

**Rapport nr 2005/01**

Harald Yndestad

**Prognoser for tilsig til vannkraft**

Forfatter: Dr.philos Harald Yndestad  
E-mail: Harald.Yndestad@hials.no  
Adresse: Høgskolen i Ålesund, N-6025 Ålesund  
Institutt: ITN  
Webside: <http://www.hials.no/>  
Tel.: +47 70 16 12 00  
Oppdragsgiver: Tafjord Kraft AS Ålesund og BKK Bergen  
Rapportserie: Rapport 2005/01  
ISBN: 82-92186-298  
ISSN: 1502-7643

## GENERELT

### Sammendrag

Kraftproduksjonen i Norge er avhengig av tilsig fra nedbør. Tilsig fra nedbør er ikke en konstant ressurs. Det er store variasjoner i tilsig fra år til år og lange dataserier viser at årlig middelvei for tilsig endres over lengre perioder. I en tid med knapphet på kraftproduksjon vil en slik langsiktig endring i tilsig få stor betydning for hvordan kraftproduksjonen bør dimensjoneres i årene framover.

Denne rapporten beskriver en undersøkelse av en rekke lange dataserier for å identifisere trender i dataseriene som vil kunne si noe om hvordan utviklingen av tilsig forventes å bli i de neste 20 år. Undersøkelsen omfatter en analyse av klimaindikatorer og dataserier for tilsig. Klimaindikatorene omfatter utbredelse av Arktisk is, vinter lufttemperatur ved Arktis, endringer i plasseringen av polpunktet, temperaturen for innflyt av varmt atlantehavsvann til Norskehavet og lufttemperaturen ved Norskekysten. Dataseriene for tilsig omfatter samlet Norsk tilsig til vannkraft, samlet Svensk tilsig til vannkraft, tilsig til BKK kraftproduksjon og tilsig til kraftproduksjon ved 8 vassdrag fra Hordaland i sør til Nord-Trøndelag i nord. Undersøkelsen er basert på en wavelet spektrumanalyse. Denne metoden kan identifisere periodetid og fase for dominerende sykluser i dataseriene. Kilden til de dominante periodene er identifisert med krysskorrelasjon mot kjente kilder og ved å sammenlikne periodetid og fase mellom flere dataserier.

Resultatet viser at alle dataseriene for tilsig har dominante sykluser på omkring 9, 18 og 74 år. Disse syklusene er periodevis deterministisk da de er korrelert med lange tidevannsbølger på  $18.6/2=9.3$ , 18.6 og  $18.6*4=74.4$  år. I dataserien for samlet Norsk tilsig er korrelasjonen mellom identifiserte sykluser og tidevannsbølgene beregnet til  $R(9)=0.73$ ,  $R(18)=0.84$  og  $R(74)=0.98$ . En tilsvarende korrelasjon mellom dominante sykluser og tidevannsbølgene er identifisert i dataseriene for innflyt av varmt Atlanterhavsvann til Norskehavet, utbredelse av Arktisk is, NAO vinter indeks, lufttemperaturen langs Norskekysten og i de andre dataseriene for tilsig.

Prognosene på 20 år viser at en kan forvente at NAO vinter indeks vil bli svekket i de neste 20 årene. En svekket NAO indeks vil føre til færre lavtrykk og mindre nedbør til tilsig. Samtidig forventes det at lange tidevannsbølger på ca 9 og 18 år i Norskehavet vil føre til periodevis økt nedbør fram til omkring 2010. Det store omslaget i nedgang for tilsig forventes å komme etter 2010 når tidevannssyklusene snur. En kan da forvente en nedgang i tilsig som tilsvaret den vi hadde fra 1940-årene til 1960-årene.

## Innhold

GENERELT .....	3
Sammendrag .....	3
Innhold .....	4
Begreper .....	5
Symboler .....	5
1 INNLEDNING .....	6
2 MATERIALER OG METODE .....	8
2.1 Dataseriene .....	8
2.2 Systemteori .....	10
2.3 Wavelet spektrum analyse .....	11
2.4 Prognosemodell .....	12
3 KLIMAINDIKATORER .....	13
3.1 Innflyt til Norskehavet .....	13
3.2 Arktiske klimaindikatorer .....	16
3.3 NAO vinter indeks .....	19
3.4 Lufttemperaturen ved Norskekysten .....	21
4 PROGNOSE .....	24
4.1 Norsk tilsig .....	24
4.2 Tilsig til BKK kraftproduksjon .....	29
4.3 Tilsig til Stordalsvatn .....	33
4.4 Tilsig til Austmannhølen .....	36
4.5 Tilsig til Bulken .....	39
4.6 Tilsig til Fossevatn .....	42
4.7 Tilsig til Eidsfoss .....	45
4.8 Tilsig til Øye .....	48
4.9 Tilsig til Horgheim .....	51
4.10 Tilsig til Hæggås Bru .....	54
4.11 Svensk tilsig .....	57
4.12 Norsk pluss Svensk tilsig .....	60
5 DISKUSJON .....	65
5.1 Data og metoder .....	65
5.2 Analysen av dataseriene .....	66
5.3 Prognosen for tilsig .....	67
6 KONKLUSJON .....	68
REFERANSER .....	69

## Begreper

**Lunar nodal syklus:** Tiden det tar (18.6134 år) for at krysspunktet mellom månens plan og solens ekliptiske plan, trenger for å rotere 360 grader.

**Lunar nodal spektrum:** Et sett av harmoniske ( $18.6/n$  år) og sub-harmoniske ( $n \cdot 18.6$  år) perioder som er relatert til lunar nodal syklus.

**Lunar nodal tide:** En vertikal og horisontal tidevannbølge forårsaket av lunar nodal syklus.

**Nutasjon:** En endring av polpunktet i x-retning og y-retning ( $9''$  grader) som en følge av lunar nodal syklus.

**Wavelet:** En glidende krysskorrelasjon mellom en tidsserie og en pulsformet funksjon.

**Wavelet spektrum:** Et sett av waveletfunksjoner basert på pulser med økende bredde.

**Wavelet transformasjon:** En matematisk transformasjon fra en dataserie til et wavelet spektrum.

## Symboler

$a_n$	Amplituden av en generell syklus
$a_{n0}$	Middelverdien av en syklus
$a_{n1}$	Amplituden av en syklus
$N$	Antall år i tidsserien
$n$	Tellevariabel for et harmonisk nummer i lunar nodal spektrum
$Q$	Pearsons korrelasjon koeffisient
$R$	Korrelasjonskoeffisient
$R_a(n)$	Korrelasjonskoeffisient for tidsserie a og syklus n
$R(\tau)$	Autokorrelasjonsfunksjon
$R_{xy}$	Krysskorrelasjon mellom tidsseriene x og y
$t$	Tid
$T_0$	Tiden for lunar nodal syklus (18.6134 år)
$u(t)$	Et lunar nodal spektrum
$v(t)$	En forstyrrelse fra en ukjent kilde
$W(t)$	Et sett dominante wavelet funksjoner
$W_{a,b}(t)$	En wavelet transformasjon med skalering a og tidsforskyvning b.
$y(t)$	En dataserie med målinger
$\pi$	3.14
$\tau$	Tidsforsinkelse
$\angle$	Vinkel (rad)
$\omega$	Vinkelfrekvens (rad/tid)
$\Psi$	Wavelet operator
$\varphi$	Faseforsinkelse (rad)
$\varphi_0$	Fasen til lunar nodal syklus (rad)
$\varphi_a(n)$	Faseforsinkelse for tidsserie a og syklus n
$\omega_0$	Vinkelfrekvens til lunar nodal syklus(rad/tid)
$\Sigma$	Sum operator

## 1 INNLEDNING

Norge har valgt å bruke vannkraft som praktisk talt eneste ressurs i sin kraftproduksjon. I denne situasjon er kraftleverandørene spesielt, og samfunnet generelt, ekstra sårbare for endringer i tilsig av vann til kraftproduksjon. Tilsig av vann til vannmagasinene er en lite forutsigbar ressurs og en mangler gode langtidsprognoser for nedbør. Tendensen i perioden 1990-2000 var at det kom mer nedbør enn tidligere år. Klimaforskere mener at denne økningen kan skyldes drivhuseffekten og at denne utviklingen kommer til å fortsette. Prognoser fra NVE viser at en forventet klimaendring vil føre til at tilsiget til enkelte vassdrag vil få økning på opp til 7 % de nærmeste 30 år og opp til 20 % de neste 100 år (Roald m.fl., 2004). Både norske myndigheter og en del kraftselskaper kan derfor ha oppjustert sine anslag for fremtidig nedbør og kraftproduksjon. Dette betyr at en allerede har budsjettet med en økning i kraftproduksjon som følge av en forventet klimaendring. Dersom denne økningen ikke kommer, og vi i en lengre periode går mot en tørrere periode, vil dette få store konsekvenser for både kraftprodusenter og samfunnet forøvrig. Kunnskap om framtidig tilsig til vannmagasinene har derfor stor betydning for produksjonskapasitet og prisutvikling i kraftmarkedet.

### **NAO-indeksen**

NAO-indeksen er en indikator for antall lavtrykk fra Atlanterhavet til Skandinavia. Den sier samtidig noe om forventet nedbør og tilsig til vannkraft på Vestlandet. Det har derfor vært antatt at dersom en kan lage gode prognoser for NAO-indeksen, kan en også lage gode prognoser for forventet nedbør. Problemet er at der i dag ikke er noen klar offisiell teori om hva som påvirker NAO-indeksen (Hurrell, 2003). Dette gjør at det har vært vanskelig å benytte NAO-indeksen som en indikator for forventet tilsig til kraftmarkedet.

### **Underliggende problemer med prognoser**

Langtidsprognoser er vanligvis basert på historiske data der en søker å estimere en underliggende trend i dataene. Slike analyser kan vise utviklingen av en trend, men det kan være vanskelig å identifisere tidspunktet for når trenden vil snu. En annen metode er å ta utgangspunkt i klimamodeller. Problemet her er at klimamodeller er kostbare og usikre.

I denne undersøkelsen er det benyttet en tredje analysemetode. Denne metoden er basert på at en forsøker å identifisere periodiske endringer i tidsserien. Dersom det er stasjonære periodiske endringer i dataseriene, kan vi beregne en forventet utvikling i framtiden. En identifikasjon av periodiske endringer i dataserier er vanligvis basert på en form for fourieranalyse. Problemet med fourieranalyse er at metoden forutsetter at periodene er stasjonære over hele tidsserien. Dette er vanligvis ikke tilfelle for dataserier fra naturen. Et annet problem er at en mister informasjon om fasen til de periodiske endringene. Fasen er viktig fordi den inneholder informasjon om når endringene kommer. I denne undersøkelsen er det benyttet wavelet spektrumanalyse for å identifisere periodetid og fase til underliggende deterministiske sykluser i tidsserien.

### **Deterministiske perioder i dataserier**

Eksistensen av deterministiske perioder i klima og nedbør har vært og er fortsatt omstridt (Borroughs W, 1992). På begynnelsen av 1900-tallet lanserte den svenske oseanografen Otto Pettersson ideen om at det er en sammenheng mellom nedbør i Skandinavia og lange tidevannsbølger på ca 18 år. Til tross for at Pettersson var en grunnlegger av

moderne oseanografi, fikk teorien ingen anerkjennelse i hans samtid (Pettersson 1905, 1914, 1915, 1930). I perioden fra 1920 til 1970 gjorde russiske forskere en omfattende studie av oseanografiske forhold i Atlanterhavet. Resultatet viste at der var en sammenheng mellom nedbør og tidevannsbølger på ca 18 år (Maksimov og Smirnov 1964, 1965, 1967). Denne forskningen ble avsluttet i 1960-årene. I de senere år har amerikanske og kanadiske undersøkelser identifisert lunar nodal syklusen på 18.6 år i tidevann og nedbør (Currie 1981, 1984, 1987, 1995; Keeling and Whorf 1997; Loder and Garret 1978).

