

Norges vannbalanse i TWh basert på HBV-modeller

66

2014

Statistikk og variasjoner 1958-2012

Erik Holmqvist

R A P P O R T

Norges vannbalanse i TWh basert på HBV-modeller.

Statistikk og variasjoner 1958 – 2012.

Norges vassdrags- og energidirektorat 2014

Rapport nr 66

Norges vannbalanse i TWh basert på HBV-modeller. Statistikk og variasjoner 1958-2012.

Utgitt av:	Norges vassdrags- og energidirektorat
Redaktør:	
Forfatter:	Erik Holmqvist
Trykk:	NVEs hustrykkeri
Opplag:	20
Forsidefoto: ISBN ISSN	978-82-410-1018-7 1501-2832
Sammendrag:	Midlere nyttbart tilsig og nedbøreenergi for det norske vannkraftsystemet er beregnet til 130 TWh/ år. Det er beregnet en forskjell på 80 TWh nedbørenergi mellom det tørreste og våteste året, mens nyttbart tilsig har variert med 75 TWh. I perioden 1958-2012 har det vært en gjennomsnittlig økning av tilsiget, men for de senere årene er det en fallende trend. Det siste «tørråret» var i 2010.
	For snømagasin er det beregnet en forskjell tilsvarende 50 TWh mellom året med minst og mest snø, og i mark- og grunnvann er det beregnet en maksimal variasjon av vanninnhold tilsvarende 16 TWh.
Emneord:	Vannbalanse, energitilsig, nedbørerenergi, snømagasin, lagerkapasitet mark- og grunnvann, HBV-modeller,
Norges vassd Middelthunsga Postboks 509 0301 OSLO	rags- og energidirektorat ate 29 1 Majorstua
Telefon: 22 95 Telefaks: 22 9 Internett: www	5 95 95 95 90 00 v.nve.no

September 2014

Innhold

Fo	rord		4
Sa	mmendra	g	5
1	Innledni	ng	6
2	Vannbal	anse i TWh, variasjoner 1958 - 2012	7
	2.1 Nec	lbørenergi	7
	2.1.1	Variasjon fra år til år	7
	2.1.2	Trender	9
	2.2 Snø	magasin	11
	2.2.1	Variasjon fra år til år	11
	2.2.2	Trender	13
	2.2.3	Tidspunkt for kulminasjon	14
	2.3 Mar	k- og grunnvann	16
	2.3.1	Variasjon fra år til år	16
	2.3.2	Trender	20
	2.4 Ene	ergitilsig	21
	2.4.1	Variasjon fra år til år	21
	2.4.2	Trender	23
	2.5 Van	nbalanse for et tørt og et vått år	25
	2.6 Frel	kvensanalyser	
	2.6.1	Nedbørenergi	28
	2.6.2	Energitilsig	
	2.6.3	Flere tørre år i serie	
Re	feranser.		35

Forord

Målet med denne rapporten er å dokumentere variasjonene i den hydrologiske balansen for det norske vannkraftsystemet. Analyser av energitilsig, nedbørenergi, snømagasin og mark- og grunnvann er presentert og er gjennomført med data fra perioden 1958 – 2012. Analysene omfatter sum Norge og fire delområder, og de er utført i energienheter (TWh eller GWh).

Rapporten bygger på NVE-rapport 29-2013 («Beregning av energitilsig basert på HBVmodeller»). Rapporten er utarbeidet av Erik Holmqvist og kvalitetskontrollert av Thomas Væringstad.

Oslo, september 2014

Morten Johnsrud avdelingsdirektør

usebye seksjonssje

Sammendrag

Midlere nedbørenergi (1981-2010) er beregnet til 130 TWh/ år. I perioden 1958-2012 er det en forskjell på drøyt 80 TWh nedbørenergi mellom det tørreste og våteste året. I løpet av perioden 1958-2012 har det vært en gjennomsnittlig økning av nedbøren tilsvarende 5 TWh/ 10 år, men de siste årene har det vært en markert fallende trend.

Minst nedbør for landet under ett var i 1960 med 86 TWh. Denne hendelsen har et beregnet gjentaksintervall på om lag 50 år. Analysene antyder en risiko på ca. 1 % («100-års tørke») for å få en nedbørenergi på 78 TWh, eller 52 TWh mindre enn normalen.

Årlig maksimalt snømagasin er beregnet til 58 TWh som gjennomsnitt for perioden 1981-2010. I perioden 1958-2012 er det en forskjell i snømagasin på drøyt 50 TWh mellom året med minst og mest snø. Det er for landet under ett ikke funnet noen trend mot økt/ redusert snømagasin i løpet av perioden 1958-2012, men våre analyser antyder at snømagasinet nå kulminerer omkring 14 dager tidligere enn på slutten av 1950-tallet.

I gjennomsnitt er lagerkapasiteten i mark- og grunnvannet størst om våren før snøsmeltingen tar til og minst tidlig på sommeren, mens det fortsatt er en god del snøsmelting. Det er funnet avvik på opp mot +/- 6 TWh i forhold til den normale årsvariasjonen av vann lagret i mark- og grunnvann. Maksimal variasjon av vann lagret i mark- og grunnvann (differansen mellom fuktigste og tørreste forhold) tilsvarer en energimengde på ca. 16 TWh. Det er en tendens til noe fuktigere forhold om våren (april/ mai) i løpet av de siste 55 år, det skyldes først og fremst tidligere snøsmelting.

Midlere nyttbart tilsig (1981-2010) er beregnet til 130 TWh/ år. I perioden 1958-2012 er det en forskjell på 75 TWh mellom året med størst og minst tilsig. Variasjonen er noe mindre enn for nedbør, det skyldes noe utjevning på grunn av variasjoner i snø-, mark- og grunnvann fra år til år.

I løpet av perioden 1958-2012 har det, som for nedbør, vært en gjennomsnittlig økning av tilsiget med ca. 5 TWh/ 10 år, men også tilsiget har en markert fallende trend de senere årene.

For landet under ett er 1960 og 1969 årene med minst tilsig. Tilsiget var da 90 TWh. Disse hendelsene har et beregnet gjentaksintervall på 20 - 50 år. Analysene antyder en risiko på ca. 1 % («100-års tørke») for å få et årstilsig på 81 TWh, eller 49 TWh mindre enn normalen. For en vilkårlig 12 måneders periode er det registrert tilsig på 87 TWh for 3 uavhengige hendelser siden 1958. I løpet av en vilkårlig 36 måneders periode (3 år) er minste beregnede tilsiget 300 TWh, eller tilsvarende et tilsigsunderskudd på 90 TWh.

1 Innledning

I NVEs Samkjøringsmodell benyttes 82 tilsigsserier for å beskrive tilsiget til det norske vannkraftsystemet. Disse seriene er alle fra uregulerte nedbørfelt eller felt som i svært liten grad er påvirket av vannkraftinngrep. For disse feltene er det kalibrert HBV-modeller, de inngår som en del av NVEs operative flomvarslingsmodeller. Inngangsdata til HBV-modellene er gridda nedbør- og temperaturdata, mens modellen beregner fordampning, vanninnhold i mark- og grunnvann, snømagasin og avrenning. De meteorologiske dataene dekker perioden 1958 – 2012. Modellene gir en god oversikt over vannbalansen i tilsigsområdene til det norske vannkraftsystemet.

Ved hjelp av omregningsfaktorer for den enkelte HBV-modell, som er bestemt av midlere produksjon beregnet i Samkjøringsmodellen, er de ulike vannbalanseparametrene regnet om i energienheter.

Energitilsiget til det norske vannkraftsystemet er beregnet ved bruk av Samkjøringsmodellen. I denne modellen beregnes produksjonen ut fra en detaljert beskrivelse av det norske vannkraftsystemet, som er inndelt i nesten 1100 moduler. En modul representerer nedbørfeltet til et kraftverk, magasin, bekkeinntak eller en gruppe av disse.

Midlere nyttbart tilsig for perioden 1981-2010 ble beregnet til ca. 130 TWh/ år i desember 2012 (Thore Jarlset i Ressursseksjonen i NVEs Energiavdeling), og dette er lagt til grunn også for analysene i denne rapporten.

