



Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag

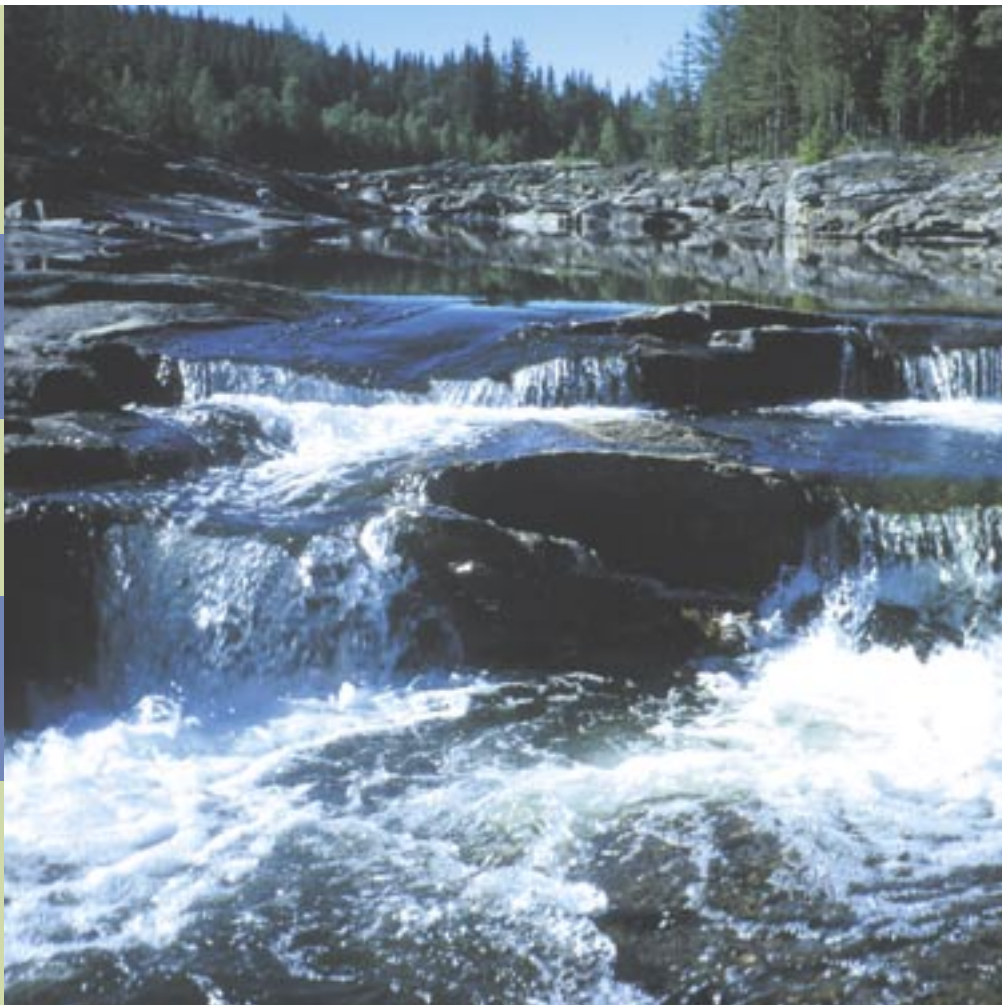
Thomas Skaugen, NVE

Marit Astrup, NVE

Zelalem Mengistu, NVE

Bjarne Krokli, NVE

1
2002



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.

Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag

Norges vassdrags- og energidirektorat

2002

Rapport nr. 1 - 2002 Miljøbasert vannføring

Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Thomas Skaugen, Marit Astrup, Zelalem Mengistu og
Bjarne Krokli

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 40

Forsidefoto: Mandalsvassdraget, Anne Haugum

ISSN: 1502-234X

ISBN: 82-410-0462-1

Sammenheng: Alminnelig lavvannføring er et lavvannsmål som er høyt korrelert med andre lavvannskaraktistika, men er dårlig forankret i det statistiske begrepsapparatet som ofte benyttes i hydrologi. Størrelsen benyttes utelukkende i Norge. Rapporten viser at alminnelig lavvannføring er en sentral størrelse i konsesjonsbehandling av norske vassdrag, og det diskuteres om alminnelig lavvannføring er et hensiktsmessig mål som grunnlag for konsesjonsbehandling.

I hydrologisk saksbehandling er det behov for å kunne gi et anslag for alminnelig lavvannføring i umålte felt. I dette prosjektet er det derfor utviklet metoder og et programsystem, slik at saksbehandlere raskt og objektivt kan beregne alminnelig lavvannføring og andre sentrale lavvannskaraktistika for felt uten observasjoner.

Emneord: Alminnelig lavvannføring, umålte felt, minstevannføring, miljøbasert vannføring.

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

September 2002

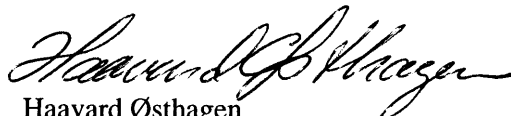
Innhold

Forord	7
Sammendrag	9
1. Innledning	11
2. Alminnelig lavvannføring og konsesjonsbehandling	11
2.1 Alminnelig lavvannføring	11
2.2 Alminnelig lavvannføring i umålte felt.....	13
2.3 Alminnelig lavvannføring og lovgrunnlag	13
2.4 Alminnelig lavvannføring og kraftgrunnlag	16
2.5 Minstevannføring	16
2.6 Konklusjon.....	18
3. Relasjoner mellom alminnelig lavvannføring og andre lavvannskaraktetika	18
3.1 Alminnelig lavvannføring og gjentakstid.....	18
3.2 Alminnelig lavvannføring og varighetskurven	19
3.3 Alminnelig lavvannføring og andre lavvannskaraktetika	20
3.4 Analyse av empiriske sammenhenger mellom MAM(7) og alminnelig lavvannføring	20
3.4.1 Data.....	21
3.4.2 Regresjonsmodell for alminnelig lavvannføring.....	21
3.5 Konklusjon	23
4. Alminnelig lavvannføring og LAVANTI	23
5. Referanser	24
Appendix A	25

Forord

Fordi dagens vassdragsforvaltning må integrere flere brukerinteresser enn tidligere, avdekkes det hydrologiske problemstillinger der metodikk for objektiv og rask saksbehandling ikke finnes og der generell kunnskap er mangelfull. I forskningsprogrammet Miljøbasert vannføring ble det i 2001 bevilget midler for å sette fokus på lavvannskarakteristika. I dette prosjektet er det utviklet regresjonssammenhenger, der hydrologiske saksbehandlere kan estimere alminnelig lavvannføring for nedbørfelt uten målinger. Dette er en viktig parameter i konsesjonsbehandling, som i den senere tid er aktualisert for mindre vassdrag med etablering av bl.a. mikro- og minikraftverk og settefiskanlegg. Den alminnelige lavvannføringen inngår i grunnlaget for fastsettelse av konsesjonskraft og -avgifter. Den er videre en del av grunnlaget for vurdering av minstevannføring og kan være bestemmende for om konsesjonsplikt foreligger i henhold til vannressursloven. I denne rapporten diskuteres det om alminnelig lavvannføring er et hensiktsmessig mål i konsesjonsbehandlingen ut fra et hydrologisk synspunkt.