Ved Høgskolen i Ålesund startet en i 1995 en studie av sammenhengen mellom sykliske endringer i klima og sykliske endringer i biomassen i Barentshavet. Undersøkelsene var basert på nye metoder for wavelet spektrumanalyse for å identifisere dominante sykluser i en lang rekke med arktiske tidsserier. Resultatet viste at der er en nær sammenheng mellom et harmonisk spektrum fra tidevannsbølgen på 18.6 år, utbredelse av Arktisk is, temperatur i Norskehavet, biomassen i Barentshavet og NAO-indeksen (Yndestad, 2004, 2006; Yndestad m.fl, 2004).

### **Denne undersøkelsen**

Denne undersøkelsen startet etter at syklusen på 18 ble identifisert i dataserier for tilsig fra Øre og Horgheim. Hensikten med denne undersøkelsen er å gjøre en bredere analyse for å bekrefte eller forhaste hypotesen om at der er en deterministisk syklus på 18 år i dataserier for tilsig. Dersom dette ble bekreftet ville en beregne en prognose for de neste 20 år. Undersøkelsen omfatter dataserier for Norsk tilstig, Svensk tilsig, tilsig til BKK sin kraftproduksjon og tilsig i 8 vassdrag fra Hordaland i sør til Trøndelag i nord. Det er i tillegg analysert en rekke dataserier for Arktiske klimaindikatorer og temperaturutviklingen i Norskehavet. Disse seriene representerer de lengste dataseriene som er tilgjengelig.

Undersøkelsen søker å finne svar på om der er deterministiske fluktuasjoner i dataseriene og om det er en sammenheng mellom fluktuasjonene i de forskjellige dataseriene. Dersom der er en slik sammenheng, kan dette danne grunnlag for mer langsiktige prognoser. I denne omgang har målet vært å identifisere utviklingstrender for de neste 20 år.

Resultatet av undersøkelsen viser at alle dataseriene for tilsig har dominante sykluser som kan føres tilbake til tidevannssykluser på ca 9, 18 og 74 år. Prognosen viser at en kan forvente at NAO vinter indeks vil bli svekket i denne perioden. Dette vil føre til en gradvis reduksjon i av antall lavtrykk og nedbør til tilsig i den kommende 20 års periode. Samtidig forventes det at lange tidevannsbølger på 9 og 18 år vil føre til økt overflatetemperatur og økt nedbør fram til omkring 2010. Prognosen viser videre at etter 2010 forventes en midlere medgang i tilsig som vil kunne vare i mer enn 20 år. Denne nedgangsperioden kan sammenleknes med den situasjonen en hadde fra 1940-årene til 1960-årene.

## 2 MATERIALER OG METODE

### 2.1 Dataseriene

#### *Nordatlantisk vann*

Nordatlantisk vann er definert som det havvann en finner i dyphavsrennen mellom Skottland og Færøyene. Temperaturen er ikke definert på overflaten, men på det havdyp hvor saltkonsentrasjonen i havvannet har et maksimum. Dataserien nordatlantisk omfatter månedlig middeltemperatur fra 1893...2002 og har ingen verdier fra 1895...1902, 1915...1922, 1930...1933, 1941...1946. I disse periodene er dataene interpolert. Dataene er formidlet av Bill Turrell ved Fisheries Research Services, Aberdeen (personlig kommunikasjon).

#### *Utbredelse av Arktisk is*

Tidsserien for utbredelse av Arktisk is er basert på middelverdien av utbredelse av Arktisk is i Grønlandshavet og i Barentshavet. I Grønlandshavet er tidsserien bundet av arealet 0°W, 10°E and 80°N og i Barentshavet av arealet 10°E, 80°N and 70°E. Dataene er basert på målinger i april fra 1864 til 1998 (Vinje, 2001). Tidsseriene er formidlet av Norsk Polarinstitut (Torgny Vinje, pers. kom.).

#### *Arktisk temperatur*

Tidsserien Arktisk temperatur er formidlet av fra internettadressen til Metrologisk institutt i Storbritannia.

#### *Lufttemperatur ved Ona fyr*

Dataserien for Ona fyr omfatter midlere månedlig lufttemperatur for perioden 1880 til 2000. Vintertemperaturen er definert som middelverdien fra desember til mars. Dataserien er formidlet av Metrologisk institutt i Oslo (Gudmund Anders Dalsbø, pers. kom.).

#### *Lufttemperatur i Bergen*

Dataserien for lufttemperaturen i Bergen omfatter midlere månedlig lufttemperatur for perioden 1840 til 2003. Vintertemperaturen er definert som middelverdien fra desember til mars. Dataserien er formidlet av Geologisk institutt ved Universitetet i Bergen (Dorthe Klitgaard, pers. kom.).

#### *NAO vinter indeks*

North Atlantic Oscillation (NAO) er definert som den normaliserte trykkdifferansen mellom en stasjon ved Azorene og en stasjon på Island. Den offisielle dataserien for NAO indeksen utarbeides av Climate Research Unit of East Anglia i England og er tilgjengelig på internett under adressen <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>. Analysen i dette dokumentet er basert på NAO vinter indeks. NAO vinter indeks er beregnet ut fra middelverdien fra desember til mars.

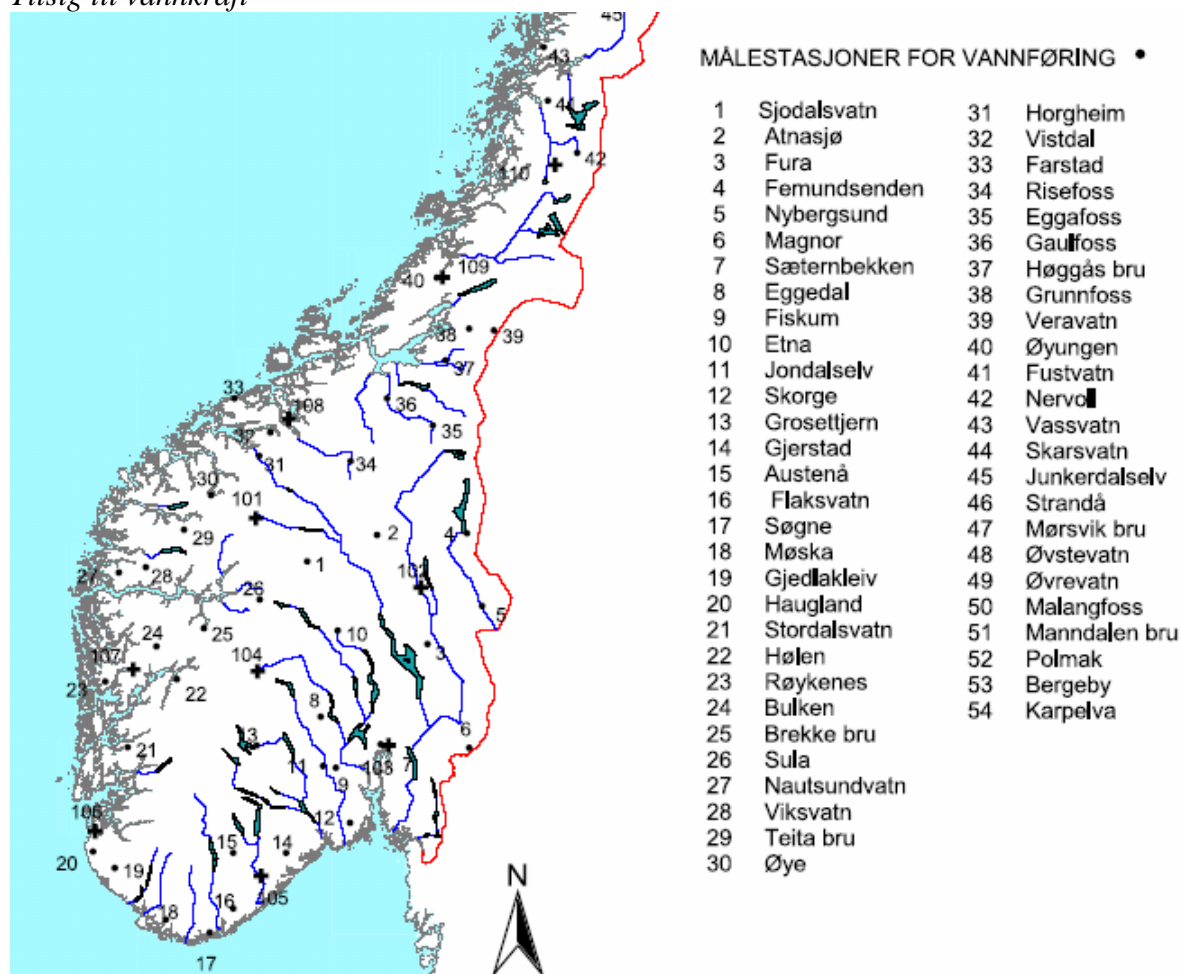
#### *Norsk og svensk tilsig*

Dataserien for Norsk og Svensk tilsig omfatter perioden fra 1913 til 2004. Den representerer ikke direkte data for tilsig, men omregnet til midlere produsert vannkraft i



GWh pr uke. Dataserien er redusert til årlige middelværdier for å redusere virkningen av sesongvariasjoner. Dataseriene er formidlet av NVE.

### Tilsgig til vannkraft



Figur 1 Målestasjoner for vannføring (Kilde: NVE).

Dataseriene for tilsgig er formidlet av NVE og omfatter:

Data serie ID	Navn	Tildsperiode	Feltareal (km <sup>2</sup> )	bre %
41.1.0.1050.4	Stordalsvatn	fra 1913 til 2004	127	0
62.5.0.1001.	Bulken	fra 1911 til 2004	1102	0.3
62.6.0.1050.20	Austmannholen	fra 1911 til 2001	293	0
67.1.0.1050.	Fossevatn	fra 1917 til 2002	63.6	0
87.2.0.1001.	Eidsfoss	fra 1912 til 2004		11.3
98.2.0.1001	Øye	fra 1916 til 2004	138	
103.40.0.1001	Horgheim	fra 1913 til 2004	1142	
124.2.0.1050	Hoggås Bru	fra 1913 til 2004	491.4	

Dataseriene for tilsgig til vannkraft representerer et tilfeldig utvalg som spenner fra Etnevassdraget i sør til Stjørdalsvassdraget i nord. Dataene er ikke spillkorrigeret, men korrigeret for endringer i utbygging (Trine Fjellstad, NVE, personlig kommunikasjon). Alle dataene omfatter daglige målinger av tilsgig i m<sup>3</sup>/sek. Alle dataserier er redusert til årlige middelværdier for å redusere virkningen av sesongvariasjoner. Dataserien for tilsgig

til BKK omfatter perioden 1930 til 2004. Denne dataserien representerer summen av et sett av tilsig på Vestlandet. Hvilke er ikke oppgitt.

