Tørrårsberegninger.

Analyse av forløp, hyppighet og utbredelse av tørke i Norge og Sverige.

NVE –Oppdragsrapport 10/2003.

Norges vassdrags- og energidirektorat
2003

Rapport nr 10

Tørrårsberegninger.

Oppdragsgiver: OED

Redaktør: Erik Holmqvist

Forfatter: Ånund Killingtveit, Hege Hisdal, Lars Roald, Thomas Skaugen, Thomas Væringstad, Erik Holmqvist

ISSN: 1503-0318

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag:

Sammendrag: Tørrværsperioden høsten 2002 (august-desember) hadde et beregnet gjentaksintervall på ca. 100-200 år. Det var svært tørt både i Norge og Sverige denne høsten En kortvarig tørke som dette kan normalt håndteres hvis magasinfyllingen er god ved inngangen til tørrværsperioden.

Tørrår er definert som kalenderår der nyttbart energitilsig har gjentaksintervall 10 år. Det betyr at i Norge vil vi ha tørrår når tilsiget underskrider 96.8 TWh, mens midlere energitilsig er 118 TWh. Det laveste kjente energitilsiget siden 1931 var i 1969 med 84.5 TWh. I 2002 var tilsiget 111 TWh.

Emneord: Tørke, tørrår, energitilsig, kraftsituasjon.

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

August 2003

Innhold

Forord 5

Sammendrag og konklusjoner 6

1. Definisjoner - hva er et tørrår? 8

1.1 Hva er tørke, tørrværsperioder og tørrår? 8

1.2 Hva er det som forårsaker tørke? 9

1.3 Kobling mellom klima og tørke 11

1.4 Definisjon av et tørrår 12

2. Datagrunnlag/ modellberegninger 13

2.1 Modellberegninger 13

2.2 Energitilsig Norge og Sverige 14

2.3 Nedbørdata Norge og Sverige 15

2.4 Temperaturdata Norge og Sverige 16

3. Statistisk analyse av tørke og tørrår 17

3.1 Ulike metoder for å analysere tørke 17

3.2 Frekvensanalyse av tørke, beregning av gjentaksintervall 18

3.3 Valg av regional inndeling 19

3.4 Korrelasjon mellom områdene 20

3.5 Autokorrelasjon og trend i seriene 21

3.6 Frekvensanalyse på årsverdier og sesonger 22

3.7 Analyse av tilsig og nedbør i 2002 23

3.8 Analyse av flere tørre år i serie 25

3.9 Frekvensanalyse av tørkehendelser under en terskel 26

3.10 Analyse av høsten 2002 basert på observerte nedbørdata 28

4. Scenarier for mulige ekstreme tørrår 30

4.1 Innledning 30

4.2 Historiske nedtegnelser 30

4.3 Regionale indeksserier 32

4.5 Scenarier av nedbørstørke 34

5. Klimaendringer/ klimautviklingen – blir det bedre eller verre? .39

5.1 Scenarier for årene 2030-49 39

6. Beredskap 43

6.1 Overvåkning - Når kan vi identifisere en tørkeutvikling.....43

6.2 Varsling av tørke.....43

6.3 Sammenheng mellom tørke og regionale eller globale værsystemer 44

6.4 Langtidsvarsler og sesongvarsler for tørke 45

7. Referanser.....46

VEDLEGG 1.

Oversikt over hvilke serier som inngår i de enkelte regionene. 48

VEDLEGG 2.

Oversikt over de 10 tørreste årene i de enkelte regionene. 51

Forord

Denne rapporten er skrevet i forbindelse med den planlagte stortingsmeldingen om forsyningssikkerhet, og er et svar på Olje- og Energidepartementets (OED) brev av 11. april 2003. I dette brevet bes NVE blant annet om å beskrive nedbør-, temperatur- og tilsigsforhold i 2002/2003 og gjennomføre et prosjekt vedrørende tørrårsberegninger. Denne rapporten er en av to rapporter, som omhandler de hydrologiske forholdene i forbindelse med den anstrengte kraftsituasjonen høsten 2002/ vinteren 2003.

Oslo, 28. august 2003

Kjell Repp
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag og konklusjoner

Hendelsen høsten 2002 har aktualisert spørsmålet om leveringssikkerhet i kraftsystemet, og spørsmålet om hvor ekstrem en tørkesituasjon kan bli. Tørken høsten 2002 varte bare i ca fem måneder, men inntraff med omtrent samme intensitet i både Norge, Sverige og Finland med rekordlave tilsig samtidig i alle tre land. En slik episode som gir alvorlig tørke, men bare innenfor et begrenset tidsrom omtales som en ***tørrværsperiode***.

Begrepet ***tørrår*** brukes nå forskjellig og det finnes ingen presis definisjon. Vi foreslår i denne rapporten at begrepet defineres som et kalenderår der nyttbart energitilsig har gjentaksintervall 10 år, dvs. et tilsig som underskrides i *gjennomsnitt* hvert 10. år. I tillegg foreslåes at begrepet ***ekstremt tørrår*** defineres tilsvarende, men med gjentaksintervall 100 år.

Dersom disse definisjonene brukes vil vi ha tørrår i Norge når tilsiget underskrider 96.8 TWh, og et ekstremt tørrår når tilsiget går under 84.7 TWh. For Sverige får vi tilsvarende tørrår når tilsiget går under 55.7 TWh og ekstremt tørrår hvis tilsiget går under 48 TWh. Til sammenligning er middel energitilsig til Norge 118 TWh og Sverige 68 TWh, og tilsiget i 2002 var hhv 111 TWh i Norge og 58 TWh i Sverige. Året 2002 kan dermed ikke karakteriseres som et tørrår når en ser på året som helhet, verken i Norge eller Sverige.

Det er gjennomført statistiske analyser for å finne sammenheng mellom energitilsig og gjentaksintervall både for kalenderåret og for forskjellige sesonger innenfor året. Under denne analysen har vi også sammenlignet med tørrværsperioden høsten 2002, for å kunne beregne hvor ekstrem denne episoden var. De viktigste resultatene kan oppsummeres slik:

I Norge er midlere energitilsig beregnet til 118 TWh. Det laveste kjente tilsig siden 1931 var i 1969 med 84.5 TWh. Vi har hatt 8 år som kan karakteriseres som et tørrår: 1936, 1941, 1947, 1959, 1960, 1969, 1980 og 1996. Ett år kan karakteriseres som et ekstrem tørrår, 1969. Fra frekvensanalysen kan vi beregne at tilsig med gjentaksintervall på 200 år er på 82 TWh, 500 år er på 78.9 TWh og 1000 år er på 76.8 TWh. Fra det laveste tilsiget i den historiske perioden (84.5 TWh) er det ca 8 TWh videre ned til 1000-årstilsiget på bare 76.8 TWh.

I Sverige er midlere energitilsig beregnet til 68 TWh. Det laveste tilsig i den historiske perioden (siden 1931) var 47 TWh i 1947. Vi har hatt 6 tørrår siden 1931 (dvs. med tilsig < 55.7 TWh): 1937, 1947, 1969, 1976, 1994 og 1996. Ett år kan karakteriseres som et ekstremt tørrår, 1947 med 47 TWh. Det er interessant å se at bare tre år, 1947, 1969 og 1996 var tørrår samtidig i både Norge og Sverige, og ingen av de ekstreme tørrår opptrådte samtidig. Fra frekvensanalysen kan vi beregne at tilsig med gjentaksintervall på 200 år er 46.3 TWh, 500 år er på 44.3 TWh og 1000 år er på 43 TWh. Fra det laveste tilsiget i den historiske perioden er det 4 TWh videre ned til 1000-årstilsiget på bare 43 TWh.

Tørrværsperioden høsten 2002 hadde en varighet på ca fem måneder, og tilsiget kom da ned mot og til dels under 50 % av normalen. Dette var det laveste tilsiget siden 1931 i Norge og nest lavest i Sverige, for denne perioden (august-desember). Det uvanlig lave tilsiget ble ekstra uvanlig ved at tørken hadde så stor utbredelse. I både Norge og Sverige (og Finland som ikke er med i analysen her) hadde tilsiget et gjentaksintervall på 50-200 år for forskjellige regioner og tidsrom. I Norge hadde tilsiget i perioden august-desember et beregnet gjentaksintervall på 100-200 år, i Sverige 50-100 år og i Norge+Sverige 100-200 år. Dette viser at høsten 2002 var en svært tørr periode både i Norge og Sverige (og Finland som ikke er med i analysen her).

En kortvarig tørke som høsten 2002 kan normalt håndteres hvis magasinfyllingen er god ved inngang til tørrværsperioden. Vanligvis er et vannkraftsystem dimensjonert for å kunne møte tørrværsperioder på inntil ett år uten større problemer, lengre tørrværsperioder kan møtes ved bruk av langtidsmagasin. Vi har her også sett på varighet av tørrværsperioder på to og tre år og beregnet energitilsig for ulike gjentaksintervall. For toårsperioden har vi beregnet en 10-årsverdi på 101 TWh/år, 100-årsverdi på 91.5 TWh/år og 1000-årsverdi på 86.8 TWh/år i to på hverandre følgende år for Norge. For Sverige er tilsvarende verdier 59.3 TWh/år (10-år), 54.1 TWh/år (100-år) og 51.8 TWh/år (1000 år). Forklart på en annen måte betyr dette at vi i Norge i gjennomsnitt hvert 10. år vil få to år på rad med sum tilsig mindre enn 202 TWh, og i gjennomsnitt vil hvert 100. år få to år på rad med sum tilsig mindre enn 183 TWh.

Vi har også beregnet tilsvarende for tre tørre år etter hverandre, en situasjon som vil gi store utfordringer for kraftsystemet og være av en helt annen karakter enn for eksempel episoden høsten 2002. For en treårsperiode har vi beregnet en 10-årsverdi på 104.5 TWh/år, en 100-årsverdi på 97.5 TWh/år og 1000-årsverdi på 94.2 TWh/år i tre på hverandre følgende år for Norge. For Sverige er tilsvarende verdier 61 TWh/år (10-år), 56.7 TWh/år (100-år) og 54.7 TWh/år (1000 år).

Til sammenligning er den mest kritiske toårsperioden i den historiske tidsserien de to årene 1959-60 med gjennomsnittlig tilsig 89.2 TWh/år, fulgt av 1969-70 med 91.5 TWh/år i snitt og 1940-41 med 93.3 TWh/år i snitt. Når vi ser på treårsperioder er den mest kritiske perioden i den historiske tidsserien årene 1939-40-41 med et snitt på 96.5 TWh/år, tett fulgt av 1958-59-60 med 97.4 TWh/år i snitt og 1968-69-70 med 98.7 TWh/år i snitt. Dette viser at vi har en rekke tilfeller der tilsiget i både to og tre påfølgende år kan bli mye lavere enn det vi hadde i 2002 med 111 TWh.

Ut over perioden 1931-2002 finnes ikke komplette vannføringsdata slik at det er mulig å beregne energitilsig med samme nøyaktighet. Vi har likevel tilgang til ulike typer data som kan gi en indikasjon på tørke også i tidligere tider. Disse data er gjennomgått og peker ut en del år på 1800 og tidlig 1900-tall da energitilsiget trolig også var svært lavt. De år som peker seg ut, uten at vi greier å kvantifisere energitilsiget, er: 1875, 1880, 1915 og 1927. Også før denne tid finnes beretninger som antyder ekstrem tørke og lavvann, men så langt tilbake er det svært vanskelig å beregne hvilken virkning dette ville hatt for et vannkraftsystem.

Det er stor usikkerhet knyttet til vurderingen av framtidige forhold, og hvorvidt en klimaendring vil kunne skape andre forhold enn det som ligger inne i det historiske tilsigsmaterialet. Analyser utført ved NVE og DNMI viser at det mest sannsynlig blir noe økende temperaturer og høyere nedbør i det meste av Norge, med størst økning på Vestlandet. Økende temperatur vil imidlertid også føre til større fordampning, og tilsiget vil dermed ikke øke så mye som nedbøren. I grove trekk ventes tilsiget å øke på Vestlandet og deler av Trøndelag, mens det kan gå ned på indre Østlandet og i Finnmark og Troms. I resten av landet ventes mindre endringer i tilsig.

Andre modeller (SWECLIM) gir noe avvikende resultater, og antyder mer nedbør på Østlandet og mindre på Vestlandet og nordover langs kysten. Resultatene må fortsatt betraktes som usikre, og gir ikke grunnlag for noen klare konklusjoner om at tilsiget skal øke signifikant når vi ser på de nærmeste 5-10 årene. Det er heller ingen klare indikasjoner på at tilsigsvariasjoner og fordeling av tørrår skal bli vesentlig forskjellig fra det som finnes i det historiske materialet. Derfor bør de resultatene som framkommer fra den statistiske analysen ha gyldighet også i de nærmeste årene framover. Resultater fra fortsatte studier bør imidlertid følges nøye.

1. Definisjoner - hva er et tørrår?

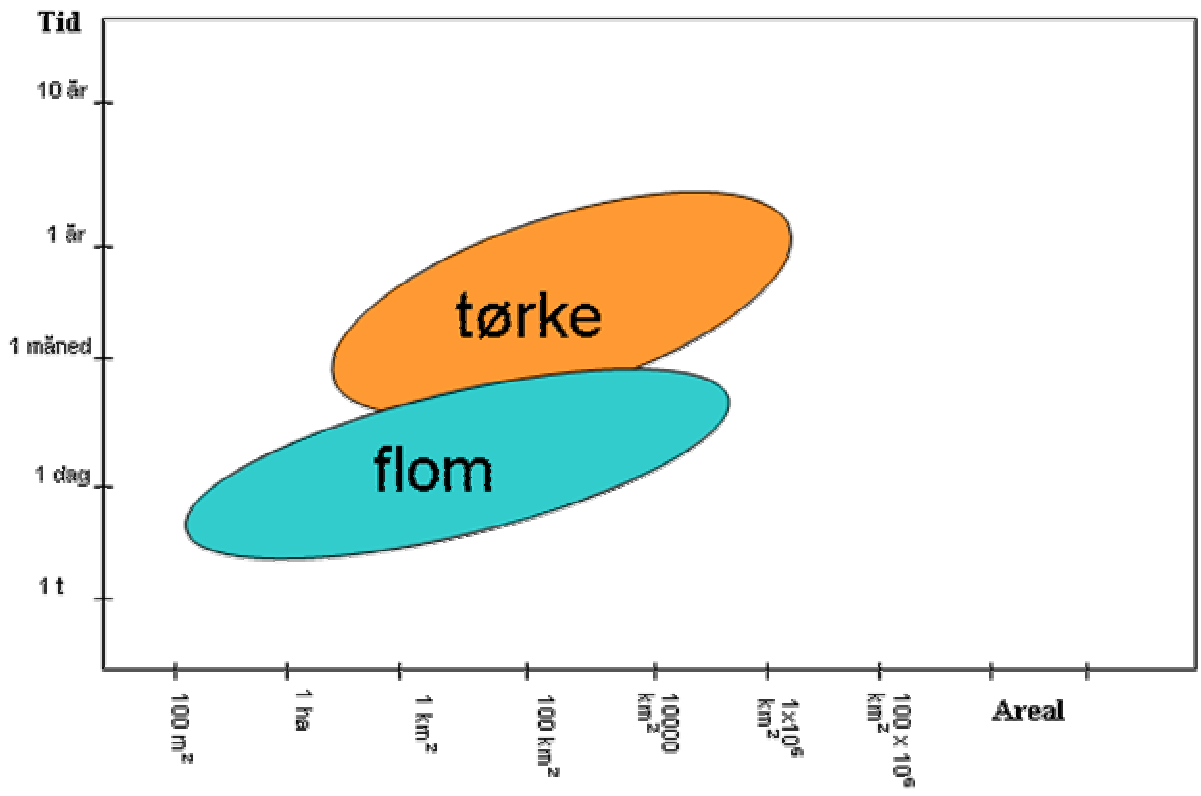
Begrepet tørrår brukes ofte upresist og ulikt av forskjellige aktører. Vi har ikke funnet noen velbegrunnet og entydig definisjon av begrepet, og vi foreslår derfor at uttrykket defineres mer presist og at det knyttes opp mot et gjentaksintervall. For å komme fram til en definisjon er det nødvendig å rydde opp i begrepene tørke, tørrvær og tørrår. I det følgende gir vi først en innføring i noen sentrale begreper.

1.1 Hva er tørke, tørrværsperioder og tørrår?

Tørke er en sammensatt naturlig hendelse som rammer forskjellige deler av verden hvert år. Tradisjonelt har fenomenet blitt oppfattet som noe som rammer utviklingsland og forårsaker sult og død. Selv om konsekvensene av tørke i industrialiserte land ikke er like dramatiske, har samfunnets sårbarhet for dette naturfenomenet fått stadig større oppmerksomhet på grunn av de store økonomiske konsekvensene. I Norge gjelder dette ikke minst fordi nesten hele vår kraftproduksjon er basert på vannkraft og dermed følsom for den reduksjonen i tilsiget en tørke kan gi. Høsten 2002 er et eksempel på dette.

Innledningsvis beskrives karakteristiske egenskaper ved tørke og hvordan tørke forplanter seg gjennom det hydrologiske kretsløpet. Deretter beskrives ulike situasjoner som kan gi tørrværsperioder i Norge. Til slutt diskuteres begrepet tørrår, og de kvantitative definisjonene av tørke som benyttes i denne rapporten gis.

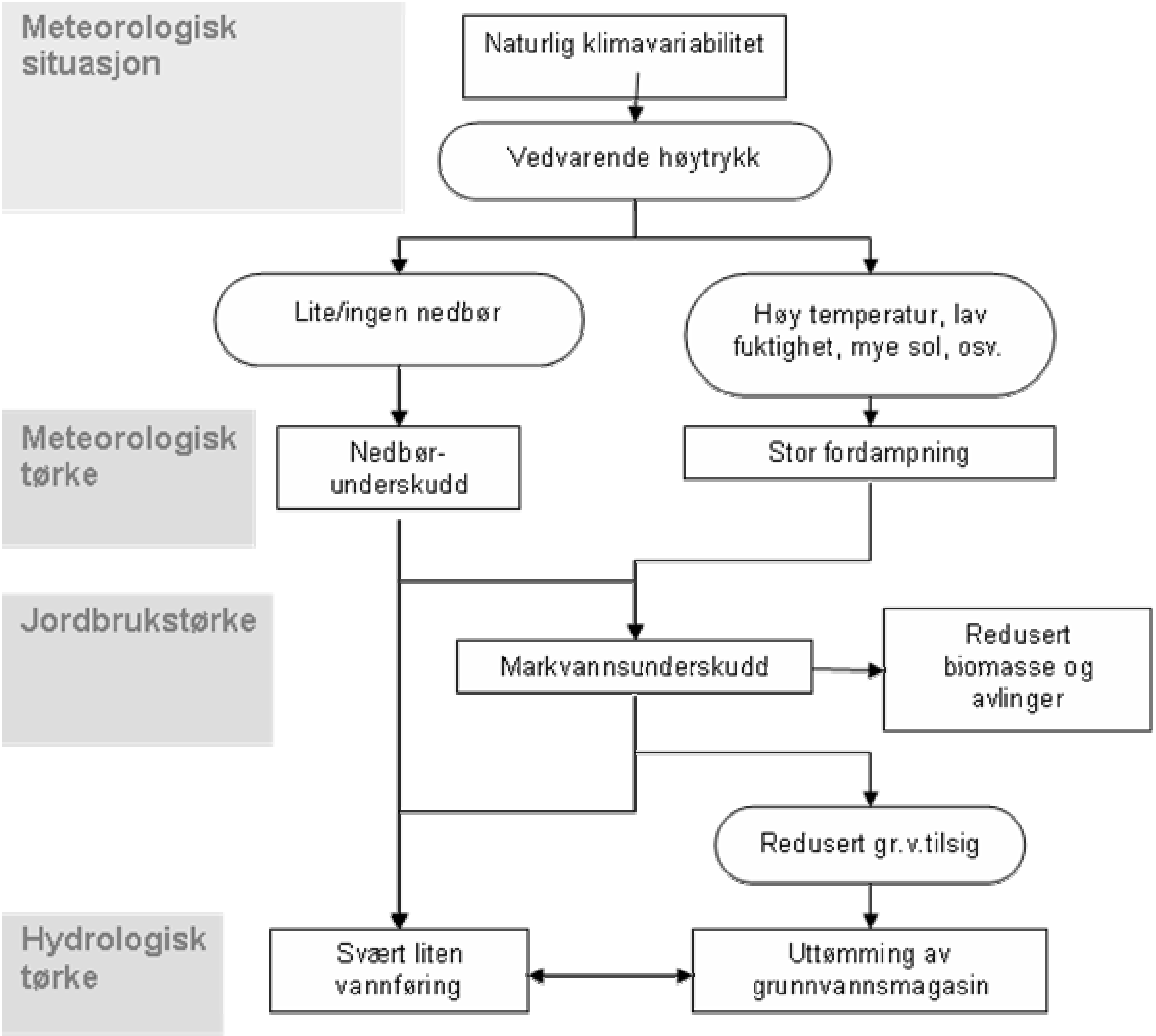
I motsetning til eksempel flom, kan en si at tørke er en ”ikke-hendelse” fordi den er forårsaket av fravær av nedbør. En flom er forårsaket av mye nedbør ofte kombinert med snøsmelting. På bakgrunn av en forutgående nedbørhendelse er det derfor mulig å si ganske mye om størrelsen og kulminasjonstidspunktet for en flom. Slik er det ikke med tørke. Mangel på nedbør kan indikere at en tørke har startet, men en kan ikke si noe om hvor lenge tørken vil vare eller hvor stor utbredelse den vil få. Flom kan i løpet av kort tid gi store skader, men ofte rammes ikke store arealer. Tørke derimot utvikler seg langsomt i tid og vil ofte gradvis dekke større og større områder. Et forsøk på å illustrere forskjellen mellom flom og tørke i Norge i en tid - rom dimensjon er vist i Figur 1.1. En ser av figuren at mens flommer har en varighet fra timer til noen uker, kan tørke vare opp til flere måneder. En flomhendelse begrenser seg ofte til ett eller noen få nedbørfelt, mens en tørke ofte dekker et større område. Mens en flom kan beskrives ved hjelp av én variabel, vannføring, er det ofte behov for flere variable for å beskrive en tørke. For fullt ut å beskrive en tørkehendelse, vil det oftest være behov for å studere både nedbør, avløp, markvann og grunnvann samt temperatur, og både varighet og utbredelse av disse. I forbindelse med vannkraftproduksjon vil det være viktig å se på tilsiget og da vil arealaspektet (hvor stort område og hvilke områder som er berørt av tørken), varigheten (hvor lenge har vi hatt for eksempel et tilsigsunderskudd) og tidsrommet for tilsigsunderskuddet være viktig.