Oslo, september 2002


Haavard Østhagen
leder styringsgruppe


John Brittain
programleder

Sammendrag

Alminnelig lavvannføring er en sentral størrelse i konsesjonsbehandlingen av norske vassdrag. Av den grunn er det fra et hydrologisk synspunkt behov for å gjøre seg kjent med lovverkets bruk av alminnelig lavvannføring, samt tilrettelegge programvare som estimerer alminnelig lavvannføring til bruk i saksbehandlingen.

Det refereres til alminnelig lavvannføring i tre ulike lover. Konsesjonsplikt etter vassdragsreguleringsloven og industrikonsesjonsloven bestemmes av reguleringsens effekt målt i antall naturhestekrefter, der blant annet vassdragets alminnelig lavvannføring inngår som en del av beregningen. Dette såkalte kraftgrunnlaget ligger også til grunn for fastsettelsen av størrelsen på konsesjonskraften og konsesjonsavgiftene som årlig overføres fra regulantene til stat og berørte kommuner. I tillegg pålegger vannressursloven et generelt minstevannføringskrav tilsvarende alminnelig lavvannføring for alle konsesjonsfrie uttak.

For å beregne alminnelig lavvannføring trengs uregulerte data for en 20-30 årsperiode. Alminnelig lavvannføring er høyt korrelert med andre lavvannskarakteristika, men er uten tilknytning til det statistiske begrepsapparatet som benyttes innen hydrologi. Alminnelig lavvannføring bestemmes av vassdragets midlere avrenning og feltegenskaper, og dette må derfor tas i betraktning ved estimering i felt uten målinger. Som et generelt minstevannføringskrav kan alminnelig lavvannføring oppfattes som et noe tilfeldig valgt lavvannskarakteristikum, da størrelsen verken tar hensyn til et eventuelt behov for minstevannføring eller vassdragets naturlige lavvannsregime.

Fram til i dag er alminnelig lavvannføring beregnet ved å benytte en antatt representativ sammenligningsstasjon. For å lette den hydrologiske saksbehandlingen har det lenge vært behov for mer objektive metoder og tilhørende programvare. Programmet LAVANTI (Krokli, 1988) er i denne sammenheng utvidet ved hjelp av lineær regresjon til å kunne estimere alminnelig lavvannføring for felt uten målinger. Programmet finnes nå på NVEs START-system under navnet LAVVANN i programgruppen Statistikk. Programmet estimerer alminnelig lavvannføring som funksjon av vassdragets geografiske plassering og klimapåvirkning, areal og akselengde, maksimal høydeforskjell, effektiv innsjøprosent, snaufjellprosent og midlere spesifikke avrenning. Programmet er imidlertid under utvikling, og er ikke et fullgodt selvstendig produkt enda. Det er derfor viktig at resultatene fra LAVVANN vurderes i lys av observasjoner i felt med tilsvarende egenskaper.

I rapporten blir også begrepet alminnelig lavvannføring relatert til andre lavvannskarakteristika, som for eksempel gjentakstid og persentiler fra varighetskurven.

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 dimensjonere installasjoner. Imidlertid har et nytt lovverk, større krav til fastsettelsen av minstevannføringspålegg og økende etterspørsel etter lavvannsdata, rettet fokus mot forbedret metodikk for beregning av lavvannskaraktistika.

Alminnelig lavvannføring er en mye brukt størrelse i norsk vannressursforvaltning. Sammenlignet med andre lavvannskaraktistika som kvantifiserer det hydrologiske avrenningsmønsteret (som f.eks. persentiler fra varighetskurven), har alminnelig lavvannføring en heller svak forankring i statistisk terminologi. Dessuten benyttes dette lavvannskaraktistikum utelukkende i Norge. I denne rapporten vil vi beskrive hvordan begrepet alminnelig lavvannføring benyttes i lovgrunnlag og dermed konsesjonsbehandling, samt relatere begrepet til den normale terminologien innen hydrologi. Det vil være relevant å diskutere i hvilken grad alminnelig lavvannføring er et hensiktsmessig mål som underlag for konsesjonsbehandlinger.

I hydrologisk saksbehandling er det behov for å kunne gi et anslag for alminnelig lavvannføring for umålte felt. Det kan være i forbindelse med etablering av mikro- og minikraftverk, eller for uttak av vann til irrigasjon, oppdrettsanlegg etc. I dette prosjektet har vi også utviklet metoder og et programsystem slik at saksbehandlere raskt og objektivt kan beregne alminnelig lavvannføring og andre sentrale lavvannskaraktistika for umålte felt.

2. Alminnelig lavvannføring og konsesjonsbehandling

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 fjernet, og alminnelig lavvannføring er den laveste gjenværende verdien.

Alminnelig lavvannføring er en størrelse med opphav i vassdragsreguleringslovens §2, der det heter at: *”Økingen av vannkraften etter første og annet ledd beregnes på grunnlag av den øking av vassdragets lavvannføring som reguleringen antas å medføre ut over den vannføring som har vært påregnelig år om annet i 350 dager i året”*. Den vannføringen som kan påregnes år om annet i 350 dager av året er blitt kalt alminnelig lavvannføring (Otnes og Ræstad, 1978), og var ment å skulle beskrive en vannføring som med stor sikkerhet inntraff i lavvannsperioden i det uregulerte vassdraget. Som betegnelsen sier er dette en lavvannføring, men den er allikevel ikke uvanlig eller ualminnelig.

Beregning av alminnelig lavvannføring for vassdrag med observasjoner bærer preg av at dette lavvannskaraktistikum ble definert i en tid da beregningene ble gjort manuelt, uten datamaskiner og kalkulatorer. Alminnelig lavvannføring benyttes som en statistisk parameter, men har ikke noe fundament i statistisk teori. Det er høye korrelasjoner med andre lavvannskaraktistika, men begrepsapparatet som benyttes i internasjonal hydrologi mangler. Alminnelig lavvannføring er dessuten en størrelse som kun brukes i Norge. Sammenligning av alminnelig lavvannføring og gjennomsnittlig minstevannføring (gjennomsnittet av hvert enkelte års laveste vannføring), viser imidlertid at disse størrelsene ligger svært nær hverandre (Otnes og Ræstad, 1978). Noe upresist kan en derfor si at alminnelig lavvannføring ligger nær den laveste vannføringen i et "vanlig år". Alminnelig lavvannføring ligger ofte i størrelsesorden fra 6 til 12 % av middelvannføringen, men variasjoner fra 2,5 til 50 % forekommer (Otnes og Ræstad, 1978). Flere relasjoner mellom alminnelig lavvannføring og andre lavvannskaraktistika er diskutert i kapittel 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 feltene. 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 dette feltkaraktistikum kun i begrenset grad er registrert 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 snau fjell og helning i feltet.

Alminnelig lavvannføring plukkes ut uavhengig av sesong, og gir derfor i noen vassdrag galt inntrykk av det hydrologiske lavvannsregimet. Et vassdrags naturlige lavvannføringer varierer gjennom året, og en vinterlavvannføring i innlandet er for eksempel ofte en lite sannsynlig lavvannføring resten av året. 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 også gjøre seg gjeldende avhengig av feltets høydeforhold.