## 2.2 Systemteori

Denne undersøkelsen representeres med en forenklet systemmodell.

$$S(t) = \{B(t), \{S_{\text{Sun}}(t), S_{\text{Moon}}(t), S_{\text{Arc}}(t), S_{\text{Oce}}(t), S_{\text{Atm}}(t), S_v(t)\}\} \quad \text{Formel 1}$$

der  $S_{\text{Sun}}(t)$  representerer solsystemet,  $S_{\text{Moon}}(t)$  representerer månen som system,  $S_{\text{Arc}}(t)$  representerer det arktiske system,  $S_{\text{Oce}}(t)$  representerer det oseanografiske system,  $S_{\text{Atm}}(t)$  det atmosfæriske system,  $S_v(t)$  representerer forstyrrelse fra en ukjent kilde, og  $B(t)$  representerer en tidsvariant relasjon mellom alle systemene.

### Hypotesen

Hypotesen i undersøkelsen er basert på kunnskaper om at tilstanden til månens bane  $S_{\text{Moon}}(t)$  ikke er stasjonær. Siden der er en binding  $B(t)$  mellom månen og jorden via gravitasjon, vil sykliske endringer i månens bane påvirke alle andre elementene i systemet.

Den mest betydningsfulle endringen er den såkalte lunar nodal syklus på 18.6 år. Denne har sammenheng med at månens plan har en vinkel på 23.27 grader i forhold til det ekliptiske planet mellom jorden og solen. Forholdet mellom jorden, månen og solen fører til at krysspunktene mellom månens plan og det ekliptiske plan roterer 360 grader på 18.6134 år. Vinkelen mellom månens plan og det ekliptiske plan endres da med 5.09 grader på 18.6 år. Dette kan formuleres med modellen

$$u_0(t) = 23^\circ 27' + 5^\circ 09' \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{Formel 2}$$

der  $\omega_0 = 2\pi/T_0 = 2\pi/18.6134$  (rad/år) er vinkelfrekvensen på lunar nodal syklus,  $t$  (år) er tiden og  $\varphi_0 = 0.90\pi$  er fasevinkelen. Fasevinkelen er justert mot et maksimum i november 1987 og et minimum i mars 1996 (Pugh, 1996). Endringen i gravitasjonskraften fra månen fører til en global 18.6 år horisontal og vertikal tidevannsbølge i havet og en syklisk endring i jordaksen (nutasjonen) på 18.6 år.

Fra ulineær teori vet vi at energien fra en stasjonær syklus fordeles som et harmonisk spektrum. Dette spektrum kan representeres med modellen

$$u(t) = a_0 + \sum_n a_n(t) \sin(n\omega_0 t + \varphi_n(t)) \quad \text{Formel 3}$$

der  $u(t)$  representerer et lunar nodal spektrum sammensatt av et sett harmoniske og subharmoniske sykluser med middelvei  $a_0$ , amplitude  $a_n(t)$ , fase  $\varphi_n(t)$ . Etter denne deterministiske modellen vil månen påvirke klimaet i perioder på  $n\omega_0 = n2\pi/18.6$  der  $n=1,2,3,\dots$   $n=1/2, 1/3, 1/4,\dots$  år. Betydningen av periodene er bestemt av amplituden  $a_n(t)$  og fasen  $\varphi_n(t)$  bestemmer når periodene har maksimum eller minimum. En nærmere analyse av tidsserier viser at amplituden og fasen kan variere med tiden. En varierende

amplitude fører til at en kan få mer ekstreme variasjoner i klimaendringer. Det viser seg også at fasen kan være stabil i perioder for så å bli snudd  $1.0\pi$  (rad) (Yndestad, 2004). Dette fenomenet fører til en ny form for usikkerhet og det forklarer hvorfor disse syklusene har vært vanskelig å oppdage med klassiske metoder for spektrumanalyse.

### 2.3 Wavelet spektrum analyse

Analysen av dataseriene er basert på hypotesen om at måleseriene for tilsig kan representeres med modellen:

$$y(t) = u(t) + v(t) \quad \text{Formel 4}$$

der  $y(t)$  er den målte tidsserien,  $u(t)$  er et kjent lunar nodal syklus spektrum i dataserien og  $v(t)$  representerer forstyrrelser fra et sett med andre ukjente kilder. Identifikasjonsproblemet er å identifisere det deterministiske spekteret  $u(t)$  i måleserien  $y(t)$ .

Prognoser for sykliske endringer har sammenheng med syklusenes periodetid og fase. En egnet metode til å beregne periodetider og fase er å studere tidsseriens wavelet spektrum. Et wavelet spektrum kan beregnes med transformasjonen

$$W_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_R y(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad \text{Formel 5}$$

der  $y(t)$  er den målte dataserien for analyse,  $\Psi(\ )$  er en wavelet impuls funksjon,  $W_{a,b}(t)$  er et sett med wavelet transformasjoner, med skalering  $a$ , og tidsforskyvning  $b$ . Det beregnede wavelet spektrum  $W_a(t)$  representerer en glidende krysskorrelasjon mellom dataserien  $y(t)$  og wavelet impuls funksjonen  $\Psi(\ )$  over hele dataserien. En kan da betrakte wavelet spekteret som resultatet fra et sett med lineære filter med ulik båndbredde (Matlab, 1997; Daubechies, 1992). Hver skalering, med bredden  $a$ , kan da plukke ut potensiell underliggende perioder i dataserien. Dersom waveletspekteret inneholder stasjonære sykluser kan måleserien representeres med

$$y(t) = W(t) + v(t) \quad \text{Formel 6}$$

der  $W(t)$  representerer dominante wavelet sykluser og  $v(t)$  representerer et sett med forstyrrelser fra ukjente kilder. Spørsmålet da er om det er en sammenheng mellom et lunar nodal spektrumet  $u(t)$  og de dominante syklusene  $W(t)$ .

#### Periodetid

Periodetiden til dominante sykluser i et lunar nodal spektrum identifiseres med å beregne autokorrelasjon av hele wavelet spekteret med

$$R_a(\tau) = E[W_a(t)W_a(t + \tau)] \quad \text{Formel 7}$$

Et sett av autokorrelasjoner  $R_a(\tau)$  vil da vise periodetiden på dominante stasjonære sykluser over tidsserien. Kvaliteten på korrelasjonen er kontrollert med Pearson korrelasjonskoeffisient

$$Q_k = R_k \sqrt{\frac{n-2}{1-R_k^2}} \sim t(n-2), \quad \text{Formel 8}$$

Der  $n$  et antall år i dataserien.  $Q_k$  er testet mot en student  $t$ -fordeling med  $(n-2)$  nummer av frihetsgrader for å se om korrelasjonen er statistisk signifikant.

### Fase

Periodetidene til lunar nodal spektrum  $u(t)$  er kjent siden periodetiden på basisperioden 18.6 år er kjent, men fasen til periodetidene er ukjent. Fasen til identifiserte perioder identifiseres med krysskorrelasjonen

$$R(n) = E[u_n(t)W_n(t)] \quad \text{Formel 9}$$

der  $W_n(t)$  er en dominant wavelet syklus,  $u_n(t)$  er en harmonisk lunar nodal syklus  $R(n)$  er en optimal krysskorrelasjon når  $\varphi(n)$  den frie variable fase.

## 2.4 Prognosemodell

Den samlede prognosen beregnes ut fra en sum av alle deterministiske sykluser fra Formel 3.

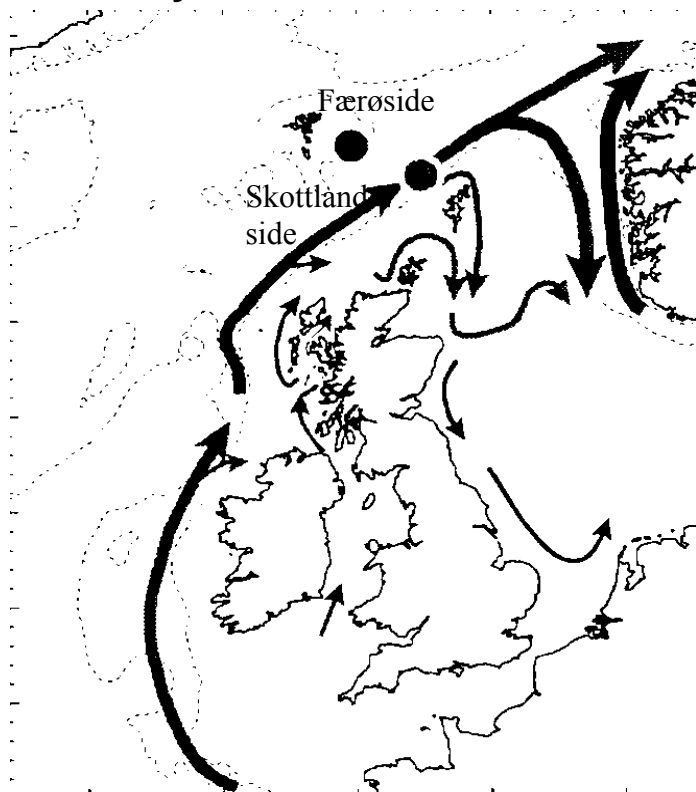
$$u(t) = a_0 + \sum_n a_n(t) \sin(n\omega_0 t + \varphi_n(t))$$

Etter denne metoden har vi en perfekt modell når prognosen  $u(t)$  faller sammen med dataserien  $y(t)$ . En prognose på 20 år får en dersom tiden  $t$  økes fra  $t=2004$  til  $t=2024$ . Det betyr at etter denne metoden får vi testet modellen over hele tidsserien av historiske data.

$u(t)$  er sammensatt av en sum deterministiske sinusfunksjoner. Etter at periodetid og fase er identifisert, er neste trinn å identifisere nivå og amplitude for sinusfunksjonene. Nivået til en dominant wavelet, med periode  $n$ , identifiseres med å beregne periodens middelværdi  $a_{n0}=E[W_n(t)]$ . Amplituden identifiseres med å beregne variansen  $a_{n1}=\text{var}[W_n(t)]$ . Fase  $\varphi_n(t)$  identifiseres med en optimal krysskorrelasjon  $R_n = E[u_n(t)x_n(t)]$  når fasen  $\varphi_n(t)$  er den fri variable.

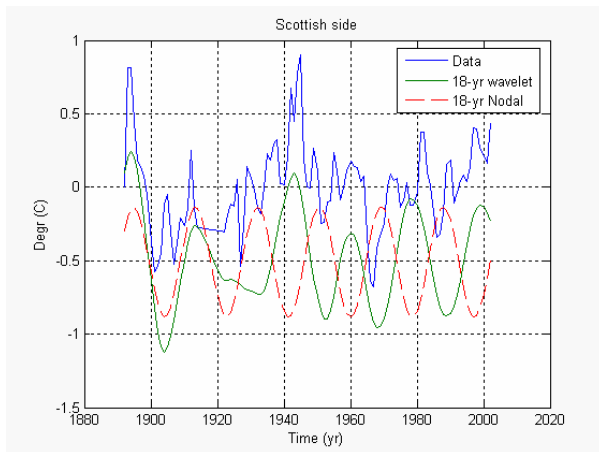
## 3 KLIMAINDIKATORER

### 3.1 Innflyt til Norskehavet

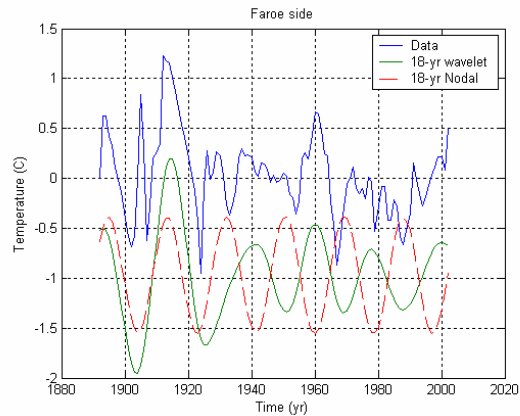


Figur 2 Den Nordatlantiske havstrømmen mellom Skottland og Færøyene

Tilstig til vannkraft kommer fra nedbør. Nedbør kommer fra vann som fordamper fra Atlanterhavet og Norskehavet. Varmt atlantehavsvann strømmer inn i Norskehavet i dyphavsrennen mellom Skottland og Færøyene. Noe av dette vannet sirkulerer rundt kysten av England, Tyskland og Danmark før den igjen strømmer nordover langs norskekysten. En annen del av havstrømmen går direkte nordover langs kysten av Norge. Se figur 2. Det har i lang tid vært kjent at denne strømmen har stor betydning for klimaet i Europa. Temperaturen av havstrømmen har derfor vært målt på Færøysiden og på Skottlandsiden av dyphavsrennen i mer enn 100 år. Denne tidsserien blir også regnet som verdens lengste målte oseanografiske tidsserie for Atlanterhavet. Det kan da være av interesse å se om der er en sammenheng mellom temperaturendingene i denne havstrømmen og tilsig på Vestlandet.



