estimater kan forekomme. Disse to variablene ble derfor fjernet fra de videre analysene og korrelasjonen mot alminnelig lavvannføring er antatt å være delvis tilfeldig.

Noen få stasjoner i regionen med dominerende sommerlavvann har beregnet alminnelig lavvannføring lik null. Dette forårsaket problemer når log-transformerte variable ble benyttet og de ble "outliers" i datasettet. Disse stasjonene ble derfor fjernet fra datamaterialet i regresjonen mot transformerte data.

Det viste seg også å være stor forskjell på hvilke parametre som inngikk i regresjonsligningene for stasjonene med henholdsvis dominerende vinter- og sommerlavvann. For stasjoner med dominerende vinterlavvann er antall forklaringsvariable mindre enn for stasjoner med sommerlavvann. Dette kan forklares med at prosessene som forårsaker lavvann i de to sesongene er forskjellige. Om vinteren vil lavvannperiodene i stor grad oppstå som en konsekvens av at nedbøren magasineres som snø eller is. Perioden med lavvann kan strekke seg over flere måneder. Om sommeren vil lite eller ingen nedbør gjerne kombinert med høy fordampning forårsake lave vannføringer. Her kan også andre prosesser bidra til å øke eller minke vannføringen. Dette kan for eksempel være fortsatt snøsmelting og evapotranspirasjon.

Noen parametre viste seg å være motsatt korrelert til alminnelig lavvannføring avhengig av om lavvannsperiodene inntreffer i sommer- eller vintersesongen. For eksempel indikerer høy maksimumshøyde i nedbørfeltet lav alminnelig lavvannføring i nedbørfelt med dominerende vinterlavvann, mens det motsatte er tilfelle for stasjoner med sommerlavvann. Temperaturen avtar generelt med høyden og har betydning for magasinering av snø og snøsmelting. Høytliggende områder vil ha en lengre snøleggingsperiode og mindre snøsmelting om vinteren. Om sommeren er snøsmeltesesongen lenger og bidrar til avrenningen i perioder uten nedbør.

Midlere spesifikk avrenning kom inn som forklaringsvariabel i alle regresjonsligningene uavhengig av lavvannsregime.

## Sommerlavvann

Regresjonsanalysen sammen med en tolkning av den fysiske betydningen og variasjonsområdet til hver enkelt feltkarakteristika avgjorde endelig valg av regresjonslikning. Følgende likning for alminnelig lavvannføring,  $Alm_S$ , for regionen med dominerende sommerlavvann gav best resultat:

$$Alm_S = 1.45 * Q_M^{0.795} * Elvegrad^{-0.820} * (Myr + 0.1)^{-0.534} * (Snauffj + 0.1)^{0.199} \quad (3)$$

Fire forklaringsvariable inngår i likningen. Midlere spesifikk avrenning,  $Q_M$ , er som forventet positivt korrelert med alminnelig lavvannføring. Høy verdi av  $Q_M$  gir større alminnelig lavvannføring. Elvegradient,  $Elvegrad$ , og andel myr,  $Myr$ , virker derimot i motsatt retning. Elvegradienten sier noe om helningen på nedbørfeltet og en bratt helning indikerer mindre alminnelig lavvannføring. Noe som kanskje er mer overraskende er nedbørfelter med høy andel myr generelt har mindre lavvannføringer. Dette kan komme av at myrområder har en stor evne til å holde tilbake vann. I tørre perioder vil myra virke som en slags svamp og ikke frigi noe vann. Ved store nedbørmengder vil myra fylles opp og overskytende vann vil renne av som overflatevann. Andel snaufjell,  $Snauffj$ , er positivt korrelert med alminnelig lavvannføring, men også til maksimumshøyden og høydefordelingen i feltet. Ved stor andel snaufjell vil feltet med stor sannsynlighet ha store deler høyereliggende områder. Snøsmeltingen i høyere områder vil inntreffe over en lenger og gjerne senere periode og kan bidra til å øke sommervannføringen i perioder med varmt vær og lite nedbør.