I NVEs Samkjøringsmodell er Norge inndelt i 4 områder. Område 1 omfatter Østlandet og Sørlandet til og med Lysefjorden (Øst- og Sørlandet), område 2 dekker Vestlandet fra Lysefjorden til Stadt (Vestlandet), område 3 strekker seg fra Stadt til sør for Narvik (Midt-Norge) og område 4 resten av Nord-Norge (Nord-Norge).

2 Vannbalanse i TWh, variasjoner 1958 - 2012

2.1 Nedbørenergi

Ved beregning av nedbørenergi er fordampning trukket fra nedbøren for å beregne "effektiv" nedbør. Denne er så multiplisert med en faktor som er bestemt ut fra forholdet mellom midlere årlig energitilsig (GWh/ år) og midlere effektiv nedbør (mm/år) for den enkelte serie (NVE-rapport 29-2013).

2.1.1 Variasjon fra år til år

Beregnet nedbørenergi for det norske vannkraftsystemet har variert med drøyt 80 TWh i løpet av årene 1958 - 2012. Eller fra 86 TWh i 1960 til 167 TWh i 1983 (figur 2.1.1). I gjennomsnitt for 30-årsperioden 1981-2010 er den effektive nedbørenergien 130 TWh, mens for alle 55 år er middelet 122 TWh.

På Sør- og Østlandet (delområde 1) er 2010 det tørreste året (figur 2.1.2), mens 1960 er det tørreste året både for landet under ett, for Vestlandet, Midt- og Nord-Norge (delområde 2, 3 og 4). De våteste årene i de ulike delområdene er 2000 (delområde 1), 1990 (delområde 2), 1983 (delområde 3) og 1975 (delområde 4).



Figur 2.1.1. Årlig effektiv nedbørenergi for Norge målt i TWh fra 1958 til 2012.



Figur 2.1.2. Årlig effektiv nedbørenergi for delområde 1, 2, 3 og 4 målt i TWh fra 1958 til 2012.

En ser og av figur 2.1.2 at nedbørenergien til en viss grad varierer i takt i de ulike delområdene. Dette bekreftes og av en korrelasjonsanalyse som viser at på årsverdier er det en korrelasjon på over 0,8 mellom område 1 og 2. Det tilsier at for eksempel tørke i magasinområdene på Øst- og Sørlandet kan sammenfalle med tørke på Vestlandet, noe som for eksempel var tilfelle i 2010. Det er og en høy korrelasjon mellom område 2 og 3 (Vestlandet og Midt-Norge), mens det naturlig nok er lavest korrelasjon mellom område 1 og 4 (Øst-/ Sørlandet og Nord-Norge).

	Område 1	Område 2	Område 3	Område 4
Område 1	1,00	0,82	0,46	0,26
Område 2	0,82	1,00	0,72	0,50
Område 3	0,46	0,72	1,00	0,77
Område 4	0,26	0,50	0,77	1,00

Tabell 2.1.1 Korrelasjon mellom nedbørenergi (årsverdier) i de enkelte delområdene.

Samvariasjonen mellom de ulike områdene i Norge er og illustrert i figur 2.1.3 som viser avvik i årsnedbør for to tørre og to fuktige år. For eksempel ser en at 1960 var et svært tørt år på Vestlandet, mens det på store deler av Sør- og Østlandet var normalt eller i overkant av normalt med nedbør. I fjellområdene på grensen mellom Øst- og Vestlandet var det imidlertid mindre nedbør enn normalt, noe som medførte mindre tilsig enn normalt også til mange magasiner på østsiden av vannskillet.



Figur 2.1.3 Nedbør i prosent av normalt for to tørre og to fuktige år. Kartets normalperiode er 1971-2000.

2.1.2 Trender

I gjennomsnitt har det blitt noe våtere gjennom de siste 55 årene. Dette er illustrert i figur 2.1.4 hvor effektiv nedbørenergi er beregnet som 10-års glidende middel. For område 1 (Østlandet/ Sørlandet) og 4 (Nord-Norge) er det en økning på drøyt 10 prosent fra den første til den siste 10-årsperioden i analysen, eller fra 1958-1967 til 2003-2012. Den største økningen er i område 2 (Vestlandet) med nesten 30 prosent, mens det i Midt-Norge er en økning på drøyt 5 prosent.

For alle områdene er de laveste 10-årsmidlene i løpet av 1960- og 1970- årene, mens de høyeste verdiene finner vi i 1980- og 1990-årene.

Enkle lineære trendanalyser viser en økning i alle områder. For landet under ett gir en slik analyse en korrelasjonskoeffisient (r²) på 0,61 og en gjennomsnittlig økning av nedbørenergien med nesten 5 TWh pr. 10 år, eller en årlig økning på 0,3 – 0,4 %. Dette harmonerer godt med klimascenarioer som tilsier at det blir fuktigere i Norge frem mot år 2100 ("Klima i Norge 2100", Inger Hanssen-Bauer m.fl. 2009). I kapittel 4.8 i denne rapporten er det også påpekt at: "Det er imidlertid ikke kurant å benytte dagens klimaprojeksjoner basert på scenarioer for endring i aerosoler og drivhusgasser som verktøy for å gi estimat av regionale klimaendringer de neste dekadene. For dette tidsperspektivet vil – spesielt i våre områder – de naturlige klimavariasjonene for en stor grad dominere over «klimasignalet» som skyldes økt drivhuseffekt." Sett i dette lys, er det viktig å merke seg at om en ser på utviklingen for landet under ett, har det vært en avtagende trend i nedbørenergi fra 10-året 1983-92 til 2003 – 2012. I denne perioden er nedbørenergien redusert med omtrent 4 TWh/ 10 år. Det er derfor ingen selvfølge at nedbørenergien de neste 10 - 30 årene vil øke.



Figur 2.1.4. Effektiv nedbørenergi beregnet som 10-års glidende middel fra 1958 til 2012 for delområdene 1, 2, 3 og 4.



Figur 2.1.5. Effektiv nedbørenergi beregnet som 10-års glidende middel fra 1958 til 2012 for landet under ett. Den blå trendlinjen er beregnet med data for 10-årsperiodene fra 1958-1967 til 2003-2012, mens den rød trendlinjen dekker periodene fra 1983-92 til 2003-2012.

2.2 Snømagasin

2.2.1 Variasjon fra år til år

Årlig maksimalt snømagasin for det norske vannkraftsystemet har variert med drøyt 50 TWh i løpet av perioden 1958-2012. Variasjonen er noe mindre enn antydet i NVErapport 29-2013. I gjennomsnitt kulminerer snømagasinet i midten av april med omkring 58 TWh. Det minste beregnede snømagasinet var i 1996 med 33 TWh og det største i 1993 med 84 TWh, det vil si 58 TWh +/- ca. 25 TWh (figur 2.2.1).



Figur 2.2.1. Årlig maksimalt snømagasin målt i TWh fra 1958 til 2012.

Fordelingen av snømagasin de enkelte årene for de ulike delområdene, hvor magasinområde 1 og 2 korresponderer med delområde 1 og 2, mens magasinområde 3 er delt i delområdene 3 (Midt-Norge) og 4 (Nord-Norge), er gitt i figur 2.2.2.

I delområde 2 (Vestlandet), 3 (Midt-Norge) og 4 (Nord-Norge) er det året 1960 som skiller seg ut med minst snømagasin, mens for delområde 1 (Sør- og Østlandet) er 1996 det snøfattigste året (figur 2.2.3). Det mest snørike året er 1993 i delområde 1, 2000 i delområde 2, 1976 i delområde 3 og 1997 i delområde 4.

At det er store regionale forskjeller fra år til år, bidrar til å redusere den totale variasjonen. Lite snø i ett område oppveies til en viss grad av mer snø i et annet (figur 2.2.3). For eksempel er det minste snømagasinet i hvert enkelt delområde omkring 40 prosent av normalt, mens det i sum for hele landet er omkring 55 prosent av normalt. Hvis en går inn på enkeltfelt, vil variasjonen naturlig nok bli enda større. For eksempel er det minste snømagasinet for nedbørfeltet til Gjerstad i Aust Agder omkring 25 prosent av normalt.