2.2 Alminnelig lavvannføring i umålte felt

I felt uten tilstrekkelig med observasjoner, er det som regel behov for subjektive vurderinger når alminnelig lavvannføring skal estimeres. Spesielt i store og regulerte vassdrag kan det være vanskelig å finne stasjoner med 20-30 år med uregulerte data. Observasjoner fra før reguleringene ble satt i drift kan være tilgjengelig, men seriene er ofte korte, kombinert med at måleutstyr, målehyppighet og kvalitetskontroll har blitt bedre med årene. I tillegg kan det være data fra en periode som ikke nødvendigvis representerer dagens klima.

Derfor benyttes ofte en representativ stasjon for å beregne alminnelig lavvannføring i umålte felt. Lavvannskaraktistika som alminnelig lavvannføring er svært følsom for vassdragets feltegenskaper, og kjennskap til vassdraget er derfor av stor betydning for et godt estimat. 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 derfor viktig at flere referansestasjoner vurderes for å finne det beste estimatet.

Sammenhengen mellom alminnelig lavvannføring og ulike feltegenskaper betyr at det er vanskelig å lage relasjoner til parametre som for eksempel middelavrenning alene. På den annen side er sammenhengen mellom feltegenskapene og lavvannskaraktistika et godt utgangspunkt for etablering av ulike regresjonssammenhenger. Dette er tidligere gjort av Krokli (1988), og er nå utvidet slik at også alminnelig lavvannføring kan beregnes med utgangspunkt i feltkaraktistika (se kapittel 3). Dette er et godt alternativ når representative stasjoner er vanskelig å finne.

Estimering av alminnelig lavvannføring kan som sagt variere som følge av metode og valg av observasjonsserie og observasjonsperiode. Det er uheldig om beregningen blir gjenstand for diskusjon i konsesjonsspørsmål, enten det være seg konsesjonsplikt, minstevannføring eller fastsettelse av kraftgrunnlaget (se kapittel 2.3). På den annen side ville man i stor grad hatt dette problemet også dersom andre typer lavvannskaraktistika hadde vært benyttet. Hvis man først ønsker en størrelse som gir en reell beskrivelse av vassdragets lavvannføring, må man med andre ord akseptere at innsjøprosent, grunnforhold, areal og klima er bestemmende for vannføringen. Dette fører til en vanskelig beregningsmetodikk som gjør saksbehandlingen komplisert og tidkrevende. Det er derfor ønskelig med enklere metoder.

2.3 Alminnelig lavvannføring og lovgrunnlag

Vassdragsinngrep er regulert av en rekke lover. Den generelle loven er vannressursloven, som fra 01.01.2001 erstattet den tidligere vassdragsloven. Eksempler på inngrep som berøres av vannressursloven er mini- og mikrokraftverk, settefiskanlegg og jordvanning. Større vannkraftutbygginger er i tillegg regulert av vassdragsreguleringsloven og industrikonsesjonsloven. De nevnte lovene refererer til

vassdragets alminnelige lavvannføring, som en del av vurdering av konsesjonsplikt, fastsettelse av minstevannføring samt kraftgrunnlaget for avgifter og konsesjonskraft.

I **vassdragsreguleringsloven** heter det at:

§ 2. Vassdragsreguleringer for produksjon av elektrisk energi som øker vannkraften:

- a) med minst 500 naturhestekrefter i et enkelt eller flere vannfall som kan utnyttes under ett, eller*
- b) med minst 3.000 naturhestekrefter i hele vassdraget, eller*
- c) som alene eller sammen med tidligere reguleringer påvirker naturforholdene eller andre allmenne interesser vesentlig, kan bare utføres av staten eller den som får tillatelse av Kongen (konsesjon).*

Konsesjonsplikt etter vassdragsreguleringsloven er med andre ord avhengig av reguleringens forventede effekt (kraftgrunnlag), og antall naturhestekrefter beregnes etter følgende formel:

$$\text{Nat. hk} = H * Q_{\text{reg}} * 13,33$$

der H er fallhøyden og Q_{reg} er økningen i den regulerte vannføringen. Med regulert vannføring menes den jevne vannføringen en kan holde i lavvannsperioden. Økningen i regulert vannføring beregnes deretter ved å trekke alminnelig lavvannføring fra den regulerte vannføring. Alminnelig lavvannføring representerer i denne sammenheng vassdragets lavvannføringen før reguleringen tok til. For tilleggsreguleringer beregnes økningen som differansen mellom den regulerte vannføringen før og etter tilleggsreguleringen.

Også **industrikonsesjonsloven** (ervervsloven) krever konsesjon avhengig av kraftverkets forventede effekt:

§1. Uten tillatelse av Kongen (konsesjon) kan ingen andre enn staten med full rettsvirkning erverve eiendomsrett eller bruksrett til vannfall (fall eller stryk) som ved regulering antas å kunne utbringes til mer enn 1.000 naturhestekrefter, enten alene eller i forbindelse med andre vannfall som erververen eier eller bruker når fallene hensiktsmessig kan utnyttes under ett. Konsesjonsplikten gjelder også avtaler om erverv av langsiktig disposisjonsrett til vannkraftressurser.

Antall naturhestekrefter beregnes etter samme formel som over, men den regulerte vannføringen ved kraftverket benyttes i stedet for økningen i regulert vannføring. Det gjøres med andre ord ikke fradrag for vassdragets alminnelig lavvannføring.

For kraftverk i vassdrag uten reguleringsmagasin settes derimot den regulerte vannføringen lik alminnelig lavvannføring. Det er som tidligere nevnt vannføring i lavvannsperioden som er avgjørende, og når vassdraget ikke er regulert tilsvarer dette alminnelig lavvannføring. I slike tilfeller kan et godt estimat av alminnelig lavvannføring være av avgjørende betydning for om et kraftverk anses som konsesjonspliktig eller ikke.

Til slutt gjelder **vannressursloven** alle typer vassdragsinngrep. Det heter at:

§ 8 Konsesjonspliktige tiltak

Ingen må iverksette tiltak som kan være til nevneverdig skade eller ulempe for noen allmenne interesser i vassdraget eller sjøen, uten at det skjer i medhold av reglene i §12 eller §15 eller med konsesjon fra vassdragsmyndigheten.

§10 Vannuttak og minstevannføring

Ved uttak og bortledning av vann som endrer vannføringen i elver og bekker med årssikker vannføring, skal minst den alminnelig lavvannføringen være tilbake, hvis ikke annet følger av denne paragraf. Det samme gjelder når vann holdes tilbake ved oppdemming.

I konsesjon til uttak, bortledning eller oppdemming skal fastsetting av vilkår om minstevannføring i elver og bekker avgjøres etter en konkret vurdering. Ved avgjørelsen skal det blant annet legges vekt på å sikre a) vannspeil, b) vassdragets betydning for plante- og dyreliv, c) vannkvalitet, d) grunnvannsføremønstre.

Vannressursloven innfører et generelt krav til restvannføringen etter inngrep i vassdrag. Hovedregelen er at ved vannuttak eller bortledning av vann, skal minst den alminnelige lavvannføring være tilbake. Dersom vannuttaket er så stort at restvannføringen blir mindre enn den alminnelige lavvannføringen, er uttaket med andre ord konsesjonspliktig. Tiltak som er avhengig av løpende vannuttak, vil derfor i praksis alltid være konsesjonspliktige. Dette gjelder selv om selve det fysiske tiltaket kan synes lite. Å "tørrelegge" et vassdrag er til nevneverdig skade/ulempe for allmenne interesser.