Figur 1.1 Utbredelse av flom og tørke i tid og rom – karakteristiske verdier i Norge.

1.2 Hva er det som forårsaker tørke?

Tørke er som regel forårsaket av naturlige klimavariasjoner som fører til mangel på nedbør i et bestemt tidsrom (meteorologisk tørke). Fraværet av nedbør forplanter seg gjennom det hydrologiske kretsløp og kombinert med høy fordampning kan et stort markvannsunderskudd oppstå (jordbrukstørke), noe som igjen kan gi lite vann i vassdrag og uttapping av grunnvannsmagasin (hydrologisk tørke som inkluderer både avløps- og grunnvannstørke) (Figur 1.2). Tilstanden i markvannet er viktig for påfyllingen av grunnvannet som igjen er viktig for avløpsprosessen. I uregulerte vassdrag som ikke har tilsig fra breer, avtar vannføringen i perioder uten nedbør eller snøsmelting. Ved lave vannføringer kommer praktisk talt hele vannføringen fra grunnvannstilsig, og da er det grunnvannet som sørger for at vannføringen i elver opprettholdes. Undersøkelser utført i Norge viser at grunnvannsavløp kan utgjøre mer enn 80 % av vannføringen i små uregulerte vassdrag og bekker ved lave vannføringer (Gjørsvik, 1970; Andersen et al., 1972).



Figur 1.2 Hvordan tørke sprer seg i det hydrologiske kretsløpet (etter Stahl, 2001).

Grunnvannets respons på et nedbørunderskudd er forsinket i tid. Avhengig av dybden til grunnvanns-speilet, og utbredelsen og mektigheten til grunnvannsmagasinet, kan denne tidsforsinkelsen variere betraktelig, fra få timer til så mye som år. Tidsforsinkelsen fra et nedbør- til et avløpsunderskudd kan være ned mot noen timer i et vassdrag med rask respons, men også opp til flere måneder i vassdrag som får et stort bidrag av sin vannføring fra grunnvannet. I sistnevnte tilfelle vil bare store og langvarige meteorologiske tørker ende opp som hydrologiske tørker.

I Norge er høstnedbør og snøsmeltingen om våren vesentlig for fornyelsen av grunnvann, og dermed også vesentlig for vannføringen i vassdrag med stort grunnvannstilsig. Lite nedbør om vinteren kan derfor gi tørke i vassdragene den påfølgende sommeren. I nedbørfelt med begrenset lagringskapasitet vil sommernedbøren være viktigere for størrelsen på en avløpstørke. Mens avløpstørke vurderes ut fra vannføringen i et vassdrag er det nødvendig å bruke fire ulike parametere for å si noe om en grunnvannstørke: grunnvannsfornyelse (grunnvannsdannelse), grunnvannsmagasinet (volumet grunnvann), grunnvannsnivå (grunnvannstand) og grunnvannsutstrømning (tilsiget fra grunnvann til vassdrag, også kalt tørrværsavrenning eller baseflow).

1.3 Kobling mellom klima og tørke

I Norge vil det være naturlig å skille mellom to typer vannføringstørke: sommertørke og vintertørke. Sommertørke som skyldes mangel på nedbør og høy fordampning, er beskrevet ovenfor. Nedbørsvikt over lengre perioder skyldes vedvarende høytrykk. En slik situasjon oppstår gjerne i forbindelse med at vi får en stor endring i det polare sirkulasjonsmønsteret. Dette kan føre til et mer eller mindre stasjonært eller saktebevegende mønster og såkalte blokkeringssystemer oppstår. Dette kan forårsake lange perioder med samme værtype og kan gi en situasjon med unormale nedbør og temperaturforhold, med det resultat at tørke kan oppstå ett sted og gjerne med flom andre steder, fordi skyer og nedbør føres vekk fra de normale bevegelsesbanene. Når den vedvarende vestavinden er fraværende på midlere breddegrader kalles dette en ”blocking situation” (Lamb, 1982). For Norge er det i første rekke det regionale oscillasjonsmønsteret over Nord-Atlanteren (NAO) som er av interesse for å beskrive regionale avvik (anomalier) i været.

Mens sommertørke kommer av fravær av nedbør skyldes vintertørkene vanligvis at nedbøren kommer som snø og dermed ikke bidrar til tilsiget. Denne situasjonen oppstår normalt hvert år, og tilsiget er derfor lavt hver vinter. I Norge oppstår de mest alvorlige tørkeepisodene dersom høstnedbøren uteblir etter en tørr sommer slik at en sommertørke går rett over i en vintertørke. I en kritisk situasjon med lav magasinfylling kan kalde perioder forverre situasjonen. Temperaturen er negativt korrelert med kraftforbruket og etterspørselen av strøm vil øke når temperaturen faller, noe som fører til at perioder med lave tilsig vinterstid også har en tendens til å ha høyere forbruk, siden lufttemperaturen påvirker begge, men i motsatt retning. Dette er drøftet i mer detalj i Killingtveit & Engen (2003)

Variabiliteten i årsnedbøren i Norge er noe større enn i Sverige, og omtrent på samme nivå som en del andre viktige vannkraftland i Europa. Variabilitet i nedbør kan beregnes statistisk og det er vanlig å klassifisere variabilitet med parameteren $Cv = \mu/\sigma$ der:

Cv kalles variasjonskoeffisient (for årsnedbør)

μ er middelverdi for årsnedbør

σ er standardavvik i årsnedbør

Tabell 1.1 viser noen typiske verdier for variabilitet i nedbørenergi, summert opp på område og landsbasis for noen viktige vannkraftområder.

Tabell 1.1 Variasjonskoeffisient for årssummer nedbørenergi for noen viktige vannkraftområder. (Kilde: Markedskraft)

Land	Område	Cv for årsnedbør
Norge		**0.12**
Norge	Område 1	0.12
	Område 2	0.18
	Område 3	0.17
	Område 4	0.21
Sverige		**0.10**
Sverige	Sør-Sverige	0.13
	Midt-Sverige Sør	0.14
	Midt-Sverige Nord	0.11
	Nord-Sverige	0.11
Østerrike		**0.13**
Tyskland		**0.12**
Sveits		**0.13**

1.4 Definisjon av et tørrår

Det finnes mange ulike måter å definere tørke på, både generelt og kvantitativt. I kraftverks-sammenheng benyttes ofte begrepet *tørrår*. Den opprinnelige definisjonen på et tørrår er at dette er ett år hvor nedbøren eller avløpet er vesentlig mindre enn normalt (Johansson, 1984). Denne definisjonen av tørrår gir således ingen kvantitative opplysninger om hvor mye mindre enn normal nedbør eller avløp det skal være for å kalles et tørrår. Definisjonen sier heller ikke noe om hvorvidt en skal vurdere kalenderår eller om en hvilken som helst inndeling av året kan benyttes. Ei heller er det definert om en kan nøye seg med å betrakte en enkelt avløpsstasjon, eller tilsigsserie eller om en større region må ha et underskudd for at en skal kunne snakke om tørrår.

I energianalyser defineres ofte en gitt periode som normalperiode. Tidligere har en brukt perioden 1931-60, så 1931-90 og i senere tid 1970-99 som normalperiode. Et normalår med hensyn på tilsig vil da være gjennomsnittlig årstilsig (kalenderår) for denne perioden. Begrepene tørrår og ekstremt tørrår har vært tillagt noe ulikt innhold og er både knyttet til tilsig og kraftproduksjon. I Rue et al. (2002) er et tørrår definert som et år med vannkraftproduksjon så lav at den i gjennomsnitt over en lang periode kun vil inntreffe i ett av 10 år, dvs. har et gjentaksintervall på 10 år. Et ekstremt tørrår beskrives som det året med lavest produksjonstilgang (tilsig) i hele tilsigsserien. Gjentaksintervallet vil derfor variere avhengig av hvor lang tilsigsserie en betrakter. I NVE (2003) er et tørrår knyttet opp mot vannkraftproduksjonen og definert å være det året i en tilsigsserie på 30 år hvor produksjonen er minst. Ut fra dette sluttes at et tørrår kan opptre når som helst med en sannsynlighet på 1:30. Statistisk er den siste påstanden ikke helt riktig. Dette utdypes nærmere i kapitlet om statistiske analyser av tørke under omtalen av statistiske metoder.

Noen definisjoner er knyttet opp til en bestemt prosentvis reduksjon i produksjonen i forhold til et langtidsmiddel, for eksempel et ekstremt tørrår er et år hvor vannkraftproduksjonen er 20 % mindre enn i et normalår. Definisjonene brukes normalt for kalenderår, men har også blitt benyttet for andre inndelinger av året, for eksempel hydrologisk år (i Norge: september-august, i Sverige: oktober-september). Variasjon i tilsig vil som regel være større enn variasjon i nedbør, men dette kan variere noe med klimatiske og geologiske forhold. I områder med høy fordampning i forhold til nedbøren vil gjerne variasjon i tilsig være større enn nedbør. For energitilsig til Norge er for eksempel Cv=0.12, det samme som for nedbør, mens Sverige har Cv=0.14 for tilsig og bare 0.10 for nedbør. Forklaringen er at i år med lav nedbør vil fordampningen redusere tilsiget forholdsmessig mye mer enn i år med høy nedbør.

Variasjonene fra år til år i vannkraftproduksjon vil være mindre enn variasjonene i tilsig, fordi en kan lagre vann i vannkraftmagasinene og jevne ut produksjonen i forhold til variasjonen i tilsig. Tar vi for oss perioden 1931-90 varierer vannkraftproduksjonen i Norge fra ca 20 % under til ca 30 % over langtidsmiddelet, mens tilsiget varierer fra ca 30 % under til ca 20 % over langtidsmiddelet.

Tørke av ulik varighet, både mer og mindre enn ett år, vil kunne være kritisk for kraftbalansen. I denne rapporten er tørke definert generelt og omfatter både tørrår og tørrværsperioder (< 1 år). Et tørrår foreslåes definert som et kalenderår med et tilsig så lavt at gjentaksintervallet vil være ≥10 år. Dette betyr at sannsynligheten for å få et tørrår hvert år er 1:10, 10 %. Videre foreslår vi å definere et ekstremt tørrår som et kalenderår med tilsig så lavt at gjentaksintervallet er ≥ 100 år. Et ekstremt tørrår vil da inntreffe i *gjennomsnitt* hvert 100. år.

2. Datagrunnlag/ modellberegninger

2.1 Modellberegninger

Ved analyse av tørrår eller tørrværsperioder ønsker en alltid å ha lengst mulige tidsserier med observasjoner som grunnlag for de statistiske beregningene eller ved sammenligning med av en ekstremsituasjon (ex 2002) med tidligere år. Siden produksjonssystemer har vært under stadig utvikling både i Norge og Sverige, og de markedsmessige endringer også har endret på driftsmønster, er det vanskelig å bruke direkte observerte produksjoner og energitilsig mer enn noen få år tilbake. For Norge har det vært betydelig økning i vannkraftproduksjonen oppover på 70 og 80 tallet, men liten endring etter 1995. For Sverige var de store utbygginger av vannkraftsystemet ferdig mye tidligere, og her har det vært små endringer etter 1990.

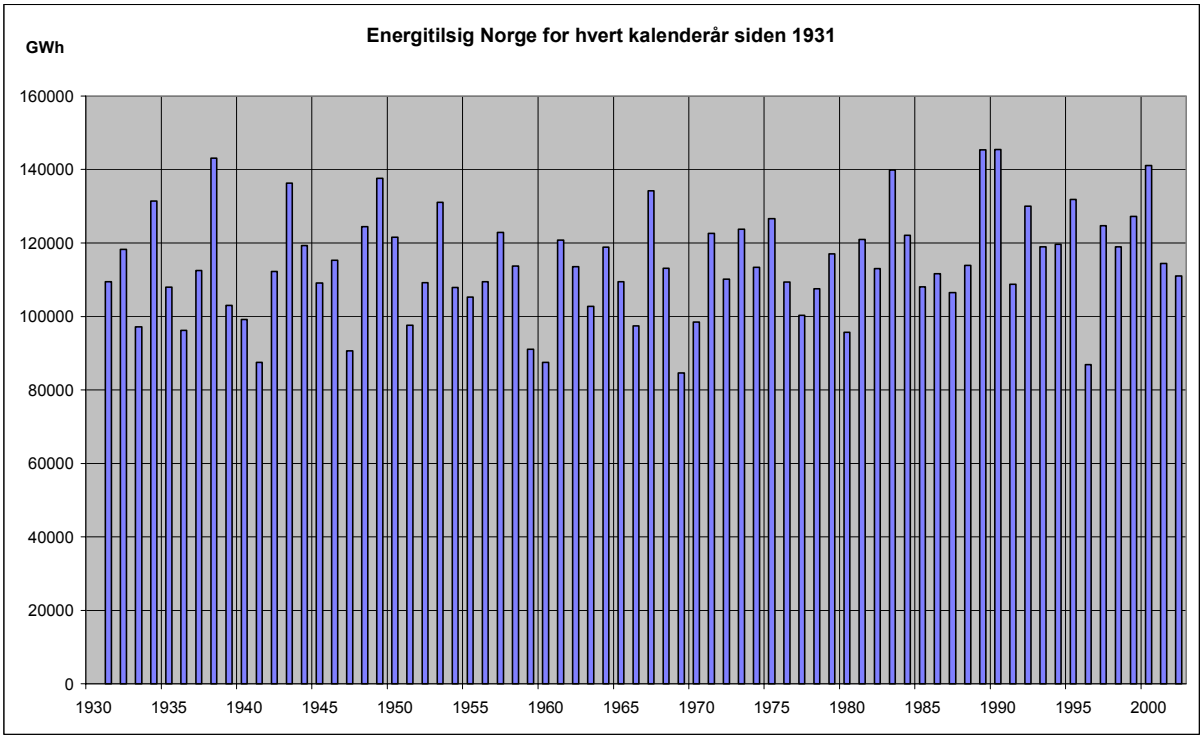
For å bestemme energitilsig og produksjon tilbake i tid må en derfor utføre modellberegninger der en beregner, simulerer, hvordan tilsig, magasinfylling/-tapping og import/eksport ville blitt med de vannføringsforhold en da hadde. De to viktigste modellene som benyttes er begge utviklet ved SINTEF Energiforskning, VANSIMTAP og Samkjøringsmodellen. Disse modellene har noe ulikt bruksområde men for begge utføres beregningene ved å simulere driften av dagens vannkraftsystem uke for uke gjennom en historisk periode.

Under simuleringen benyttes observerte vannføringer ved et representativt utvalg av målestasjoner for å karakterisere tilsigsforholdene i denne uka. Ut fra ukas tilsig og forbruk vil så modellen beregne hvor mye av dette tilsiget som kan benyttes og evt. flomtap, deretter beregnes produksjonsfordeling i

kraftverkene, kjøp og salg av kraft og import/eksport. Som grunnlag for fordelingen av tapping mellom ulike magasiner benyttes den såkalte vannverdien som beregnes før selve simuleringen starter.

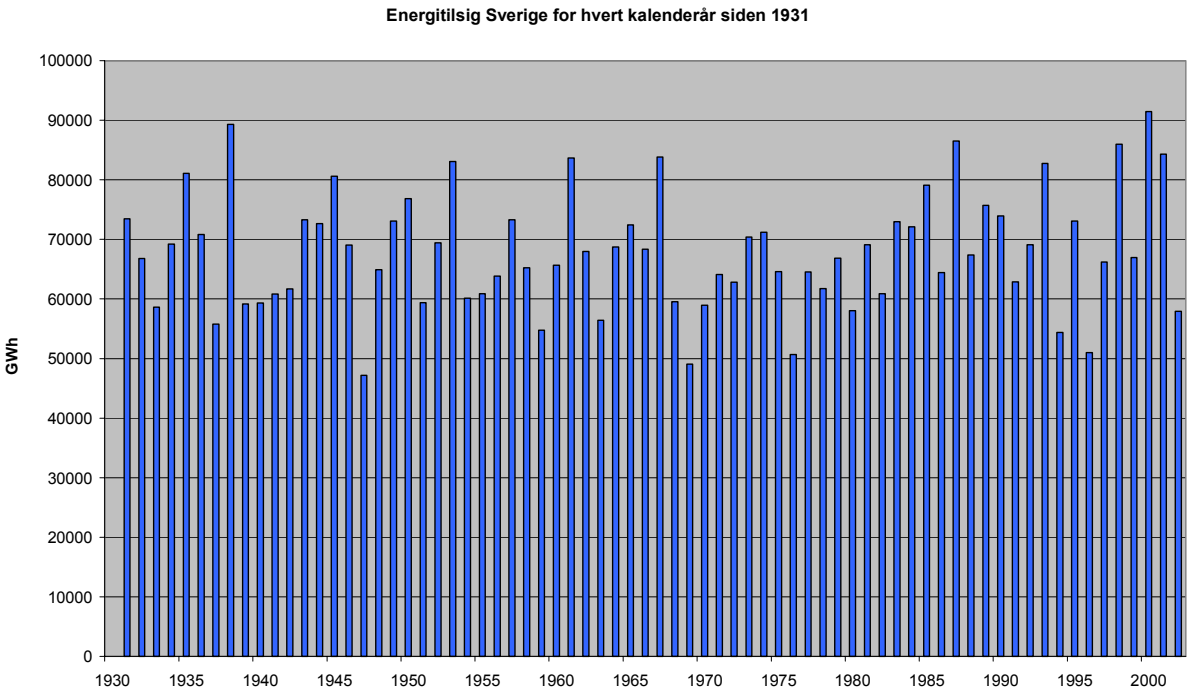
2.2 Energitilsig Norge og Sverige

Energitilsig til Norge er beregnet ved NVE for perioden fra 1931-dd. I datagrunnlaget som er benyttet her er imidlertid brukt observert tilsig for årene fra og med 1996 fram til i dag. Dette er gjort for å få mest mulig nøyaktige data for de siste årene der det er mulig å benytte observert tilsig. Figur 2.1 viser årlige tilsig for hele Norge samlet, i beregningene har en også laget tilsigsserier for tre ulike områder: Område 1, Område 2 og Område 3+4.



Figur 2.1 Beregnet årlig energitilsig til Norge, 1931-2002. (Kilde: NVE)

Energitilsig til Sverige kan beregnes på samme måte, men siden datagrunnlaget her var noe dårlig når en kom tilbake før 1960, er det valgt å bruke en litt forenklet metode og som gir helt homogene data gjennom hele perioden 1930-dd. Denne metoden benytter vannføring ved et antall uregulerte målestasjoner i Sverige, men ved hjelp av regresjonsanalyse etableres en sammenheng mellom vannføring og energitilsig direkte. Metoden er kalibrert gjennom en periode på 10 år og sammenligning med resultater fra Samkjøringsmodellen viser at beregnet tilsig på månedsbasis er omtrent av samme kvalitet. Ved hjelp av denne modellen er beregnet en tidsserie med brutto nyttbart energitilsig på månedsbasis for 4 områder og Sverige samlet. Disse data er beregnet og levert av Markedskraft.



Figur 2.2 Beregnet årlig energitilsig til Sverige, 1931-2002. (Kilde: Markedskraft)

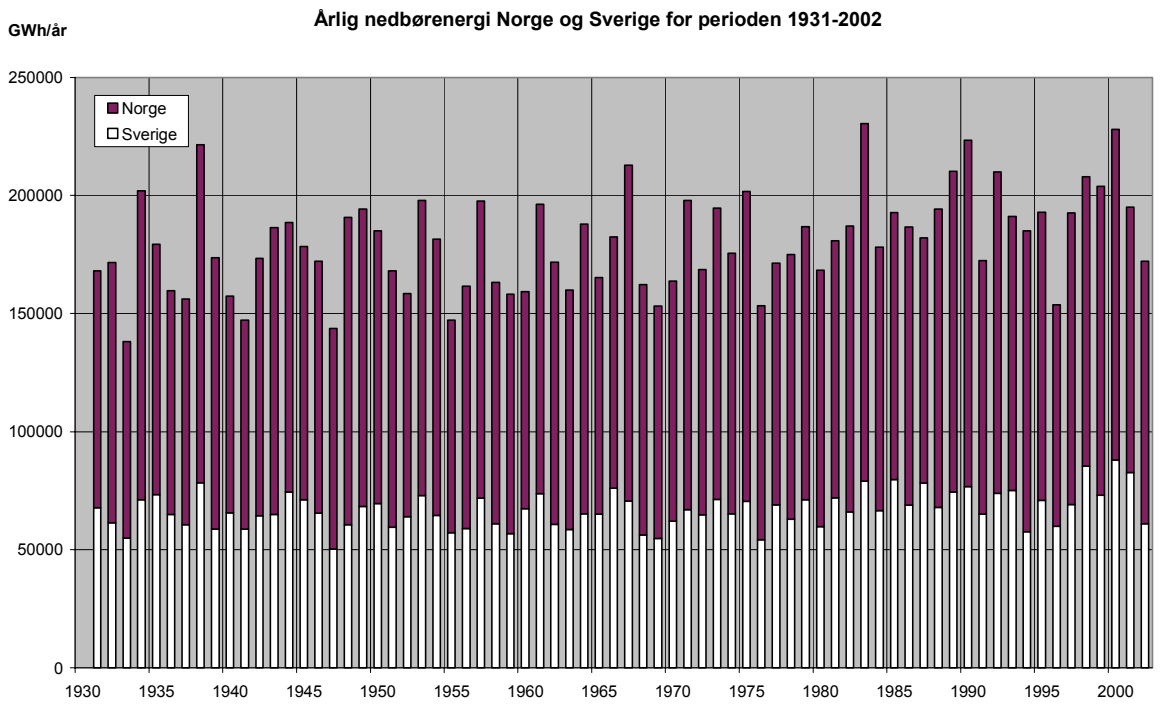
2.3 Nedbørdata Norge og Sverige

En del analyser er utført direkte på nedbørdata ved enkeltstasjoner, men for å få fram et bilde av betydningen for energisystemet brukes en beregnet verdi for *nedbørenergi*. Nedbørenergi er et begrep som brukes mye av aktørene på kraftmarkedet, og flere analyseselskaper har utviklet modeller for beregning av nedbørenergi ut fra observert nedbør ved et utvalg av nedbørstasjoner.