Figur 2.2.2. Årlig maksimalt snømagasin målt i TWh for delområde 1-4 fra 1958 til 2012.



Figur 2.2.3 Snømagasin pr. 15. april i prosent av median (1971-2000) for årene med minst (øverst) og størst (nederst) snømagasin i de ulike delområdene.

2.2.2 Trender

Det er ikke funnet noen signifikant positiv eller negativ trend i snømagasinet for det norske vannkraftsystemet gjennom de siste 55 år.

Andre studier viser at det i perioden 1931-2009 har vært en svak positiv trend i snømagasinet i Sør-Norge for felt over 850 moh (Skaugen m.fl. 2012), mens det i mer kystnære og lavereliggende felt er funnet en signifikant reduksjon i snødyp for årene 1961-2010, samtidig som snødypet i høyfjellet har økt (Dyrrdal m.fl., 2013). Dette skyldes økt nedbør og økt temperatur de siste 10-årene. Samme utvikling er rapportert i deler av USA, hvor økt vinternedbør har ført til økte snømengder i høyfjellet, mens i mer lavereliggende områder har ikke økningen i vinternedbør klart å kompensere for den økte temperaturen, slik at her har snømengdene blitt mindre (Skaugen m.fl. 2013).

Det at utviklingen over tid er ulik i forskjellige høydesoner, medfører at når en ser på aggregerte verdier for større områder, vil de ulike trendene i noen grad oppheve hverandre. Det betyr at selv om det ikke har vært noen signifikant endring i snømagasinet for hele det norske vannkraftsystemet de siste 55 år, kan det ha skjedd vesentlige endringer mer lokalt. Dette er illustrert ved å se på utviklingen av årlig maksimalt snømagasin beregnet i to av HBV-modellene som benyttes til å prognosere tilsiget til det norske vannkraftsystemet. En ser av figur 2.2.4 henholdsvis en positiv trend for høyfjellsfeltet Hølen i Kinso i Hordaland (median høyde ca. 1300 moh.), mens det er en negativ trend for lavlandsfeltet Gjerstad i Aust-Agder (median høyde ca. 300 moh.).



Figur 2.2.4. Utviklingen i årlig maksimalt snømagasin målt i meter vannekvivalent fra 1958 til 2012 for nedbørfeltene til Hølen (høyre) og Gjerstad (venstre). Nedbørfeltet til Hølen har en medianhøyde på ca. 1300 moh og ligger innerst i Hardangerfjorden. Nedbørfeltet til Gjerstad har en medianhøyde på ca. 300 moh og ligger i Aust-Agder ca. 2 mil nordvest for Risør. Snømagasinet er beregnet ved bruk av HBV-modeller.

2.2.3 Tidspunkt for kulminasjon

Snømagasinet (målt i TWh) har de siste 55 år i gjennomsnitt kulminert omkring 20. april. Det tidligste kulminasjonstidspunktet er 25. mars, det var i 1974. Det seinest beregnede kulminasjonstidspunktet er 13. mai i 1992, dvs. en variasjon på 7- 8 uker.

En trendanalyse (figur 2.2.5) antyder at snømagasinet i gjennomsnitt kulminerer omkring 14 dager tidligere nå enn på slutten av 1950-tallet. Det kan forklares med en økning av temperaturen om vinteren og våren, som har medført at snøsesongen har blitt kortere i lavlandet, og som har gitt en tidligere start på snøsmeltingen i høyden.



Figur 2.2.5. Tidspunkt for maksimalt snømagasin fra 1958 – 2012 er markert med blå rektangler. Den røde kurven viser 10-års glidende middelverdi for tidspunkt for maksimalt snømagasin, og den svarte streken viser trenden for den rød kurven. Dagnummer 80 og 140 tilsvarer 22. mars og 20. mai.

Figur 2.2.6 viser når snømagasinet er redusert til henholdsvis 20 og 10 TWh. I gjennomsnitt for perioden 1981-2010 er snømagasinet 20 TWh eller mindre den 13. juni (dagnummer 165) og 10 TWh eller mindre den 4. juli (dagnummer 185). Figuren antyder at det de siste årene har vært mindre snø enn tidligere utover sommeren, men det er ingen signifikant trend i denne utviklingen.

Det er naturlig nok en klar sammenheng mellom maksimalt snømagasin i løpet av våren og hvor mye snø som ligger igjen utover sommeren (Figur 2.2.7). I gjennomsnitt kulminerer snømagasinet i våre beregninger med 58 TWh. I år hvor snømagasinet har vært minst 25 % mindre enn normalt, er snøens restmagasin som regel redusert til omkring 20 TWh i slutten av mai (variasjon fra 12. mai – 14. juni) og til 10 TWh midt i juni (30 mai – 3. juli).

I år hvor snømagasinet har vært minst 25 % større enn normalt, er det som regel et restmagasin på 20 TWh i starten av juli og 10 TWh i slutten av juli. For disse årene har restmagasinet passert 20 TWh innen 16. juli og 10 TWh innen 9. august.

I enkelte snøfattige år kan snømagasinet være redusert til 10 TWh i slutten av mai, mens i snørike år kan en ha en tilsvarende snømengde i starten av august.



Figur 2.2.6. 10-års glidende gjennomsnitt av restmagasin snø mindre enn 20 og 10 TWh. Dagnummer 150 og 200 tilsvarer 29. mai og 19. juli. Første og siste punkt på grafen er henholdsvis midlet for årene 1958-1967 og 2003-2012.



Figur 2.2.7. Tidspunkt for restmagasin av snø mindre enn 20 (rød punkter) og 10 TWh (blå punkter) mot årlig maksimalt snømagasin. Snømagasinets midlere kulminasjon (58 TWh) og avvik på +/- 25 % er markert med horisontale svarte linjer.

2.3 Mark- og grunnvann

Lagerkapasiteten i mark-og grunnvann er beregnet som avvik i forhold til maksimalt lagret vann i mark- og grunnvann i løpet av 30-årsperioden 1981-2010 ved bruk av våre HBV-modeller.

2.3.1 Variasjon fra år til år

I gjennomsnitt er lagerkapasiteten i bakken størst (ca. 15 TWh) på våren før snøsmeltingen tar til og minst (ca. 8 TWh) i juni etter at det meste av snøen har smeltet (NVE-rapport 29-2013).

I henhold til våre beregninger har det i løpet av årene 1959-2012 vært en maksimal variasjon tilsvarende 16 TWh lagret i mark- og grunnvann. De fuktigste forholdene var i starten av juni 1995 med en vannmengde tilsvarende om lag 27 TWh lagret i grunnen, mens det var tørrest i august 1969 med om lag 11 TWh (figur 2.3.1). Variasjonen er 3 TWh større enn antydet i NVE-rapport 29-2013. Analysene er avgrenset til årene 1959 – 2012, fordi resultatene fra 1958 (første år i serien) synes å være sterkt påvirket av initialtilstanden i modellene.



Figur 2.3.1. Årlig største og minste lagrede vannvolum målt i TWh i mark- og grunnvann for hele landet fra 1959-2012.

I tabell 2.3.1 er det gitt en oversikt over variasjonsbredden for landet totalt sett og for de ulike delområdene. Det er størst variasjon i område 1 (Sørlandet og Østlandet). Av den totale variasjonen på 16 TWh, har område 1 bidratt med 11 TWh eller nesten 70 %. Det

betyr at for kraftsituasjonen vil omfattende tørke på Øst- og Sørlandet gi opphav til de største tilsigsunderskuddene. Dette virker rimelig, da det er større løsmasser her enn i store deler av landet ellers.

Tabell 2.3.1 Største og minste lagrede vannvolum og differansen mellom disse målt i TWh
i mark- og grunnvann for perioden 1959-2012. Differansen er og gitt som andel av
midlere årsnedbør (TWh;1981-2010) i de ulike områdene.