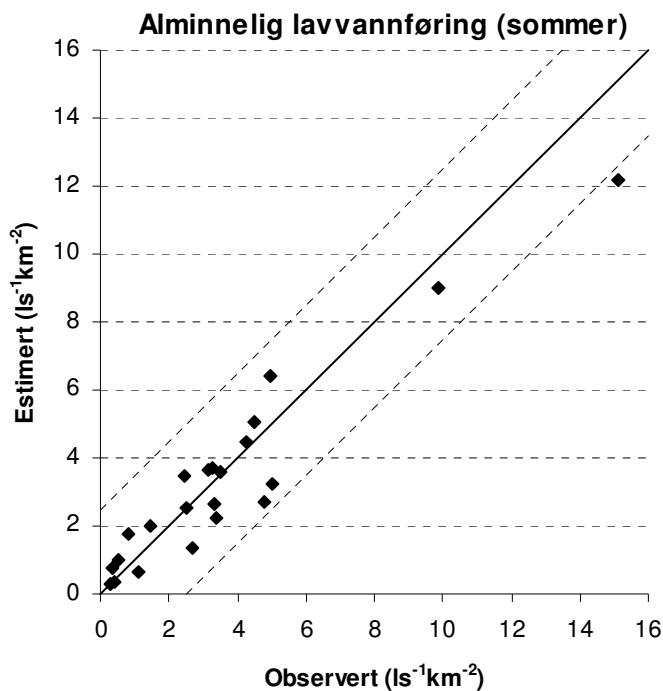
Et kriterium for hvor godt modellen presterer, er Nash effektivitetskriterium (Nash og Sutcliffe, 1970),  $R^2$ , som ofte er anvendt for å antyde hvor godt en modell er tilpasset observerte data.  $R^2$  uttrykkes:

$$R^2 = 1 - \frac{\frac{1}{n} F^2}{Var(Z_{obs})} \quad (4)$$

hvor  $Z$  er variabelen som skal undersøkes,  $n$  er antall observerte verdier, og  $F^2 = \sum (Z_{mod} - Z_{obs})^2$ .  $R^2$  beskriver forskjellen mellom estimert og observert verdi relativt til variansen i de observerte verdiene. Dersom det er liten forskjell mellom estimert og observert verdi vil  $R^2$  nærme seg verdien 1, dersom forskjellen mellom observert og estimert verdi er stor kan  $R^2$  anta negative verdier.

For målestasjoner med dominerende sommerlavvann ble  $R^2$  for analysestasjonene 0.86 som må sies å være bra. Figur 6 viser tilpasningen av regresjonsanalysen med 95% konfidensintervall.





Figur 6. Tilpasningen av regresjonsligningen for analysestasjoner med dominerende sommerlavvann (95% konfidensintervall vist som stiplede linje).