Prinsippet for denne beregningen er å regne ut hvor mye kraftproduksjon en gitt nedbørmengde kan bidra til. Dette kan for eksempel gjøres ved en regresjonsanalyse mellom observert energitilsig og observert nedbør ved et antall nedbørstasjoner. Når denne sammenhengen er kjent kan en regne om fra nedbør til nedbørenergi, gjerne på daglig basis for å holde rede på produksjonspotensialet og hvordan dette endrer seg over tid.

Ved å sette inn nedbørdata for tidligere år kan en regne ut nedbørenergi tilbake i tid, i den analysen som er utført her har vi benyttet serier for nedbørenergi helt tilbake til 1895 for Norge og fra 1931 for Sverige. Nedbørenergi på årsbasis vil som regel være godt korrelert med energitilsig på årsbasis, men bare hvis en bruker hydrologiske år (september-august). Brukes kalenderår vil sammenhengen bli noe mindre klar, fordi en varierende mengde av nedbøren magasineres som snø om vinteren. I denne analysen er vi ikke interessert direkte i sammenheng mellom nedbør og tilsig i de statistiske analysene, og derfor brukes kalenderår.

Figur 2.3 viser summert nedbørenergi for Norge og Sverige for årene fra 1931. Vi ser her godt at året 2002 ikke utpeker seg med spesielt lav nedbør, og vi ser også hvor lav nedbør det var i flere av de årene som ofte dukker opp i analyser av tørrår: 1941, 1947, 1955, 1969, 1976 og 1996. Det året som har hatt absolutt lavest sum nedbørenergi for Norge og Sverige er 1933.

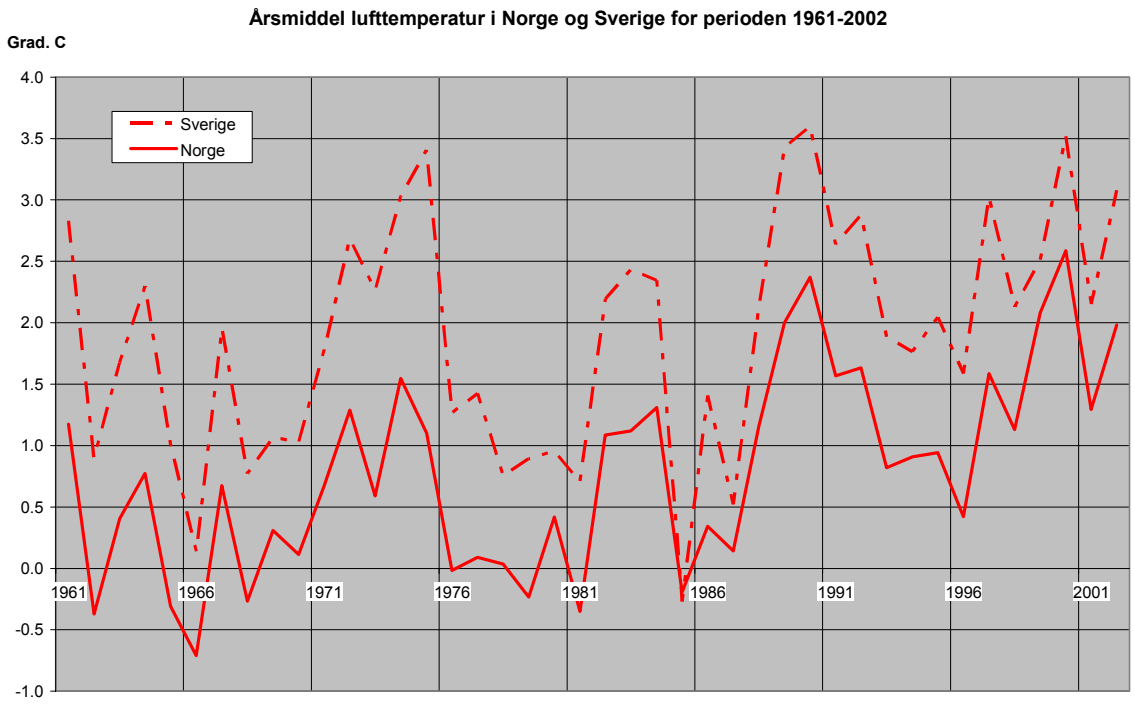


Figur 2.3 Beregnet årlig nedbørenergi til Norge og Sverige, 1931-2002. (Kilde: Markedskraft)

2.4 Temperaturdata Norge og Sverige

Lufttemperaturen har stor betydning både for tilsig og forbruk, og er derfor en viktig parameter ved energibalanse-analyser. I denne studien har vi benyttet midlere lufttemperatur for regioner eller land, for å få aggregerte verdier som sier noe om påvirkningen av vannkraftsystemet. Lufttemperaturen er basert på målinger ved et stort antall målestasjoner i Norge og Sverige, disse er så vektet sammen for å lage representative temperaturserier for 4 områder i Norge (Område 1, 2, 3 og 4) og 4 områder i Sverige (Sør-Sverige, Midt-Sverige sør, Midt-Sverige nord og Nord-Sverige). Ved denne beregningen er det lagt vekt på å bruke stasjoner som gir god beskrivelse av temperaturen i de viktigste tilsigsfeltene i hvert område. I Område 1 Norge for eksempel betyr dette at stasjoner i lavlandet er av mindre interesse, idet vi ønsker temperaturer for de ”tunge” kraftverksfeltene som ligger på Hardangervidda og andre fjellområder sør og nord for denne. Ut fra disse regionale temperaturene er så beregnet et middel for hvert land, som først og fremst gir en indikasjon på variasjon i temperatur over tid, hva som er kalde år og hva som er milde år. Figur 2.4 viser beregnet midlere temperatur for både Norge og Sverige, plottet i samme diagram.

Figuren viser flere interessante ting. For det første er det klart at de siste 10-15 årene har vært gjennomgående mildere enn tidligere. Vi ser også at de to årene 1989 og 1990 sammen med 2000 er de aller varmeste som er registrert. Det aller kaldeste året i perioden i Norge var 1966, fulgt av 1961, 1981 og 1985, mens i Sverige er 1985 det kaldeste. Dette året var spesielt i og med at middeltemperaturen i Sverige kom ned på nesten samme nivå som Norge, ellers er gjennomgående Sverige ca 1 grad varmere noe som i hovedsak skyldes utvalg av stasjoner og det forhold at tilsigsfeltene i Sverige ligger mye lavere enn i Norge.



Figur 2.4 Beregnet årlig midlere lufttemperatur for Norge og Sverige, 1961-2002. (Kilde: Markedskraft)

3. Statistisk analyse av tørke og tørrår

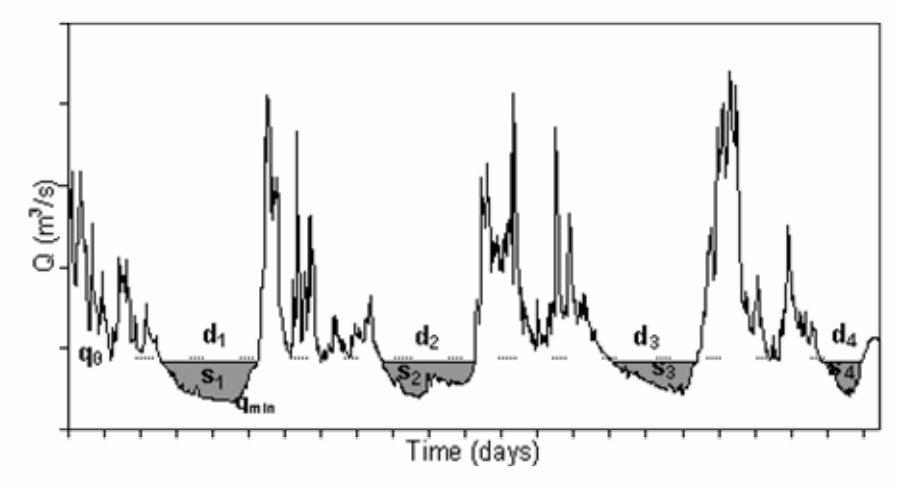
3.1 Ulike metoder for å analysere tørke

For å studere tørke i en tidsserie kan ulike metoder benyttes. Grovt sett kan en snakke om tre metoder:

- Analyse av tørkehendelser beregnet fra observerte tidsserier.
- Analyse av tørkehendelser beregnet fra genererte serier, for eksempel basert på paleohydrologiske tidsserier som for eksempel studier av årringer i trær.
- Monte Carlo simulerte serier; analytiske metoder for å finne sannsynlighetsfordelingen til en valgt tørkekarakteristikk som for eksempel tørkens varighet, basert på de statistiske egenskapene til den opprinnelige tidsserie, for eksempel en vannføringsserie.

I dette kapitlet beskrives resultatene av analyser av observerte tidsserier, altså den første metoden. Som et første skritt i en statistisk analyse må verdiene som skal studeres defineres. En kan for eksempel studere årsgjennomsnitt for å finne ut om årstilsiget har blitt større eller mindre i observasjonsperioden (trendanalyse), om tørre og våte år har en tendens til å gruppere seg (autokorrelasjonsanalyse etc.), eller se på sannsynligheten for et bestemt årstilsig, vannføring eller nedbør (frekvensanalyse). Det kan også være av interesse å studere bestemte tørkekarakteristika som varigheten av en tilsigsperiode under et bestemt nivå, underskuddsvolumet under dette nivået, eller

minste årlige n-dags vannføring. Med n-dags vannføring menes en vannføring som er midlet over n dager.



Figur 3.1. Definisjoner av tørkekarakteristika.

Figur 3.1 gir et eksempel på hvordan tørkekarakteristika defineres ved *terskelmetoden*. En terskel q_0 velges og når, i vårt tilfelle energitilsiget, faller under denne verdien defineres dette som en tørkehendelse. Vi kan dermed definere varighet som tiden mellom start og slutt av tidspunktet for hendelsen (d_i), underskuddsvolum under terskelen (s_i) og minimumsverdien (q_{min}) for tørkehendelsen.

3.2 Frekvensanalyse av tørke, beregning av gjentaksintervall

Frekvensanalyse gjør det mulig å beregne gjentaksintervaller, T, for en hendelse, for eksempel en tørke av en bestemt størrelse. Gjentaksintervallet er det antall år som gjennomsnittlig går mellom hver gang en like stor eller større tørke inntreffer. Gjentaksintervall og sannsynlighet for tørke er omvendte størrelser. Jo høyere gjentaksintervall jo mindre er sannsynligheten for at en så alvorlig hendelse vil inntreffe. Dette medfører at det er 1 % sannsynlighet hvert år for at man får en 100 års tørke, mens det er 10% sannsynlighet hvert år for å få en 10 års tørke. Frekvensanalyse av tørke er nærmere beskrevet i Tallaksen (2000).

Den tilgjengelig observerte tidsserien er ofte for kort til at en kan få pålitelige frekvensestimater av ekstreme hendelser. Derfor benyttes ulike teoretiske fordelingsfunksjoner for å finne gjentaksintervaller ut over den observerte tidsperioden, eller for å bestemme gjentaksintervallet for historiske hendelser. I praksis er det spørsmål om å definere den hydrologiske størrelsen som skal studeres (årsgjennomsnitt, årssum, varighet av vannføring under gitt nivå osv.), finne en fornuftig fordeling for å beskrive denne størrelsen og å estimere fordelingens parametere basert på de observerte dataene. Deretter kan gjentaksintervaller bestemmes. Hvor godt resultatet blir, er avhengig av lengden på den observerte tidsserien. En tommelfingerregel sier at en bør være forsiktig med å estimere hendelser med gjentaksintervall ut over to ganger lengden av den observerte serie. I vårt tilfelle der vi

har 72 år med data for energitilsig og nedbørenergi, betyr dette at resultatene må benyttes med forsiktighet ved gjentaksintervaller større enn ca 150 år.

Flere fordelingsfunksjoner er benyttet i analysene under. I analyser av middelverdier for år og sesonger er følgende fordelinger benyttet: Normalfordelingen (N), Lognormal (LN) og ekstremverdifordelingen (GEV). Fordelingene er tilpasset datamaterialet ved moment-metoden, L-momenter og Maximum likelihood (ML). Ved analyser av karakteristiske verdier under en gitt terskel (for eksempel 80 persentilen), som volum og varighet, er den generelle Pareto fordelingen (GPD) benyttet. L-momenter er benyttet for å finne parametrene til fordelingen. En generell beskrivelse av benyttede fordelingsfunksjoner og parameterestimeringsmetoder er gitt i Maidment (1993) og Coles (2001).

I analysene under er det i hovedsak gjort analyser på energitilsig. Hvis vi sammenligner energitilsig og produksjon, vil energitilsiget være mer variabelt enn produksjonen. Dette fordi magasiner vil jevne ut energitilsiget. Energitilsigsseriene har en begrensning mot høye verdier. Dette fordi energitilsiget begrenses for høye verdier, når vannføringene blir større enn kraftverkenes kapasitet (slukeevne) vil overskuddet bli klassifisert som flomtap og ikke regnes med i energitilsiget. Dette kan tenkes å forandre formen på fordelingen noe og dermed resultatene av analysene. Det er gjort en liten sensitivitetsanalyse, men resultatene viste små forskjeller, og vi regner ikke dette som noe problem for de analysene som er utført her.

3.3 Valg av regional inndeling

Datagrunnlaget som er benyttet her tillater oss å se på energitilsig og nedbørenergi for regioner eller land, eventuelt for hele Norge og Sverige samlet. Når en skal studere tørke eller tørrår i kraftsystemet har det liten hensikt å se på mer lokale hendelser fordi disse ikke vil få noen betydning for kraftoppdekningen. En kortvarig og sterk tørke for eksempel på Sørlandet vil ha liten betydning fordi kraftbehovet kan dekkes opp fra andre verk i området eller i andre områder. Det er først når en får samtidig og langvarig tørke i flere områder at dette kan begynne å få konsekvenser for kraftsystemet.

Vi har her valgt å bruke de områder som allerede brukes av NVE/SSB/Nordpool i Norge, dvs. Område 1 som omfatter Østlandet og Sørlandet til og med Lysefjorden, Område 2 som dekker Vestlandet nordover til Stadt og Område 3 og 4 som dekker resten av Midt- og Nord-Norge. Grensen mellom Område 3 og 4 går omtrent ved Narvik.

I Sverige blir ikke data for produksjon og magasiner oppgitt på regionalt nivå, men i det datagrunnlag som er brukt er det gjennomført en oppdeling for å kunne se på regionale forskjeller nord - sør også i Sverige. De områdene som er benyttet er følgende:

Sør-Sverige (S) som omfatter alle elvene i sør til og med Dalälven. Noen av de viktigste er Klarälven, Göta älv, Vättern, Motala ström og Lagan.
Midt-Sverige sør (SM) som omfatter Indalsälven, Ljungan og Ljusnan
Midt-Sverige nord (SN) som omfatter Umeälven og Ångermanälven
Nord-Sverige (N) som i hovedsak omfatter Luleälven og Skellefteälven

På grunnlag av de regionale data kan man lett slå sammen og beregne energitilsig eller nedbørenergi for ennå større områder.

3.4 Korrelasjon mellom områdene

Tørke eller tørrår i ett avgrenset område skaper vanligvis ikke store problemer for kraftoppdekningen, hvis produksjonen kan opprettholdes i andre områder. Det som virkelig kan skape store problemer er derfor samtidig tørke over store områder, evt. over hele Skandinavia slik en opplevde i 2002. Ved å analysere hvor stor grad av samtidighet en har i nedbør eller tilsig og hvilke områder som har tørke samtidig, kan vi sikrere beregne sannsynligheter for tørke over store områder. For kraftsystemet vil det vise seg at en tørke som brer seg over et stort område og som har lang varighet ofte er mer problematisk enn en lokal og mer intens tørke. Likedan vil varigheten av tørke være av stor betydning. For å undersøke hvor stor grad av samtidighet eller samvariasjon en har mellom to dataserier, benyttes det som kalles en korrelasjonsanalyse, og resultatet kvantifiseres ved en lineær korrelasjonskoeffisient. Denne vil være nær 1 dersom de to seriene har sterk samvariasjon, og nær 0 dersom det ikke finnes noen samvariasjon.

Det er utført en slik analyse mellom de ulike områdene i Norge og Sverige, samt de summerte seriene for Norge og Sverige. Resultatene vises i tabell 3.1. Analysen er utført på årsverdier for perioden 1931 – 2002.

Tabell 3.1 Korrelasjon mellom energitilsig (årsverdier) for Norge og Sverige og for de enkelte områdene i hvert land.

	Norge + Sverige	Norge	Område 1	Område 2	Område 3 + 4	Sverige	Sverige N	Sverige MN	Sverige MS	Sverige S
Norge/Sverige	1.00	0.93	0.85	0.79	0.70	0.85	0.81	0.70	0.63	0.53
Norge	0.93	1.00	0.87	0.89	0.77	0.60	0.63	0.51	0.43	0.31
Område 1	0.85	0.87	1.00	0.64	0.41	0.61	0.61	0.54	0.33	0.54
Område 2	0.79	0.89	0.64	1.00	0.69	0.45	0.47	0.30	0.42	0.15
Område 3+4	0.70	0.77	0.41	0.69	1.00	0.42	0.48	0.40	0.36	-0.06
Sverige	0.85	0.60	0.61	0.45	0.42	1.00	0.88	0.81	0.77	0.72
Sverige N	0.81	0.63	0.61	0.47	0.48	0.88	1.00	0.70	0.54	0.58
Sverige MN	0.70	0.51	0.54	0.30	0.40	0.81	0.70	1.00	0.34	0.49
Sverige MS	0.63	0.43	0.33	0.42	0.36	0.77	0.54	0.34	1.00	0.47
Sverige S	0.53	0.31	0.54	0.15	-0.06	0.72	0.58	0.49	0.47	1.00

Tabellen viser varierende korrelasjon med verdier fra ca 0 til 0.7 for enkeltområdene seg imellom og for Norge og Sverige. Høy korrelasjon mellom områder vil si at hvis et område har lavt energitilsig, så vil sannsynligheten for at andre områder også har lavt energitilsig være stor. Høyest korrelasjon innen Norge er det mellom Område 2 og 3 + 4 som har en korrelasjon på 0.69, mens Område 1 og 2 har korrelasjon 0.64. Område 1 og 3 + 4 har lavere korrelasjon med en verdi på 0.41. Område 2 samvarierer godt med både områdene 1 og 3 + 4 og vil ofte være påvirket de samme værtypene som for disse. Områdene 1 og 3 + 4 ligger lengre fra hverandre og har i mindre grad samme variasjonsmønster i årlig energitilsig. I Sverige er det områdene N og MN som har høyest samvariasjon med 0.7. Lavest korrelasjon er det mellom MN og MS med 0.34. De to enkeltområdene innen Norge og Sverige med lavest korrelasjon er Område 3 + 4 i Norge og Sverige S med tilnærmet ingen korrelasjon. Korrelasjonen mellom Norge og Sverige er 0.6.

Seriene for energitilsig i Norge og Sverige er sammensatt (summert) av de ulike enkeltområdene. Korrelasjonen vil derfor naturlig være høy mellom disse seriene og områdene de er sammensatt av. Dette kan for eksempel ses i serien Norge/Sverige (summen av Norge + Sverige), hvor denne har en korrelasjon på hele 0.93 mot Norge.

3.5 Autokorrelasjon og trend i seriene

Det er undersøkt for autokorrelasjon og trend for årsverdier av energitilsig. Ved en visuell inspeksjon av seriene kan det ofte se ut til at ett år med lavt/høyt energitilsig ofte kommer i følge med ett eller to andre tilsvarende år. Denne tendensen kommer ikke frem i autokorrelasjonsplottene. Autokorrelasjonen går ned mot null allerede ved første tidsskritt, selv om det er en (ikke signifikant) tendens til en liten positiv autokorrelasjon med periode ett år. Det vises ingen andre signifikante periodisiteter i seriene. Sverige MS har noen verdier over konfidensgrensen for de 7-8 første tidsskrittene og alle de første verdiene ligger høyt. Run-testen (Gottschalk, 1998) gir ingen indikasjon på periodisiteter i seriene.

For å se på hvor ofte to eller tre hendelser som er mindre (tørrere) enn en 5-års eller 10-års tørke (estimert for årlig energitilsig) kommer etter hverandre, er en enkel opptelling gjennom hele observasjonsperioden gjort. Tabell 3.2 viser resultatene. I løpet av observasjonsperioden har det 2-3 ganger oppstått en gruppering av to påfølgende år med tørkehendelser som har lavere energitilsig enn en 5-års tørke. For gruppering av tre år har vi kun en tilnærmet hendelse (en av verdiene ~ 5-års tørke) i Sverige. Ser vi på grupperinger mer alvorlige enn 10-års tørke, er det kun Norge som har dette med en 2-er gruppering. Disse verdiene gir en indikasjon på hvor ofte slike situasjoner kan oppstå, men grunnlaget er for dårlig til å sikre tall på sannsynligheter.

Tabell 3.2 Antall hendelser i grupper på to og tre år som underskrider henholdsvis 5-års og 10-års tørke.