	Norge	Område 1	Område 2	Område 3	Område 4
Maks	27	17	3	5	3
Min	11	6	1	2	1
Differanse	16	11	2	3	2
Andel av årsnebør	12 %	17 %	6 %	11 %	19 %

I både område 1 og 4 kan underskuddet i mark- og grunnvann utgjøre opp 15 - 20 prosent av midlere årsnedbør. For mindre områder (NVE-rapport 12-2008) kan imidlertid jordas maksimale lagerkapasitet utgjøre opp mot 60 % av årlig effektiv nedbør (nedbør – fordampning). Den tørreste episoden i område 4 (Nord-Norge) er fra slutten av august 1980, etter en lang periode med pent og varmt vær i store deler av Nord-Norge (figur 2.3.2). I Karasjok var denne sommeren den 3. tørreste på 110 år (Bjørbæk, 2003).

I område 1, eller på Sør- og Østlandet, er den tørreste episoden fra august 1969. Dette er illustrert i figur 2.3.3, som viser at beregnet vanninnhold i mark- og grunnvann i slutten av august 1969 i dette området var omkring 4 TWh mindre enn normalt. Tørken sommeren 1969 skyldes dels at det var lite snø i fjellet i Sør-Norge våren 1969. Dernest kom det lite sommernedbør. Dette er illustrert i figur 2.3.3 som viser at beregnet nedbørenergi denne sommeren i område 1 (blå søyler i figuren), stort sett lå under normalverdiene (grønne søyler).

Hvis en beregner avvik av vanninnhold i bakken i forhold til den normale årsvariasjonen (1981-2010, figur 2.3.4), finner en at i tørre perioder har det vært ned mot 5 - 6 TWh mindre enn normalt (figur 2.3.5).

Året 1969, var det i følge våre beregninger tørrere enn normalen gjennom hele våren og sommeren, og i august 1969 var det nær 6 TWh tørrere enn normalen. Mye nedbør på Vestlandet og i Trøndelag og Nordland i september og oktober 1969 medførte at det igjen var "nasjonal balanse" i grunnen i løpet av oktober. Tilsvarende finner en at i perioder med svært mye nedbør har det vært omkring 5 TWh fuktigere enn normalen i bakken. Dette bidrar til å utjevne variasjonene i nedbør, slik at variasjonene i tilsig blir noe mindre.



Figur 2.3.2. Tørkevarighet, definert som antall dager med en vannlagerkapasitet i jord som er mindre enn 10-persentilen beregnet for perioden 1981-2010.



Figur 2.3.3. Modellert vanninnhold i mark- og grunnvann i område 1 (Sør- og Østlandet) fra slutten av mai til starten av september 1969 (rød kurve) og som middel for perioden 1981-2010 (svart kurve). Vanninnholdet er gitt i enhet GWh (venstre akse).

Søylene viser beregnet nedbørenergi pr uke for henholdsvis normalperioden 1981-2010 (grønne søyler) og for 1969 (blå søyler). Nedbørenergi er gitt i enhet GWh/ døgn (høyre akse).



Figur 2.3.4. Gjennomsnittlig vannlagerkapasitet i mark- og grunnvannet. Lagerevnen er beregnet i forhold til høyeste simulerte vanninnhold for hvert enkelt modellfelt i perioden 1981-2010.



Figur 2.3.5. Maksimalt avvik 1959-2012 i forhold til normalt fuktighetsinnhold i bakken (1981-2010) beregnet i TWh. Positive verdier tilsvarer fuktigere forhold enn normalt og negative tørrere. Året 1968/69 er vist med fiolett farge, i august 1969 overlapper denne minimumskurven.

2.3.2 Trender

I figur 2.3.6 er avvik fra normalt fuktighetsinnhold i bakken den første i hver måned fra 1959 – 2012 illustrert. Analysene viser at det meste av året er det ingen signifikant trend verken mot tørrere eller fuktigere forhold. Unntakene er om våren, hvor fuktighetsinnholdet pr. 1. april og 1. mai i gjennomsnitt har økt med henholdsvis 0,5 TWh og 0,8 TWh pr. 10-år. Dette harmonerer godt med en tendens til tidligere snøsmelting (jf. kap. 2.2.3).



Figur 2.3.6 Avvik fra normalt (1981-2010) fuktighetsinnhold i bakken den første i hver måned for årene 1959 – 2012. Merk at 1959 er lengst til høyre på x-aksen. Positive verdier tilsvarer fuktigere forhold enn normalt og negative tørrere. De rød strekene er tilpassede trendlinjer. Alle verdier i TWh.

2.4 Energitilsig

2.4.1 Variasjon fra år til år

Tilsiget til det norske vannkraftsystemet er beregnet til 130 TWh som gjennomsnitt for 30-årsperioden 1981-2010. Det vil si det samme som beregnet effektiv nedbørenergi. Tilsiget har i løpet av årene 1958 – 2012 variert fra 90 TWh i 1960 og 1969 til 165 TWh i 1989 (figur 2.4.1), eller en variasjon på 75 TWh. Denne variasjonen er noe mindre enn variasjonen i nedbør (drøyt 80 TWh), det skyldes utjevning på grunn av variasjoner i snø, mark- og grunnvann.



Figur 2.4.1. Nyttbart tilsig for Norge fra 1958 til 2012 (TWh/ år).

På Sør- og Østlandet (delområde 1) er 1996 og 2000 årene med henholdsvis minst og størst tilsig (figur 2.4.2). I resten av landet er 1960 året med minst tilsig og 1989 året med størst tilsig.



Figur 2.4.2. Årlig energitilsig for delområde 1, 2, 3 og 4 målt i TWh fra 1958 til 2012.

En ser av figur 2.4.2, som for nedbørenergi, at det er relativ god samvariasjon mellom tilsiget i flere av delområdene. Korrelasjonsanalyse (tabell 2.4.1) viser at på årsverdier er det en korrelasjon på omkring 0,8 mellom tilsigene i både område 1 og 2, område 2 og 3 og område 3 og 4. Det tilsier at for eksempel tørke i magasinområdene på Øst- og Sørlandet kan sammenfalle med tørke på Vestlandet, noe som for eksempel var tilfelle i 2010.

Tabell 2.4.1 Korrel	asjon mellom l	beregnet er	nergitilsig (d	årsverdier) i	de enkelte
delområdene.					

	Område 1	Område 2	Område 3	Område 4
Område 1	1,00	0,82	0,57	0,32
Område 2	0,82	1,00	0,78	0,56
Område 3	0,57	0,78	1,00	0,77
Område 4	0,32	0,56	0,77	1,00

2.4.2 Trender

Energitilsiget de siste 55 år har økt i takt med den økte nedbøren. Dette er illustrert i figur 2.4.3 hvor energitilsiget for de ulike delområdene er beregnet som 10-års glidende middel. Som for nedbør er de laveste 10-årsmidlene for tilsig i 1960- og 1970- årene, mens de høyeste verdiene er i 1980- og 1990-årene.

Enkle lineære trendanalyser viser en økning i alle områder. For landet under ett gir en slik analyse en korrelasjonskoeffisient (r^2) på 0,70 og en gjennomsnittlig økning av tilsiget med 5 TWh pr. 10 år, eller en årlig økning på 0,3 – 0,4 %.

Det er imidlertid viktig å merke seg at de siste årene viser tilsiget naturlig nok den samme tendens som nedbør, en avtagende trend. Fra perioden 1983-92 til 2003 - 2012 er tilsiget redusert med omtrent 3 TWh/ 10 år (figur 2.4.4). At reduksjonen i tilsig er noe mindre enn for nedbørenergi (ca. – 4 TWh/ 10 år) skyldes sannsynligvis statistiske tilfeldigheter.