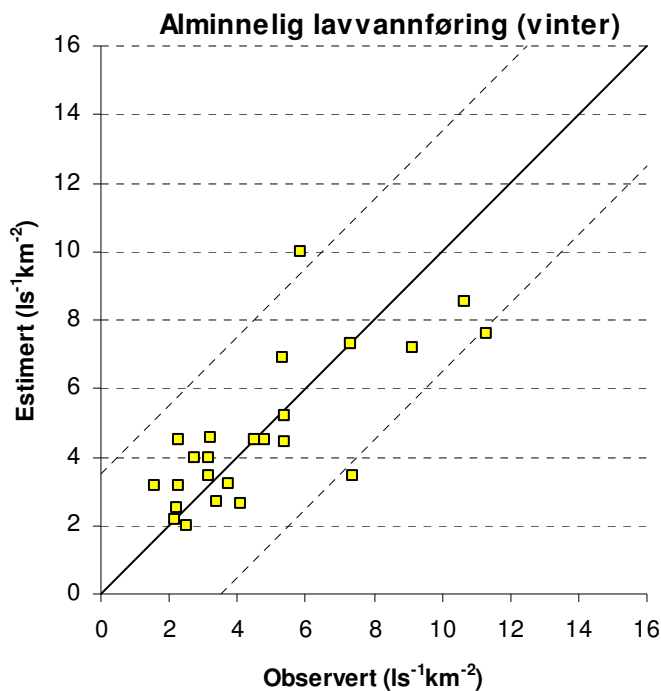
## Vinterlavvann

Den beste tilpasningen av regresjonsligninger til stasjonene med dominerende vinterlavvann inkluderte kun to signifikante forklaringsvariable. Følgende ligning for alminnelig lavvannføring,  $Alm_V$ , gav best resultat:

$$Alm_V = 1.47 * Q_M^{0.597} * H_{min}^{-0.240} \quad (5)$$

Også her er midlere spesifikk avrenning,  $Q_M$ , positivt korrelert til alminnelig lavvannføring. Den andre feltparameteren inkludert i ligningen er minimumshøyden,  $H_{min}$ , i nedbørfeltet. Denne er negativt korrelert med alminnelig lavvannføring. Det vil si at dess høyere det laveste punktet i nedbørfeltet er, jo lavere vil vinterlavvannføringen være. Denne feltegenskapen kan også sees i sammenheng med snøsmelting. Lavtliggende deler av et nedbørfelt vil ha større sannsynlighet for snøsmelting i vinterperiode, og dette vil bidra til større lavvannføringer.

Nash-Sutcliffes effektivitetskriterium gav en tilpasning med  $R^2$  lik 0.58 for analysestasjonene med dominerende vinterlavvann. Dette er en dårligere tilpasning enn for stasjoner med sommerlavvann. Figur 7 viser tilpasningen av regresjonsanalysen til målestasjoner med dominerende vinterlavvann. Usikkerheten i lavvannføringene om vinteren er for mange stasjoner stor på grunn av problemer med gjenisning av elveløpet og manglende data. I slike tilfeller må vannføringene subjektivt reduseres i forhold til isforhold og eventuelt kompletteres.



Figur 7. Tilpasning av regresjonsanalysen for analysestasjoner med dominerende vinterlavvann (95% konfidensintervall vist som stiplet linje).

### 5.3 Korrelasjon mot Magasinindeksen, MI

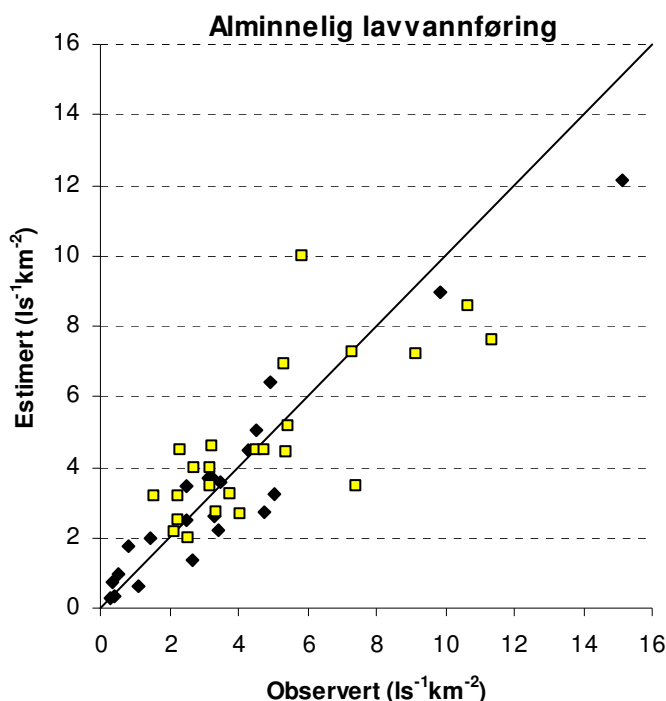
Korrelasjonen,  $r$ , mellom alminnelig lavvannføring og Magasinindeksen (MI) er undersøkt for stasjonene i Tabell 4 og 5. For stasjonene sett under ett var det ingen signifikant korrelasjon. Dette er noe overraskende, da det i tidligere analyser (Tallaksen, 1987) er funnet en relativt høy korrelasjon mellom lavvann og MI. Deles datasettet opp i stasjoner med henholdsvis dominerende vinterlavvann og sommerlavvann blir resultatet annerledes. Stasjoner med vinterlavvann har en korrelasjon på -0.63, mens de med sommerlavvann har en positiv korrelasjon på 0.48.