Figur 3. Skottland side havtemperatur



Figur 4. Færøe side havtemperatur

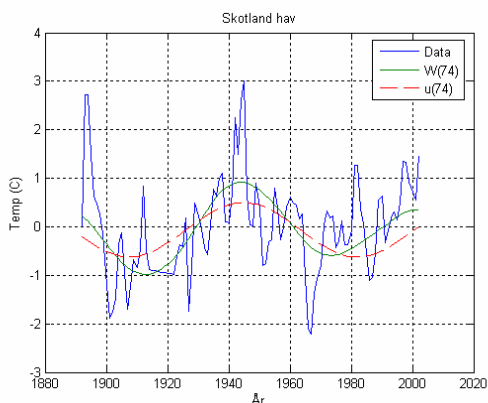
Figur 3 viser temperaturen ved Skottland side av havtemperaturen. Denne gir uttrykk for temperaturen i grensesnittet mellom den varme saltholdige nordgående strøm og den underliggende kalde ferskvannstrømmen som returnerer sørover over bunnivået. Figur 3 viser den tilsvarende temperatur målt ved Færøysiden av dyphavsrennen.

En analyse av tidsseriene viser at de dominerende fluktasjoner faller sammen med den såkalt ”lunar nodal tide” ved Aberdeen som er en langbølget tidevannsbølge på 18.6 år. I dette området er fasen til tidevannet ved Aberdeen estimert til  $\phi_{abe}(18)=0.90\pi$  (rad). Denne tidevannsbølgen er altså i motfase med temperatursyklusen. Forklaringen kan være at tidevannsbølgen fører til en vertikal og horisontal endring av temperaturen som til slutt påvirker havets overflatetemperatur. En syklisk endring av havets overflatetemperatur forventes igjen å påvirke nedbør på Vestlandet. 18-år syklusen hadde maksimum og minimum for

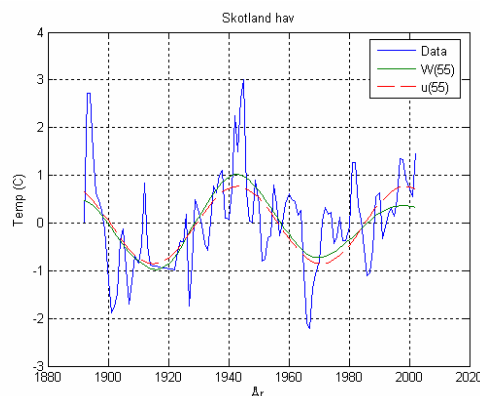
$$W_{skoMax}(18)=\{1912, 1927, 1943, 1959, 1978, 1999\}$$

$$W_{skoMin}(18)=\{1903, 1921, 1933, 1951, 1967, 1989\}$$

Figuren viser videre at det skjedde noe rundt 1920 som førte til at fasen på syklusen ble endret fra  $0.90\pi$  (rad) til  $1.90\pi$  (rad). Korrelasjonen med tidevannsbølgen på 18.6 år er beregnet til  $R_{sko}(18)=-0.91$ .



Figur 5. Skottland side og 74 år syklus

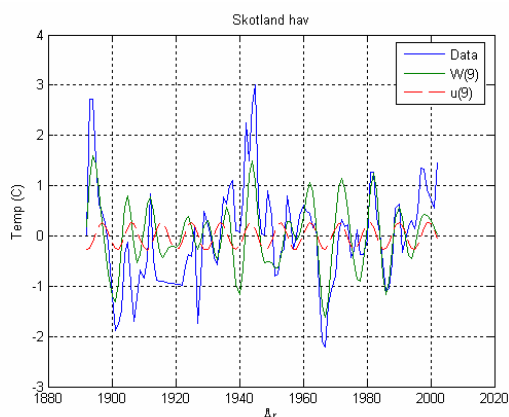


Figur 6. Skottland side og 55 år syklus

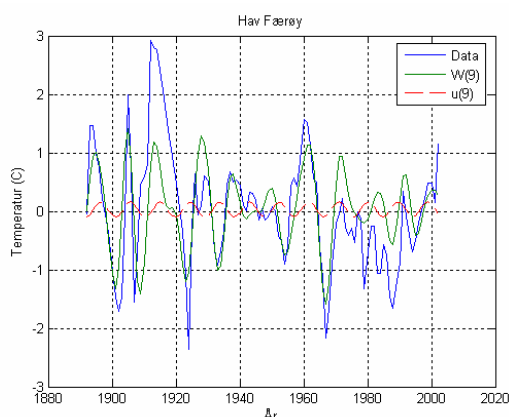
I dette tilfellet er tidsseriene for korte til å kunne gi en sikker identifikasjon av harmoniske sykluser på 55 og 74 år. Figur 5 og 6 viser temperaturutviklingen på Skottland side estimerte harmoniske sykluser på  $18.6 \cdot 4 = 74.4$  år og  $18.6 \cdot 3 = 55.5$  år. Syklusen på 55 år har maksimum og minimum for

$$W_{\text{scoMax}}(55) = \{1995, 1943, 1998\} \text{ og } W_{\text{scoMin}}(55) = \{1916, 1970\}$$

Korrelasjonen er beregnet til  $R_{\text{sco}}(55) = 0.95$  når fasen er  $\phi_{\text{sco}}(55) = 0.91\pi$  (rad).



Figur 7. Skottland side med 9 år sykluser



Figur 8. Færøy side med 9 år sykluser

I dette tilfellet er

$$W_{\text{scoMax}}(9) = \{1955, 1962, 1972, 1981, 1990, 1998\}$$

$$W_{\text{scoMin}}(9) = \{1958, 1967, 1977, 1986, 1994\}$$

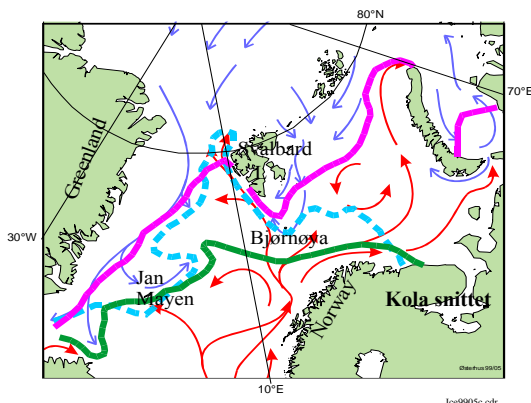
Korrelasjoner er estimert til  $R_{\text{sco}}(9) = 0.75$  når fasen  $\phi_{\text{sco}}(9) = 1.59\pi$  (rad). Vi ser altså at den harmoniske syklus på  $18.6/2 = 9.3$  år også har stor innflytelse på temperaturfluktuasjonene. Den tilsvarende sammenheng har en også for dataserien ved Færøy-siden.

## Kommentar

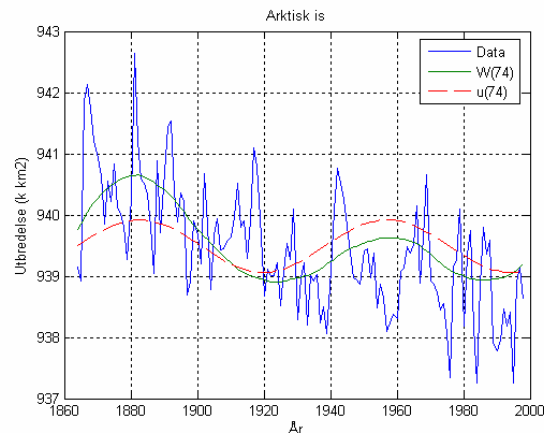
Dataserien viser at der har ikke vært en jevn økning av varmt Atlanterhavsvann til Norskehavet i løpet av de siste 100 årene. Waveletanalysen viser at der har vært store fluktuasjoner i temperaturen som har sammenheng med lange tidevannsbølger. Denne tidevannsbølgen har en vertikal og en horisontal komponent som fører til en vertikal omrøring av temperaturen i havet. Den vertikale komponenten fører til sykliske endringer i overflatetemperaturen som igjen fører til sykliske endringer i skydannelser og nedbør. Den horisontale komponenten påvirker hastigheten til nordgående varmt som igjen påvirker fasen til omrøringen i nordgående retning.

Lange tidevannsbølger er samtidig et globalt fenomen som har størst betydning i arktiske områder. Det arktiske området er igjen et stort energilager der fluktuasjoner i havstrømmene får store ringvirkninger. Det kan derfor være på sin plass å studere de periodiske endringene i noen viktige arktiske klimaindikatorer som omfatter dette området.

### 3.2 Arktiske klimaindikatorer



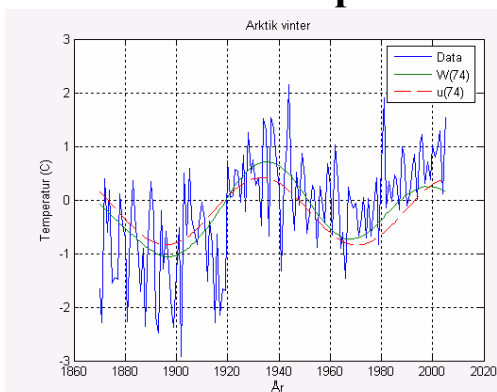
Figur 9. Utbredelse av Arktisk is.



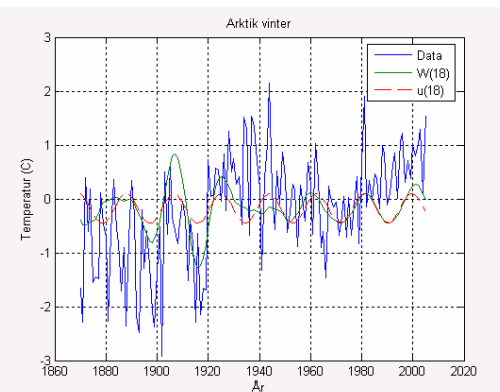
Figur 10. Utbredelse av Arktisk is

Varmt atlantehavsvann driver nordover langs norskekysten til arktiske områder. Noe av vannet flyter inn i Barentshavet, noe går inn i Grønlandshavet og noe går inn i det arktiske hav ved Nordpolen (se Figur 9). Figur 10 viser utbredelse av Arktisk is i april for perioden 1864 til 1998. Det fremgår av figuren at utbredelsen av Arktisk is har hatt en jevn fallende nedgang over en periode på 150 år. Samtidig har amplituden til fluktuasjonene vært tilnærmet konstant over hele dataserien. Figuren viser også en identifisert 74 år wavelet syklus og en lunar nodal syklus på  $4 \cdot 18.4 = 74.4$  år. Fasen er estimert til  $\phi_{\text{ark}}(74) = 1.93\pi$  (rad). Denne har maksimum og minimum omkring årene  $W_{\text{arkMax}}(74) = \{1880, 1960\}$  og  $W_{\text{arkMin}}(74) = \{1920, 1995\}$ .