Det er og gjennomført en analyse som viser at med et signifikansnivå på 5 %, er det en signifikant økning av midlere 10-års energitilsig . I figur 2.4.5 er årlig energitilsig plottet sammen med midlere 10-års energitilsig med 95 %-konfidenseintervall. I starten av serien er midlere 10-års energitilsig om lag 115 TWh (konfidensintervall ca. 102 – 125 TWh). Mot slutten av serien er midlere energitilsig om lag 130 TWh (konfidensintervall ca. 115 – 140 TWh). Dataene viser imidlertid tydelig at selv om det er en signifikant endring i midlere årlig energitilsig, så er variasjonen så stor fra år til år at man fremdeles kan få enkeltår med like lave tilsig som i starten av perioden.



Figur 2.4.3. Energitilsig beregnet som 10-års glidende middel fra 1958 til 2012 for delområdene 1, 2, 3 og 4.



Figur 2.4.4. Sum energitilsig Norge beregnet som 10-års glidende middel fra 1958 til 2012. Den blå trendlinjen er beregnet med data for 10-årsperiodene fra 1958-1967 til 2003-2012, mens den rød trendlinjen dekker periodene fra 1983-92 til 2003-2012.



Figur 2.4.5. Sum energitilsig Norge, årlige verdier 1958-2012 (tynn blå), 10-års glidende middel (tykk blå) med 95 % konfidensintervall (stiplet).

2.5 Vannbalanse for et tørt og et vått år

I sum for hele landet har tilsiget, som tidligere nevnt, variert fra 90 TWh i 1960 og 1969 til 165 TWh i 1989 i løpet av årene 1955 – 2012. For å illustrere de store forskjellene en kan ha fra år til år i de ulike parameterne er vannbalansen disse årene illustrert i figur 2.5.1-3. I disse figurene er det valgt å benytte hydrologiske år (oktober – september) på tidsaksen, dette spesielt på grunn av snømagasinets sesongvariasjon.

En ser av figur 2.5.1 at vinteren 1968/69 kulminerte snømagasinet med en vannmengde tilsvarende 39 TWh, mens i den nedbørrike vinteren 1988/89 kulminerte snømagasinet med 82 TWh (figur 2.5.2). En ser og at en del snø oversomret, ikke smeltet i løpet av sommeren 1989, mens det allerede tidlig på sommeren 1969 nesten var snøfritt.

Etter den snøfattige vinteren 1969, kom det også lite nedbør utover sommeren, i sum kom det omkring 11 TWh mindre nedbørenergi fra midten av april til utgangen av august (uke 16 – 34) dette året. En ser (figur 2.5.1) at det er flere relativt lange perioder i mai – august hvor beregnet nedbørenergi er negativ. Det vil si at beregnet evapotranspirasjon, eller summen av plantenes vannforbruk og fordampning fra jordsmonnet, innsjøer og andre vannflater, er større enn beregnet nedbør. Det medførte at jordas vannlagerkapasitet økte fra omkring 9 TWh i starten av juni til 21 TWh i midten av august, det er omkring 6 TWh tørrere enn normalen. Gjennom tilnærmet hele 1968/69 var det tørrere enn normalt i bakken.

I tørråret 1968/69 var akkumulert tilsig noe høyere enn akkumulert nedbør på seinsommeren. Det skyldes både drenering av grunnvann, fortsatt noe snøsmelting og bresmelting. Fra ca. 20 juli til 20. august dette året var sum tilsig om lag 8 TWh høyere enn sum nedbør. I denne perioden smeltet det drøyt 1 TWh snø, samtidig ble mark- og grunnvannet «redusert» med om lag 6 TWh, noe av dette gikk til avrenning og førte til lavere grunnvannstand, mens noe «forsvant» gjennom fordampning (plantenes vannforbruk) og ga et tørrere jordsmonn. Det medfører at bresmelting anslagsvis har stått for 1 - 3 TWh av tilsiget i denne perioden. Dette året var det for eksempel den største negative massebalansen på Storbrean i Jotunheimen i løpet av årene 1950 – 2000. På 2000-tallet har det imidlertid vært flere år med enda større negativ massebalanse på denne breen (Andreassen og Winswold 2012).

Akkumulert tilsig fra oktober 1968 til og med august 1969 var 81 TWh, eller 39 TWh mindre enn normalen (figur 2.5.3), frem til utgangen av september økte tilsigsunderskuddet til 40 TWh.

Vinteren 1989 var snørik, og det fortsatte med noe mer nedbør enn normalen også utover våren og sommeren (ca. 5 TWh mer enn normalen fra uke 16 - 34). Det medførte at det gjennom det meste av 1988/89 var fuktigere enn normalt i bakken. Midt i august 1989 hadde jorda en vannlagerkapasitet på ca. 11 TWh, det er ca. 4 TWh fuktigere enn normalen og en forskjell på 10 TWh fra den tørre sommeren i 1969.



Figur 2.5.1. Vannbalansedata for et tørt år. Beregnet snømagasin (grå skravur) og lagerkapasitet for mark- og grunnvann (oransje skravur) er gitt i TWh (venstre akse). Beregnet nyttbart tilsig (svart strek) og nedbørenergi (blå strek) (glattet over 7 døgn) er gitt i GWh/ døgn (høyre akse). X-aksen går fra 1. oktober 1968 til 30. september 1969.



Figur 2.5.2. Vannbalansedata for et fuktig år. Beregnet snømagasin (grå skravur) og lagerkapasitet for mark- og grunnvann (oransje skravur) er gitt i TWh (venstre akse). Beregnet nyttbart tilsig (svart strek) og nedbørenergi (blå strek) (glattet over 7 døgn) er gitt i GWh/ døgn (høyre akse). X-aksen går fra 1. oktober 1988 til 30. september 1989.



Figur 2.5.3. Akkumulerte vannbalansedata for et tørt (1968/69) og et fuktig år(1988/89). Alle verdier i TWh. X-aksen går fra 1. oktober til 30. september.

2.6 Frekvensanalyser

Det er utført frekvensanalyse av nedbør og tilsigsdata på års- og sesongverdier for delområdene 1- 4 og for Norge under ett. Året er delt i to sesonger, hvor sommersesongen er definert som 1. mai til 30. september og vintersesongen fra 1. oktober til 30. april. Det er benyttet data fra 55 år (1958 – 2012) i analysene. I tillegg er tilsigsdata analysert for perioden 1. august – 31. desember («høstsesong»). Dette er gjort for sammenligning med tidligere analyser av den tørre høsten 2002 (Killingtveit m.fl. 2003).

Ved tradisjonell ekstremverdianalyse «plukkes» for eksempel årlige maksimums- eller minimumsverdier fra en lang årrekke og tilpasses en statistisk fordelingsfunksjon. Ved analyse av aggregerte verdier over en sesong eller år, benyttes alle data i serien som skal analyseres. Ved beregning av gjentaksintervall for aggregerte verdier er normalfordeling benyttet.

Ved bruk av gjentaksintervall refereres det her til tørkehendelser. For sjeldne hendelser, over 100 års gjentaksintervall er det betydelig usikkerhet i resultatene.

2.6.1 Nedbørenergi

Midlere nedbørenergi for Norge for 30-årsperioden 1981-2010 er 130 TWh, mens for hele analyseperioden (1955-2012) er den ca. 123 TWh. Analysene viser videre at det i gjennomsnitt hvert tiende år må påregnes en nedbørenergi som er mindre enn 99 TWh og i gjennomsnitt hvert hundrede år mindre enn 78 TWh. Den minste beregnede nedbørenergien for landet under er 1960 med 86 TWh, denne hendelsen har et beregnet gjentaksintervall på nesten 50 år.

Fra de senere årene er 2010 det tørreste året, med en beregnet nedbørenergi på 90 TWh. Denne hendelsen har et gjentaksintervall på noe over 20 år. Året 2010 er en påminning om at selv om det i gjennomsnitt har blitt fuktigere i Norge i løpet av de siste 50 årene, forekommer fortsatt tørre år.

Analysene viser videre at det i gjennomsnitt hver tiende sommersesong må påregnes en nedbørenergi som er mindre enn 27 TWh i Norge. Den minste beregnede nedbørenergien i løpet av sommersesongen (mai – september) for landet under ett var i 1976 med 20 TWh. Hendelsen har et beregnet gjentaksintervall på 100 år.