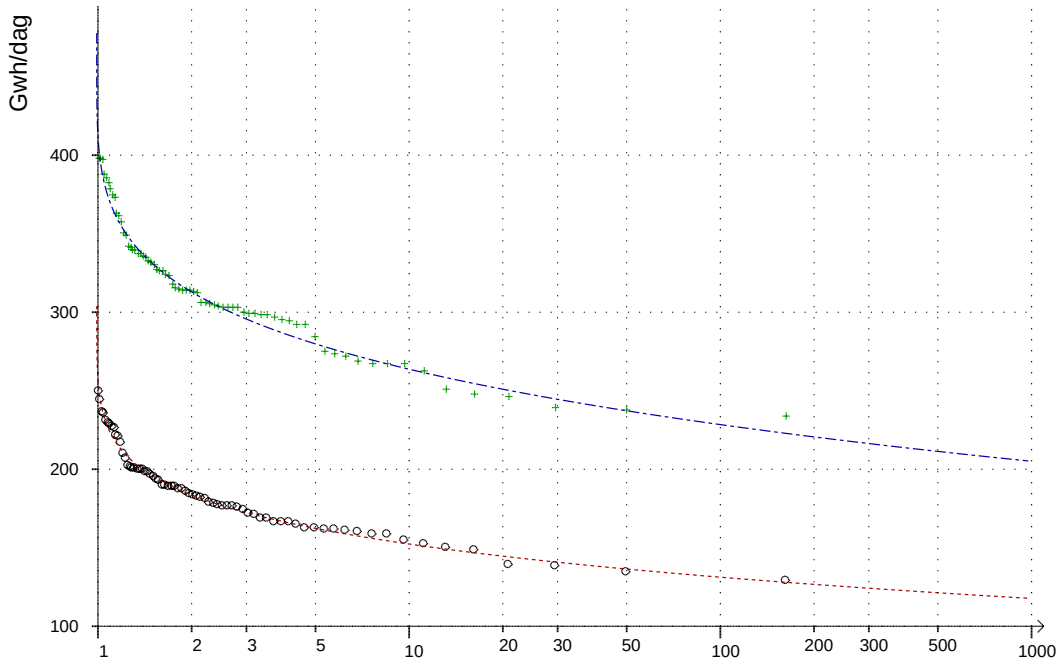
	Ant. hendelser < 5-års tørke		Ant. hendelser < 10-års tørke	
	2 år	3 år	2 år	3 år
Norge + Sverige	3	0	0	0
Norge	3	0	1	0
Sverige	2(3)	(1)	0	0

Trend kan påvises i to av seriene. En enkel trendtest for hele perioden viser en generelt økende tendens for årlig energitilsig. Forventet midlere energitilsig er derfor litt høyere nå enn ved simulert energitilsig på 1930-tallet. Sverige MN er den eneste serien med avtagende trend (ikke signifikant). Trenden er signifikant i seriene for Sverige MS og Norge Område 2 (> 95 % signifikansnivå). I serien Sverige MS ser det også ut til at tilsiget gjør et markert hopp på begynnelsen av 1980-tallet. Trenden i energitilsig kommer i hovedsak fra økt nedbør. Tilsvarende nedbørenergiserier har en positiv trend som er signifikant for de fleste seriene. En av grunnene til at denne trenden ikke gjenspeiles i like stor grad i energitilsigsseriene er at energitilsiget begrenses i ekstremt våte år slik som forklart i Kapittel 3.2. Retningen på trenden vil være følsom for perioden som analyseres. Ved å fjerne noen år i starten eller slutten av en serie kan redusere eller endre retningen på trenden. En trend vil derfor bare gjelde for den perioden som er analysert og kan ikke brukes for ekstrapolasjon fremover i tid.

3.6 Frekvensanalyse på årsverdier og sesonger

Det er gjort frekvensanalyse av gjennomsnittlige årsverdier og ulike sesonger for områdene Norge, Sverige og de enkelte områdene. Perioden 1931 – 2002 ligger til grunn for analysene. Når det refereres til gjentaksintervaller i teksten under, er det for verdier av tørke hvis ikke annet står nevnt. Det er i de fleste tilfellene en god tilpasning av datagrunnlaget til valgte fordelingsfunksjoner, men i ekstreme deler av halen (> 100-200 års gjentaksintervall) kan usikkerheten være stor.

Figur 3.2 viser kurvetilpasning for Norge og Sverige, mens Tabell 3.3 viser de estimerte gjentaksintervallene. Det er også en viss tendens til at estimert verdi av tørkehendelser er lavere (tørrere) når parametrene til fordelingene er estimert ved momentmetoden sammenlignet med estimater fra ML.



Figur 3.2 Frekvensanalyse av årlig energitilsig for Norge (øverst) og Sverige (nederst). Verdiene er gitt i GWh/dag.

Tabell 3.3 Årlig energitilsig for ulike gjentaksintervall for Norge, Sverige og de enkelte områder. Verdiene er i TWh/år.

	EM	E5	E10	E20	E50	E100	E200	E500	E1000	Tils. 2002
Norge + Sverige	183.0	163.7	154.4	147.2	140.0	135.8	132.4	129.0	127.0	169.0
Norge	115.1	102.4	96.8	92.4	87.7	84.7	82.0	78.9	76.8	111.1
Norge R1	54.8	48.5	45.2	42.4	39.4	37.3	35.5	33.2	31.6	51.2
Norge R2	28.1	23.7	21.7	20.1	18.4	17.2	16.2	15.0	14.2	27.3
Norge R3 + 4	32.1	28.2	26.2	24.7	22.9	21.8	20.7	19.5	18.7	32.6
Sverige	67.9	59.4	55.7	52.9	49.9	48.0	46.3	44.3	43.0	58.0
Sverige N	19.1	16.7	15.5	14.5	13.5	12.8	12.2	11.5	11.0	16.9
Sverige MN	19.4	16.2	14.6	13.2	11.7	10.7	9.8	8.6	7.8	16.5
Sverige MS	18.9	15.8	14.8	14.0	13.2	12.8	12.4	11.9	11.6	14.8
Sverige S	10.5	8.9	8.1	7.5	6.8	6.2	5.8	5.2	4.9	9.8

Tabell 3.3 viser for eksempel at vi må påregne at det i *gjennomsnitt* hvert 10. år vil komme et energitilsig som er lavere enn 96.8 TWh i Norge og lavere enn 55.7 TWh i Sverige eller lavere enn 154.4 TWh i Norge+Sverige. Tilsvarende må vi regne med at det i gjennomsnitt hvert 50. år vil forekomme en situasjon med energitilsig lavere enn 87.7 TWh i Norge, 49.9 i Sverige og 140 TWh samlet. Og dersom vi ser på helt ekstreme situasjoner som en 1000-års hendelse så vil denne gi energitilsig under 76.8 TWh i Norge, 43 TWh i Sverige og 127 TWh samlet. Den siste beregningen er selvsagt svært usikker, men gir en indikasjon på at tilsiget ”flater ut” og ikke blir svært mye lavere selv om en går fra 100 til 1000 års gjentaksintervall.

3.7 Analyse av tilsig og nedbør i 2002

Energitilsiget i Norge og Sverige i 2002 ble henholdsvis 111 og 58 TWh. Dette er i Norge litt under middeltilsig for hele perioden, mens for Sverige tilsvarer dette et år med 5 – 10 års gjentaksintervall. For de enkelte områdene i Norge ligger energitilsiget også her rundt middeltilsig. I Sverige ligger tilsiget i de enkelte områder fra midlere energitilsig og ned til et gjentaksintervall på 10 år. Sverige MS har en ~10 års tørke sett på årsbasis. Det viser at år 2002 ikke på noen måte var et tørrår når en ser på det skandinaviske kraftsystemet totalt sett, men at det grenset mot et tørrår i enkelte områder i Sverige.

Energitilsig i sommersesongen (1/5 – 31/10) er gitt i tabell 3.4. For 2002 ligger dette litt under normalt i Norge, mens i Sverige ligger tilsiget mellom en 20 - 50 års hendelse og mellom 5 – 20 års hendelser for de enkelte områdene.

Tabell 3.4 Energitilsig for sesongen 1/5 – 31/10 for ulike gjentaksintervall. Verdiene er i TWh/år.

	EM	E5	E10	E20	E50	E100	E200	E500	E1000	Tils. 2002
Norge	92.9	83.7	78.7	74.6	70.4	67.7	65.5	63.1	61.6	86.0
Norge R1	43.8	38.6	35.5	32.9	30.1	28.2	26.6	24.8	23.6	39.7
Norge R2	23.0	19.8	18.2	16.9	15.6	14.8	14.1	13.5	13.0	21.5
Norge R3 + 4	26.1	23.2	21.8	20.7	19.6	18.9	18.4	17.8	17.5	24.9
Sverige	52.9	46.0	42.9	40.6	38.3	37.1	36.1	35.2	34.6	39.0
Sverige N	16.4	14.1	13.0	12.0	11.1	10.5	10.0	9.5	9.2	13.8
Sverige MN	14.2	11.9	10.5	9.3	8.0	7.1	6.3	5.4	4.9	8.6
Sverige MS	15.1	12.2	11.3	10.7	10.2	10.0	9.8	9.7	9.7	10.8
Sverige S	7.3	6.0	5.3	4.8	4.3	4.0	3.7	3.4	3.3	5.8

Det er først når tilsiget i løpet av høsten undersøkes at året 2002 blir ekstremt. Det er her sett på fire ulike sesonger: H1: 1/7 – 31/12, H2: 1/8 – 31/12, H3: 1/9 – 31/12 og H4: 1/10 – 31/12. Gjentaksintervaller for de ulike sesongene er gitt i Tabell 3.5-3.8. Energitilsiget i 2002 er gitt i siste kolonne.

Tabell 3.5 Energitilsig for sesong H1: 1/7 – 31/12 for ulike gjentaksintervall. Verdiene er i TWh/år.

	EM	E5	E10	E20	E50	E100	E200	E500	E1000	**Tils. 2002**
Norge + Sverige	88.7	77.2	70.6	65.2	59.2	55.4	52.2	48.6	46.2	**55.1**
Norge	57.6	50.1	46.1	42.9	39.7	37.6	36.0	34.2	33.1	**38.6**
Norge R1	25.9	21.3	19.0	17.2	15.3	14.1	13.2	12.2	11.6	**15.8**
Norge R2	16.0	13.4	12.2	11.2	10.1	9.5	9.1	8.6	8.2	**10.7**
Norge R3 + 4	15.7	13.3	11.9	10.9	9.7	8.9	8.3	7.6	7.2	**12.1**
Sverige	31.1	24.8	21.9	19.7	17.5	16.3	15.3	14.4	13.8	**16.5**
Sverige N	9.8	7.9	6.8	6.1	5.2	4.7	4.3	3.8	3.6	**5.9**
Sverige MN	8.0	6.0	5.1	4.4	3.7	3.4	3.1	2.8	2.6	**3.0**
Sverige MS	8.5	7.1	5.3	4.7	4.2	3.9	3.7	3.5	3.4	**4.1**
Sverige S	4.8	3.5	3.0	2.6	2.2	2.0	1.9	1.7	1.7	**3.6**

Tabell 3.6 Energitilsig for sesong H2: 1/8 – 31/12 for ulike gjentaksintervall. Verdiene er i TWh/år.

	EM	E5	E10	E20	E50	E100	E200	E500	E1000	**Tils. 2002**
Norge + Sverige	63.3	54.1	48.4	43.5	38.0	34.3	31.1	27.3	24.8	**32.8**
Norge	41.2	35.3	31.8	28.9	25.8	23.8	22.1	20.1	18.9	**22.9**
Norge R1	19.0	15.1	13.1	11.5	9.9	8.9	8.1	7.3	6.7	**8.4**
Norge R2	11.3	9.3	8.2	7.4	6.6	6.1	5.7	5.3	5.0	**6.5**
Norge R3 + 4	10.9	8.9	7.9	7.3	6.6	6.3	6.0	5.7	5.5	**8.0**
Sverige	22.1	16.9	14.5	12.6	10.8	9.8	8.9	8.1	7.6	**9.9**
Sverige N	6.3	4.8	4.0	3.5	3.0	2.6	2.4	2.1	2.0	**3.3**
Sverige MN	6.1	4.4	3.6	3.0	2.5	2.2	1.9	1.7	1.6	**2.0**
Sverige MS	6.0	4.2	3.5	3.0	2.6	2.3	2.2	2.0	1.9	**2.4**
Sverige S	3.7	2.6	2.2	1.9	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1	**2.2**

Tabell 3.7 Energitilsig for sesong H3: 1/9 – 31/12 for ulike gjentaksintervall. Verdiene er i TWh/år.

	EM	E5	E10	E20	E50	E100	E200	E500	E1000	**Tils. 2002**
Norge + Sverige	46.7	38.8	34.2	30.5	26.4	23.8	21.6	19.1	17.5	**22.4**
Norge	30.4	25.1	22.2	19.8	17.3	15.7	14.4	12.9	12.0	**15.6**
Norge R1	14.4	11.2	9.5	8.2	6.8	6.0	5.3	4.6	4.2	**5.9**
Norge R2	8.0	6.2	5.2	4.5	3.8	3.3	3.0	2.6	2.4	**4.1**
Norge R3 + 4	8.0	6.1	5.3	4.7	4.2	3.9	3.6	3.4	3.3	**5.7**
Sverige	16.3	12.4	10.6	9.2	7.9	7.1	6.5	5.9	5.6	**6.8**
Sverige N	4.2	3.1	2.6	2.3	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	**2.2**
Sverige MN	4.8	3.4	2.8	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	**1.5**
Sverige MS	4.5	3.2	2.6	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	**1.7**
Sverige S	2.8	1.9	1.6	1.4	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	**1.4**

Tabell 3.8 Energitilsig for sesong H4: 1/10 – 31/12 for ulike gjentaksintervall. Verdiene er i TWh/år.

	EM	E5	E10	E20	E50	E100	E200	E500	E1000	**Tils. 2002**
Norge + Sverige	31.6	25.3	21.9	19.3	16.6	14.9	13.5	12.1	11.2	**13.2**
Norge	20.3	15.9	13.7	12.0	10.2	9.2	8.4	7.5	6.9	**8.7**
Norge R1	9.8	7.3	6.3	5.5	4.7	4.3	4.0	3.7	3.6	**3.9**
Norge R2	5.2	3.6	2.9	2.5	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	**2.3**
Norge R3 + 4	5.3	3.8	3.1	2.6	2.1	1.8	1.6	1.3	1.2	**2.5**
Sverige	11.4	8.5	7.3	6.4	5.5	5.0	4.7	4.3	4.1	**4.5**
Sverige N	2.8	2.1	1.8	1.5	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	**1.4**
Sverige MN	3.5	2.4	2.0	1.7	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	**1.1**
Sverige MS	3.1	2.2	1.8	1.6	1.3	1.2	1.1	0.9	0.9	**1.1**
Sverige S	2.0	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	**1.0**

Hendelsen for tørkeperioden høsten 2002 er mest ekstrem i Sverige, men også Norge hadde lavt tilsig. Generelt blir tørken mer ekstrem jo senere sesongen er definert på høsten. For Norge er hendelsen en 50 -100 års hendelse for H1 og en 100 – 200 års hendelse for H4. I Norge er det område 1 som er hardest rammet. Midt- og Nord-Norge er også tørre, men i mindre grad enn for Sør-Norge. I Sverige er tendensen den samme som for Norge. Tørken blir mer ekstrem jo senere på høsten sesongen er definert. For H1 utgjør tørken en ~100 års tørke, mens for H4 har tørken et gjentaksintervall på mellom 200 – 500 år. Det er områdene Sverige MN og Sverige MS som er relativt sett hardest rammet.

3.8 Analyse av flere tørre år i serie

Ved å se på middelverdier på 2 og 3 år, kan man si noe om sannsynligheten for flere tørre år på rad og forventet samlet energitilsig. Det er kun sett på middelverdier begrenset av kalenderår. Ved å kjøre ett glidende middel kan mer ekstreme perioder enn de definert ved kalenderår fremkomme. For eksempel vil tre års midlet i Norge for perioden 1939 – 1941

være 97 TWh/år, mens et glidende middelverdifilter definerer perioden fra uke 33 1939 – uke 32 1942 som den tørreste 3-års hendelse i datamaterialet. Dette gir et 3-årsmiddel på lave 91 TWh/år. Det er derfor verdt å merke seg at dette kan gi store utslag. Denne ene hendelsen av glidende middel er

ekstrem i datasettet. Forventede energitilsig med slike gjentaksintervaller er gitt i tabell 3.9 og 3.10 for henholdsvis 2- og 3-års middelverdier. Ved å midle over to og tre år tillegges seriene autokorrelasjon (avhengighet mellom år dekket av midlingsperioden). Det er ikke forsøkt å korrigere gjentaksintervallene for autokorrelasjonen i seriene, og gjentaksintervallene vil derfor ikke være reelle. Uten at der er forsøkt å estimere dette vil trolig verdiene for ekstreme hendelser bli noe lavere hvis det tas hensyn til autokorrelasjonen.

Tabell 3.9 Midlere 2-års energitilsig med ulike gjentaksintervall. Verdiene er i TWh/år.

	EM	E5	E10	E20	E50	E100	E200	E500	E1000
Norge + Sverige	183.0	169.6	162.4	156.7	150.8	147.2	144.2	140.9	139.0
Norge	115.1	105.7	101.0	97.4	93.7	91.5	89.8	88.0	86.8
Sverige	68.0	62.0	59.3	57.2	55.2	54.1	53.2	52.3	51.8

Tabell 3.10 Midlere 3-års energitilsig med ulike gjentaksintervall. Verdiene er i TWh/år.

	EM	E5	E10	E20	E50	E100	E200	E500	E1000
Norge + Sverige	183.0	172.4	167.0	162.7	158.3	155.7	153.6	151.3	149.9
Norge	115.1	108.0	104.5	101.8	99.1	97.5	96.2	95.0	94.2
Sverige	67.9	63.2	61.0	59.3	57.6	56.7	55.9	55.2	54.7

3.9 Frekvensanalyse av tørkehendelser under en terskel

Det er her sett på henholdsvis volum, minimum og varighet. Varighet viste seg vanskelig å modellere pga. månedsoppløsning på dataene. Det er derfor kun skissert hvordan varigheten oppfører seg. Som utgangspunkt for valg av terskel er 80-persentilen valgt. En oversikt over 80 persentilen for de ulike seriene er gitt i tabell 3.11. Tabellen viser for eksempel at for Norge er tilsiget i gjennomsnitt 8 av 10 dager i vinterhalvåret (1/11-30/4) større eller lik 56 GWh. Det er i flere tilfeller valgt å forandre på terskelverdien for å få en bedre tilpasning til fordelingsfunksjonen. Det har også vært viktig å dele opp seriene i sesonger siden energitilsiget er sesongavhengig med lavt tilsig i vintermånedene og høyt tilsig under snøsmeltingen.

Tabell 3.11 80-persentilen for energitilsig til ulike områder og sesonger. Verdiene er i GWh/døgn.

	1/1 - 31/12	1/5 - 31/10	1/11 - 30/4	1/7 - 31/12	1/8 - 31/12	1/9 - 31/12	1/10 - 31/12
Norge	90.7	308.6	56.0	169.1	154.1	139.8	126.9
Norge R1	41.4	129.5	29.1	74.2	69.1	66.4	56.7
Norge R2	16.9	82.4	9.0	41.8	37.1	31.5	25.7
Norge R3 + 4	23.4	78.0	14.6	43.9	39.0	35.0	29.9
Sverige	63.0	149.7	49.7	89.2	83.8	81.0	75.5
Sverige N	11.1	41.3	9.5	20.9	19.2	18.2	16.8
Sverige MN	18.4	34.8	14.5	23.2	21.8	21.9	21.8
Sverige MS	16.0	39.0	12.7	23.9	21.5	20.7	18.8
Sverige S	12.0	20.9	9.9	14.5	13.9	13.7	13.0

Det er gjort ekstremverdianalyse av volum og varighet på de samme sesongene som er undersøkt for middelverdier. Siden det er sett på volum under en terskel, er dette volumet ikke noe som kan relateres direkte til årlig energitilsig. Det er derfor ikke tatt med tabeller, og heller prøvd å gi en skriftlig fremstilling.

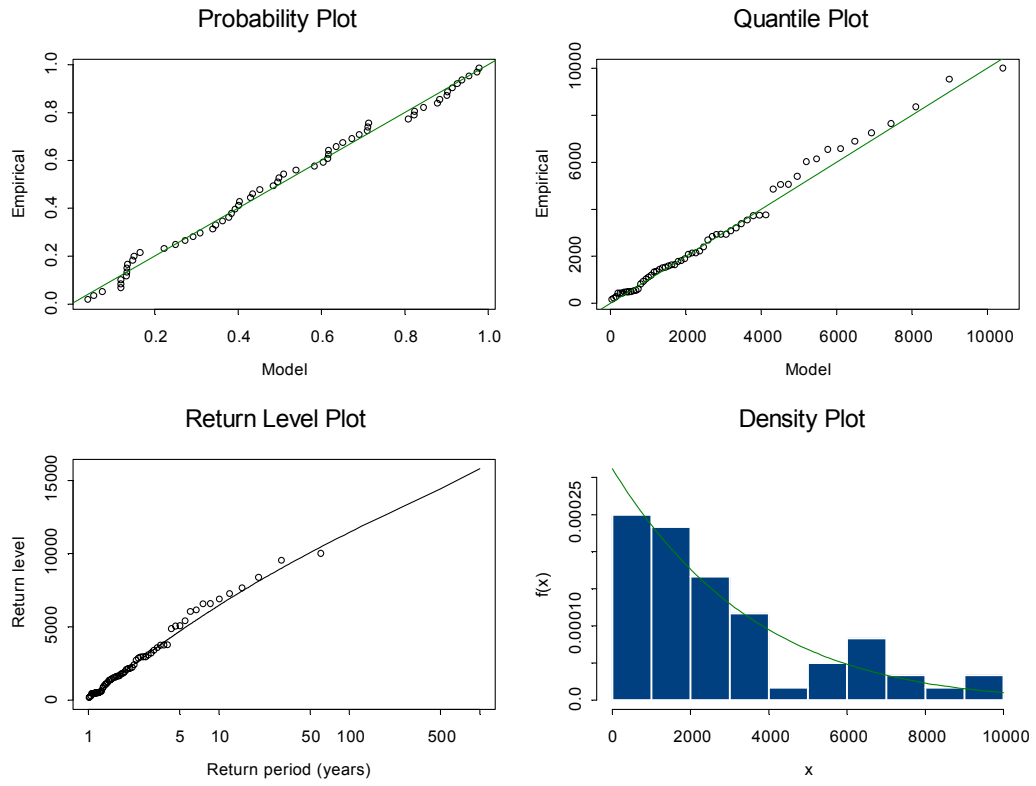


Fig 3.3. Tilpasning av GDP-fordelingen til underskuddsvolum for Norge i sesongen 1/5 – 31/12. Verdiene er volum i GWh under en gitt terskel (80-persentilen).