### Arktisk vintertemperatur



Figur 11. Arktisk vinter og 74 år syklus



Figur 12. Arktisk vinter og 18 år syklus

Figur 11 viser midlere Arktisk vinter lufttemperatur (desember til mars) og den harmoniske lunar nodal syklus på  $18.6 \cdot 4$  år. Korrelasjonen til denne syklusen er  $R_{\text{ark}}(74) = 0.93$  når fasevinkelen er  $\phi_{\text{ark}}(74) = 0.57\pi$  (rad). Den tilsvarende korrelasjonen til 18-år syklusen er  $R_{\text{ark}}(18) = 0.67$  når fasevinkelen er  $\phi_{\text{ark}}(18) = 1.64\pi$  (rad).

### Kommentar

Tidsserien for utbredelse av Arktis is viser at reduksjon i utbredelse av Arktisk is ikke er et nytt fenomen. Utbredelsen har hatt en jevn nedgang på ca 30 % over en periode på 150 år.



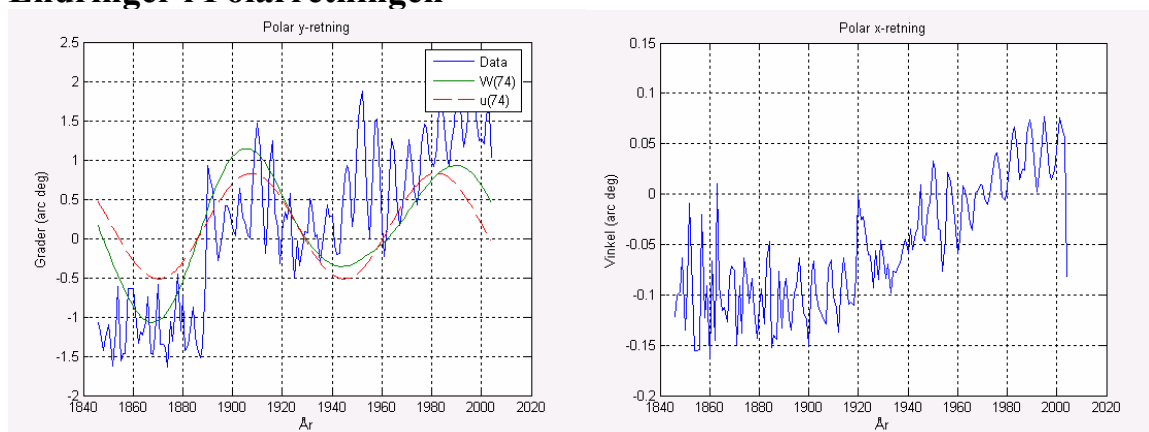
Samtidig ser vi at amplituden på fluktuasjonene er konstant over hele perioden. Vi ser videre at fluktuasjonene faller sammen med tidevannsbølgen på 18.6 år og at den har harmoniske perioder på 74 år i forhold til denne tidevannsbølgen. Dette tyder på at fluktuasjoner innenfor dette spekteret er styrt av sykluser fra det såkalte lunar nodal spektrum opp til ca 75 år. Samtidig ser vi at minimum og maksimum i periodene faller sammen med minimum og maksimum i tidsserien for den nordatlantiske havstrømmen ved Skottland.

Denne syklusen på ca 75 år ser ut til å være en stasjonær klimasyklus som også er identifisert i en rekke andre tidsserier som nedbør i England og tilsig til Nilen. Årsaken til denne syklusen er ikke uklar. En potensiell kilde til denne syklusen er endringer i jordrotasjonen (Polar motion) som fører til en horisontal sirkulasjon i det Arktiske havet (Yndestad, 2004, 2006).

Den lange perioden med redusert utbredelse av arktisk is reiser spørsmål om det er en ennå lengre underliggende periodisk endring i utbredelse av arktisk is. Dette er ikke undersøkt i denne analysen. En analyse av Torgny Vinje (personlig kommunikasjon) ved Norsk Polarinstitutt har studert utbredelse av Arktisk is fra 1600-tallet. En analyse fra (Lassen og Thejll, 2000) viser at utbredelsen av Arktisk is i Grønlandshavet har hatt store fluktuasjoner over en periode på 1000 år. Det siste maksimum hadde en rundt 1825 og det har gått gradvis nedover til slutten av 1990-årene.

Vi ser videre at midlere arktisk temperatur har en fundamental endring rundt 1920. Dette opptrer samtidig som 18-år syklusen i havtemperaturen får en faseinvertering i Barentshavet og utenfor Skottland. En massebetragtning mellom hav og luft tilsier at det må være endringer i havtemperaturen som har påvirket lufttemperaturen. Spørsmålet så er hva som kan ha tilstrekkelig kraft til å endre havstrømmene samtidig i Atlanterhavet og i Barentshavet.

## Endringer i Polarretningen



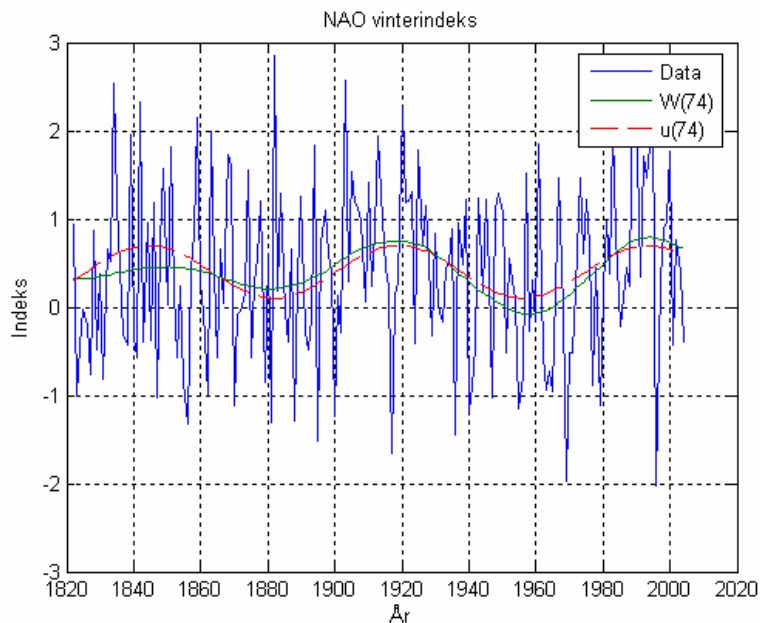
Figur 13. Polar y-endring og 74 år sykluser Figur 14. Polar x-endring og 74 år syklusen

Endringer i avstanden mellom solen, jorden og månen fører til at polpunktet aldri er i ro. Polpunktet har en årlig endring som kan dekomponeres i en i y-retning og i x-retning. Denne endringen dreier seg om bare 3 til 15 meter. Dette kan synes lite, men når en tenker på hvor mye vann som skal flyttes i havene, er det enkelt å forestille seg at dette kan få store konsekvenser for synkronisering av periodiske havstrømmer. Figur 13 viser endringene i y-retning og identifiserte lunar nodal sykluser på 74 år. Korrelasjonen til denne syklusen er  $R_{\text{poly}}(74)=0.90$  når fasevinkelen er  $\varphi_{\text{poly}}(74)=1.26\pi$  (rad). Faseforskjellen i forhold til arktisk temperatur er  $\varphi_{\text{arc}}(74)-\varphi_{\text{poly}}(74) = 0.4\pi$  (rad). Figur 14 viser endringen i posisjonen til polpunktet i x-retning. Det framgår av denne tidsserien at det var en kraftig endring i x-retning rundt 1920.

### Kommentar

Det framgår her at polpunktet hadde en usedvanlig stor endring i y-retning og x-retning rundt 1920. Dette fenomenet er lite forstått. En massebetragtning kan tyde på at denne endringen i polarpunktet er forårsaket av en global forstyrrelse i havstrømmene og som igjen har ført til en faseinvertering i periodiske havstrømmer. Denne faseinverteringen påvirker i neste omgang havets overflatetemperatur og fordampning til nedbør.

### 3.3 NAO vinter indeks

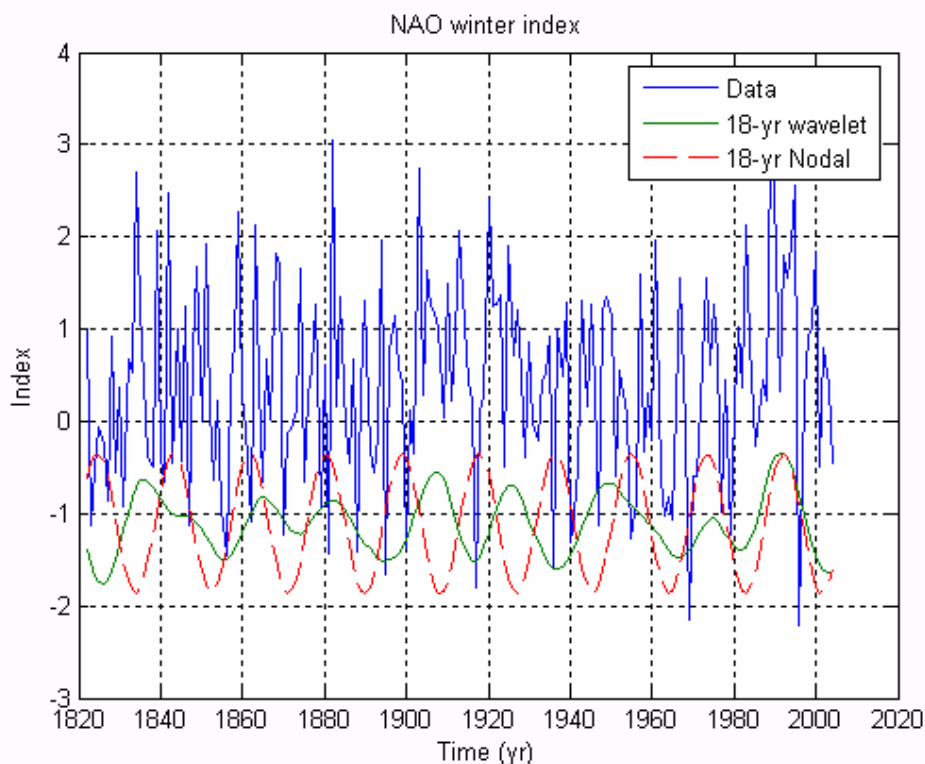


Figur 15. Utviklingen av NAO vinter indeks, dominant 74 år wavelet syklus og 74 år referansesyklus.