Sommeren 1976 var spesielt tørr på Øst- og Sørlandet (område 1) med en nedbørenergi på kun 6 TWh. Analysene antyder at denne tørken hadde et gjentaksintervall på omkring 100 - 200 år. Det er imidlertid svært stor usikkerhet knyttet til slike analyser først og fremst fordi det er et begrenset antall år med data som er tilgjengelig for analyse. Ved å gjennomføre en usikkerhetsanalyse (figur 2.6.1), finner en at med et konfidensintervall på 95 prosent ligger en sommertørke med gjentaksintervall på 200 år i område 1 på mellom 2 og 7 TWh. Det er altså svært stor usikkerhet knyttet til "halen" på slike beregninger.

For vintersesongen (oktober – april) er den minste beregnede nedbørenergien i 1965/ 1966 med 59 TWh. Denne hendelsen har et beregnet gjentaksintervall på mellom 10 og 20 år. Denne vinteren var også «ekstrem kald i så godt som hele landet» (Bjørbæk, 2003) og blir regnet som den kaldeste i det forrige århundre.

Resultatene av analysene av nedbørenergi er gitt i tabell 2.6.1 – 2.6.3.



Figur 2.6.1 Frekvensanalyse av nedbørenergi for sommersesongen (1.mai – 30. september) for område 1 (Øst- og Sørlandet) ved bruk av normalfordeling med 95 prosents konfidensintervaller.

Tabell 2.6.1. Årlig nedbørenergi for ulike gjentaksintervall for Norge og delområdene 1-4. Verdiene er i TWh.

Gj.int. år	5	10	20	50	100	200	500	1000	År min	Obs min
Norge	107	99	92	84	78	73	68	63	1960	86
omr.1	51	47	43	40	37	35	32	30	2010	41
omr.2	24	21	19	16	14	13	11	9	1960	16
omr.3	22	20	18	16	15	14	13	12	1960	16
omr.4	7	7	6	5,3	4,8	4,4	4	4	1960	4,8

Tabell 2.6.2. Nedbørenergi for sommersesongen (1.mai – 30. september) for ulike gjentaksintervall for Norge og delområdene 1-4. Verdiene er i TWh.

Gj.int. år	5	10	20	50	100	200	500	1000	År min	Obs min
Norge	30	27	25	22	20	18	16	14	1976	20
omr.1	13	11	9	7,4	6,2	5,1	3,7	2,8	1976	5,7
omr.2	7,0	6,1	5,3	4,4	3,8	3,3	2,6	2,1	1968	4,6
omr.3	6,6	5,9	5,2	4,5	4,1	3,6	3,1	2,8	1968	3,3
omr.4	2,1	1,7	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	1980	1,1

Gj.int. år	5	10	20	50	100	200	500	1000	År min	Obs min
Norge	71	62	55	47	42	37	31	27	1965/1966	59
omr.1	34	30	26	22	19	17	14	12	1962/1963	24
omr.2	15	13	10	7,6	5,8	4,2	2,2	0,8	1976/1977	10
omr.3	14	12	11	9	7,9	6,8	5,5	4,5	1959/1960	9,3
omr.4	4,8	4,2	3,6	3,1	2,7	2,3	1,9	1,6	1984/1985	3,4

Tabell 2.6.3. Nedbørenergi for vintersesongen (1.oktober – 30. april) for ulike gjentaksintervall for Norge og delområdene 1-4. Verdiene er i TWh.

2.6.2 Energitilsig

Midlere energitilsig for Norge for 30-årsperioden 1981-2010 er 130 TWh, mens for hele analyseperioden (1955-2012) er den ca. 123 TWh. Analysene viser videre at det i gjennomsnitt hvert tiende år må påregnes et energitilsig 100 TWh eller mindre og i gjennomsnitt hvert hundrede år mindre enn 81 TWh. Den minste beregnede energitilsiget for landet under ett er 1969 med 90 TWh, denne hendelsen har et beregnet gjentaksintervall på 20-50 år.

I «Killingtveit m.fl. 2003» er tørrår «*definert som et kalenderår med et tilsig så lavt at gjentaksintvevallet vil være* ≥ 10 år,» som i disse analysene tilsvarer et nyttbart tilsig som er 100 TWh eller mindre. I henhold til denne definisjonen har årene 1959, 1960, 1966, 1969, 1970, 1980, 1996 og 2010 vært tørrår (figur 2.4.1). Tørråret 2010, som hadde et nyttbart tilsig på 97 TWh, har et gjentaksintervall på mellom 10 og 20 år.

Analysene viser videre at det i gjennomsnitt hver tiende sommersesong må påregnes et energitilsig som er mindre eller lik 71 TWh i Norge og mindre enn 58 TWh i gjennomsnitt hvert hundrede år.

Det minste beregnede energitilsiget i løpet av sommersesongen (mai – september) for landet under ett var i 1996 med 60 TWh, det er ca. 30 TWh mindre enn normalt. Hendelsen har et beregnet gjentaksintervall på 50-100 år. Denne vinteren var det svært lite snø i fjellet, snømagasinet kulminerte våren 1996 med ca. 33 TWh eller om lag 25 TWh mindre enn normalen. Deretter fulgte også en relativt tørr sommer, med en beregnet nedbørenergi på ca. 30 TWh eller omkring 7 TWh mindre enn normalen.

I område 1 var det spesielt lite tilsig sommeren 1996 med kun 23 TWh, denne hendelsen har et beregnet gjentaksintervall på 200-500 år. Sommeren 1976, da det var svært lite nedbør i område 1 (se avsnitt 2.6.1), ble tilsiget 39 TWh. Årsaken var at denne våren var snømagasinet tilnærmet normalt.

For vintersesongen (oktober – april) er det minste beregnede energitilsiget i 1976/77 med 18 TWh, eller ca. 22 TWh mindre enn normalen. Denne hendelsen har et beregnet gjentaksintervall på noe over 20 år. Årsaken til det lave tilsiget denne vinteren var en relativt kald høst, vinter og vår i store deler av Sør-Norge, samtidig som det var lite nedbør på Vestlandet denne høsten og vinteren (Bjørbæk, 2003).

Resultatene av analysene av energitilsig er gitt i tabell 2.6.4 -2.6.6.

Gj.int. år	5	10	20	50	100	200	500	1000	År min	Obs min
Norge	108	100	93	86	81	76	70	67	1969	90
omr.1	51	47	43	40	37	35	32	30	1996	40
omr.2	24	22	20	17	16	14	13	11	1960	18
omr.3	23	21	20	18	17	16	15	14	1960	17
omr.4	7,6	7,0	6,4	5,9	5,5	5,1	4,7	4,4	1960	5,2

Tabell 2.6.4. Årlig energitilsig for ulike gjentaksintervall for Norge og delområdene 1-4. Verdiene er i TWh.

Tabell 2.6.5. Energitilsig for sommersesongen (1.mai – 30. september) for ulike gjentaksintervall for Norge og delområdene 1-4. Verdiene er i TWh.

Gj.int. år	5	10	20	50	100	200	500	1000	År min	Obs min
Norge	76	71	67	62	58	55	52	49	1996	60
omr.1	36	33	31	28	26	24	22	20	1996	23,4
omr.2	16	14	13	12	11	9,7	8,6	7,9	1996	11,5
omr.3	17	15	14	13	12	12	11	10	1969	13,9
omr.4	5,4	5,0	4,6	4,2	3,9	3,7	3,3	3,1	1960	4,0

Tabell 2.6.6. Energitilsig for vintersesongen (1.oktober – 30. april) for ulike gjentaksintervall. Verdiene er i TWh.

a 0	_	10	• •		100			1000	Ŷ.,	01 1
Gj.int. år	5	10	20	50	100	200	500	1000	Ar min	Obs min
Norge	28	23	19	15	12	9	6	4	1976/77	18
omr.1	12	10	8,0	5,9	4,4	3,1	1,5	0,4	1969/70	8,8
omr.2	7,7	6,2	5,0	3,6	2,7	1,9	0,9	0,2	1976/77	4,5
omr.3	5,0	4,0	3,1	2,2	1,6	1,0	0,3	0	1976/77	3,0
omr.4	1,8	1,5	1,2	0,9	0,6	0,4	0,2	0	1960/61	1,0

Frekvensanalysene som er utført på henholdsvis nedbørenergi og energitilsig gir noe ulike resultater. For eksempel er for hele Norge en 100-års tørke basert på nedbørdata beregnet til 78 TWh, eller 52 TWh mindre enn normalt. Samme beregning basert på energitilsig gir 81 TWh, eller 49 TWh mindre enn normalt. Forskjellen skyldes sannsynligvis både statistiske tilfeldigheter, men også at andre vannbalanseparametere (snø-, mark- og grunnvann) virker utjevnende på tilsig i forhold til nedbør.