Det er vanskelig å forklare denne store forskjellen mellom vinterlavvann og sommerlavvann. Det er ingen umiddelbar fysisk forklaring på dette. En mulig forklaring kan være at variasjonsområdet til MI-indeksen er liten for området (1-3.5). Det kan også være at kartgrunnlaget er for lite detaljert til gode MI-estimer for stasjonene. Løsmassekartene gir bare informasjon om det øverste laget av jordsmonnet, men de underliggende lagene vil også ha betydning for tilsiget i lavvannsperiodene.

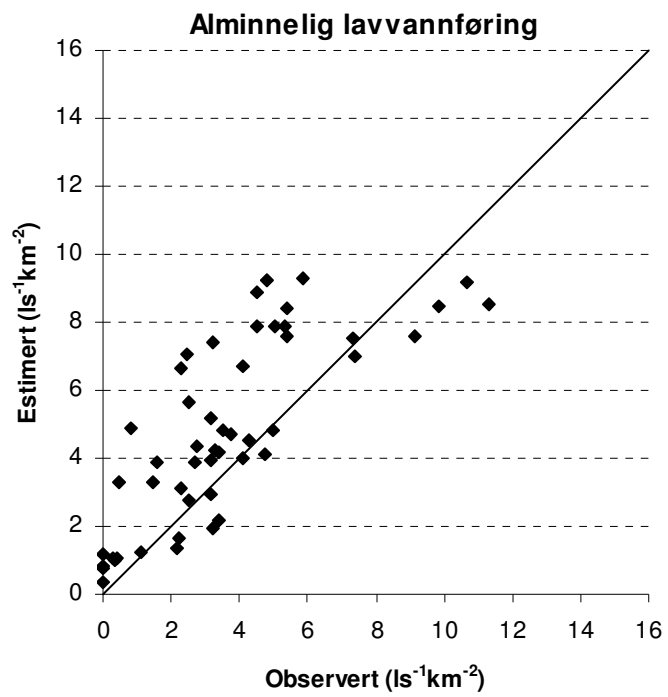
## 5.4 Oppsummering

Datagrunnlaget for å bestemme regresjonsligninger er utvidet med 27 stasjoner i forhold til tidligere analyser (Krokli, 1988) i regionen. En viktig faktor her er at det er flere stasjoner med lite feltareal. I tidligere analyser var nedbørfeltene generelt sett relativt store. Videre er analysene gjort direkte mot alminnelig lavvannføring. Det var derfor forventet en forbedring av estimering av alminnelig lavvannføring.

Tilpasningen til analysestasjonene viser også en klar forbedring sett i forhold til hva gamle ligninger presterer. Nye regresjonsligninger gir samlet for både vinter- og sommerstasjoner en  $R^2$ -verdi på 0.77 (Figur 8). Som vist tidligere, er tilpasningen til stasjoner med dominerende sommerlavvann bedre enn for de med vinterlavvann. Tilsvarende for gamle regresjonsligninger gir en  $R^2$ -verdi på 0.40 (Figur 9). De gamle regresjonsligningene har en tendens til å overestimere alminnelig lavvannføring, slik at resultatet ikke er forventningsrett. Dette kan skyldes at det gamle analysegrunnlaget inneholder en større andel store nedbørfelter som gjerne har større alminnelig lavvannføring enn mindre felter. Dessuten er estimatene av alminnelig lavvannføring i LAVVANN basert på at en kan multiplisere minimum av  $MAM(7)_v$  og  $MAM(7)_s$  med en gjennomsnittlig faktor som skal gjelde for hele landet. Det er også en mulighet for at det ikke forventningsrette resultatet skyldes at denne faktoren varierer regionalt.