Helårsuttak (som f.eks. vannverk og settefiskanlegg) er konsesjonspliktige fordi man ikke kan stoppe uttaket i perioder med lav vannføring. For mini- og mikrokraftverk er forholdene annerledes. Her vil driftstans i lavvannsperioden kunne opprettholde kravet om minstevannføring. Ved å stoppe kraftverket i perioder med lavvannføring, kan lovens krav om at alminnelig lavvannføring skal være tilbake i vassdraget imøtekommes.

Dersom det derimot er innvilget konsesjon (uavhengig av lovhjemmel), kan myndighetene fastsette størrelsen på minstevannføringen etter en konkret vurdering. Samfunnets krav til vannføring varierer gjennom året, og fra vassdrag til vassdrag. Det er ofte mange brukerinteresser som skal imøtekommes, og størrelsen på minstevannføringen er avhengig av hvilke ulemper uttaket medfører. Vannressurslovens §2 presiserer hvilke hensyn som skal tas når minstevannføringen skal fastsettes.

En fordel med å benytte alminnelig lavvannføring som lavvannskaraktistikum, er de lange tradisjonene som er bygd opp gjennom tidene. Alminnelig lavvannføring er et vel etablert og akseptert begrep, på tross problemene knyttet til estimering i umålte

felt. Når vannressursloven velger alminnelig lavvannføring som minstevannføringskrav for konsesjonsfrie uttak og konsesjonspliktgrense, er i det minste lovverket konsistent. På den annen side er det ulike forutsetninger og mål for lavvannføring i de ulike lovene, slik at det fra et hydrologisk synspunkt ville vært vel så riktig å tilpasse lavvannskriteriet til de ulike lovene.

2.4 Alminnelig lavvannføring og kraftgrunnlag

Med kraftgrunnlag menes en teoretisk hydrologisk beregning av en regulerings effekt målt i naturhestekrefter. Kraftgrunnlaget ligger til grunn for beregning av konsesjonsavgifter og konsesjonskraft. Denne ordningen inngår som regel som et vilkår i konsesjonen, og har til hensikt at de som utnytter vassdraget for produksjon av kraft skal betale en kompensasjon til berørte kommuner for generelle skader og ulemper. Dessuten skal stat og kommune ha en del av verdiskapningen i vassdraget. Den årlige verdien i 2001 utgjorde nærmere 1 milliard kroner (pers. komm. Astrid Brynildsen, NVE).

Kraftgrunnlaget beregnes etter de samme prinsippene som konsesjonsplikten beskrevet over. Størrelsen på alminnelig lavvannføring kan imidlertid utgjøre betydelige summer, og er derfor av stor interesse for både kraftverket som skal betale og kommunene som mottar midlene. De økonomiske konsekvensene fører ofte til klager i saksbehandlingen dersom det kan settes spørsmålsteget ved innholdet i selve beregningen. Tatt i betraktning at alminnelig lavvannføring kan variere som følge av valg av både stasjon og periode, kan alminnelig lavvannføring være gjenstand for diskusjon når kraftgrunnlaget skal fastsettes.

Et vedtak om kraftgrunnlag ligger dessuten fast. Det betyr at dersom saksbehandlingsfeil blir oppdaget i ettertid, har man små muligheter til å endre vedtaket.

2.5 Minstevannføring

Vannressursloven av 24. november 2000, som trådte i kraft 1. januar 2001, benytter alminnelig lavvannføring som minstevannføringskrav for konsesjonsfrie vannuttak. Konsesjonsplikt inntreffer altså dersom alminnelig lavvannføring ikke kan opprettholdes. Vannressurslovens generelle minstevannføringskrav viser at lovgiver har hatt et ønske om at det alltid bør renne noe vann i vassdraget. På den annen side kan det stilles spørsmål ved hvilke vurderinger og hensyn som er tatt når man velger alminnelig lavvannføring som størrelse for et generelt minstevannføringspålegg. For konsesjonspliktige tiltak fastsettes minstevannføringen etter en konkret vurdering slik at interesser i vassdraget, som ellers ville blitt skadelidende, ivaretas. Dersom alminnelig lavvannføring hadde vært en størrelse som sikrer visse interesser, ville minstevannføringspålegget automatisk ivaretatt bestemte behov. En slik sammenheng

er imidlertid ikke kjent. Alminnelig lavvannføring representerer heller ikke sesongenes naturlige lavvannføring.

Hvis man ønsker et lavvannskaraktistikum som skal gjenspeile vassdragets naturlige lavvannføringsregime, er alminnelig lavvannføring med andre ord et dårlig estimat. En persentil fra en sesonginndelt varighetskurve kan være et alternativ. Fremdeles kan det være problematisk å finne gode og representative stasjoner som tilfredsstillende lavvannsegenskapene, men varighetskurven gir i alle fall muligheten til å skille mellom vassdragets naturlige sesonger. Jo tydeligere sesonginndelinger det er i et vassdrag, desto viktigere er det å være klar over hvor misvisende alminnelig lavvannføring kan være hvis man ønsker en naturlig lavvannføring i vassdraget.

Alminnelig lavvannføring som et generelt minstevannføringskrav, kan føre med seg noen uønskede effekter. Generelt gjelder at man mister muligheten til å tilpasse restvannføringen til det aktuelle vassdraget. Så lenge inngrepet i utgangspunktet ikke er til nevneverdig skade eller ulempe, vil imidlertid ikke dette være av stor betydning. I et vassdrag med relativt høy alminnelig lavvannføring kan man på den annen side oppleve at minstevannføringspålegget svekker lønnsomheten eller legger store restriksjoner på virksomheten. Dette kan føre til at prosjektet ikke realiseres fordi tiltakshaver er nødt til å søke konsesjon dersom ressursen skal utnyttes. Konsesjonsbehandling oppfattes av mange som en omfattende prosess, med den følgen at prosjektet kan bli mindre attraktivt.

Pålagt minstevannføring som en del av konsesjonsbehandlingen fastsettes etter en konkret vurdering. Det finnes eksempler på at alminnelig lavvannføring er benyttet som minstevannføringspålegg også i konsesjonssaker, men i dag tilpasses pålegget etter en optimalisering av ulike brukergruppers behov for restvannføring i vassdraget. Vannressursloven gir tydelig uttrykk for hvilke hensyn som skal ligge til grunn når et minstevannføringspålegg skal fastsettes. Dette gir myndighetene gode muligheter til å pålegge minstevannføring som tilgodeser flere interesser i vassdraget.

Samfunnets behov for restvannføring varierer gjennom året og fra vassdrag til vassdrag. Å tilpasse restvannføringen til vassdraget krever kunnskap om behovet for vann, så vel som de hydrologiske forholdene. NVE har kompetanse, data og programvare som er nyttige i konsesjonsbehandlingen. Det er viktig at denne kunnskapen benyttes gjennom prosessen, slik at det endelige resultatet blir best mulig. Å beskrive vannføringer gjennom året som optimaliserer de ulike brukerinteressenes behov forutsetter imidlertid innspill fra de ulike fagmiljøene, slik at behov og kritiske grenser kartlegges.