Figur 15 viser utviklingen av NAO vinter indeks fra 1822 til 2000, den dominante 74 år wavelet syklus  $W_{NAO}(74)$  og den astronomiske lunar nodal syklus  $u(74)=18.6*4=74.4$  år. Fasen til denne syklusen er beregnet til  $\varphi_{NAO}(74)=0.95\pi$  (rad). Forskjellen mellom fasen til Arktisk is og NAO er  $\varphi_{is}(74)-\varphi_{NAO}(74) = 1.93\pi-0.95\pi \approx 1.0\pi$  (rad). Dette viser at der er et nært forhold mellom mindre utbredelse av Arktisk is og en økning i NAO-indeksen. Korrelasjonen er beregnet til  $R_{NAO}(74)=0.87$ . Syklusen har maksimum og minimum verdier omkring årene

$$W_{NAOmax}(74) = \{1845, 1920, 1995\} \text{ og } W_{NAOmin}(74) = \{1880, 1960\}.$$

Vi ser altså at langtidstrenden for Arktisk is og NAO vinter indeks har en periodetid på ca 75 år. Sammenhengen med utbredelse av Arktisk is kan forklares med at Arktisk is virker som en isolator mellom kald luft og varmere overflatevann om vinteren. Periodetiden faller sammen med sykliske endringer i jordrotasjonen som igjen er påvirket av gravitasjonen fra månen. Dette indikerer at langtidsendringene på ca 75 år er påvirket av en deterministisk prosess.



Figur 16. NAO vinter indeks, 18 år wavelet og 18.6 år lunar nodal syklus

Figur 16 viser utviklingen av NAO vinter indeks (Data), den dominante 18 år wavelet syklus  $W_{NAO}(18)$  og en den astronomiske lunar nodal syklus  $u_{NAO}(18)=18.6$  år. Syklusen har maksimum og minimum verdier omkring årene

$$W_{NAOmax}(18) = \{1930, 1950, 1970, 1990\} \text{ og } W_{NAOmin}(18) = \{1938, 1965, 1981, 2001\}.$$

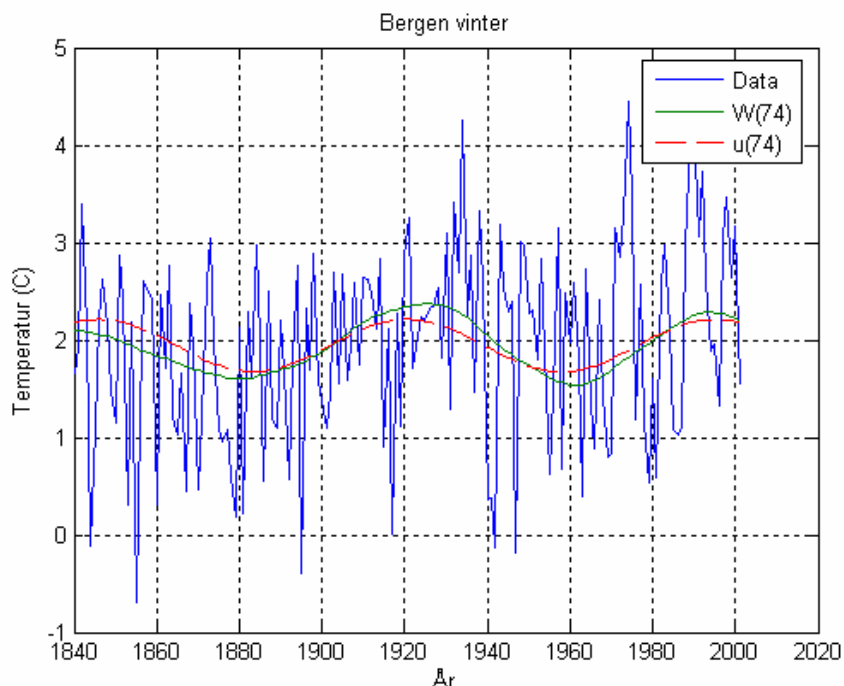
Fasen til 18-år syklusen er beregnet til  $\varphi_{nao}(18)=1.48/0.48\pi$  (rad). Denne fasen faller sammen med 18-år syklusen for utbredelse av is i Barentshavet (Yndestad, 2004). Dette tyder på at denne syklusen er preget av vind i nordøstlig retning som passerer Barentshavet. Samtidig ser vi at 18-år syklusen har en faseendring på 180 grader omkring årene 1880 og 1960 når 74-år syklusen har et minimum. Dette viser at 18-år syklusen har periodevis ustabil fase. Fasen enders når 74-år syklusen når et minimum. Årsaken til den ustabile fase er uklart. En potensiell kilde er et metningsfenomen i det Arktiske havet (Yndestad, 2006).

### Kommentar

NAO vinter indeks blir regnet for en viktig indikator for nedbør. Analysen tyder på at NAO-indeksen har en syklus på 74 år som faller sammen med en 74 år syklus for utbredelse av Arktisk is. Denne syklusen er viktig for en langtids prognose for nedbør. Fasen til denne syklusen tyder på at vi står framfor en periode med mindre fluktasjoner i NAO-indeksen som gir færre lavtrykk over Vestlandet og mindre nedbør. Analysen viser videre at NAO-indeksen også har en 18-år syklus som er styrt av tidevannet.

### 3.4 Lufttemperaturen ved Norskekysten

#### Bergen vintertemperatur



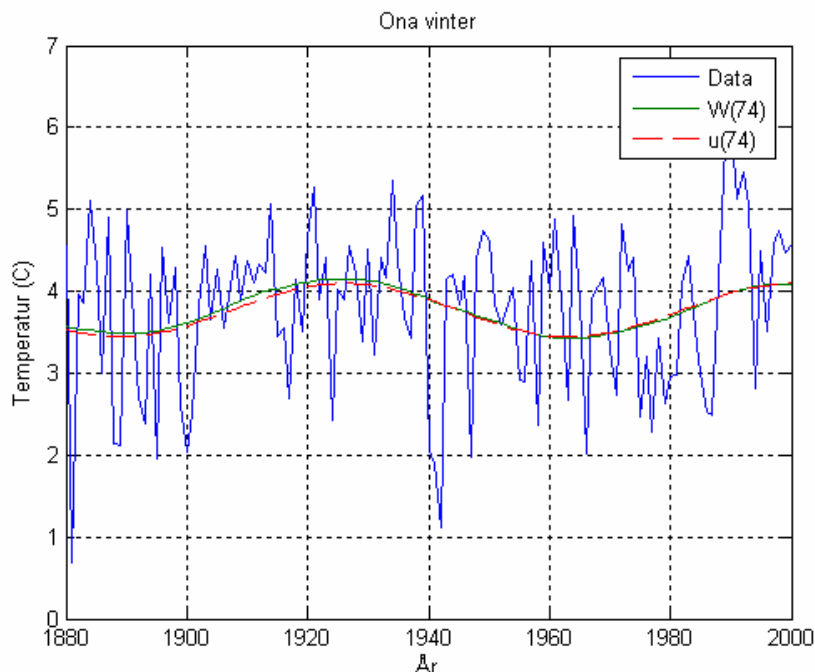
Figur 17. Utviklingen av årlige middelerdi for vinter lufttemperatur i Bergen, dominant 74 år wavelet syklus og 74 år referansesyklus.

Figur 17 viser utviklingen av midlere vinter lufttemperatur i Bergen fra 1840 til 2000, den dominante 74 år wavelet syklus  $W_{\text{ber}}(74)$  og den astronomiske lunar nodal syklus  $u(74)=18.6*4=74.4$  år. Korrelasjonen er beregnet til  $R_{\text{ber}}(74)=0.97$  til referansen når fasen til denne syklusen er beregnet til  $\varphi_{\text{ber}}(74)=0.48\pi$  (rad). Det er eksakt den samme periode og fase som 74 år syklusen til NAO vinter indeks. Dette viser at der er et nært forhold mellom midlere fluktusjon i NAO-indeksen og Bergen vintertemperatur. Syklusen har maksimum og minimum verdier omkring årene

$$W_{\text{berMax}}(74) = \{1845, 1925, 1995\} \text{ og } W_{\text{berMin}}(74) = \{1880, 1960\}.$$

I denne dataserien har 18-år syklusen korrelasjonen  $R_{\text{ber}}(18)=0.47$  med den astronomiske syklus farsen er  $\varphi_{\text{ber}}(18)=0.90\pi$  (rad). Syklusen på 9 år har verdiene  $R_{\text{ber}}(9)=0.61$  når med en fase  $\varphi_{\text{ber}}(9)=0.59\pi$  for perioden 1960 til 2000. Vi ser her at begge syklusene har samme periode og inversfase i forhold til innflyt av varmt Atlanterhavsvann til Norskehavet.

#### Ona vintertemperatur

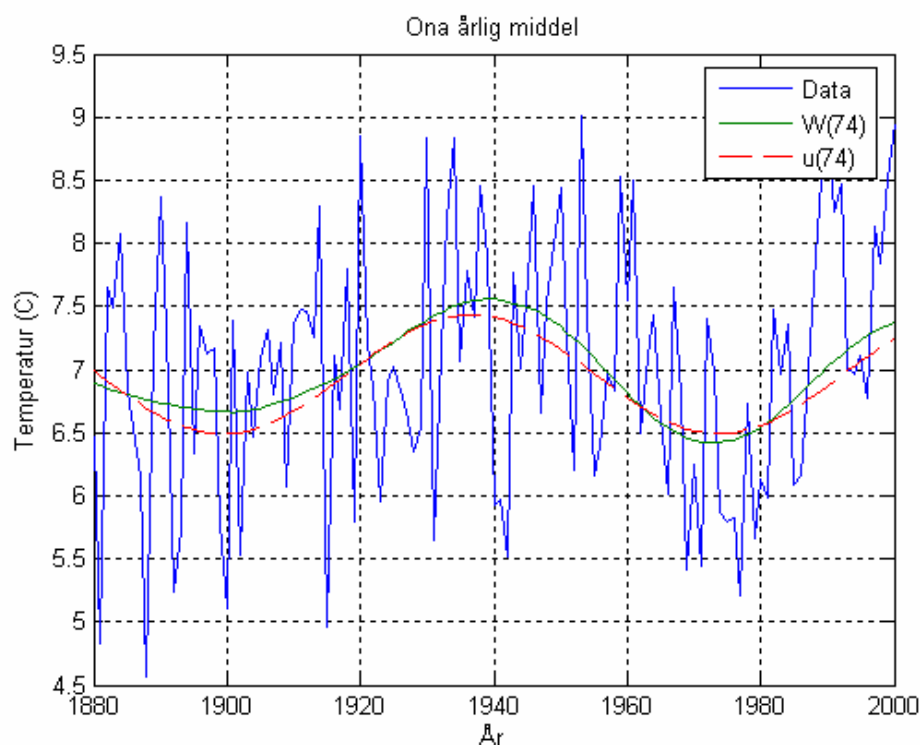


Figur 18. Utviklingen av midlere vinter lufttemperatur ved Ona fyr, dominant 74 år wavelet syklus og 74 år referansesyklus.

Figur 18 viser utviklingen av midlere vinter lufttemperatur ved Ona fyr 1880 til 2000, den dominante 74 år wavelet syklus  $W_{\text{ber}}(74)$  og den astronomiske lunar nodel syklus  $u(74)=18.6*4=74.4$  år. I dette tilfellet er fasen til denne syklusen beregnet til  $\varphi_{\text{ona}}(74)=0.76\pi$ . Det er ca 5 år senere enn 74 år syklusen i NAO vinter indeks. Dette viser at der er et nært forhold mellom 74 år fluktusjon i NAO-indeksen, Bergen vintertemperatur og vinter temperaturen ved Ona fyr. Korrelasjonen er beregnet til  $R_{\text{ber}}(74)=0.99$ . Syklusen har maksimum og minimum verdier omkring årene

$$W_{\text{onaMax}}(74) = \{1925, 1995\} \text{ og } W_{\text{onaMin}}(74) = \{1890, 1962\}.$$

For 18 år syklusen er korrelasjonen beregnet til  $R_{\text{ona}}(18)=0.42$  med en fase  $\varphi_{\text{ona}}(18)=0.82\pi$  over hele dataserien. Syklusen på 9 år har verdiene  $R_{\text{ona}}(9)=0.72$  med en fase  $\varphi_{\text{ber}}(9)=0.59\pi$  for perioden 1960 til 2000. Vi ser altså at også vinter lufttemperatur ved Ona fyr er preget av syklusene på om lag 18.6 og  $18.6/2=9.3$  år. Begge syklusene har også her samme periode og inversfase i forhold til innflyt av varmt Atlanterhavsvann til Norskehavet.