Figur 8. Estimert alminnelig lavvannføring ut fra nye regresjonsligninger for stasjoner med vinter- (gule punkter) og sommerlavvann (svarte punkter).



Figur 9. Estimert alminnelig lavvannføring for analysestasjonene basert på programmet LAVVANN.

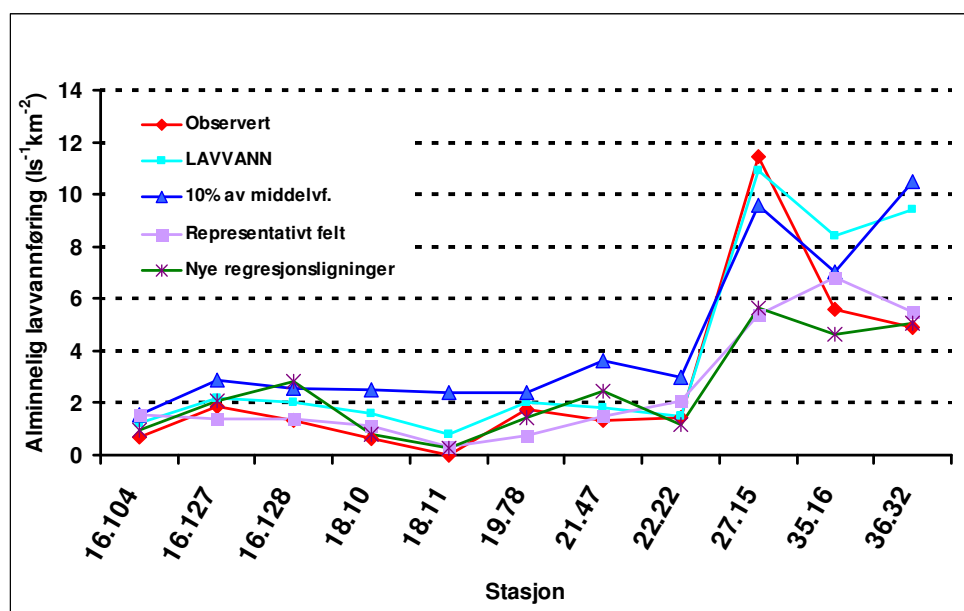
## 6. Sammenlikning av metoder for estimering i umålte felt

En sammenlikning mellom de ulike metodene for estimering i umålt felt basert på valideringsdatasettet, er her nærmere beskrevet. Valideringssettet består av 11 stasjoner, hvor 6 har dominerende vinterlavvann og 5 dominerende sommerlavvann. Stasjonene er godt spredd over hele regionen og er uavhengig av analysesettet. For hver av stasjonene er alminnelig lavvannføring estimert ved fire ulike metoder: 10 % av middelvannføringen, representativt felt, gamle regresjonsligninger (Krokli, 1988; Skaugen *et al.*, 2002) og nye regresjonsligninger (Kapittel 5). Avviket mellom observerte og estimerte verdier (residualene) er undersøkt og enkel statistikk er presentert i Tabell 6. Resultatene er også vist i Figur 10.