2.6 Konklusjon

Alminnelig lavvannføring benyttes for å vurdere konsesjonsplikt etter vassdragsreguleringsloven og industrikonsesjonsloven, og som et generelt minstevannføringspålegg for konsesjonsfrie uttak etter vannressursloven.

Alminnelig lavvannføring er en størrelse som kun brukes i Norge, og er uten tilknytning til det statistiske begrepsapparatet som er vanlig innen hydrologi. For å beregne alminnelig lavvannføring kreves uregulerte data for en 20-30 års-periode. I umålte felt benyttes en representativ sammenligningsstasjon, og estimatet varierer følgelig av hvilken stasjon og periode som legges til grunn.

Som minstevannføringspålegg kan alminnelig lavvannføring virke som et noe tilfeldig valgt lavvannskaraktistikum, da det ikke refererer til verken noen gitte behov, eller til vassdragets naturlige lavvannsregime. En sesonginndelt varighetskurve kan være et alternativ.

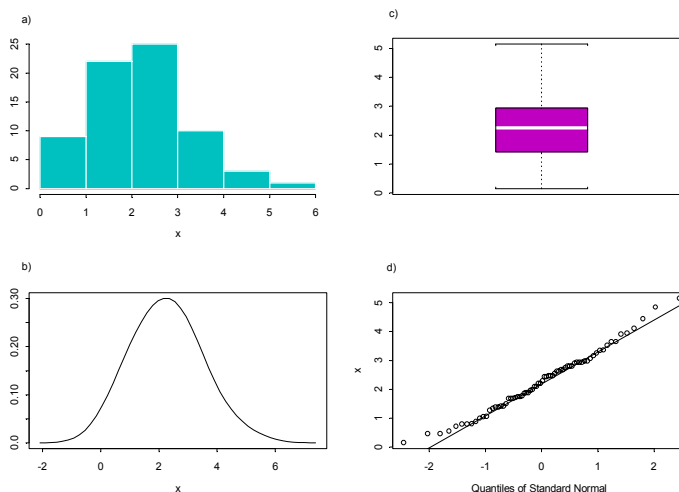
3. Relasjoner mellom alminnelig lavvannføring og andre lavvannskaraktistika

I dette kapitlet beskrives alminnelig lavvannføring i relasjon til konvensjonelle lavvannskaraktistika. Ved hjelp av enkle regresjonssammenhenger er det eksisterende programmet LAVANTI (Krokli, 1988) utvidet til å kunne estimere alminnelig lavvannføring for felt uten vannføringsmålinger.

3.1 Alminnelig lavvannføring og gjentakstid

Definisjonen alminnelig lavvannføring og hvordan denne blir beregnet er tidligere beskrevet i kapittel 2.1, men gjentas her som bakgrunn for å diskutere analytiske løsninger på problemet med å estimere alminnelig lavvannføring. Vi sorterer enkeltårs vannføringsverdier og tar ut vannføring nummer 350. Disse vannføringene danner en ny serie som igjen sorteres. Av denne serien blir den laveste tredjedelen fjernet, og alminnelig lavvannføring er den laveste gjenværende verdien. Figur 1 viser frekvensfordelingen til verdi nummer 350 for vannmerke 2.28 Aulestad. Ved å studere flere felt finner vi at verdiene er tilnærmet normalfordelt (se figur 1b og 1d), med parametere som varierer for hvert nedbørfelt. Variasjonen for verdi nummer 350

er, både for et enkelt felt og mellom felter, et uttrykk for hvor følsom vannføringen er for klimatiske variasjoner og fysiografiske egenskaper ved de enkelte feltene, som f.eks. feltareal og effektiv sjøprosent. Selv om normalfordelingen tilsynelatende er et godt utgangspunkt for utledning av analytiske uttrykk for gjentakstid (dvs. at man enkelt kan beregne sannsynligheter for at denne verdien skal overskrides i et tilfeldig år), gjør den noe uortodokse utplukkingsmetoden det meget komplisert. I prinsippet skal man estimere kvantiler (nederste tredjedel) av kvantiler (dataserie av verdi nummer 350 hvert år). Videre arbeid med analytiske løsninger ble derfor ansett som for tidkrevende og lite hensiktsmessig.



Figur 1. Beskrivende statistikk for årlig verdi nr. 350 for vmrk. 2. 28 Aulestad. Figuren viser a) Histogram, b) frekvensfordeling, c) boks plot og d) kvantil-kvantil plott. Spesielt b) og d) antyder at fordelingen er tilnærmet normal.

3.2 Alminnelig lavvannføring og varighetskurven

Ut fra definisjonen av alminnelig lavvannføring, består den dataserie som alminnelig lavvannføring skal trekkes fra av vannføringer som hvert år har en fast sannsynlighet for å overskrides ($350/365.25 = 0.958$) eller varighet. Det hadde vært ønskelig om alminnelig lavvannføring kunne utledes som en analytisk funksjon av varighetskurven. Imidlertid blir dette vanskeliggjort av at den variant av varighetskurven som er mest brukt, og beregnes i NVEs START-system, er uegnet for dette formålet. I følge Otnes og Ræstad (1978) har begrepet varighetskurven flere uttrykk som reflekterer forskjellige egenskaper ved vannføringsserien. De forskjellige variantene er: a) en middel varighetskurve beregnet som den *midlere varighet for gitte vannføringer*, b) en middel varighetskurve beregnet som den *midlere vannføring for gitte varigheter*, c) varighetskurven for et normal år, og d) mediankurven. For å utlede sammenhenger mellom alminnelig lavvannføring og varighetskurven er type b) den ønskelige type varighetskurve gitt at varighetene er beregnet på årlig basis. Da vil vi

direkte kunne ta ut middelverdien av serien for $Q_{0.958}$. Type a) er imidlertid den som produseres fra NVEs START-system og man kan *ikke* anvende denne for å estimere middelet av serien $Q_{0.958}$. Dette er fordi: i) den betrakter ikke årlige varigheter (et spesielt tørt år vil dominere høyre del av kurven) og ii) den plukker ikke verdier som har en gitt varighet, men ser på middelvarigheten for en gitt vannføring.

3.3 Alminnelig lavvannføring og andre lavvannskaraktetika

Erichsen og Tallaksen (1995) foretok en sammenligning av ulike lavvannsmål, og kom frem til at alminnelig lavvannføring generelt sett lå mellom 95 persentilen fra varighetskurven og midlere årlig døgminimumsvannføring (MAM(1)). Samtidig var alminnelig lavvannføring meget høyt korrelert med disse og andre lavvannskaraktetika. Den høye korrelasjonen mellom MAM(1) og alminnelig lavvannføring er også påpekt av Otnes og Ræstad (1978) (s. 213). På bakgrunn av de høye observerte korrelasjonene er det rimelig å anta at hvis vi kan estimere andre lavvannsmål på bakgrunn av feltkaraktetika, vil vi også kunne estimere alminnelig lavvannføring.

Krokli (1988) foretok studier av hvordan klima og feltparametere kunne beskrive lavvannføringer. Formålet var å kunne estimere lavvannskaraktetika i nedbørfelt uten vannføringsmålinger. Aktuelle lavvannskaraktetika var midlere årlig minimum (mean annual minimum, MAM) for forskjellige varigheter D (MAM(D)) og døgminimums vannføring med gjentakstid på 10 år, AM10(D), for forskjellige varigheter. Det er dermed hensiktsmessig å undersøke om det er regresjons-sammenhenger mellom alminnelig lavvannføring og MAM(D).