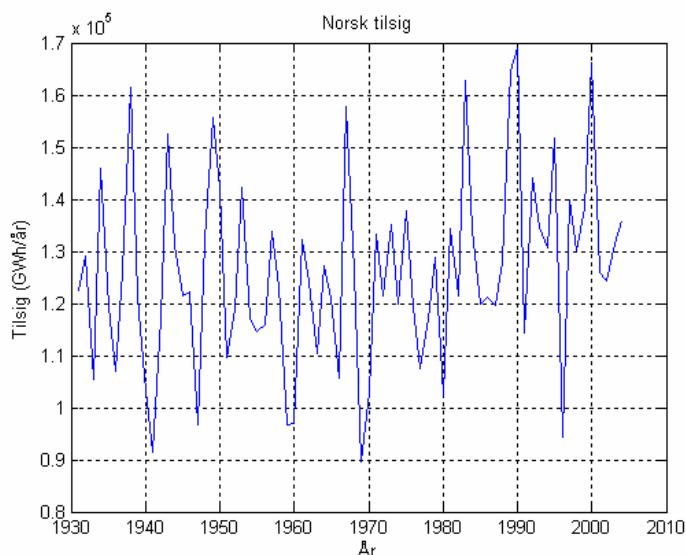


Figur 19. Utviklingen av årlig midlere lufttemperatur ved Ona fyr, dominant 74 år wavelet syklus og 74 år referansesyklus.

Figur 19 viser utviklingen av årlig midlere vinter lufttemperatur ved Ona fyr 1880 til 2000, den dominante 74 år wavelet syklus  $W_{\text{ber}}(74)$  og den astronomiske lunar nodel syklus  $u(74)=18.6 \cdot 4=74.4$  år. I dette tilfellet er korrelasjonen beregnet til  $R_{\text{ona}}(74)=0.97$  og fasen til denne syklusen er beregnet til  $\phi_{\text{ona}}(74)=0.48\pi$  (rad). Det er ca 18 år senere enn 74 år syklusen i NAO vinter indeks. For årlig midlere lufttemperatur er syklusen på 9 år har verdiene  $R_{\text{ona}}(9)=0.62$  med en fase  $\phi_{\text{ber}}(9)=0.59\pi$  for perioden 1960 til 2000. Vi ser altså at for midlere årlig temperatur er 74 år syklusen forsinket ca 18 år i forhold til vintertemperaturen. Syklusen på 9 år følger 9-års syklusen for innflyt av varmt Atlanterhavsvann.

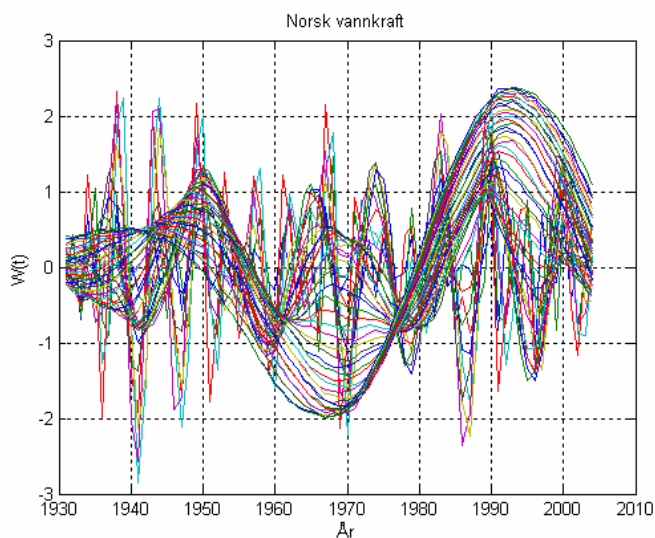
## 4 PROGNOSE

### 4.1 Norsk tilsig



Figur 20. Samlet norsk tilsig fra 1931 til 2004

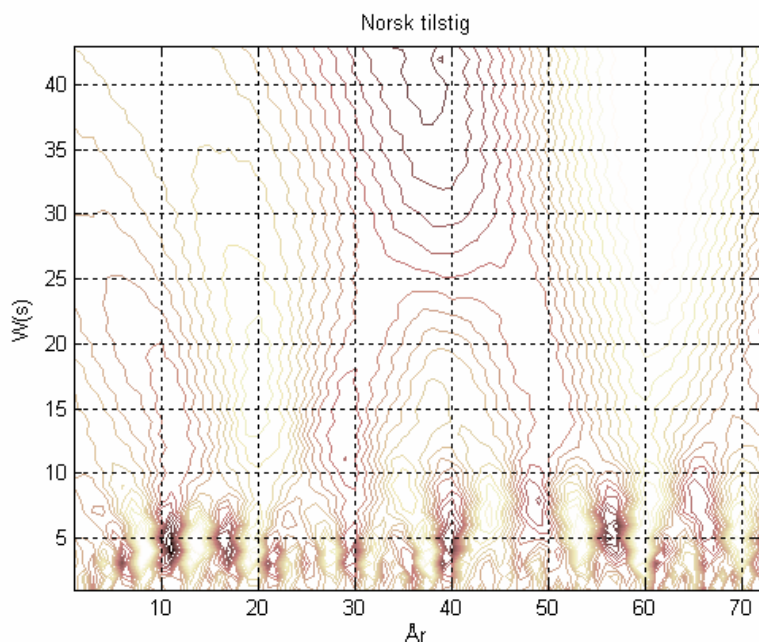
Figur 20 viser utviklingen av årlig midlere tilsig (Gwh/år) fra 1931 til 2004. Vi ser av figuren at den midlere produksjonen kan variere fra 0.9 til  $1.6 \cdot 10^5$  Gwh/år. Det betyr at vannkraftmarkedet kan variere  $\pm 25\%$  og illustrerer den store årlige ustabilitet vi har i tilskudd av vannkraft til kraftmarkedet. Samtidig ser vi at endringene svinger fra den ene ytterligheten til den andre. Denne type fluktusjonene er ulik den fordeling vi forbinder med normalfordelt støy.



Figur 21. Wavelet spekteret fra dataserien for Norsk tilsig

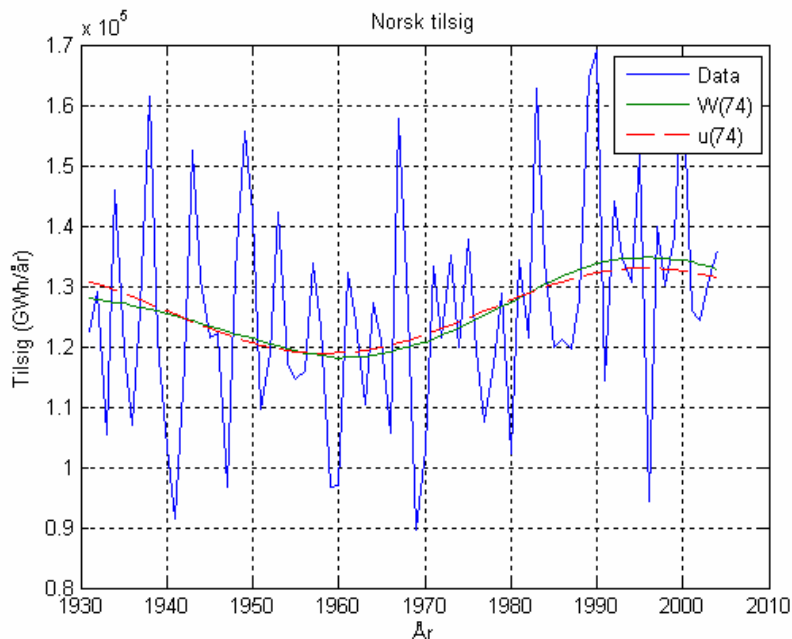
Figur 21 viser wavelet spekteret  $W_a(t)$  for tidsserien. Wavelet spekteret viser at der er en konsentrasjon av noen raske periodiske endringer og en med lengre periode.





Figur 22. Wavelet spekteret fra dataserien for Norsk tilsig

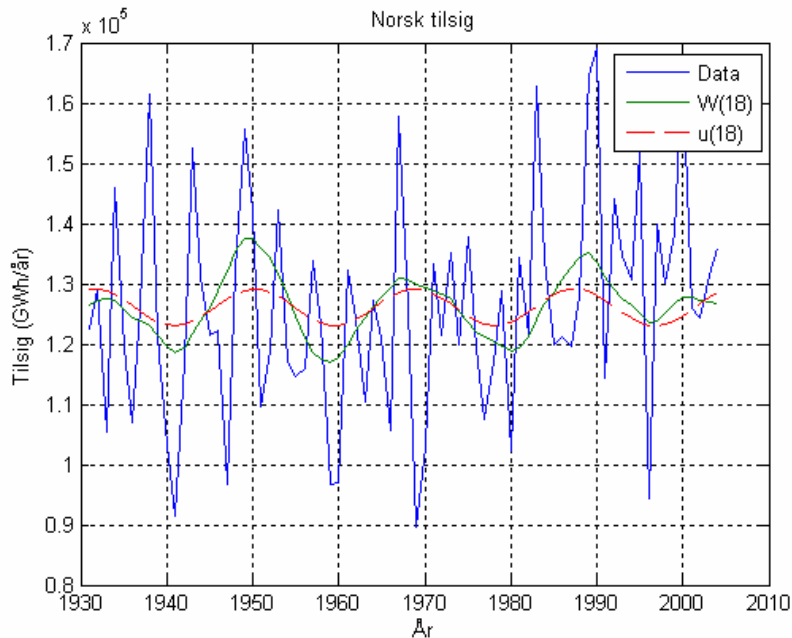
Figur 22 viser wavelet spekteret representert på en 2-dimensjonal form. I denne framstillingen representerer x-aksen utviklingen i tid, y-aksen representerer wavelet funksjoner  $W(s)$  med skalering  $s$  og kotene på figuren representerer amplituden på wavelet funksjoner  $W(s)$ . En må her være oppmerksom på at en skalering  $s$  er ikke det samme som en sinusperiode.



Figur 23. Utviklingen av Norsk tilsig, dominant 74 år wavelet syklus og astronomisk lunar nodal syklus på 74 år som referanse.

Figur 23 viser tidsserien for Norsk tilsig for perioden 1922 til 2004, dominant 74 år lunar nodal syklus  $W_{\text{nor}}(74)$  og astronomisk syklus  $u_{\text{nor}}(74)=18.6*4=74.4$  år. Fasen til denne syklusen er beregnet til  $\varphi_{\text{nor}}(74)=0.90\pi$  (rad) med korrelasjonen  $R_{\text{nor}}(74)=0.98$ . Vi ser av figur 23 at denne syklusen former middelverdien av fluktusjonene over tidsserien. Forskjellen mellom fasen til

NAO og Norsk tilsig er:  $\varphi_{\text{nao}}(74) - \varphi_{\text{nor}}(74) = 0.95\pi - 0.90\pi = 0.05\pi$  (rad) som tilsvarer en forsinkelse på knapt 2 år. Dette viser at de lange trendene i Norsk kraftproduksjon ser ut til å følge en langtidssyklus på ca 75 år. Denne syklusen hadde et maksimum omkring 1995 og går videre mot en tilstand vi hadde i 1960-årene.