For Norge og Sverige er det gjennomgående for alle høstsesongene, H1, H2, H3 og H4 at 2002 er det året med størst underskuddsvolum i observasjonsperioden. Dette gjelder også for Område 1 i Norge og Sverige MN. For Sverige MS er 2002 den nest største hendelsen. I Sverige S, Midt- og Nord-Norge var ikke 2002 spesielt ekstremt.

Gjentaksintervallet for de undersøkte sesongene i 2002 gjenspeiler det som er funnet ved analysen av middelverdier. I sommersesongen er hendelsen rundt en 20 – 50 års hendelse og litt mindre for enkelte av områdene. Dette kommer av at underskuddet på høsten var intenst og er bestemmende for volumet. Sesongene H1 – H4 har i Sverige et gjentaksintervall på mellom 50 – 200 år. Samme sesonger i Norge gir gjentaksintervaller fra 50 år (H4) og oppover. Underskuddsvolumet for sesongene H1 – H3 er ekstremt og kan synes å falle utenom fordelingens gyldighetsområde. GPD-fordelingen har problemer med å få en god tilpasning, og det kan se ut til at høye gjentaksintervall underestimeres. Gjentaksintervallene er trolig for høyt (> 200 år) for Norge i disse sesongene.

Varigheten er vanskelig å modellere da det er månedsverdier som analyseres. I Norge og Sverige er varigheten av tørke i tilsiget kortvarig relativt til andre deler av verden. Det er også et problem at

energitilsiget er sesongavhengig, og det viser seg at det ikke holder med å dele opp i to sesonger. Innen disse sesongene vil det også være en avhengighet av når på året tilsiget undersøkes.

I sommersesongen er varigheten relativt kort og ligger på rundt 3 mnd som maksimum (fire for Sverige MN i 2002). Dette kommer vel av at månedene mai og juni inneholder snøsmelting, og energitilsiget er høy. Lavt tilsig vil derfor inntreffe i perioden juli – oktober hvert år. 2002 er en gjenganger for det året med lengst varighet av tilsig under 80-persentilen. Dette er med unntak av Nord-Norge og Sør-Sverige hvor varigheten var mindre ekstrem.

Sesongene H1 – H4 har mye av samme tendensen som for sommersesongen. Det er også her en trend i at energitilsiget avtar fra tidlig på høsten og mot nyttår. Lavt energitilsig vil derfor i de fleste tilfellene komme siste månedene i sesongen. I sesongen for H1 ligger maksimum registrert varighet på 3 – 4 måneder. Sverige MN har en varighet på 5 måneder, som er registrert i 2002. 2002 ligger også her som ett av de årene som det er registrert lengst varighet av tilsig under 80-persentilen.

Det er derfor bare å registrere at høsten 2002 var et ekstremt år når volum og varighet under en gitt terskel analyseres. Det er spesielt områdene område 1 i Norge og Midt-Sverige som er hardest rammet sett i lys av gjentaksintervaller estimert for disse stedene.

3.10 Analyse av høsten 2002 basert på observerte nedbørdata

Vi har sett på månedssummer for 5 punkter (nedbørsfelt) i Norge fra august tom desember 2002, og plukket ut de minimumsverdier for varighetene 60, 90, 120 og 150 dager og sammenliknet disse verdiene med en minimums ekstremverdi analyse av nedbør for de samme varigheter og sesong. De fem områdene (nedbørfelter) er fra Øst Norge: Knappom og Atnasjø, Midt Norge: Gaulfoss, og Sør Norge: Gjerstad og Eggedal. Nedbørstasjonene som er brukt leverer input til for den hydrologiske modell som er kalibrert for de nevnte felter.

Inntrykket av tabell 3.12 er at høsten 2002 for Sørøst Norge (Region 1) var tørrere enn normalt, men ikke spesielt dramatisk i så måte og kan sammenlignes mhp gjentakstider for avrenning beregnet av Hisdal et al. (2003). Fra tabellen over, ser vi at gjentakstidene er ganske like for alle områder. Dette kan bety at hendelsen høsten 2002 var ekstrem i den forstand at usedvanlige store områder ble berørt. Det kreves en større analyse enn denne for å besvare det spørsmålet, men tidligere studier av meteorologisk tørke antyder at den romlige korrelasjonen av meteorologiske tørkehendelser normalt er høy over lange avstander (Perzyna, 1993, Hisdal, 2002).

Tabell 3.12 Estimering av gjentakstider for observert nedbør for forskjellige varigheter

Nedbørfelt	Varighet (dager)	Obs. min. (døgnmiddel mm), z	Gjentakstid (år)
Knappom nedbørst.: 7010-Rena-Haugedalen	60	1.21	$z_m < z < z_5$
	90	1.74	$z_m < z < z_5$
	120	1.55	$z_5 < z < z_{10}$
	150	1.61	$z_5 < z < z_{10}$
Atnasjø nedbørst.: 13420-Venabu	60	1.02	$z < z_m$
	90	1.35	$z_m < z < z_5$
	120	1.32	$z_5 < z < z_{10}$
	150	1.30	$z_{10} < z < z_{20}$
Gaulfoss nedbørst.: 68340-Selbu	60	1.01	$z_m < z < z_5$
	90	1.25	$z_5 < z < z_{10}$
	120	1.87	$z_m < z < z_5$
	150	1.84	$z_5 < z < z_{10}$
Gjerstad nedbørst.: 36560-Nelaug	60	2.51	$z_m < z < z_5$
	90	4.17	$z < z_m$
	120	4.01	$z_m < z < z_5$
	150	3.79	$z_m < z < z_5$
Eggedal nedbørst.: 24880-Nesbyen	60	0.98	$z < z_m$
	90	1.23	$z < z_m$
	120	1.26	$z_m < z < z_5$
	150	1.21	$z_m < z < z_5$

4. Scenarier for mulige ekstreme tørrår

4.1 Innledning

De dataserier som er brukt her og som vanligvis benyttes ved analyse av kraftsystem og produksjonsplanlegging dekker i dag vanligvis tidsrommet fra 1931 i Norge og fra 1950 i Sverige. Årsaken til at en ikke går lengre tilbake er tosidig:

- Det er vanskelig å skaffe tilveie gode tidsserier for vannføring for mange nok stasjoner dersom en går langt tilbake i tid.
- Hvis klimaet endrer seg kan det være spørsmål om gamle dataserier er like relevant som de nyere seriene, og om svært gamle serier virkelig bringer inn relevant informasjon.

Det første av disse to ”ankepunkter” er nok det som har hatt størst betydning. Til det andre vil vi her si at vi generelt mener at det er best å bruke lengst mulige tidsserier for å få fram informasjon særlig om ekstremhendelser. Som vi skal drøfte i større detalj senere kan det absolutt diskuteres om vi ser resultatet fra en klimaendring i dagens (og gårsdagens) tilsigsdata, og vi ser ingen grunn til å forkaste data fordi de er for gamle, snarere tvert imot. Ved å analysere gamle serier med observasjoner kan vi få fram et bedre sammenligningsgrunnlag for å vurdere dagens data og vurdere hvor ekstrem for eksempel høsten 2002 var.

I dette kapitlet vil vi legge fram resultater fra en del undersøkelser som kan benyttes for å vurdere sannsynlighet for å få mer ekstreme hendelser enn de som ”tilfeldigvis” inntraff i perioden 1931-2002. To grupper av ”data” er benyttet: historiske nedtegnelser og såkalte regionale indeksserier.

4.2 Historiske nedtegnelser

4.2.1 Skriftlige kilder forut for systematiske observasjoner

Den viktigste kilden til informasjon om naturskade i Norge i Dansketida og på 1800-tallet ligger i skattelister, i avtaksforretninger og amtmannsarkivene som finnes i Riksarkivet og i Statsarkivene i ulike landsdeler. Regjeringen hadde lite penger, og omfattende skade ble gjerne kompensert med reduksjon eller avtak i skattene permanent eller for noen år. De største skadene skyldes helst flom og skred, men år med total avlingssvikt på grunn av kulde eller tørke kunne også føre til avtak. Etter krisetiden rundt Storofsen (1789) ble det også opprettet kornmagasiner i ulike bygder for å forsyne allmuen med livsnødvendig korn. Tørke alene er det sparsomt med opplysninger om i disse kildene.

En viktig kilde til informasjon om klimavariabilitet finner vi i gamle gårdsdagbøker. Mange bønder var skriveføre tilbake på 1700-tallet og på enkelte gårder ble det i kortere eller lengre tid ført dagbøker der opplysninger om værforhold og avlinger er skrevet ned. Dette materialet er utnyttet til å rekonstruere sommertemperaturen på Østlandet og Nord-Vestlandet tilbake til første halvdel av 1700-tallet basert på opplysninger om kornavlingene (Nordli 2001, Nordli et al. 2002). Disse dagbøkene inneholder opplysninger om år da avlingene sviktet på grunn av tørke. Ved å sette sammen opplysninger fra ulike landsdeler framtrer mønstre da det i enkelte år har vært avlingsvikt over store områder. Det er også eksempler på avlingssvikt på grunn av tørke avgrenset til enkelte landsdeler, med mye nedbør andre steder. Gårdsdagbøkene beskriver vesentlig landbrukstørke, det vil si tørke som rammer i bestemte perioder vår og sommer. Et større problem for jordbruksproduksjonen var grøn-

eller svartårene, det vil si år med lav temperatur og mye nedbør, eventuelt med frostperioder i vekstsesongen. Det historiske materialet gir mer opplysninger om slike år, som neppe ville være tørrår i et kraftverkhydrologisk perspektiv unntatt i de mest ekstreme årene med minimal snøsmelting og akkumulasjon av snø i fjellet.

I flere bygdebøker og historielagsskrifter er informasjonen stilt sammen fra flere kilder til å gi en kronologisk oversikt tilbake til den lille istiden. Som eksempel på gode sammenstillinger kan nevnes Bygdeboken for Inderøy i Nord-Trøndelag som bygger på Rolsboken og bygdeboken for Sunnylven som bygger på gårdsdagboken fra Ørjaseter i Geiranger, men det finnes liknende sammenstillinger fra en rekke andre distrikter, spesielt på Østlandet og i Trøndelag, men også fra Vestlandet. Det er brukbar dekning tilbake til og med 1700-tallet, men også mer spredte opplysninger fra 1600-tallet som nok var mer kritisk enn det påfølgende århundre.

4.2.2 Tørrår før målingene startet

De må ha vært en kald og tørr periode mellom 1773 og vinteren 1788/89 før Storofsen. I de mellomliggende årene var det bare små vårflommer i Glomma. En liknende tørr periode ser det også å ha vært i de ekstreme årene først på 1740-tallet, da breene nådde sin maksimale utbredelse under den lille istiden. Riktignok var det en stor regnflom i nedre del av Glomma i 1740 og en kjempeflom på Vestlandet i 1743, men det fortelles også om vedvarende tørr og sur vind fra øst på Vestlandet i 1741, og det var en betydelig avlingssvikt i 1740-42 med stor overdødelighet i disse årene. Vi vet fra Nordfjord og Sunnmøre at det var et stormfullt og meget ustabilt vintervær med kolossal nedbør på Nordvestlandet og stor akkumulasjon av snø i høyfjellet. Fra Østlandet er det mange beretninger om problemene i denne perioden.

En periode som ser ut til å ha vært spesielt tørr i Glomma og antagelig i store deler av de sentrale fjelltraktene, er 1830-årene. Dette kan til dels skyldes sommertørker, men i et av årene skal vannføringen i Glomma i Solør vært ekstremt lav, noe som tyder på underskudd over lenger tid. På Sunnmøre falt det ikke regn mellom 14.mai og 23. juli i 1831. Det var alvorlig tørke i Glomma, både i Østerdals- og Gudbrandsdalsgrenen og likeså i Trøndelag. Det tørreste året i Solør skal ha vært i 1832 eller helst i 1833. Det var også sommertørker i Gudbrandsdalen i 1837, 1838 og 1839, verst i 1838. Tørken i 1839 er også notert på Oppdal. Den lengste sammensatte dataserien for Sarpsfossen viser at det var tørt i 1847 og i treårsperioden 1855-57.

4.2.3 Observerte data

Databasen Hydra II ved NVE inneholder vannstandsdata enkelte steder tilbake til høsten 1846. I analysene av kraftproduksjonen brukes i dag tilsigsdata fra 1930 og framover. Forut for 1930 finnes det således data på en rekke stasjoner som også gir opplysning om år og sesonger med lavt tilsig. De eldste opplysningene som kan brukes i å vurdere tilsigsvariabilitet er en sammensatt serie for totalvannføringen ved Sarpsfossen som starter i 1847, men det er også andre serier som starter på slutten av 1800-tallet. Det er betydelig usikkerhet knyttet til de eldste seriene, fordi de bygger på vannføringskurver som er etablert noen tiår etter at vannstandsobservasjonene ble startet opp. De har også vært nødvendig å fylle i hull i seriene, og det vil mangle isreduksjon i de eldste seriene. Likevel gir de gamle seriene mye opplysninger om forekomst av tørrår. Med et par unntak går de eldste

nedbørobservasjonene til Meteorologisk institutt tilbake til 1866. Det ble opprettet et landsomfattende nett av nedbørstasjoner i 1895. Nedbørdata foreligger på digital form for hele nettet i form av måneds- og årssummer. Mye arbeid er nedlagt i homogenisering av disse seriene (Hanssen-Bauer & Førland 1994). Døgnverdiene foreligger digitalt først fra 1957. Nå er det derfor gjort tilbakeregistrering av døgnverdier for vel 50 nedbørserier for perioden 1895-1956, og flere serier blir etterregistrert.

4.3 Regionale indeksserier

4.3.1 Teoretisk grunnlag

Ved å sammenlikne avløpet på nærliggende stasjoner ser vi ofte store likheter i variasjonen over tid bortsett fra størrelsen av observerte verdier. Forskjellen i størrelse kan det korrigeres for ved å skalere hver enkeltserie basert på seriens statistiske egenskaper som middelverdi eller standardavvik over en fast standardperiode. De resulterende indeksseriene kan brukes til å danne regionale indeksserier ved å midle verdien for hvert år for alle indeksserier med en liknende variasjon over tid. Disse ligger vanligvis innenfor en avgrenset geografisk region.

Det standardiserte middelavløpet $SQ_{m,i}$ ved stasjon nr i innen region nr m er definert som det observerte avløpet ($Q_{m,i}$) dividert på standard normalverdi for 1961-1990 stasjonen ($QN_{m,i}$):

$$SQ_{m,i} = Q_{m,i} / QN_{m,i}$$

Denne definisjonen brukes på serier med årsmidler, sesongmidler og månedsmidler. Sesong- og månedsmidler beregnes ved divisjon på middelverdien for aktuell sesong eller måned. Disse standardiserte seriene utgjør grunnlaget for å dele datasettet opp i grupper med liknende samvariasjon.

Graden av samvariasjon mellom de ulike enkelte indeksseriene kan kvantifiseres ved krysskorrelasjonen mellom hver serie eller som kvadratsummen av euclidiske avstander. Homogene grupper eller regioner kan identifiseres ved multivariabel analyse, som Prinsipal Komponent Analyse (PCA) og/eller Clusteranalyse (Hanssen-Bauer & Nordli, 1998).

Det regionale standardiserte avløpet SQ_m beregnes som middelverdien av de n lokale standardiserte seriene til region m (Hanssen-Bauer & Nordli, 1998).

$$SQ_m = 1/n \cdot \sum_{i=1}^{n} SQ_{m,i}$$

Ved å standardisere seriene på denne måten er det enkelt å ekstrapolere tidsseries i m^3/s, l/s km^2 og mm per år eller sesong på vilkårlige steder dersom den lokale middelverdien er kjent.

4.3.2 Regionale analyser

Førland et al. (2000) har undersøkt langtidsvariasjonen i lange observerte temperatur-, nedbør- og naturlige avløpsserier og tilsigsserier i regulerte vassdrag for årsverdier og sesongverdier. Temperaturseriene dekket perioden 1876-1997, nedbørseriene 1896-1997 og avløpsseriene 1924-1990. Norge ble inndelt i 6 regioner med liknende samvariasjon av temperatur, 13 regioner for nedbør og 13 regioner for avløpet/tilsiget. Det ble beregnet standardiserte indeksserier for hver region basert på at data fra enkeltstasjoner ble standardisert på stasjonens middelverdi for siste normalperiode. De regionale indekseriene er senere forlenget fram til og med 2001. Avløps/tilsigsseriene er forlenget

bakover i tid så langt datagrunnlaget gjør dette tilrådelig. Enkelte meget lange serier er sammenholdt med de regionale seriene for å undersøke om de lengste seriene er representative for avløpsvariabiliteten innenfor regionen. De regionale seriene er undersøkt med hensyn på trender og sprang. Seriene er velegnet til å identifisere tørrår relatert til normalavløpet i siste normalperiode.

Basert på avløpsdata fra uregulerte nedbørfelt og tilsigsdata for perioden etter regulering er det beregnet utvidete regionale tilsigsserier for 9 regioner i Norge. De regionale tilsigsseriene er beregnet for årsmidler for kalenderåret og for de fire årstidene definert ved:

vinter: desember-februar
vår: mars-mai
sommer: juni-august
høst: september-november

I Vedlegg 1 er det satt opp en oversikt over regionene som det foreligger indeksserier for. Regionsinndelingen avviker noe fra den som er vist i Førland et al. (2000) fordi det viste seg gunstig å skille mellom kystnære nedbørfelt og felt i fjordene og innlandet i Vest-Norge. For hver indeksserie er de 10 tørreste årene identifisert og underskuddet er beregnet i forhold til siste normalperiode for året og aktuell sesong, se Vedlegg 2. Det er foretatt lavvannsfrekvensanalyse på års- og sesongmidlene, basert på ”General Extreme Value”- fordelingen. Parametrene er estimert ved ”Probability Weighted Moment (PWM)”- metoden.

De 10 våteste årene og sesongene er også identifisert for hver region. Ved å sammenholde de tørre og våte årene i ulike regioner ser vi hvordan dominerende retning av lavtrykksbaner må ha vært i ulike år og sesonger. I den påfølgende oppsummeringen er det oppgitt regionale års- og sesongverdier for utvalgte tørrår. Verdiene er bare nevnt hvis de faller blant de 10 tørreste årene i regionen for aktuelt år og sesong. I tillegg oppgis ordensnummeret til året når verdiene er sortert i stigende rekkefølge.

4.3.3 Tørrår i perioden før 1930 dekket av regionale indeksserier

Det var meget lavt årsavløp i Glomma i 1875 og i 1880. Nedbørdata fra Meteorologisk institutt viser at 1875 hadde et betydelig nedbørunderskudd på Sørlandet og Vestlandet i tillegg til Østlandet. Året er et av de mest ekstreme i dataseriene. Riktignok rangeres året bare som det fjerde tørreste i Glomma, men underskuddet i andre landsdeler ser ut til å gi underlag for å hevde dette. Flere av de andre årene på 1870-tallet ser også ut til å ha vært tørre ut fra de eldste nedbørdataene til Meteorologisk institutt. Det er dårligere med nedbørdata for 1880.

1915: Årstilsiget var lavt fra Sørlandet til Nordland med unntak av Midt-Norge. På Sørlandet var tilsiget 71 % (5, femte tørreste i serien), på Jæren 50 % (1, tørreste i serien), på Vestland-kyst 61 % (2), på Vestland-fjord 67 % (2) og i Nord-Trøndelag-Nordland 78 % (5). Breregionen hadde 71 % (2).

Vinteren hadde underskudd i Nord-Trøndelag-Nordland 33 % (5).

Våren hadde underskudd på Sørlandet 52 % (1), på Vestland-kyst 66 % (9), på Vestland-fjord 51 % (5) i Midt-Norge 44 (2) og i Nord-Trøndelag-Nordland 52 % (2). Breregionen hadde 52 % (1).

Sommeren var det underskudd i Fjellet 42 % (7) og Breregionen 82 % (6).

Høsten var det underskudd i Østland-vest 31 % (4), Fjellet 51 % (3), Breregionen 56 % (5), Vestland-kyst 20 % (1), Vestland-fjord 27 % (1) og Nord-Trøndelag-Nordland 43 % (2).

1927: var et meget spesielt år – ekstremt vått på Østlandet med unntak av desember og tørre, men ikke ekstreme forhold i Vest- og Nord-Norge. I desember var det imidlertid meget tørt på deler av Vestlandet og Sørlandet. 14 kraftverk på Vestlandet måtte stanses på grunn av vannmangel.

4.3.4 Oppsummering om bruk av regionale indeksserier

Regional indekserier for tilsiget er velegnet til å undersøke forekomst og fordeling av tørre og våte perioder over Norge. Generelt er variabiliteten minst i serier som påvirkes av isbreer, og dette illustrerer breenes utjevnende virkning på tilsiget fra år til år. Betraktes hele landet under ett, er variabiliteten i tilsiget mindre enn i enkelte landsdeler. Riktignok har enkelte tørrværsperioder større geografisk utbredelse enn flomperioder, men det vil nesten alltid være områder i Norge der det faller nedbør. Mange store flomepisoder er ledsaget av lavvann på lesiden av fjellkjedene. Dette var tilfelle høsten 2000, men også i det store flomåret 1860 og antagelig under Storofsen i 1789.

Sesongverdiene oppviser betydelig større variabilitet enn årsverdiene fra år til år til tross for at de er beregnet som forholdet mellom årlig verdi og normalverdien for aktuell sesong. Det illustrerer også at tørre perioder som strekker seg over en eller flere sesonger ofte avløses av lengre perioder med fuktig vær innenfor samme år. Slike omslag ser ut til å være ganske vanlige og kan forklare at produksjonspotensialet ikke faller lavere enn det gjør.