3.4 Analyse av empiriske sammenhenger mellom MAM(7) og alminnelig lavvannføring

Krokli (1988) baserte sin analyse på at i tillegg til feltkaraktetika, var det naturlig å klassifisere i henhold til region og sesong. Dette er et velkjent nivå for klassifisering av hydrologiske regimer og metodikken er hentet fra Lundquist (1977). Regionene er definert avhengig av når på året henholdsvis flom og lavvann inntreffer, og reflekterer de klimatiske mekanismene som bestemmer avrenningsmønsteret. Det er hensiktsmessig å klassifisere etter 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. For å bestemme sammenhengen mellom alminnelig lavvannføring og lavvannskaraktetika beskrevet i Krokli (1988), ble det besluttet å se på sammenhengen mellom observert

$\min\{MAM(7)_{vinter}, MAM(7)_{sommer}\}$ og observert alminnelig lavvannføring for samme datamaterialet som ble anvendt av Krokli (1988). $\min\{MAM(7)_{vinter}, MAM(7)_{sommer}\}$ ble brukt siden alminnelig lavvannføring ikke er sesongspesifikk, men representerer en verdi blant de laveste vannføringene uansett årstid.

3.4.1 Data

Datamateriale er hentet fra 152 vannføringstasjoner fordelt på alle landsdeler i Norge. Seriene er av varierende lengde (13-93 år) men hovedtyngden av seriene har en datalengde mellom 30 til 70 år. Dette er, i følge Erichsen og Tallaksen (1995), tilstrekkelig for å få stabile verdier av lavvannsmål. $MAM(7)$ er beregnet av Krokli (1988), mens alminnelig lavvannføring ble beregnet ved hjelp av NVEs START-system for de samme stasjonene, men med datalengde forlenget til dags dato. Datamaterialet ble delt inn i et kalibreringssett (2/3 av stasjonene) og et valideringssett (1/3 av stasjonene).

3.4.2 Regresjonsmodell for alminnelig lavvannføring

Vi ser fra figur 2 at samvariasjonen mellom $\min\{MAM(7)_{vinter}, MAM(7)_{sommer}\}$ og alminnelig lavvannføring for kalibreringssettet er meget bra (korrelasjonskoeffisient, $r^2=0.9821$). Regresjonslikningen fra kalibreringssettet,

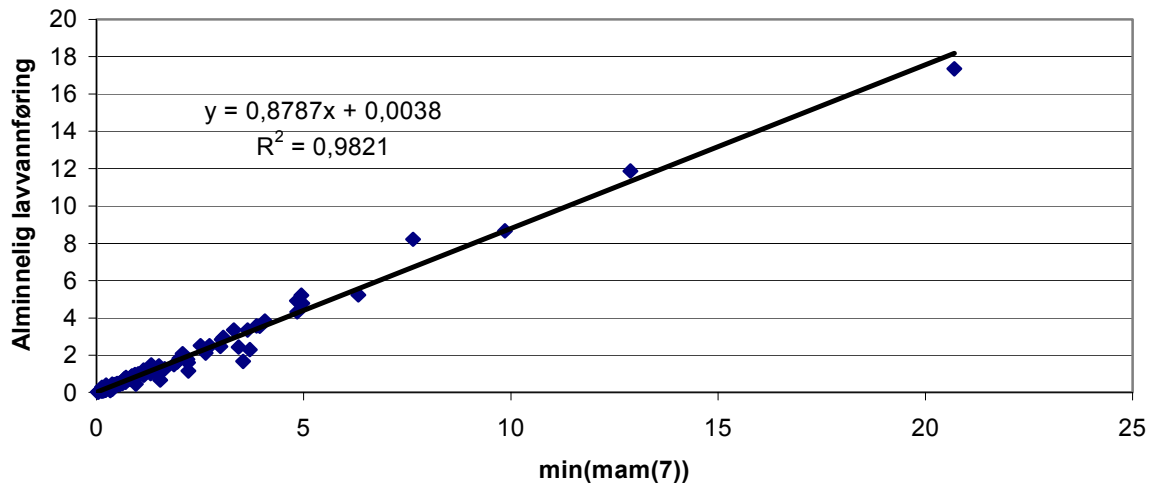
$$AL = 0.879 \min\{MAM(7)_{vinter}, MAM(7)_{sommer}\} + 0.0038$$

ble så brukt for å estimere alminnelig lavvannføring verdier for valideringssettet. Figur 3 viser resultatet av regresjonsmodellen på valideringssettet. Et kriterium for hvor godt modellen presterer, er Nash effektivitetskriterium, $R2$ (Sælthun, 1995), som ofte er anvendt for å antyde hvor godt en nedbør-avløpsmodell er tilpasset observerte data.

$$R2 = 1 - \frac{\frac{1}{n} F2}{Var(Z_{obs})},$$

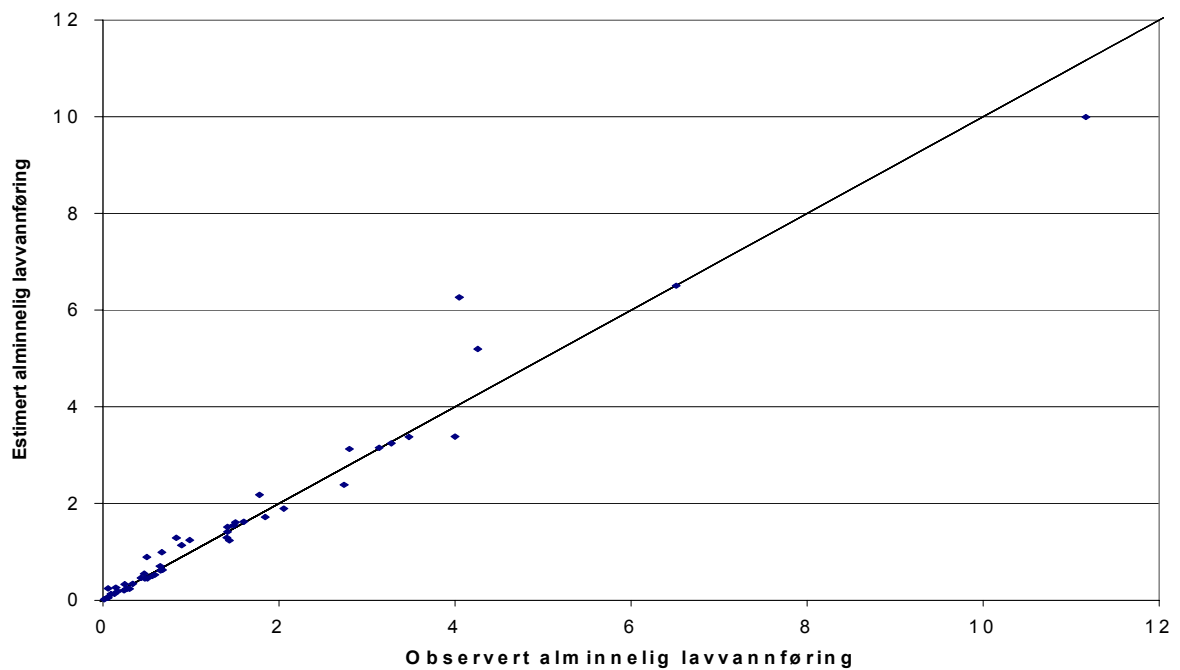
hvor Z er variabelen som skal undersøkes, n er antall observerte verdier, og $F2 = \sum (Z_{mod} - Z_{obs})^2$. I følge Sælthun (1995) er en $R2$ verdi på 0.8 et godt resultat for en nedbør-avløpsmodell. Her er $R2 = 0.94$, som tilsier en meget god modell.

min(mam(7)) vs alminnelig lavvannføring



Figur 2 Regresjonsanalyse av kalibreringsdatasettet. Enhetene er l/s/km².