En slik utjevning, vil ofte være riktig, men ikke alltid. For eksempel var snømagasinet omkring 13 TWh mindre i desember 1968 enn ved starten av året, dette bidro til at tilsiget i 1968 ble 115 TWh, mens nedbøren kun var 103 TWh. Året etter, i 1969 var snømagasinet ved utgangen av året 10 TWh større enn i starten av året, dette medførte at tilsiget i 1969 kun ble 90 TWh selv om beregnet nedbørenergi dette året var 97 TWh.

I «Killingtveit m.fl. 2003» ble den tørre høsten 2002 analysert spesielt. Grunnlaget for de analysene var energitilsigsserier som dekket perioden 1931-2002. Analysene var da basert på observerte data (Nord Pool) for årene etter 1996. For årene 1931 – 1995 var

energitilsiget basert på et annet utvalg av tilsigsserier enn dem som benyttes i dag (Holmqvist og Engen 2008). Konklusjonen var da at tilsiget i perioden 1. august – 31. desember 2002 hadde gjentaksintervall som varierte fra omkring 10 år i Midt- og Nord-Norge til omkring 200 år i Sørøst-Norge. For landet under ett ga de analysene en 100–200 års tørke.

Analysene i denne rapporten viser at høsten 2002 er, med unntak av område 4 (Nord-Norge), den tørreste i alle deler av landet. Lengst nord er det høsten 1960 som er den tørreste i vårt datamateriale. Tørken høsten 2002 hadde et gjentaksintervall på ca. 200 år på Øst- og Sørlandet, 100 år på Vestlandet, 20 - 50 år i Midt-Norge og 5 - 10 år i Nord-Norge (tabell 2.6.7). Spesielt denne høsten var at det var tørt over hele landet, noe som i disse analysene gir et gjentaksintervall for landet under ett på 200 – 500 år.

Det er viktig å huske på at det er et begrenset antall år til analyse. En tommelfingerregel sier at en skal være forsiktig med å anslå gjentaksintervall for hendelser som er sjeldnere enn 2 ganger lengden på serien som analyseres. I vårt tilfelle har vi 55 år med data tilgjengelig for analyse. På tross av forskjellig datagrunnlag og relativt korte serier for analyse, er det rimelig godt samsvar mellom analysene av tørken høsten 2002 i denne rapporten og i «Killingtveit m.fl 2003».

Tabell 2.6.7. Energitilsig for høstsesongen 1.august – 31. desember for ulike gjentaksintervall og for høsten 2002. Verdiene er i TWh.

Gj.int. år	5	10	20	50	100	200	500	1000	Obs 2002
Norge	38	35	32	28	26	24	22	20	22,8
omr.1	16	14	13	11	10	9	7,7	6,8	8,7
omr.2	10	8,9	7,9	6,7	6,0	5,3	4,4	3,8	6,0
omr.3	7,8	6,9	6,2	5,5	4,9	4,5	3,9	3,5	5,8
omr.4	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,0	0,9	2,4

2.6.3 Flere tørre år i serie

Ved å se på glidende middel over 1, 2 og 3 år vil de beregnede minimumsverdiene bli mindre enn når en ser på kalenderår. Ved glidende midling over både 12 måneder, 24 måneder og 36 måneder blir det avhengighet mellom årene i midlingsperioden. De beregnede minimumsverdiene for de ulike periodene kan derfor delvis overlappe, som for eksempel 24 måneders midlene for juli 1968 – juni 1970 og januar 1969 – desember 1970. Det er derfor ikke utført ekstremverdianalyse (beregnet gjentaksintervall) på disse dataene, fordi en da forutsetter at verdiene er uavhengig av hverandre.

Dataene illustrerer imidlertid flere interessante forhold. For eksempel underskrides minste beregnede årstilsig for Norge 90 TWh (1969) fire ganger (tre uavhengige) ved å beregne glidende middel over 12 måneder (tabell 2.6.8 og figur 2.6.2). Et årstilsig (kalenderår) på 87 TWh har et gjentaksintervall nesten 50 år i henhold til tabell 2.6.4. I løpet av vilkårlige 12 måneders perioder har tilsiget vært så lite 3 ganger på noe over 50 år. For en vilkårlig 12 måneders periode gir dette et gjentaksintervall på grovt sett 10 - 20 år for et tilsigsunderskudd på 43 TWh (130 TWh – 87 TWh). En grov analyse av figur 2.6.2 viser at det har vært fem uavhengige 24 måneders episoder med et tilsig mindre eller lik 105 TWh/ år, som tilsvarer tilsiget vi hadde fra august 2002 – juli 2004. De øvrige episodene er alle fra tidligere år. Gitt at det ikke er noen trend i dataene (jf. avsnitt 2.4.2), medfører det at i løpet av en vilkårlig 24 måneders periode har et tilsigsunderskudd på 50 TWh et gjentaksintervall på omkring 10 år.

Det kan også være verd å merke seg at om tørken i 2002 – 2004 utvides til å omfatte juni 2002 til august 2004 (26 måneder) øker tilsigsunderskuddet fra 50 til 57 TWh.

I løpet av 36 måneder er det minste beregnede tilsiget 100 TWh/ år som tilsvarer et akkumulert tilsigsunderskudd på 90 TWh. Dette har forekommet fire ganger, men kun ved to uavhengige tilfelle (tabell 2.6.7) siden 1958. Etter 1981 er det minste beregnede tilsiget i løpet av en tilfeldig 3 års periode fra juni 2002 og fremover med 111 TWh/ år. Det tilsvarer et tilsigsunderskudd i løpet av perioden på 57 TWh.

Periode	TWh/ år		TWh/ år		TWh/ år	
1 år		2 år		3 år		Rangering
Sep. 1968 – Aug. 1969	87	Juli 1968 – Juni 1970	92	Juli 1968 – Juni 1971	100	Minst (1)
Aug. 1976 – Juli 1977	87	Juni 1960 – Mai 1962	93	Feb. 1958 – Jan. 1961	100	(2)
Juni 1959 – Mai 1960	87	Jan. 1969 – Des. 1971	94	Juli 1967 – Juni 1970	100	(3)
Feb. 1960 – Jan. 1961	89	Jan. 1959 – Des. 1961	95	Juni 1959 – Mai 1962	100	(4)
Nov. 1995 – Okt. 1996	91	Aug. 2002 – Juli 2004	105	Juni 2002 – Mai 2005	111	Minst etter 1981
Jan – Des. 1969	90	Jan. 1969 – Des. 1971	94	Jan. 1958 – Des. 1961	100	Minst kalenderår

Tabell 2.6.7 Energitilsig Norge beregnet som glidende middel over 1, 2 og 3 år.



Figur 2.6.2. Glidende middel av energitilsig for Norge (1 år svart, 2 år rød og 3 år grønn strek). Enheten på y-aksen er TWh/ år. Første år på x-aksen er 1959 hvor 3 års middelet for 1959 dekker perioden 1958 – 1960.

Referanser

Andreassen, Liss, Winswold, Solveig H. m.fl. 2012. Inventory of Norwegian Glaiciers. NVE-Rapport 38-2012.

Bjørbæk, Gustav 2003, «Norsk vær i 110 år».

Colleuille, Hervé m.fl. 2008. Betydning av grunnvanns- og markvannsforhold for tilsig og kraftsituasjon. NVE-rapport 12-2008.