4.5 Scenarier av nedbørstørke

4.5.1 Estimering av sjeldne hendelser

For å kunne antyde hvordan nedbørstørke med virkelig høye gjentakstider vil arte seg i forhold til mindre sjeldne tørkehendelser er det laget lange (1000 år) kunstige tidsserier av nedbør for følgende områdene Hedmark (Flisa og Atnasjø), Sør Trøndelag (Gaulfoss), Aust-Agder (Gjerstad) og Buskerud (Eggedal). Tidsseriene er simulert ved hjelp av en Bartlett-Lewis Rectangular Pulse modell (Onof og Wheater, 1993, Skaugen et al. 2002), og nedbørshendelser, intensitet og varighet er stokastisk generert ved at de trekkes fra en statistisk fordeling. Hensikten ved å bruke slike lange stokastisk genererte serier, er at vi da får en lengde på seriene som gjør estimeringen av sjeldne hendelser (gjentaksintervall 100-200 år) sikrere. I tabellene under er ekstremhendelser estimert fra observerte serier, sammenlignet med ekstremhendelser estimert fra simulerte serier.

Tabell 4.1. Sammenligning mellom ekstremverdier estimert fra observert og simulert tidsserie av nedbør for nedbørsfelt Knappom og nedbørstasjon 6040 Flisa.

Knappom		z_m	z_{10}	z_{50}	z_{100}	z_{200}
60 døgn	Simulert	0.85	0.44	0.25	0.20	0.14
	Flisa	1.04	0.39	0.22	0.19	0.17
90 døgn	Simulert	1.15	0.66	0.46	0.39	0.34
	Flisa	1.31	0.58	0.32	0.26	0.22
120 døgn	Simulert	1.30	0.82	0.61	0.55	0.49
	Flisa	1.49	0.72	0.36	0.26	0.18
150 døgn	Simulert	1.53	1.06	0.85	0.78	0.72
	Flisa	1.63	0.83	0.45	0.34	0.25

Tabell 4.2. Sammenligning mellom ekstremverdier estimert fra observert og simulert tidsserie av nedbør for nedbørsfelt Atnasjø og nedbørstasjon 8710 Sørnesset.

Atnasjø		z_m	z_{10}	z_{50}	z_{100}	z_{200}
60 døgn	Simulert	1.09	0.64	0.43	0.35	0.29
	Sørnesset	0.90	0.42	0.19	0.13	0.07
90 døgn	Simulert	1.41	0.90	0.65	0.57	0.49
	Sørnesset	1.25	0.67	0.45	0.40	0.37
120 døgn	Simulert	1.60	1.10	0.86	0.78	0.71
	Sørnesset	1.46	0.95	0.68	0.60	0.54
150 døgn	Simulert	1.85	1.37	1.12	1.04	0.97
	Sørnesset	1.67	1.11	0.78	0.67	0.58

Tabell 4.3. Sammenligning mellom ekstremverdier estimert fra observert og simulert tidsserie av nedbør for nedbørsfelt Gaulfoss og nedbørstasjon 68340 Selbu.

Gaulfoss		z_m	z_{10}	z_{50}	z_{100}	z_{200}
60 døgn	Simulert	1.65	1.03	0.77	0.69	0.62
	Selbu	1.50	0.60	0.18	0.05	0.00
90 døgn	Simulert	2.101	1.37	1.11	1.03	0.96
	Selbu	2.107	1.07	0.66	0.55	0.47
120 døgn	Simulert	2.42	1.67	1.39	1.30	1.23
	Selbu	2.50	1.36	0.91	0.80	0.71
150 døgn	Simulert	2.70	1.95	1.66	1.57	1.49
	Selbu	2.79	1.82	1.44	1.34	1.27

Tabell 4.4. Sammenligning mellom ekstremverdier estimert fra observert og simulert tidsserie av nedbør for nedbørsfelt Gjerstad og nedbørstasjon 36560 Nelaug.

Gjerstad		z_m	z_{10}	z_{50}	z_{100}	z_{200}
60 døgn	Simulert	2.47	1.40	0.94	0.79	0.66
	Nelaug	2.75	1.15	0.78	0.71	0.67
90 døgn	Simulert	3.16	1.99	1.49	1.33	1.20
	Nelaug	3.78	1.80	1.29	1.18	1.11
120 døgn	Simulert	3.73	2.53	2.04	1.89	1.76
	Nelaug	4.51	2.54	2.20	2.14	2.11
150 døgn	Simulert	3.92	2.80	2.32	2.17	2.03
	Nelaug	4.57	2.74	2.30	2.21	2.15

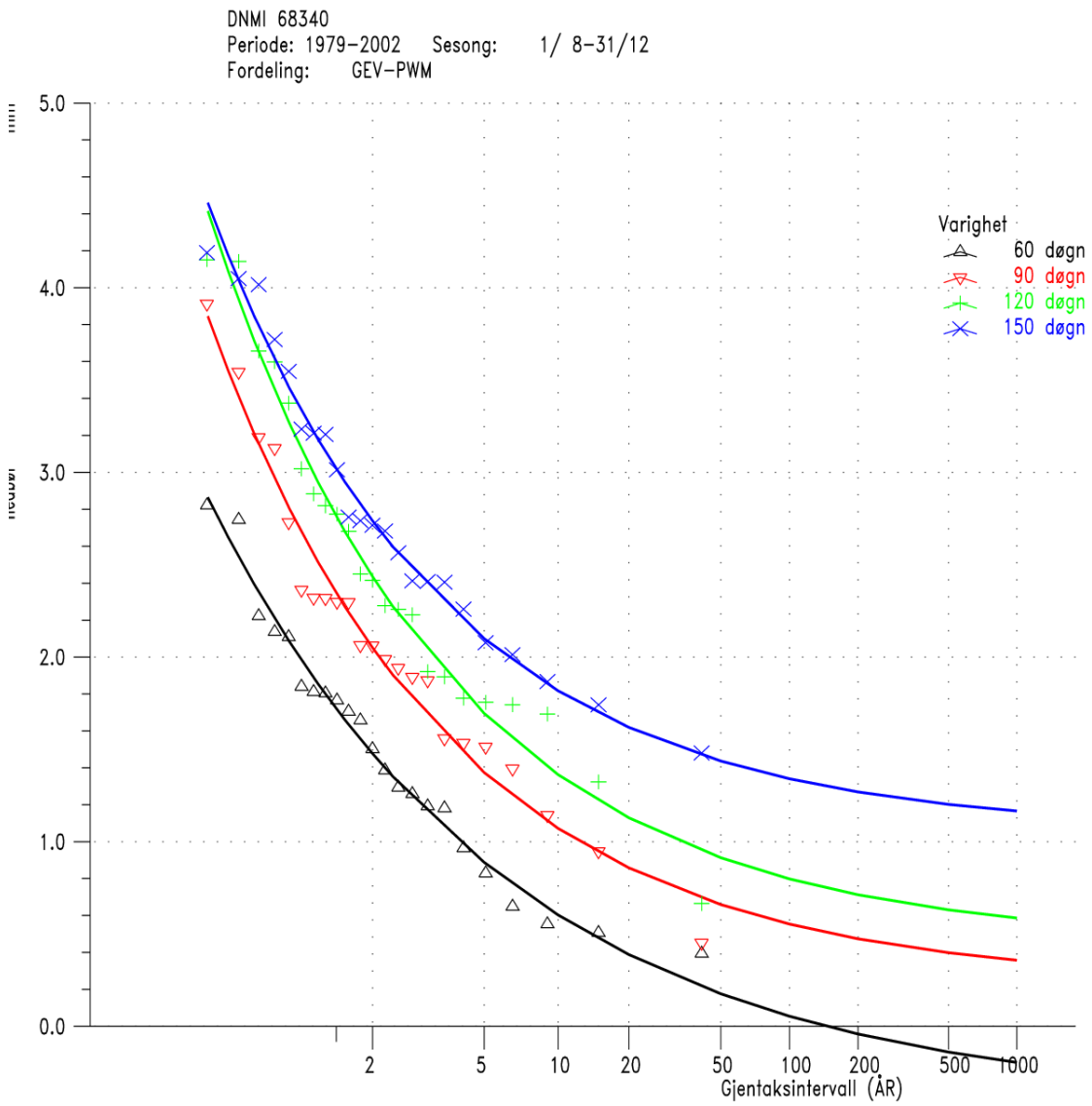
Tabell 4.5. Sammenligning mellom ekstremverdier estimert fra observert og simulert tidsserie av nedbør for nedbørsfelt Eggedal og nedbørstasjon 24880 Nesbyen.

Eggedal		z_m	z_{10}	z_{50}	z_{100}	z_{200}
60 døgn	Simulert	1.03	0.57	0.36	0.29	0.23
	Nesbyen	0.89	0.39	0.13	0.05	0
90 døgn	Simulert	1.40	0.86	0.63	0.55	0.49
	Nesbyen	1.19	0.63	0.45	0.41	0.38
120 døgn	Simulert	1.64	1.08	0.84	0.76	0.70
	Nesbyen	1.45	0.95	0.80	0.76	0.74
150 døgn	Simulert	1.92	1.36	1.11	1.03	0.96
	Nesbyen	1.59	0.97	0.72	0.66	0.61

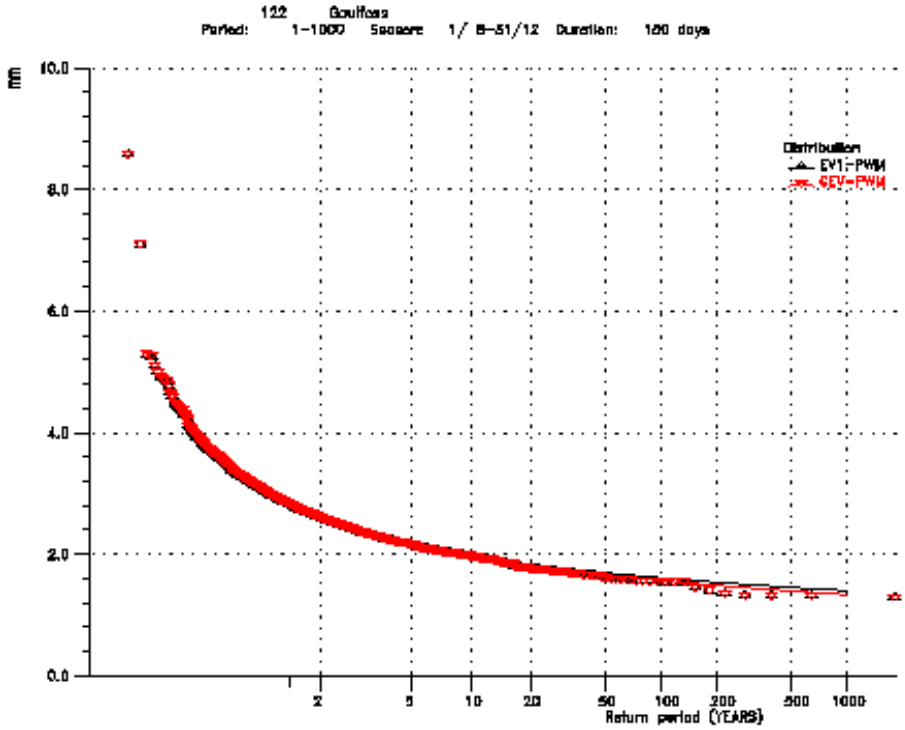
Vi ser fra tabellene 4.1-4.5 at de simulerte seriene i vekslende grad ligner på de observerte. Avviket er imidlertid klart størst for store gjentakstider, og kan ha som årsak at den teoretiske fordelingsfunksjonen (General Extreme Value, GEV) bare i beskjeden grad er tilpasset de sjeldne observasjonene (med gjentakstid mer enn 20 år). Figur 4.1 viser tilpassningen av GEV til de observerte minimumsverdiene av nedbør for stasjon 68340 Selbu**.** Vi ser at avviket mellom teoretisk fordelingsfunksjon og observert er dårlig for høye gjentaksintervall og korte varigheter.

Figur 4.2 viser tilpasningen av samme type fordelingsfunksjon (GEV) for den simulerte tidsserien for Gaulfoss med varighet 150 døgn. Tilpasningen er meget god og antyder at estimater av minimumsverdier med gjentakstid opptil 200 år er mulig. Vi ser videre at minimumsverdiene flater ut for de høye gjentakstidene. Dette er i liten grad tilfelle for de observerte seriene og den teoretiske tilpasningen av dem.

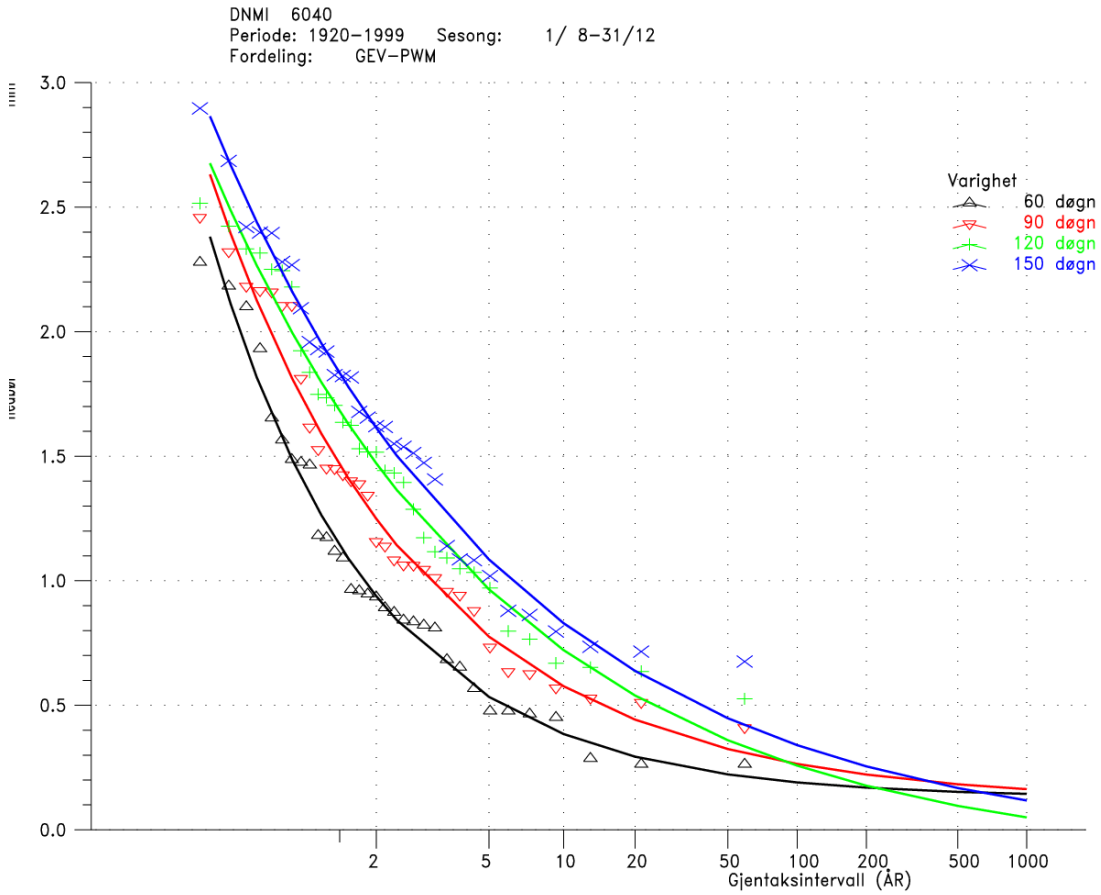
I figur 4.3 er det vist et frekvensplott for 6040 Flisa. Dette er en lang serie (1920-1999), og vi ser at for de observerte punktene er det en utflatning for de høye gjentakstidene som ikke blir reflektert av den teoretiske tilpasningen. Konklusjonen på denne øvelsen blir at de simulerte tidsseriene av nedbør gir et realistisk bilde av minimumsverdier for høye gjentakstider. Der hvor tilpasningen mellom middelverdi og lave gjentakstider (5-10 år) mellom observert og simulert tidsserie er god, kan den simulerte tidsserien anvendes for å estimere minimumsverdier for høye gjentakstider.



Figur 4.1 Tilpasning av ekstremverdi fordeling GEV for minimumsverdier for nedbørstasjon 68340, Selbu.



Figur 4.2 Tilpasning av ekstremverdi fordeling GEV for minimumsverdier for simulert tidsserie av nedbør for nedbørsfelt Gaulfoss.



Figur 4.3 Tilpasning av ekstremverdi fordeling GEV for minimumsverdier for nedbørstasjon 6040, Flisa.

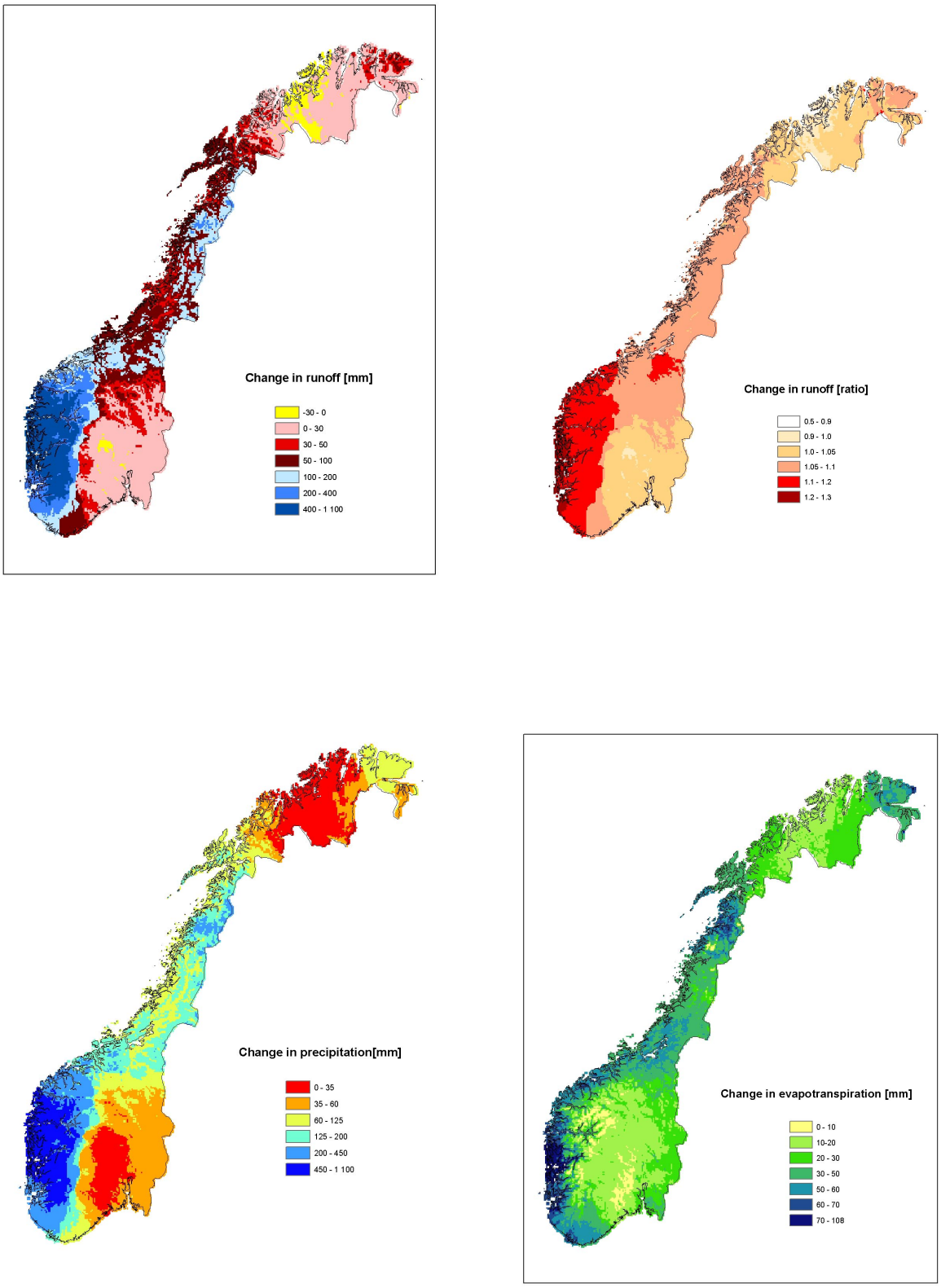
5. Klimaendringer/ klimautviklingen – blir det bedre eller verre?

Vi hører stadig spådommer, grensende til sikkerhet, om at klimaet er under endring, og at vi i løpet av det neste hundreåret vil se en utvikling i Skandinavia mot "våtere og villere" vær. Dette baseres på beregninger med store, globale meteorologiske modeller der dagens trender mhp utslipp av drivhusgasser brukes som "pådrag" og i stor grad vil styre utviklingen. Når det snakkes om at været blir "våtere og villere" er det oftest tenkt på stormer og ekstreme nedbørsituasjoner, noe som i neste omgang forventes å føre til økninger i flomfrekvens og flomstørrelser. Likevel er det også hevdet at frekvensen av tørke kan komme til å øke, selv om nedbøren generelt øker. Vi vil her oppsummere hva som synes kjent og akseptert mhp utvikling av tørke og tørrår, med hovedvekt på forholdene i Norge.