Tabell 6. Avviket mellom observert og estimert alminnelig lavvannføring for valideringsstasjonene

Metode	Residualer				
	Gj.snitt	Std.avvik	Maks	Min	R <sup>2</sup>
10 % Q <sub>M</sub>	-1.56	1.76	1.82	-5.62	0.53
Repr. felt	0.29	2.00	6.02	-1.21	0.67
Gamle regr.lign.	-0.99	1.43	0.52	-4.52	0.74
Nye regr.lign.	0.33	1.92	5.76	-1.49	0.69

Residualene viser at ved å estimere alminnelig lavvannføring med 10 % av middelvannføringen, vil estimatene generelt være for store. Metoden overestimerer i de fleste tilfellene. For valideringssettet er det kun én stasjon som blir underestimert (Austrumdal). I tillegg gir metoden dårligst R<sup>2</sup>-verdi for valideringssettet.



Figur 10. Estimert alminnelig lavvannføring for valideringsstasjoner basert på ulike metoder.

Gamle regresjonsligninger har den samme tendensen for valideringssettet som for analysestasjonene ved at den ofte overestimerer alminnelig lavvannføring i regionen. Denne metoden er derimot mer forventningsrett enn 10 % av middelvannføringen og gir også den beste  $R^2$ -verdien av de fire metodene. Estimatene fra nye regresjonsligninger og representativ stasjon er ganske like. De har en svak tendens til underestimering, men kan antas å være tilnærmet forventningsrette.  $R^2$ -verdien er litt lavere enn for gamle regresjonsligninger og standardavviket litt høyere. Dette skyldes i stor grad estimatet for stasjonen Austrumdal som underestimeres kraftig. Denne ene stasjonen påvirker derfor resultatet i stor grad, og ser man bort fra denne stasjonen ville statistikken blitt bedre. Alt i alt gir regresjonsmetodene og representativt felt noenlunde tilfredsstillende resultater. Å benytte 10 % av middelvannføringen er derimot ikke å anbefale.

## 7. Konklusjon/Anbefalinger

Det finnes en rekke lavvannsindekser som karakteriserer de små vannføringene. Alminnelig lavvannføring er en særnorsk indeks med en komplisert definisjon. Begrepet har lange tradisjoner og er godt innarbeidet både i den norske lovteksten og det hydrologiske fagmiljøet. Indeksen har en svakhet i at den kun kan beregnes for hele året og dermed ikke kan benyttes for sesonger. Mange norske vassdrag har stor forskjell i lavvannføringer om sommeren og vinteren. I et typisk brevassdrag eller innlandsvassdrag, vil de minste vannføringene alltid inntreffe om vinteren, mens sommervannføringene vil være større, ofte vesentlig større. Alminnelig lavvannføring vil i slike vassdrag være en typisk lav vinterverdi, men en ualminnelig lav sommerverdi. Dette er viktig å ta i betraktning dersom alminnelig lavvannføring brukes som utgangspunkt for å fastsette minstevannføringspålegg.

Alminnelig lavvannføring er høyt korrelert med andre lavvannsindekser, som for eksempel persentiler fra varighetskurven og MAM(D). Disse to sistnevnte begrepene er internasjonalt mye brukt og har den fordelen at de kan beregnes for sesonger. Indeksene er enkle å beregne og lett forståelige. I Norge er 95 persentilen ( $Q_{95}$ ) foreslått som ett av kriteriene for å definere sterkt modifiserte vannforekomster i EUs rammedirektiv for vann.

I dette delprosjektet har hovedfokuset vært rettet mot å finne ut hvilken metode som egner seg best til å estimere lavvannføringer i umålte felt. Det er tatt utgangspunkt i å estimere alminnelig lavvannføring, men andre lavvannsindekser kan beregnes ved tilsvarende metoder. Analysene har vært begrenset til et område i Sør-Norge med stasjoner beliggende i fylkene Telemark, Aust-Agder, Vest-Agder og Rogaland.