Hanssen-Bauer, Inger (redaktør) 2009. "Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing." Meteorologisk institutt, Universitetet i Bergen, Bjerknessenteret for klimaforskning, Havforskningsinstituttet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Nansen-senteret for miljø og fjernmåling.

Holmqvist, Erik og Engen, Inger Karin 2008. Utvalg av tilsigsserier til Samkjøringsmodellen. NVE-rapport 7-2008.

Holmqvist, Erik 2013. Beregning av energitilsig basert på HBV-modeller. NVE-rapport 29-2013.

Killingtveit m.fl. 2003. Tørrårsberegninger. Analyse av forløp, hyppighet og utbredelse av tørke i Norge og Sverige. NVE-Oppdragsrapport 13-2003 (U. off.)

Skaugen, Thomas, Bache Stranden, Heidi og Saloranta, Tuomo, 2012. "Trends in snow water equivalent in Norway (1931-2009)." Hydrology Research 43.4, 2012".

Dyrrdal, Anita Verpe, Saloranta, Tuomo, Skaugen, Thomas og Stranden, Heidi Bache, 2013. "Changes in snow depth in Norway during the period 1961-2010. Hydrology Research 44.1- 2013

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

Utgitt i Rapportserien i 2014

- Nr. 1 Analyse av energibruk i forretningsbygg. Formålsdeling. Trender og drivere
- Nr. 2 Det høyspente distribusjonsnettet. Innsamling av geografiske og tekniske komponentdata
- Nr. 3 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet: Eirik Førland, Jostein Mamen, Karianne Ødemark,Hanne Heiberg, Steinar Myrabø
- Nr. 4 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 7. Skred og flomsikring. Sikringstiltak mot skred og flom Befaring i Troms og Finnmark høst 2013
- Nr. 5 Kontrollstasjon: NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 6 New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. Tuomo Saloranta
- Nr. 7 EBO Evaluering av modeller for klimajustering av energibruk
- Nr. 8 Erfaringer fra ekstremværet Hilde, november 2013
- Nr. 9 Erfaringer fra ekstremværet Ivar, desember 2013
- Nr. 10 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2013. Ellen Skaansar (red.)v
- Nr. 11 Energibruksrapporten 2013
- Nr. 12 Fjernvarmens rolle i energisystemet
- Nr. 13 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer. Delprosjekt. 5.1.5
- Nr. 14 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer
- Nr. 15 Tilleggsrapport: Oppsummering av Energimyndighetens og NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 16 Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z). Thomas Væringstad
- Nr. 17 Årsrapport for tilsyn
- Nr. 18 Verktøyprosjektet hydrologi 2010-2013. En oppsummering av aktiviteter og resultater. Erik Holmqvist (red.)
- Nr. 19 Flom og jordskred i Nordland og Trøndelag desember 2013. Elin Langsholt, Erik Holmqvist, Delia Welle Kejo
- Nr. 20 Vindkraft i produksjon i 2013
- Nr. 21 FoU-prosjekt 81072 Pilotstudie: Snøskredfarekartlegging med ATES (Avalanche Terrain Exposure Scale) Klassifisering av snøskredterreng for trygg ferdsel
- Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 3.1. Hvordan beregne ekstremverdier for gitte gjentaksintervaller? Manual for å beregne returverdier av nedbør for ulike gjentaksintervaller (for ikke-statistikker)
- Nr. 23 Flomsonekart Delprosjekt Tuv. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 24 Summary of the review of the electricity certificates system by the Swedish Energy Agency and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)
- Nr. 25 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2011. Jonatan Haga Per Alve Glad
- Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 1 Naturskadestrategi. Sammenligning av risikoakseptkriterier for skred og flom. Utredning for Naturfareprogrammet (NIFS)
- Nr. 27 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen
- Nr. 28 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. "Kvistdammer" i Slovakia. Små terskler laget av stedegent materiale, erfaringer fra studietur for mulig bruk i Norge
- Nr. 29 Reestablishing vegetation on interventions along rivers. A compilation of methods and experiences from the Tana River valley
- Nr. 30 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer
- Nr. 31 Småkraftverk: Tetthet og reproduksjon av ørret på utbygde strekninger med krav om minstevannføring Svein Jakob Saltveit og Henning Pavels
- Nr. 32 Kanalforvaltningen rundt 1814 del av en fungerende statsadministrasjon for det norske selvstendighetsprosjektet. Grunnlovsjubileet 2014
- Nr. 33 Museumsordningen 10 år
- Nr. 34 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen -videreføring
- Nr. 35 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer Delprosjekt. 5.1.5. Revisjon av rapport 13-2014
- Nr. 36 Kvartalsrapport for kraftmarknaden 1. kvartal 2014. Gudmund Bartnes (red.)
- Nr. 37 Preliminary regionalization and susceptibility analysis for landslide early warning purposes in Norway

- Nr. 38 Driften av kraftsystemet 2013
- Nr. 39 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Effekt av progressivbruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse basert på data fra grunnundersøkelser på vegstrekningen Sund-Bradden i Rissa
- Nr. 40 Naturfareprosjektet DP. 6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse-1
- Nr. 41 Bioenergi i Norge
- Nr. 42 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Møre og Romsdal, Trøndelag og Nord-Norge. Delprosjekt. 5.1.3
- Nr. 43 Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge. Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013. Søren Boje, Hervé Colleuille og Graziella Devoli
- Nr. 44 Regional varsling av jordskredfare: Analyse av historiske jordskred, flomskred og sørpeskred i Gudbrandsdalen og Ottadalen. Nils Arne K. Walberg, Graziella Devoli
- Nr. 45 Flomsonekart. Delprosjekt Hemsedal. Martin Jespersen, Rengifo Ortega, Julio H. Pereira Sepulveda
- Nr. 46 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Mulighetsstudie om utvikling av en nasjonal blokkprøvedatabase
- Nr. 47 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU
- Nr. 48 En norsk-svensk elsertifikatmarknad. Årsrapport 2013
- Nr. 49 Øvelse Østlandet 2013. Evalueringsrapport
- Nr. 50
- Nr. 51 Forslag til nytt vektsystem i modellen for å fastsette kostnadsnormer i regionalnettene
- Nr. 52 Jord- og sørpeskred i Sør-Norge mai 2013. Monica Sund
- Nr. 53 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak for 2013
- Nr. 54 Naturfareprosjekt DP. 1 Naturskadestrategi Samarbeid og koordinering vedrørende naturfare. En ministudie av Fellesprosjektet E6-Dovrebanen og Follobanen
- Nr. 55 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Numerisk metode for beregning av udrenert brudd i sensitive materialer
- Nr. 56 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Tilbakeregning av Vestfossenskredet
- Nr. 57 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Effekt av progressiv bruddutvikling i raviner
- Nr. 58 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Sannsynlighet for brudd med prosentvis forbedring
- Nr. 59 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Likestilling mellom bruk av absolutt material faktor og av prosentvis forbedring: bruk av spenningsendring for å definere lokalskred og områdeskred
- Nr. 60 Skredfarekartlegging i Høyanger kommune
- Nr. 61 Flaumsonekart Delprosjekt Førde. Kjartan Orvedal og Ivar Olaf Peereboom
- Nr. 62 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Regionalt formelverk for flomberegning i små nedbørsfelt Delprosjekt. 5.1.6.
- Nr. 63 Naturfareprosjektet DP. 3.2 Datasamordning Ministudie av samordning og deling av flom-og skreddata for tre samarbeidende etater
- Nr. 64 Naturfareprosjektet. Delprosjekt 2- Beredskap og krisehåndtering. Delrapport 1 - Beredskapsplaner og krisehåndtering
- Nr. 65 Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med sedum-vegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo. Bent C. Braskerud.
- Nr. 66 Norges vannbalanse i TWh basert på HBV-modeller. Undertittel: Statistikk og variasjoner 1958-2012. Erik Holmqvist.



Norges vassdrags- og energidirektorat



Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29 Postboks 5091 Majorstuen 0301 Oslo

Telefon: 09575 Internett: www.nve.no