Observert vs estimert alminnelig lavvannføring



Figur 3 Validering av regresjon. Den diagonale linjen representerer perfekt tilpasning. Enhetene er l/s/km².

3.5 Konklusjon

Vi har utnyttet de høye observerte korrelasjonene mellom ulike lavvannsmål til å bestemme en regresjonsmodell mellom midlere årlige minimum for sommer og vinter ($MAM(7)_{vinter}$, $MAM(7)_{sommer}$) og alminnelig lavvannføring. Regresjonsmodellen ga meget gode resultater for valideringssettet av avløpstasjoner. Det er imidlertid viktig å merke seg at usikkerhetene i estimeringen av alminnelig lavvannføring er knyttet til estimeringen av $MAM(7)_{vinter}$, $MAM(7)_{sommer}$ fra feltkarakteristika. Er estimatet av $MAM(7)_{vinter}$, $MAM(7)_{sommer}$ usikre vil også estimeringene av alminnelig lavvannføring være usikker.

4. Alminnelig lavvannføring og LAVANTI

Resultatene av prosjektet beskrevet i Krokli (1988) resulterte i et pc-program, LAVANTI, som på bakgrunn av brukergitt klimainformasjon og feltkarakteristika estimerer parameterene $MAM(D)$ og $AM(D)$. På bakgrunn av analysen i kapittel 3 er LAVANTI utvidet til å også gi et estimat av alminnelig lavvannføring for nedbørfelt uten vannføringsmålinger. Programmet er å finne på NVEs START-system under programgruppen *Statistikk* og heter LAVVANN. Feltparametrene som brukeren skal oppgi, kan fås fra kartanalyser eller ved henvendelse til Seksjon for geoinformasjon, NVE.

NB! Det henstilles til brukere av programmet om å ikke ta resultater av LAVVANN som en objektiv sannhet. Resultatene må sammenholdes med det som virker ”rimelig” i forhold til region, feltstørrelse og feltkarakteristika, som f.eks. geomorfologiske forhold og innsjøareal. Spesielt i kystnære strøk bør en sammenligne med verdier fra naboregion. Programmet er primært utviklet for at man skal anvende informasjonen som ligger i klima og feltkarakteristika for å estimere alminnelig lavvannføring for umålte felt.

I appendix A finnes brukerspesifikasjon for programmet.

5. Referanser

Erichsen, B. og L. M. Tallaksen, 1995. Sammenligning av ulike lavvannsmål i 47 norske nedbørfelt. Hydronova, oppdragsrapport for EnFO.

Krokli, B., 1988. Analyse av lavvannføringer. Publikasjon nr. V 14 NVE.

Lundquist D., 1977. Inndeling av Norge i hydrologiske regimer. Notat til FAG5-møte, Helsingfors.

Otnes, J. og E. Ræstad, 1978. Hydrologi i praksis, 2. utg. Ingeniørforlaget.

Sælthun, N.-R., 1995. The "Nordic" HBV model. Publication no. 7, Hydrology Dept., NVE.

Appendix A

Brukerspesifikasjon til LAVVANN

Grunnlaget for beregningene er et sett med regresjonsligninger som gir midlere 7-døgns lavvannføring som en funksjon av fysiografiske parametre for det aktuelle felt. Det brukes ulike ligninger for ulike sesonger og ulike regioner.

Hensikt/brukergruppe:

Hjelpemiddel for hydrologisk saksbehandlere.

AL: alminnelig lavvannføring.

Region inndeling: (Figur A1)

Reg. nr	Vassdragsområdet
1.	001 – 015 og 309 – 315
2.	016 – 036
3.	037 – 098
4.	099 – 158 og 300 – 308
5.	159 – 196
6.	197 – 247
7.	kyst fra 023 – 194

Fysiografiske parametre:

- Bredde (km) Feltbredde, definert som areal/akse
- Dekk (%) Definert som 100% – snaufjellprosent
- Effsjø (%) Effektiv sjøprosent
- Hmax (m) Maksimal høyde forskjell i feltet

Avløpsparametre:

- Qn Midlere spesifikt årsavløp (l/s*km²)
- MAM(D) Midlere årlig D-dags minimum (l/s*km²)
- AM10(D) Årlig D-dags minimum med 10 års gjentaksintervall (l/s*km²)

De benyttede ligninger for ulike sesonger og regioner:

Sommer (MAM(7))

Region 1 og 3

$$MAM(7) = Qn * (7.32 * 10^{-3}) * ((Effsjø + 0.1)^{0.173}) * (H_{max}^{0.359}) * (Bredde + 1)^{0.492}$$

Region 2

$$MAM(7) = Qn * (1.25 * 10^{-3}) * ((Effsjø + 0.1)^{0.147}) * (H_{max}^{0.57}) * (Bredde + 1)^{0.462}$$

Region 4

$$\text{MAM}(7) = \mathbf{Qn} * (1.87 * 10^{-4}) * ((\mathbf{Effsj\o} + 0.1)^{0.274}) * (\mathbf{H}_{\max}^{0.903}) * (\mathbf{Bredde} + 1)^{0.28}$$

Region 5

$$\text{MAM}(7) = \mathbf{Qn} * (3.54 * 10^{-4}) * ((\mathbf{Effsj\o} + 0.1)^{0.079}) * (\mathbf{H}_{\max}^{0.947}) * (\mathbf{Bredde} + 1)^{0.086}$$

Region 7

$$\text{MAM}(7) = \mathbf{Qn} * (3.22 * 10^{-2}) * ((\mathbf{Effsj\o} + 0.1)^{0.314}) * (\mathbf{H}_{\max}^{0.131})$$

Region 6 beregnes kun for vintersesongen.