En tidligere forenklet metode for å beregne alminnelig lavvannføring har vært å sette denne lik 10 % av middelvannføringen. Resultatet for et utvalg stasjoner viser at alminnelig lavvannføring kan variere fra under 2% til over 20% av middelvannføringen. Metoden kom også dårligst ut sammenliknet med representativt felt og regresjon, og anbefales derfor ikke brukt.

Representativt felt har tradisjonelt sett vært den mest benyttede metoden for å beregne lavvannføringer i umålte felt. Metoden gir som oftest gode resultater i områder med god stasjonsdekning og med sammenlignbare nedbørfelter. Et vanlig problem er at det ofte er vanskelig å finne gode representative stasjoner med uregulert vannføringsserie og god kvalitet på lavvannføringene. Metoden er følsom for avvikende stasjoner, og ved uheldig valg av representativ stasjon kan resultatet bli dårlig. Ulike saksbehandlere vil ofte få ulike svar basert på subjektivt valg av representativ stasjon og observasjonsperiode. Metoden er også tidkrevende. Metoden gav i dette prosjektet forventningsrette resultater og hadde relativt høy  $R^2$ -verdi.

Regional regresjonsanalyse er benyttet for å finne sammenhengen mellom alminnelig lavvannføring og feltegenskaper. Analysene til Krokli (1988) og Skaugen *et al.* (2002) har resultert i et program LAVVANN som gjør det mulig å estimere alminnelig lavvannføring basert på feltegenskaper til nedbørfeltene. I dette prosjektet

er det forsøk å finne nye og bedre sammenhenger. Resultatet for nye regresjonsligninger viser at disse for analysesettet gir et mer forventningsrett resultat enn de gamle ligningene som i snitt overestimerer noe. For valideringssettet er tilpasningen noenlunde lik. Regresjon mot feltparametere er en enkel og rask metode når ligninger er utarbeidet. Metoden er objektiv og vil gi likt svar uavhengig av saksbehandler. Metoden har også den fordelen at feilen i lavvannsmålinger til dels kan utjevnes ved at flere stasjoner midles. Valideringssettet viser at regresjonsligninger gir omtrent like godt resultat som å benytte representativ stasjon. Som for alle de andre metodene så kan metoden gi stor feil i enkelte tilfeller. Noen steder kan det også virke som metoden gir regional avvik, noe som kan tilskrives en ikke-homogen region.

Kort oppsummert:

- Ikke benytt 10 % av middelvannføring for å estimere alminnelig lavvannføring.
- Representativ stasjon og regresjonsligninger gir i snitt omtrent like gode resultater. Regresjon er mindre arbeidskrevende og mer objektiv.
- De nye regresjonsligninger er forventningsrette og litt bedre en de gamle.

Å inkludere en løsmasseindeks (MI) basert på kvartærgeologiske kart gav ingen forbedring av regresjonslikningene. MI-indeksen viser liten variasjon i regionen. Dette kan kanskje tilskrives et kartgrunnlag med for dårlig oppløsning. Det er per i dag ikke dekningsgrad for hele Norge med løsmassekart (bortsett fra kart i målestokk 1:1 000 000). Det er heller ikke gått dypt inn i materien når det gjelder selve MI-indeksen og grupperingen av denne. Det er derfor rom for en mer inngående studie.

En metode som ikke er undersøkt her, er bruk av en begrepsmessig nedbør-avløp modell. For Norge eksisterer det en gridet regional HBV-modell (GWB-modelle), som kan benyttes. En forutsetning er at modellen kalibreres mot lavvannsdata. Dette er en metode som skal utprøves i en oppfølger til dette prosjektet.

For om mulig å forbedre estimatene av lavvannsindeks i umålte nedbørfelt ytterligere, uavhengig av hvilken metode som benyttes, er det nødvendig med bedre målinger av lavvannføringer i vassdrag hvor vannstand observeres. Vannføringskurver er gjerne gode rundt middelvannføringen og etter hvert også opp til flomnivå. Målinger for små vannføringer er som regel mangelfulle, og usikkerheten i vannføringskurvens nedre del er stor. Flere målinger av små vannføringer bør derfor prioriteres. Det bør også bemerkes at dersom det er viktig å få et lavvannsindeks-estimat beheftet med liten usikkerhet, vil det være stor gevinst i å måle vannføringen i det aktuelle vassdraget i en lavvannsperiode.