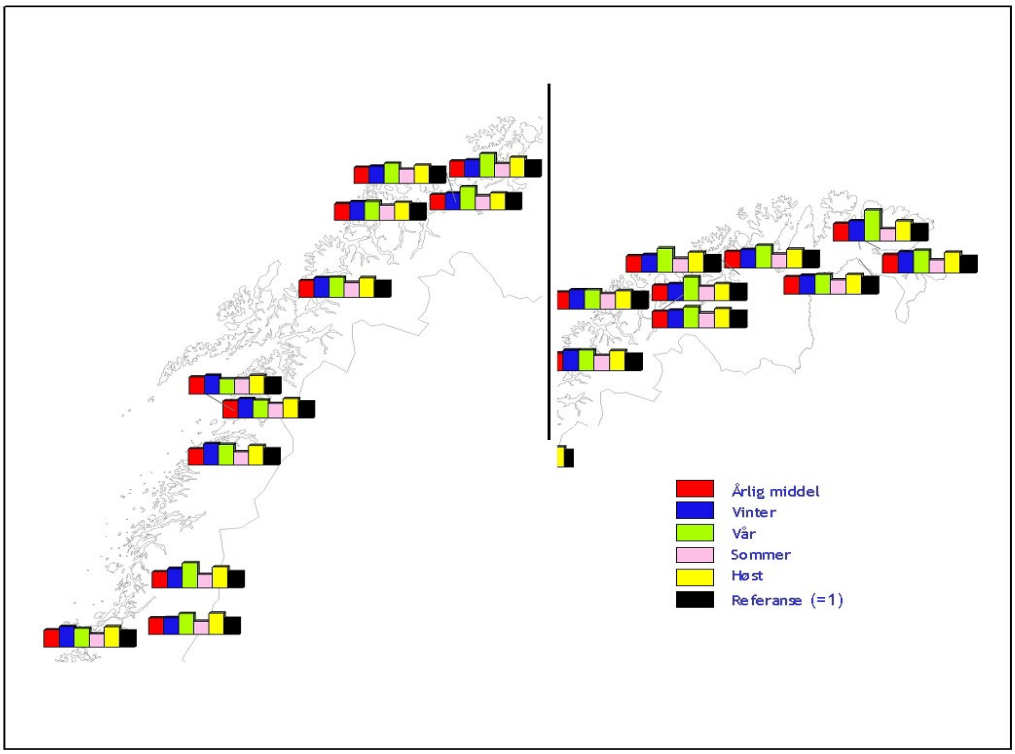
5.1 Scenarier for årene 2030-49

I Roald et al. (2003) er det presentert scenarier for tilsiget i Norge i perioden 2030-49 relativt til årene 1980-99, se figur 5.1 – 5.3. Grunnlaget for scenariene er nedskalerte temperatur og nedbørserier fra 55 klimastasjoner basert på klimascenarier fra RegClim. Disse scenariene bygger på resultater fra den globale klimamodellen ECHAM4/OPYC3 fra Max Plancksenteret i Hamburg (MPI). Globale atmosfæremodeller opererer med en rutestørrelse på rundt 3.5° i bredde- og lengdegrader og med 19 lag i vertikalbeskrivelsen av atmosfæren. Havmodellen opererer med en litt mindre rutestørrelse. Med en slik oppløsning vil landkonturer og topografi bli sterkt utjevnet som vist i figur 5.4. Det er derfor nødvendig å justere resultatet fra de globale klimamodellene til en mer realistisk topografi. I mange undersøkelser som i Sælthun et al. (1988) har observerte klimaserier blitt skalert basert på faste sesongmessige endringer (delta-change metoden). Alternativt kan det etableres statistiske relasjoner mellom observert klima og hva modellene gir (empirisk nedskalering). En tredje metode går ut på å legge resultatene fra globale modeller inn som grenseverdier langs randen på et geografisk avgrenset område der det brukes en regional modell med finere oppløsning til å simulere den mer detaljerte værutviklingen (dynamisk nedskalering). Det er den siste metoden som er benyttet for å generere serier med døgnverdier i Roald et. al (2003).

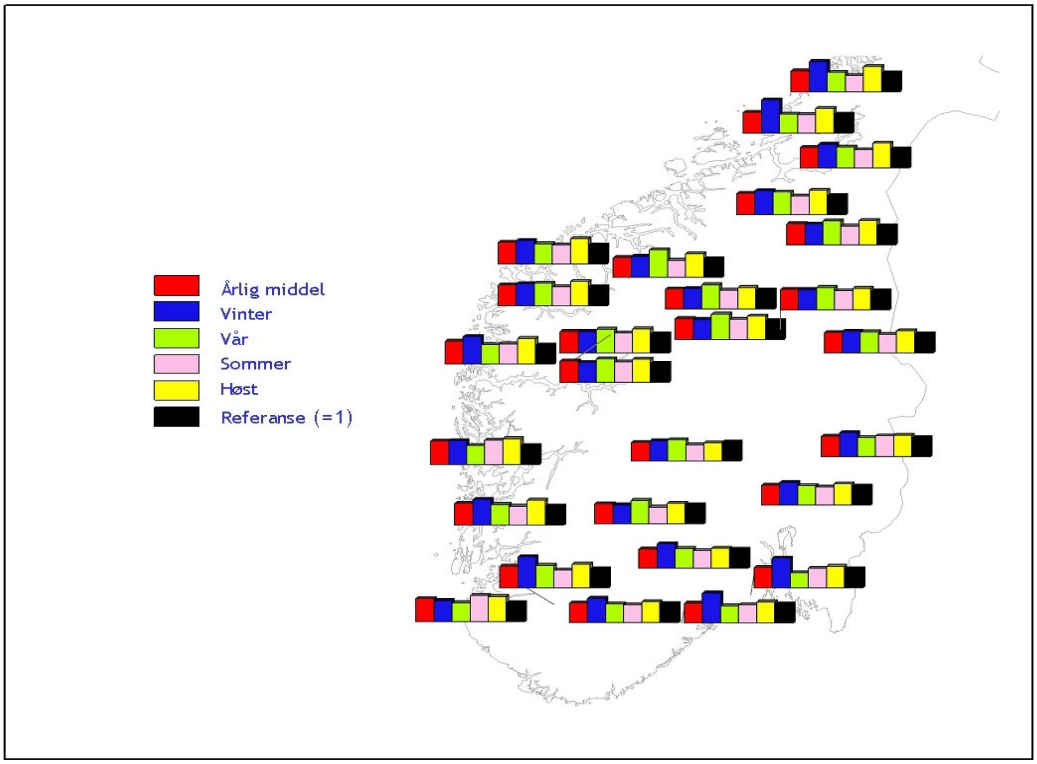
Disse dataseriene representerer et mulig værforløp under de gitte forutsetningene om utslipp, men de kan ikke sammenliknes direkte med observerte værforløp. Derimot bør de statistiske egenskapene i de simulerte under nåtidsforhold stemme rimelig bra med egenskapene til observerte serier. De hydrologiske modellene er kalibrert mot data fra klimastasjoner. Den regionale modellen med en oppløsning på 55 x 55 km² fører også til en utjevnet topografi i forhold til reell topografi i deler av Norge. Modellen beregner verdier typisk for høyden av denne utjevnete overflaten. Der det er dype daler og fjorder, kan derfor punktverdien som skal tilordnes en klimastasjon bli plassert i gal høyde. Eksempelvis kan nevnes at Lærdalsøyri blir plassert i 1200 m høyde. Det er derfor nødvendig å foreta en justering av punktverdiene beregnet av den regionale modellen til de aktuelle klimastasjonene. Tilsiget er simulert på årsbasis basert på den rutenettbaserte GWB-modellen og dessuten for 42 nedbørfelt basert på en tradisjonell HBV-modell. De simulerte dataseriene for kontrollperioden 1980-99 og scenarieperioden 2030-49 foreligger som døgnverdier på HYDRA II og kan brukes i ulike analyser.



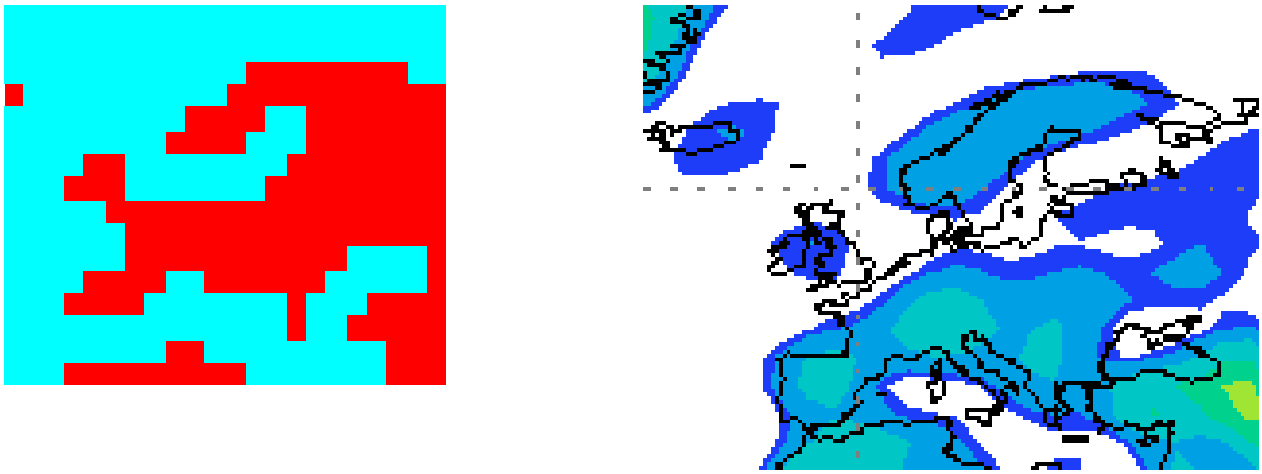
Figur 5.1 Beregnet endring i årsavløpet fra 1980-99 til 2030-49 (i mm og relativt) og endring i årsnedbør og årlig fordampning.



Figur 5.2 Endring i års- og sesongavløpet for utvalgte felt i Nord-Norge.



Figur 5.3 Endring i års- og sesongavløpet for utvalgte felt i Sør-Norge.



Figur 5.4 ECHAM4s beskrivelse av land/ hav og topografi i Europa. Kilde: IPCC, http:ipcc.dcc.cru.ue.ac.uk

20 år med data er svært kort for å gi utsagn om mulige endringer i ekstremverdiene. Frekvensanalyser på simulerte data og på data for kontrollperioden 1980-99 indikerer at tørrværssituasjoner med høyt gjentaksintervall kan bli mer alvorlige enn nå, mens hyppige lavvannssituasjoner kan bli mindre alvorlig enn nå. Sesongfordelingen ser ut til å endre seg i lavlandet ved at tørkehendelser forskyver seg fra vinter mot sommeren og mot færre og mindre alvorlige tørkehendelser i Midt- og Nord-Norge.

I analysene er det så langt lagt resultater fra en global klimamodell og et utslippsscenario til grunn for tilsigsscenariene. Hadley-senteret har gjort simuleringer fram til 2071-2100 basert på sin modell og disse simuleringene ligger til grunn for scenarier utarbeidet ved SWECLIM.

De to modellene gir et avvikende sirkulasjonsmønster, noe som medfører en sterkere nedbørøkning pga mer sørøstlige vinder på Østlandet og den sørlige delen av Vestlandet, men tørrere forhold fra Nord-Vestlandet til Lofoten enn med dagens klima. Begge modellene gir økt snømagasin i de sentrale fjelltraktene i Sør-Norge, Hadley-modellen størst økning.

Eksperimenter med en forbedret havmodell ved Bjerknessenteret i Bergen kan tyde på en sammenheng mellom styrken på termohalinsirkulasjonen og sirkulasjonsmønsteret, se Hanssen-Bauer (2003). Det vil bli beregnet klimascenarier basert på Hadley-senterets modell for noen utvalgte felt i Norge i løpet av høsten. Dersom værmønsteret denne modellen indikerer blir vanligere, vil sannsynligvis så vel tilsiget som flomrisikoen øke på Østlandet, Sørlandet og Sør-Vestlandet, men avta fra Nord-Vestlandet til og med Nordland. Dette vil bli undersøkt i løpet av høsten, og det vil bli beregnet scenariescerier for mer enn 20 år, noe som bør kunne fange opp mer av mulig variabilitet i avrenningen.

6. Beredskap

Tørke er en naturlig hendelse, forårsaket av klimavariasjoner, og kan derfor ikke forhindres. Likevel kan konsekvensene av en tørke på økonomi, miljø og ulike samfunnssektorer reduseres gjennom beredskap. Tradisjonelt har tørke blitt taklet gjennom avbøtende tiltak under eller etter tørkehendelsen. Nye muligheter innen overvåking, varsling og prediksjon som komponenter i en beredskapsplan og risikohåndtering kan redusere de negative konsekvensene av fremtidige tørker. Den grunnleggende komponenten i et varslingssystem er å kjenne tilstanden i sann tid. Dette krever kontinuerlige og landsdekkende observasjoner av ulike variable, så som nedbør, vannføring og tilsig. Kort- og langtidsprognoser av tørke og prediksjon av ulike tørkekarakteristika og deres gjentaksintervall er andre viktige komponenter. Varsling betyr vanligvis estimering av en tilstand i en spesifisert framtid eller for et gitt tidsintervall, mens begrepet prediksjon ofte brukes om estimater av en fremtidig tilstand uten referanse til et spesifikt tidspunkt. I virkeligheten er det ikke noe strengt skille mellom overvåking og varsling, ettersom overvåking av én variabel (for eksempel nedbør) kan benyttes for å varsle en annen (for eksempel tilsig). Det er også en glidende overgang mellom begrepene varsling på kort, på lang sikt og prediksjon.

6.1 Overvåkning - Når kan vi identifisere en tørkeutvikling

En type overvåking som benyttes for tørkevarsling i global skala er satellittbilder. Slike bilder benyttes for å anslå nedbør gjennom sammenhengen mellom kalde skyer og regn. Dessuten sammenliknes den nåværende situasjonen for vegetasjon med tidligere situasjoner slik at en kan beregne en vegetasjons-indeks som sier noe om fuktighetsforholdene. Disse systemene er i bruk i områder hvor bakke-observasjonsnettet er dårlig utbygd, og benyttes bl.a. for å varsle om tørke og muligheter for sultkatastrofer i Afrika.

I USA er det bygget opp et 'integrert tidlig varsling av tørke' (integrated drought early warning system, http://www.drought.unl.edu/dm/monitor.html). Et kart beskriver den nåværende tørkesituasjonen i USA basert på 6 forskjellige tørkeindekser beregnet ved hjelp av observasjoner av for eksempel nedbør og avløp. Det endelige kartet som presenteres er justert basert på informasjon fra lokal ekspertise.

I Norge, med sitt godt utbygde stasjonsnett for meteorologisk og hydrologiske observasjoner, vil det være mulig å fremstille et tilsvarende kart. Om ønskelig kunne en også tenke seg at det ble utarbeidet en tørkeindeks spesielt egnet for vannkraftsektoren.

6.2 Varsling av tørke

Mens mange land i verden har operative flomvarslingssentre, er operasjonell varsling av tørke mer uvanlig. Tørke ble lenge oppfattet som et naturfenomen som bare rammer utviklingsland, som mangler muligheten til å bygge opp sofistikerte varslingssystemer. Temaet har fått stadig mer oppmerksomhet i takt med store økonomiske tap forårsaket av tørke i industrialiserte land og også som en konsekvens av at klimaendringsstudier spår om mer ekstreme hydrologiske forhold (se kapittel 5). Tørke har dermed fått mer fokus i generelle hydrologiske overvåkings- og varlingssentre.

Hydrologisk varsling ved bruk av modeller er basert på sammenhengen mellom hav og atmosfære og landjorda og atmosfæren. På grunn av en tørkes langsomme utvikling i tid og rom er det vanskelig å modellere denne prosessen. Sammenliknet med for flom, kan modellen ikke begrenses til ett vassdrag og et kort tidsrom, men må ta hensyn til storskala mekanismer over lange perioder. Dette betyr at dagens værprognoser som gis for 6-10 dager frem i tid i Norge, ikke kan gi et fullgodt bilde av hvordan en tørke vil kunne oppstå eller utvikle seg.

For å få pålitelige langtidsvarsler er det fortsatt behov for forskning. På en måte er tørke spesielt godt egnet for varsling fordi de starter langsomt. Men, det er vanskelig å definere en tørkes start og også å forutsi hvor lenge en tørke vil vare. Korttidsvarsler av nedbør og temperatur gir muligheten for å varsle avløp, tilsig og markvannsnivå samt tilstanden i grunnvann-, snø- og vannkraftmagasin ved bruk av ulike typer vannbalansemodeller. Det er derfor mulig å varsle 6-10 dager fram i tid. I Norge lages i dag 6-10 døgns prognoser for vannføring basert på nedbør og temperaturprognoser. Basert på disse utarbeides også rutinemessig prognoser for energitilsig til kraftverkssystemet over de nærmeste 10 dager i noen analysemiljø.

6.3 Sammenheng mellom tørke og regionale eller globale værsystemer

Langtidsvarsling er mye mer komplisert. Det er mulig å gi dynamiske værvarsler opptil 3 måneder frem i tid, men disse er foreløpig meget usikre. I enkelte regioner av verden er det en klar sammenheng mellom atmosfæriske sirkulasjonsmønstre og tørke. I tropene er regntiden avhenger av plasseringen av ITCZ (Intertropical convergence zone) og tilhørende konvektiv nedbør eller monsun som oppstår over kontinenter. Årsvariasjoner i styrken og plasseringen av ITCZ og monsunen har stor betydning for jordbruket i India og 'Sub-Sahara Afrika', hvor avlingene blir sterkt påvirket av forsinket eller manglende regntid. Overvåking av plasseringen og bevegelsen til ITCZ bidrar derfor til å overvåke og varsle tørke i Afrika.

Noen av de regionale værsystemene som forårsaker tørke er koblet til storskala hav-atmosfære interaksjon og fluktuasjoner som oppstår med en viss periodisitet slik som NAO (North Atlantic Ocillation) og ENSO (El Nino Southern Oscillation). NAO er vanskeligere å forutsi enn ENSO, men en ser at for eksempel høye NAO indeksverdier vil være assosiert med tørre forhold i Sentral- og Sør-Europa. Andre steder, for eksempel i sørlige og østlige deler av Afrika er det en sammenheng mellom tørke og den varme fasen av ENSO. Disse sammenhengene kan i enkelte deler av verden benyttes til langtidsvarsler av nedbør og temperatur og dermed tørke. Det er imidlertid et problem at ofte vil et fåtall men høyst forskjellige nedbørmønstre være like sannsynlig. Sammenhengen mellom sirkulasjonsmønstre i atmosfæren og romlige mønstre av nedbør og temperatur gir et stort potensial for langtidsvarsling, men krever fortsatt mye forskning. Det har til nå vært relativt lite systematisk forskning innen dette området i Norge og det er fortsatt en lang vei å gå før pålitelige langtids-tørkevarsler basert på NAO kan utarbeides her til lands.

Det er også funnet sammenhenger mellom bestemte værmønstre og tørke. I Stahl (2001) studeres sammenhengen mellom klassifiserte sirkulasjonsmønstre i Europa og anomalier i vannføring. Fordi det er en viss tidsforsinkelse mellom sirkulasjonsmønstrene og vannføringsanomalien, gir dette en mulighet for varsling av vannføring og dermed tilsig.

Sammenhengen mellom høst- og vinternedbør samt snømagasin kan også fortelle mye om vanntilgangen om våren og sommeren.

6.4 Langtidsvarsler og sesongvarsler for tørke

Det er mulig å lage ”tørkescenarier” basert på historiske eller simulerte værsituasjoner. Basert på dagens situasjon kan en først lage en avløps- og deretter tilsigsprognose for de nærmeste døgn hvor en har relativt pålitelige værvarsler. Deretter kan en mulig utvikling baseres på hvordan været for de kommende månedene var i tilsvarende måneder i fjor, i forfjor osv. Har en et tilstrekkelig antall år, kan sannsynligheten for ulike avløps- og tilsigsutviklinger beregnes basert på historiske data. Alternativt til historiske data, er det mulig å utføre en slik sannsynlighetsberegning ved hjelp av simulerte nedbør- og temperaturdata. Basert på situasjonen i dag er det også mulig å si noe om hvor stort tilsig som skal til for å komme ut av en tørkesituasjon og sannsynligheten for at tilsiget faktisk vil bli så stort. Dersom tilsigsscenariene kombineres med ulike muligheter for magasindisponering, kan denne informasjonen benyttes for å planlegge vannkraftproduksjonen.

7. Referanser

Andersen T., Gjørsvik O. & Ruud L. (1972): Grunnvannsundersøkelser i Aursundfeltet.

NVE Rapport 3/72, Oslo

Coles, S. (2001): An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer Series in Statistics, Springer-Verlag, London Limited.

Førland, E.J., Roald, L.A., Tveito, O.E. & Bauer-Hanssen, I. (2000). Past and future variations in climate and runoff in Norway. DNMI Report no. 19/00, Oslo.

Gjørsvik O., (1970): Grosetbekken. Hydrologisk observasjonsmateriale for Groset forsøksfelt.

NVE Rapport 2/70, Oslo.

Gottschalk, L. (1998) Stokastisk hydrologi. Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo.

Hanssen-Bauer, I. & E.J.Førland, (1994). Homogenizing long Norwegian precipitation series. J.Climate, 7, 1001-1013.

Hanssen-Bauer, I. & P.Ø.Nordli, (1998). Annual and seasonal temperature variations in Norway 1876-1997. DNM-Rapport 27/98 KLIMA.

Hanssen-Bauer, I., (2003). Regional klimamodellering – tilgjengelige klimascenarier og videre planer. http://regclim.met.no./norsk/Resultater/IHB

Hisdal, H., (2002) Regional Aspect of Drought. Dr. Scient avhandling, Institutt for Geofysikk, Uio, Oslo.

Hisdal , H. H. Colleuille, T.S. Pedersen & Turid-Anne Drageset (2003).Tørke.

Hydrologisk månedsoversikt, november. NVE, Oslo

Johansson, I. (Red.) (1984): Nordic Glossary of Hydrology,

Almqvist & Wiksell International, Stockholm, Sverige.

Killingtveit, Å. og Engen, I.K. (2003): Nedbør, temperatur og tilsig. Året 2002/03 – en beskrivelse av klima og tilsigsforhold i Norge og Sverige. NVE-oppdragsrapport 12-2003.

Lamb, H. H. (1982): Climate History and the Modern World. Methuen & Co. Ltd, London.

Maidment, D. R. (1993): Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, Inc.USA.

Nordli, P.Ø., (2001). Spring and summer temperatures in south eastern Norway (1749-2000). DNMI REPORT NO. 01/01 KLIMA.

Nordli, P.Ø., Lie, Ø.. Nesje, A. & Dahl, S.O. (2002). Spring/Summer Temperature Reconstruction Western Norway 1734-2002. DNMI REPORT NO. 26/02 KLIMA.

NVE (2003): Energistatus, NVE, Oslo

Onof, C. & Weather, H.S. (1993): Modelling of British rainfall using a random parameter

Bartlett-Lewis Rectangular Pulse Model. J. Hydrol. 149, 67-95.