Vinter (MAM(7))

Region 1, 2, 3, 4, 5 og 6

$$\text{MAM}(7) = \mathbf{Qn} * (2.44 * 10^{-1}) * ((\mathbf{Effsj\o} + 0.1)^{0.124}) * (\mathbf{H}_{\max}^{-0.202}) * (\mathbf{Dekk} + 1)^{0.157}$$

Region 7

$$\text{MAM}(7) = \mathbf{Qn} * 1.11 * ((\mathbf{Effsj\o} + 0.1)^{0.182}) * (\mathbf{H}_{\max}^{-0.354})$$

Beregning av alminnelig lavvannføring (AL):

Region 1, 2, 3, 4, 5 og 7

$$\text{AL} = 0.879 * \min[\text{MAM}(7)_{\text{vinter}}, \text{MAM}(7)_{\text{sommer}}] + 0.0038$$

Region 6

$$\text{AL} = 0.879 * [\text{MAM}(7)_{\text{vinter}}] + 0.0038$$

AM10(D) (der D = 7, 30, 60) og MAM(D = 30, 60) beregnes ut fra MAM(7):

Sommer

$$\begin{aligned} \text{MAM}(30) &= 1.88 * \text{MAM}(7)^{0.943} \\ \text{MAM}(60) &= 2.87 * \text{MAM}(7)^{0.903} \\ \text{AM10}(7) &= 0.37 * \text{MAM}(7)^{1.108} \\ \text{AM10}(30) &= 0.6 * \text{MAM}(7)^{1.123} \\ \text{AM10}(60) &= 1.13 * \text{MAM}(7)^{1.048} \end{aligned}$$

Vinter

$$\begin{aligned} \text{MAM}(30) &= 1.34 * \text{MAM}(7)^{0.929} \\ \text{MAM}(60) &= 1.83 * \text{MAM}(7)^{0.869} \\ \text{AM10}(7) &= 0.45 * \text{MAM}(7)^{1.033} \\ \text{AM10}(30) &= 0.55 * \text{MAM}(7)^{1.067} \\ \text{AM10}(60) &= 0.74 * \text{MAM}(7)^{0.972} \end{aligned}$$

Brukerprogram for estimering av alminnelig lavvannføring kjøres fra NVEs START-system under navnet LAVVANN.

Input til programmet:

- Region (1 – 7)
- Bredder (km) Feltbredder, definert som areal/akse
- Dekk (%) Definert som 100% – snaufjellsprosent
- Effsjø (%) Effektiv sjøprosent
- Hmax (m) Maksimal høyde forskjell i feltet
- Qn (l/s*km²) Midlere spesifikt årsavløp i perioden 1930 – 1960

Output: i l/s*km² for sommer og vinter, med en desimal

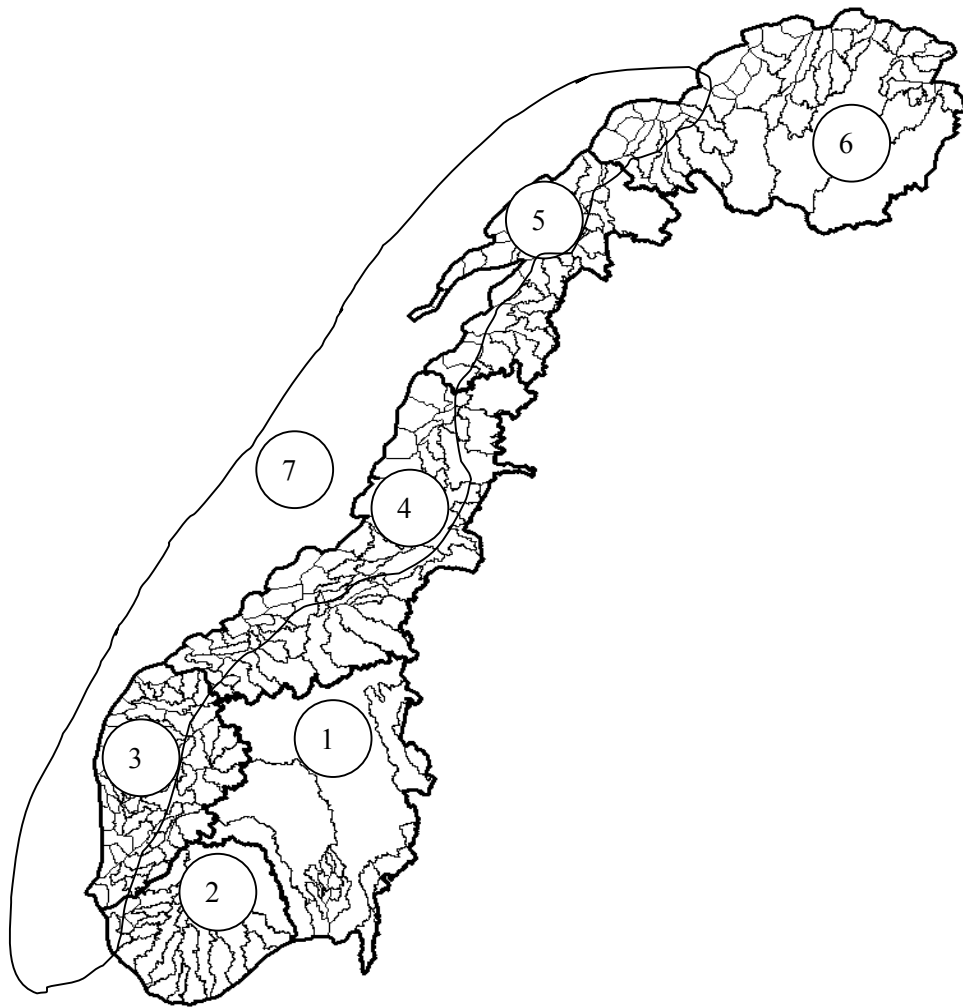
- MAM(7): Midlere 7-døgns lavvannføring
- MAM(30): Midlere 30-døgns lavvannføring
- MAM(60): Midlere 60-døgns lavvannføring
- AM10(7): 7-døgns lavvannføring, 10 års gjentaksintervall
- AM10(30): 30-døgns lavvannføring, 10 års gjentaksintervall
- AM10(60): 60-døgns lavvannføring, 10 års gjentaksintervall
- AL: Alminnelig lavvannføring

Hjelp : Veiledning til bruk av programmet vises i eget vindu.

Eksempel på brukergrensesnitt:

The screenshot shows a window titled "Lavvannføring" with a table of results. The input fields on the left are: Region (1-7) set to "Region 3", Bredder (Km) set to "4.1", DHmax (m) set to "603", Eff. Sjø (%) set to "3.1", Dekk (%) set to "10", and Spesifikt Avløp (l/s*km²) set to "110". The output table has columns for "Vinter" and "Sommer" (both in l/s*km²). The rows show: Midlere 7-døgns lavvannføring (12.4, 21.9), Midlere 30-døgns lavvannføring (13.9, 34.5), Midlere 60-døgns lavvannføring (16.3, 46.5), 7-døgns lavvannføring (10 år) (6.1, 11.3), 30-døgns lavvannføring (10 år) (8.1, 19.2), 60-døgns lavvannføring (10 år) (8.5, 28.6), and Alminnelig Lavvannføring (0.879*min[mam(7)v.mam(7)s] + 0.0038) (10.9, 10.9). Buttons at the bottom include "Utfør", "Avslutt", "Skriv ut", and "Hjelp".

	Vinter	Sommer
Midlere 7-døgns lavvannføring.....	12.4	21.9 l/s*km ²
Midlere 30-døgns lavvannføring....	13.9	34.5 l/s*km ²
Midlere 60-døgns lavvannføring....	16.3	46.5 l/s*km ²
7-døgns lavvannføring (10 år)...	6.1	11.3 l/s*km ²
30-døgns lavvannføring (10 år).	8.1	19.2 l/s*km ²
60-døgns lavvannføring (10 år)	8.5	28.6 l/s*km ²
Alminnelig Lavvannføring (0.879*min[mam(7)v.mam(7)s] + 0.0038)	10.9	10.9 l/s*km²



Figur A1. Hydrologisk regioninndeling.

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

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring:

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