# Referanser

- Astrup, M. 2001. Avløpsnormaler. Normalperioden 1961 – 1990. NVE Rapport 2-2001, Oslo, Norge.
- Bergström, S. 1976. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI Rapporter Nr RH07, Norrköping, Sverige.
- Demuth, S. og Young, A.R. 2004. Regionalization procedures. In: *Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Eds. L.M. Tallaksen og H.A.J. Van Lanen. Developments in water science 48, Elsevier Science B. V., the Netherlands, 307-343.
- Draper, N.R. og Smith, H. 1981. *Applied regression analysis*. (Second edition). Wiley, New York, USA.
- Erichsen, B. og L. M. Tallaksen, 1995. Sammenligning av ulike lavvannsmål i 47 norske nedbørfelt. Hydronova, oppdragsrapport for Enfo, Oslo, Norge.
- Førland, E.J. 1993. Nedbørnormaler, normalperiode 1961-1990., DNMI-rapport nr. 39/93 Klima, Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo, Norge.
- Gustard, A. (ed.) 1993. *Flow Regimes from International Experimental Network Data (FRIEND)*, 3 bind. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Gustard, A. og Cole, G. (eds.) 2002. *FRIEND – A Global Perspective 1998-2002*. Centre for Ecology and Hydrology (CEH), Wallingford, UK.
- Haan, C.T. 1977. *Statistical Methods in Hydrology*. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, B., Peters, E. og Gustard, A. 2004. Hydrological drought characteristics. In: *Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. (eds. L.M. Tallaksen og H.A.J. Van Lanen) Developments in water science 48, Elsevier Science B. V., Nederland, 139-198.
- Krokli, B. 1988. Analyse av lavvannføringer, NVE Publikasjon nr. V14, Oslo, Norge.
- Laaha, G. 2003. Prozessbasierte Regionalisierung von Niederwasserabflüssen. Doktoravhandling ved det Tekniske Universitetet i Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, 116p., Wien, Østerrike.
- Nash, J.E. og Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I – a discussion of principles. *J. Hydrol.*, **10**, 282-290.
- NVE, 2002. Avrenningskart for Norge 1961 – 1990. NVE, Hydrologisk avdeling, Oslo, Norge.
- Otnes, J. og E. Ræstad, 1978. *Hydrologi i praksis*, (2. utgave) Ingeniørforlaget, Oslo, Norge.
- Skaugen, T., Astrup, M., Mengistu, Z., Krokli, B. 2002. Lavvannføring – estimering og konsesjonsgrunnlag. NVE-rapport Miljøbasert vannføring nr. 1-2002, Oslo, Norge.
- Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: A review. *J. Hydrol.*, **240**, 147-186.

- Tallaksen, L. 1987. Vurdering av ulike metoder for å kvantifisere magasineringsvevnen i et nedbørfelt. Hovedoppgave. Geografisk Institutt, Universitetet i Oslo, Oslo, Norge.
- Tollan, A. 1977. *Vann – en naturressurs*. Universitetsforlaget, Oslo, Norge.
- Wong, W.K. og Colleuille, H. 2005. Elv og grunnvann. Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering. NVE-rapport Miljøbasert vannføring nr. 5-2005, Oslo, Norge.
- Young, A.R, Gustard, A., Bullock, A., Sekulin, A.E. og Croker, K.M., 2000. A river network based hydrological model for predicting natural and influenced flow statistics at ungauged sites. LOIS Special Volume, *Sci. Total Environ.* **251/252**, 293-304.



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 sjørørret (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 fangst statistikk 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 ellevann 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.)