Perzyna, G. (1993) Derived Frequency Distribution for Low Flows. Dr. Scient avhandling, Institutt for geofysikk, UiO, Oslo

Roald, L.A., Skaugen, T.E., Beldring, S., Væringstad, T., Engeset, R. & Førland, E.J. (2003). Scenarios of annual and seasonal runoff for Norway based on climate scenarios for 2030-49. NVE oppdragsrapport 10-2002.

Rue, Ø., Kuronen, P., Larsson, S., Jørgensen, P., Sigurdsson, E. & Bach, P.-F. (2002):

Nordisk systemutviklingsplan 2002, Nordel Rapport, april 2002

Skaugen, T., Astrup, M., Langsholt E.G., Onof, C. & Udnæs, H.-C. (2002) Using simulated time series of rainfall and temperature for design and long term flood warning. In: M. Spreafico and R. Weingartner (eds.) International Commission for the Hydrology of the Rhine basin, Proceedings for the International Conference on Flood Estimation, March 6-8, 2002, Berne, Switzerland, CHR Report II-17, 247- 253.

Stahl (2001): Hydrological drought: a case study across Europe. PhD Avhandling, Universitetet i Freiburg, Tyskland.

Sælthun, N.R., Aittonemi, P., Bergström, S., Einarsson, K., Jóhannesson, T., Lindström, G., Ohlsson, P-E, Thomsen, T., Vehviläinen, B. & Aamodt, K.O. (1998). Climate change impacts on runoff and hydropower in the Nordic countries. Final report from the project ”Climate Change and Energy Production. TemaNord 1998:552. ISBN 92-893-0212-7. ISSN 0908-6692. Copenhagen.

Tallaksen, L. (2000). Streamflow Drought Frequency Analysis. In: (J.V.Vogt & F.Somma, eds.) Drought and Drought Mitigation in Europe, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, 103-117.

VEDLEGG 1. Oversikt over hvilke serier som inngår i de enkelte regionene.

Gruppenavn: **Østlandet – øst (Glomma – Trysilelva)**
Antall serier: 8 Periode: 1872-2002

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
311.4.0.1050.1	Femundsenden	Trysilelv	1909-1995
311.6.0.1050.2	Nybergsund	Trysilelv	1909-1990
2.32.0.1001.0	Atnasjø	Glomma/Atna	1917-2002
2.117.0.1050.3	Stai	Glomma	1908-1990
2.119.0.1050.1	Elverum	Glomma	1872-1990
2.140.0.1050.1	Valmtjern	Glomma/Rena/Osa	1921-2001
2.142.0.1001.1	Knappom	Glomma/Flisa	1917-2002
2.605.0.1050.3	Solbergfoss	Glomma	1903-1990

Gruppenavn: **Østlandet – vest (Drammenselva-Arendalsvassdraget)**
Antall serier: 7 Periode: 1885-2002

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
12.85.0.1050.3	Killingstryken	Drammenselv/Ådalselv	1906-1995
12.68.0.1050.2	Døvikfoss	Drammenselv	1913-1990
12.228.0.1050.1	Kistefoss	Drammenselv/Randselv	1917-1990
16.32.0.1050.3	Hjartsjø	Skienselv	1920-1990
16.51.0.1001.0	Hagadrag	Skienselv	1885-2002
19.8.0.1050.1	Nisser Dam	Nidelva	1915-1990
19.36.0.1050.1	Evenstad	Nidelva	1916-1992

Gruppenavn: **Østlandet – fjellet (Gudbrandsdalslågen - Otta)**
Antall serier: 3 Periode: 1896-2001

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
2.150.0.1050.2	Lalm	Glomma/Lågen/Otta	1914-1990
2.614.0.1001.0	Rosten	Glomma/Lågen	1918-2001*
2.144.0.1050.3	Båttstø	Glomma/Lågen	1896-2001

Gruppenavn: **Sørlandet**
Antall serier: 4

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
20.2.0.1001.1	Austenå	Tovdals	1925-2002
20.3.0.1050.2	Flaksvatn	Tovdalselv	1900-2002
21.21.0.1050.6	Hoslemo	Otra	1930-2002
22.4.0.1050.2	Kjølemo	Mandalselv	1897-1999

Gruppenavn: **Jæren**
Antall serier: 5

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
26.4.0.1050.3	Fidjelandsvatn	Kvina	1920-1990
27.3.0.1050.1	Hetland	Bjerkreimsvassdraget	1916-1990
27.24.0.1001.0	Helleland	Bjerkreimsvassdraget	1897-2002
28.1.0.1050.3	Haugland	Håelv	1919-1990

Gruppenavn: **Vestlandet - kystvassdrag**
Antall serier: 5

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
41.1.0.1050.2	Stordalsvatn	Etneelv	1913-2000
41.4.0.1050.1	Rygg	Etneelv	1924-1990
48.1.0.1001.1	Sandvenvatn	Opo	1909-2002
55.4.0.1001.1	Røykenes	Oselv	1934-2002
82.1.0.1050.2	Nautsundvatn	Guddalselv	1909-1992

Gruppenavn: **Vestlandet – fjord- og innlandsvassdrag**
Antall serier: 14

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
36.1.0.1050.1	Suldalsoset	Suldalslågen	1905-1990
36.2.0.1050.4	Røldalsvatn	Suldalslågen	1914-2000
50.1.0.1050.1	Hølen	Kinso	1923-2001
50.4.0.1050.1	Viveli	Eio/Veig	1915-1990
62.5.0.1050.2	Bulken	Vosso	1892-2001
63.1.0.1050.2	Nese	Eksingedalselv	1909-1990
63.2.0.1050.4	Brakestad	Eksingedalselv	1930-2000
64.2.0.1050.2	Steinslandsvatn	Steinslandselv	1930-2000
74.2.0.1050.3	Tya	Årdalselva/Tya	1916-2001
75.2.0.1050.6	Ytri Bru	Fortunselv	1930-2000
83.2.0.1001.1	Viksvatn	Gaula	1903-2002
87.1.0.1050.1	Breimsvatn	Breimselv	1901-1990
89.1.0.1050.2	Hornindalsvatn	Eidselva	1901-2001
84.1.0.1050.1	Jølstervatn	Jølstra	1903-1990

Gruppenavn: **Brevassdrag (Sør-Norge)**
Antall serier: 3

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
75.2.0.1050.5	Ytri Bru	Fortunselv	1919-1990
77.2.0.1050.2	Veitestrandsvatn	Årøyelv	1901-1990
88.1.0.1001.1	Strynsvatn	Strynselv	1903-1923
88.4.0.1001.1	Lovatn	Loelv	1901-2002

Gruppenavn: **Midt-Norge (Møre og Romsdal - Sør-Trøndelag)**
Antall serier: 5

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
101.2.0.1001.1	Engsetvatn ndf.		1924-1990
103.4.0.1050.3	Horgheim	Rauma	1913-1990
105.1.0.1001.2	Øren	Gusjåelv	1924-2002
109.3.0.1050.1	Elverhøy Bru	Driva	1908-1993
122.2.0.1001.1	Haga Bru	Gaula	1908-2000

Gruppenavn: **Nord-Trøndelag - Nordland**
Antall serier: 10 Periode: 1908-2002

Nøkkel	Navn	Vassdrag/elv	Dataperiode
133.2.0.1050.3	Rødsjø		1916-2001
138.1.0.1001.1	Øyungen	Årgårdselv	1917-2002
139.34.0.1050.2	Fiskumfoss øvre	Namsen	1908-1997
140.2.0.1050.2	Salsvatn		1917-2001
144.1.0.1050.2	Åbjørvatn	Åbjøra	1909-1990
152.4.0.1050.1	Fustvatn	Fusta	1909-2001
157.3.0.1050.2	Vassvatn		1917-1990
162.3.0.1001.0	Skarsvatn		1917-2002
165.6.0.1001.1	Strandå	Strandå	1917-2002
166.1.0.1050.2	Lakshola		1917-2001
167.3.0.1050.4	Kobbvatn		1917-1990
168.1.0.1050.1	Storvatn		1917-1990
171.9.0.1050.3	Øvre Sørfjordvatn		1924-1990
177.3.0.1050.1	Storvatn ndf.		1923-1990

VEDLEGG 2. Oversikt over de 10 tørreste årene i de enkelte regionene.

Region: Østlandet - øst

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1976	0.63	1996	0.42	1909	0.45	1959	0.47	1947	0.29
1947	0.65	1903	0.48	1941	0.45	1975	0.51	1914	0.35
1880	0.69	1905	0.58	1880	0.45	1901	0.52	1904	0.42
1875	0.70	1979	0.61	1877	0.45	1976	0.53	1945	0.44
1941	0.70	1948	0.62	1874	0.47	1969	0.55	1911	0.45
1914	0.71	1909	0.65	1876	0.48	1983	0.58	1939	0.46
1996	0.73	1946	0.65	1996	0.49	1919	0.61	1976	0.48
1969	0.73	1912	0.67	1955	0.51	1911	0.61	1995	0.48
1919	0.75	1920	0.67	1902	0.53	1914	0.62	1972	0.49
1955	0.75	1876	0.68	1884	0.54	1947	0.62	1968	0.49

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.86	0.79	0.72	0.82	0.68
10	0.79	0.70	0.61	0.71	0.56
20	0.74	0.63	0.52	0.62	0.46
50	0.69	0.56	0.43	0.53	0.36
100	0.66	0.52	0.37	0.47	0.30
200	0.63	0.48	0.31	0.42	0.24

Region: Østlandet - vest

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1921	0.48	1885	0.17	1918	0.50	1976	0.31	1947	0.11
1947	0.58	1891	0.26	1996	0.51	1996	0.35	1921	0.20
1976	0.60	1886	0.33	1941	0.53	1959	0.40	1972	0.23
1973	0.61	1897	0.33	1944	0.55	1975	0.41	1915	0.31
1996	0.63	1922	0.38	1909	0.56	1921	0.41	1914	0.32
1955	0.69	1895	0.39	1940	0.57	1974	0.47	1945	0.32
1919	0.69	1888	0.40	1976	0.57	1947	0.53	1911	0.33
1941	0.72	1956	0.41	1942	0.58	1989	0.56	1971	0.34
1888	0.73	1940	0.44	1955	0.58	1982	0.56	1969	0.40
1956	0.75	1889	0.46	1956	0.61	1991	0.57	1904	0.40

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.83	0.57	0.73	0.77	0.59
10	0.75	0.44	0.64	0.62	0.44
20	0.68	0.34	0.57	0.51	0.32
50	0.62	0.25	0.49	0.39	0.20
100	0.57	0.19	0.44	0.32	0.12
200	0.53	0.14	0.40	0.26	0.06

Region: Østlandet - Gudbrandsdalen

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1904	0.67	1903	0.37	1927	0.27	1919	0.69	1904	0.44
1941	0.72	1905	0.41	1955	0.29	1977	0.70	1945	0.47
1991	0.75	1916	0.50	1923	0.30	1978	0.72	1915	0.51
1902	0.76	1899	0.52	1902	0.31	1969	0.73	1972	0.52
1977	0.76	1901	0.53	1904	0.34	1947	0.74	1939	0.53
1996	0.77	1912	0.53	1909	0.36	1963	0.74	1976	0.54
1966	0.78	1940	0.53	1915	0.42	1928	0.74	1952	0.54
1928	0.79	1953	0.55	1900	0.42	1966	0.76	1959	0.57
1940	0.79	1966	0.57	1958	0.43	1986	0.77	1905	0.59
1919	0.81	1928	0.59	1924	0.43	1940	0.79	1936	0.60

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.89	0.68	0.61	0.89	0.72
10	0.82	0.58	0.48	0.81	0.63
20	0.77	0.51	0.38	0.75	0.56
50	0.72	0.43	0.28	0.67	0.49
100	0.68	0.38	0.22	0.63	0.45
200	0.65	0.34	0.17	0.59	0.41

Region: Sørlandet

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1921	0.61	1996	0.29	1944	0.51	1921	0.24	1915	0.15
1996	0.64	1966	0.35	1955	0.54	1974	0.39	1921	0.17
1947	0.66	1897	0.35	1996	0.62	1976	0.46	1972	0.31
1901	0.68	1963	0.39	1918	0.64	1935	0.47	1941	0.40
1915	0.71	1900	0.40	1929	0.64	1975	0.48	1947	0.40
1969	0.73	1969	0.44	1941	0.64	1984	0.48	1993	0.42
1973	0.74	1970	0.44	1942	0.67	1996	0.50	1945	0.43
1941	0.74	1979	0.50	1956	0.67	1901	0.51	1920	0.47
1955	0.75	1986	0.54	1940	0.68	1989	0.57	1919	0.48
1933	0.76	1959	0.56	1909	0.72	1940	0.57	1901	0.49

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.87	0.73	0.82	0.73	0.65
10	0.79	0.57	0.73	0.59	0.52
20	0.73	0.44	0.66	0.49	0.42
50	0.67	0.31	0.59	0.39	0.32
100	0.63	0.23	0.55	0.33	0.26
200	0.59	0.16	0.51	0.27	0.20

Region: Jæren

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1915	0.50	1966	0.24	1909	0.41	1997	0.35	1915	0.12
1902	0.61	1979	0.27	1918	0.47	1899	0.36	1993	0.24
1901	0.63	1963	0.31	1974	0.50	1914	0.40	1933	0.37
1933	0.64	1900	0.35	1980	0.53	1984	0.40	1960	0.42
1941	0.67	1897	0.40	1996	0.54	1977	0.45	1922	0.45
1993	0.69	1940	0.40	2001	0.66	1913	0.47	1941	0.45
1996	0.71	1996	0.41	1941	0.66	1902	0.47	1902	0.47
1919	0.72	1970	0.42	1975	0.67	1955	0.47	1976	0.47
1960	0.75	1912	0.47	1964	0.69	1969	0.49	1920	0.48
1940	0.75	1951	0.51	1936	0.69	1976	0.50	1945	0.50

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.80	0.69	0.75	0.66	0.63
10	0.73	0.53	0.67	0.54	0.52
20	0.68	0.40	0.60	0.45	0.43
50	0.62	0.27	0.53	0.36	0.34
100	0.59	0.19	0.49	0.30	0.28
200	0.56	0.11	0.45	0.26	0.22

Region: Vestlandet - kystvassdrag

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1941	0.59	1951	0.28	1923	0.46	1947	0.50	1915	0.20
1915	0.61	1970	0.28	1996	0.47	1987	0.57	1993	0.26
1960	0.64	1979	0.29	1941	0.53	1977	0.63	1960	0.30
1996	0.66	1996	0.29	1909	0.54	1984	0.64	1933	0.42
1933	0.69	1966	0.29	1974	0.60	1948	0.64	1941	0.42
1987	0.73	1977	0.31	1951	0.60	1912	0.67	1976	0.47
1937	0.73	1963	0.35	1936	0.63	1980	0.67	1939	0.51
1919	0.74	1940	0.37	1980	0.66	1963	0.70	1922	0.56
1959	0.74	1936	0.38	1915	0.66	1941	0.72	1998	0.56
1947	0.74	1947	0.38	1932	0.68	1913	0.73	1959	0.57

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.83	0.58	0.75	0.81	0.67
10	0.76	0.41	0.65	0.72	0.55
20	0.70	0.29	0.58	0.66	0.46
50	0.65	0.16	0.50	0.59	0.36
100	0.61	0.08	0.45	0.54	0.30
200	0.58	0.01	0.41	0.51	0.24

Region: Vestlandet - fjord og innlandsvassdrag

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1960	0.61	1966	0.25	1923	0.39	1947	0.62	1915	0.27
1941	0.62	1892	0.31	1955	0.40	1960	0.65	1993	0.37
1915	0.67	1969	0.32	1898	0.46	1963	0.66	1960	0.37
1912	0.70	1951	0.34	1900	0.48	1977	0.68	1939	0.42
1996	0.70	1912	0.35	1915	0.51	1969	0.69	1941	0.44
1900	0.72	1977	0.35	1951	0.53	1996	0.69	1912	0.44
1936	0.74	1963	0.36	1927	0.53	1941	0.72	1976	0.48
1959	0.75	1970	0.37	1892	0.54	1959	0.72	1933	0.50
1895	0.75	1940	0.38	1924	0.56	1948	0.72	1894	0.50
1951	0.76	1936	0.39	1909	0.57	1980	0.73	1945	0.56

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.84	0.58	0.72	0.86	0.67
10	0.78	0.43	0.61	0.77	0.56
20	0.73	0.32	0.53	0.70	0.47
50	0.68	0.21	0.44	0.62	0.38
100	0.65	0.14	0.39	0.57	0.32
200	0.62	0.08	0.35	0.53	0.26

Region: Sør-Norge - brevassdrag

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1993	0.66	1912	0.43	1915	0.52	1993	0.63	1912	0.41
1915	0.71	1951	0.50	1951	0.54	1962	0.73	1993	0.45
1962	0.75	1940	0.51	1927	0.56	1928	0.77	1952	0.49
1912	0.78	1977	0.52	1923	0.59	1977	0.81	1976	0.54
1928	0.79	1966	0.53	1955	0.59	1902	0.81	1915	0.56
1952	0.79	1936	0.55	1904	0.62	1915	0.82	1940	0.63
1940	0.80	1928	0.57	1924	0.63	1952	0.84	1905	0.63
1902	0.81	1970	0.58	1912	0.65	1974	0.86	1935	0.71
1977	0.82	1919	0.62	1935	0.66	1965	0.87	1945	0.73
1987	0.86	1926	0.62	1941	0.68	1987	0.87	1920	0.73

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.90	0.72	0.77	0.93	0.78
10	0.84	0.62	0.68	0.87	0.69
20	0.79	0.54	0.61	0.82	0.62
50	0.75	0.46	0.55	0.77	0.55
100	0.72	0.42	0.50	0.74	0.51
200	0.69	0.38	0.47	0.71	0.47

Region: Midt-Norge

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1951	0.65	1994	0.30	1909	0.36	1963	0.46	2000	0.26
1980	0.71	1947	0.33	1915	0.44	1969	0.51	1981	0.44
1937	0.72	1969	0.42	1951	0.45	1930	0.52	1951	0.49
1996	0.73	1936	0.42	1928	0.54	1948	0.53	1920	0.51
1977	0.73	1920	0.43	1927	0.54	1937	0.56	1996	0.51
1960	0.74	1919	0.46	1908	0.56	1910	0.62	1939	0.51
1919	0.75	2001	0.46	1923	0.58	1947	0.65	1998	0.53
1912	0.76	1977	0.48	1912	0.65	1919	0.65	1974	0.54
1910	0.76	1915	0.49	1991	0.67	1980	0.67	1976	0.57
1969	0.76	1951	0.50	1996	0.69	1972	0.69	1968	0.58

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.86	0.63	0.74	0.85	0.70
10	0.78	0.50	0.64	0.72	0.59
20	0.72	0.41	0.56	0.60	0.51
50	0.65	0.31	0.48	0.47	0.42
100	0.61	0.26	0.43	0.38	0.37
200	0.56	0.21	0.38	0.30	0.33

Region: Nord-Trøndelag/Nordland

Årsverdier		Vinter		Vår		Sommer		Høst	
År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi	År	Verdi
1960	0.58	1966	0.26	1909	0.33	1937	0.55	1960	0.29
1980	0.68	1951	0.26	1915	0.52	1980	0.60	1915	0.43
1912	0.70	1994	0.28	1908	0.52	1930	0.62	1981	0.46
1970	0.77	1936	0.33	1932	0.55	1912	0.64	1992	0.47
1908	0.78	1915	0.33	1951	0.56	1986	0.65	1968	0.49
1966	0.78	1908	0.36	1927	0.57	1963	0.65	1935	0.50
1916	0.79	1986	0.36	1955	0.61	1960	0.65	2000	0.50
1969	0.80	1977	0.41	1924	0.63	1988	0.70	1952	0.52
1927	0.80	1916	0.42	1917	0.64	1978	0.70	1954	0.55
1987	0.80	1985	0.43	1935	0.64	1970	0.71	1974	0.60

Resultater av frekvensanalyse av de tørreste årene

Gjentaks-intervall	År	Vinter	Vår	Sommer	Høst
5	0.86	0.59	0.73	0.85	0.69
10	0.80	0.45	0.63	0.75	0.57
20	0.76	0.34	0.56	0.68	0.48
50	0.71	0.24	0.48	0.59	0.39
100	0.68	0.18	0.44	0.54	0.32
200	0.66	0.13	0.40	0.50	0.27

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

Utgitt i Oppdragsrapportserie A i 2003

Nr.1 Bjarne Kjøllmoen og Rune Engeset: Glasiologiske undersøkelser på Harbardsbreen 1996-2001 Sluttrapport (33 s.)

Nr.2 Hans-Christian Udnæs og Thomas Skaugen: Hydrologiske simuleringer med disaggregert nedbør.(17 s.)

Nr. 3 Thomas Skaugen, Stein Beldring, Hans-Christian Udnæs: Temporal properties of the spatial distribution of snow

Nr. 4 Hervé Colleuille: Skurdevikåi tilsigsfelt (015.NDZ) Grunnvannsundersøkelser - Årsrapport 2002 (17 s.)

Nr. 5 Hervé Colleuille: Groset forsøksfelt (016.H5) Grunnvanns- og markvannsundersøkelser (22 s.) - Årsrapport 2002

Nr. 6 Hervé Colleuille: Filefjell - Kyrkjestølane (073.Z) Grunnvannsundersøkelser - Årsrapport 2002 (14 s.)

Nr. 7 Lena Nordland Berg, Per F. Jørgensen, KanEnergi; Peter H. Heyerdahl, Institutt for tekniske fag, NLH; Gunnar Wilhelmsen, Jordforsk, NLH: Bioenergiressurser i Norge (32 s.)

Nr. 8 Ånund Killingtveit og Inger Karin Engen: Nedbør, temperatur og tilsig i 2002/03 - en beskrivelse av klima og tilsigsforhold i Norge og Sverige (56 s.)

Nr. 9 Ingrid Magnussen, Monica Havskjold: Forbruksutvikling 2002-2003 (85 s.)

Nr 10 Ånund Killingtveit, Hege Hisdal, Erik Holmquist, Lars Roald, Thomas Skaugen, Thomas Væringstad: Tørrårsberegninger, Analyse av forløp, hyppighet og utbredelse av tørke i Norge og Sverige (69 s.)