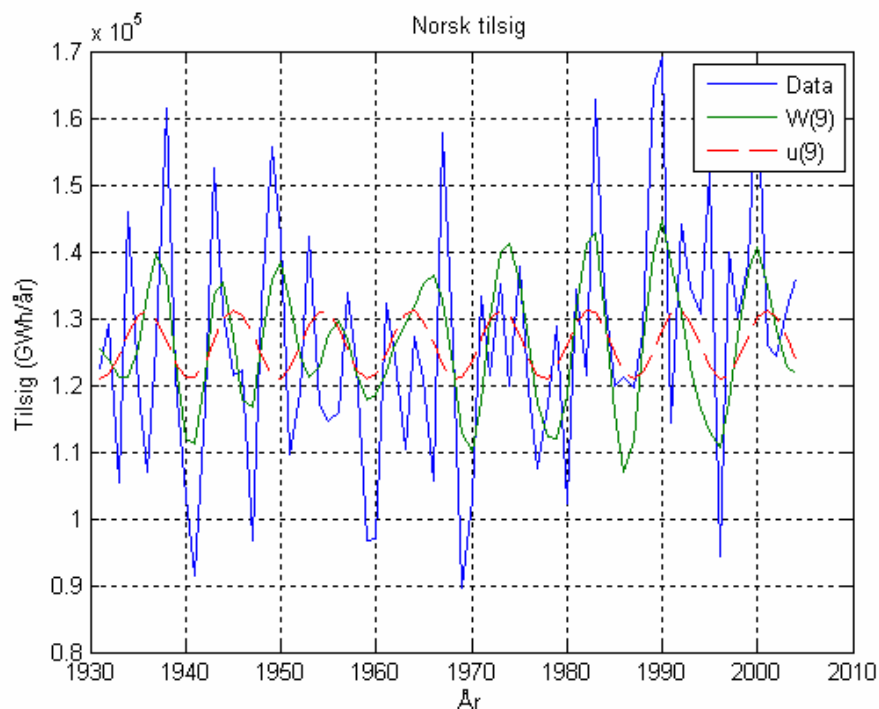


Figur 24. Dataserie for Norsk tilsig og dominante wavelet perioder på 18 år.

Figur 24 viser tidsserien for midlere norsk tilsig og de dominante wavelet periodene på 18 år. Det framgår av figuren at 18 år syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{norMax}}(18) = \{1949, 1969, 1989\} \text{ og } W_{\text{norMin}}(18) = \{1941, 1959, 1980, 1997\}$$

Krysskorrelasjonen mellom wavelet syklusen  $W_{\text{norMax}}(18)$  og den astronomiske lunar nodal syklus  $u(18)$  er beregnet til  $R_{\text{nor}}(18) = 0.84$  for  $\varphi_{\text{nor}}(18) = 0.90\pi$  (rad). Dette viser at syklusen på 18 år har samme fase som tidevannsyklusen på 18.6 år og 18-år syklusen for havstrømmen utenfor Skottland.



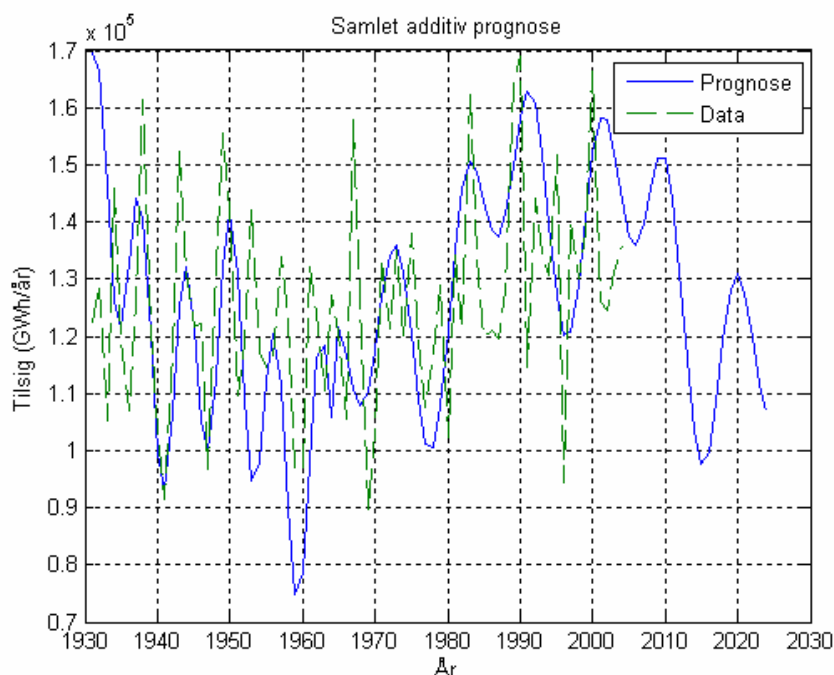
Figur 25 Dataserie for Norsk tilsig og dominante wavelet perioder på 9 år.

Figur 25 viser tidsserien for midlere Norsk tilsig og de dominante wavelet periodene på 9 år. Det fram går av figuren at etter 1960 har 9 års syklusen maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{norMax}}(9) = \{1966, 1974, 1983, 1990, 2000\} \text{ og}$$

$$W_{\text{norMin}}(9) = \{1960, 1969, 1979, 1986, 1996\}.$$

Krysskorrelasjonen mellom wavelet syklusen  $W_{\text{norMax}}(9)$  og den astronomiske lunar nodal syklus  $u(9)$  er beregnet til  $R_{\text{nor}}(9)=0.57$  når fasen er  $\varphi_{\text{nor}}(18)=0.49\pi$  (rad) over hele tidsserien og  $R_{\text{nor}}(9)=0.73$  for de 40 siste målingene når fasen er  $\varphi_{\text{nor}}(9)=0.59\pi$  (rad).



Figur 26. Dataserie fra 1931 til 2002 og prognose fra 1931 til 2024

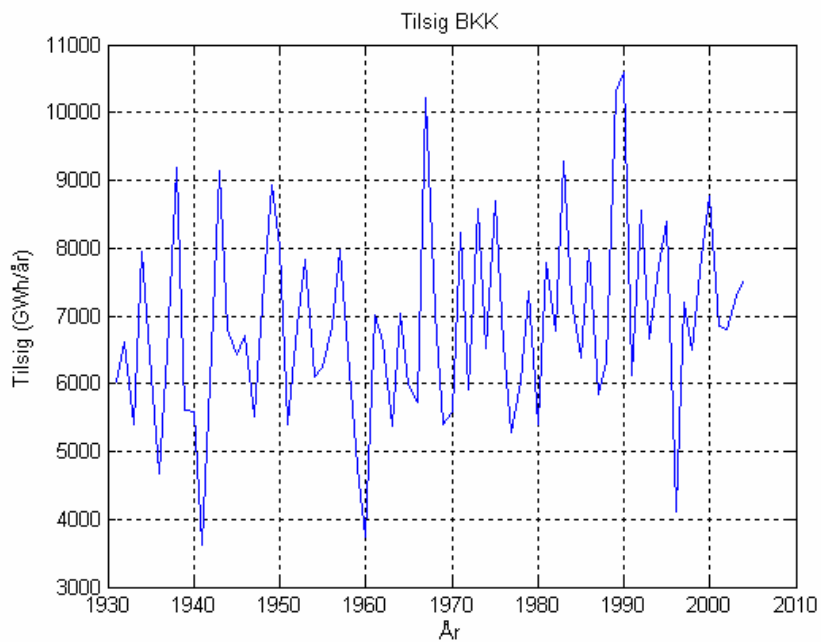
Figur 26 viser dataserien fra 1931 til 2004 og en estimert deterministisk prognose fra 1931 til 2024. Prognosen er basert på summen av de estimerte syklusene på 74, 18 og 9 år slik de er estimert etter Formel 3 og slik hver enkelt syklus er framstilt enkeltvis på Figur 26, Figur 27 og Figur 28. Videre er det tatt hensyn til at der er et skifte fra en 6 år syklus til en 9 år syklus fra 1965. Korrelasjonen mellom dataserien fra 1931 til 2004 og den deterministiske prognose i samme perioden er beregnet til  $R=0.4$ . Korrelasjonen til summen av wavelet syklusene er beregnet til  $R=0.6$ . Dette viser at tilsiget for perioden 1931 til 2004 har vært dominert av et deterministisk lunar nodal spektrum.

### Kommentar

Vi ser av denne analysen at 74-år syklusen i tidsserien for Norsk tilslig har samme fase som 74-år syklusen i NAO vinter indeks. Videre er den forsinket med  $0.5\pi$  (rad) eller 18 år i forhold temperaturen til den Nordatlantiske havstrømmen utenfor Skottland. En skalering av disse periodene vil føre til en reduksjon av nedbør i de neste 20 årene. Vi ser videre at 18-år syklusen og 9-år syklusen for Norsk tilslig har en fasedreining på  $1.0\pi$  (rad) i forhold til Nordatlantisk havtemperatur på Skottland-siden. Årsaken til at periodene har motsatt fase kan være en vertikal omrøring i havet som er styrt av tidevannet.

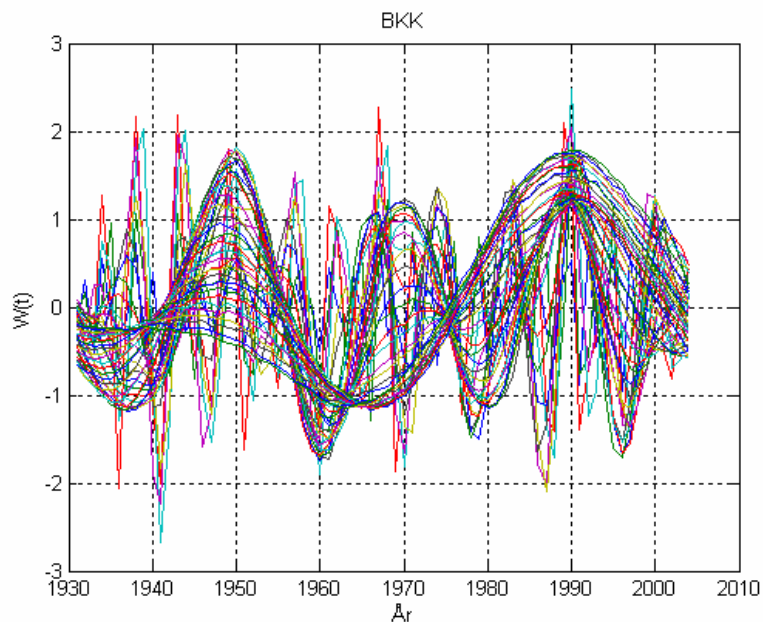
Prognosen fra 2004 til 2024 viser at trenden for tilslig går i negativ retning de neste 20 årene. En forlengelse av 74-år syklusen tilsier at denne trenden vil kunne vare fram til ca  $1960+75=2035$ . Samtidig kan der bli store fluktuasjoner i negativ og positiv retning innen for perioden. Prognosen forutsetter også at fluktuasjonene vil fortsette å gruppere seg omkring sykluser på 9 og 18 år slik situasjonen har vært siden 1960. Summen av fluktuasjonene resulterer i maksimum rundt 2009 og 2020 og minimum rundt 2006 og 2015.

## 4.2 Tilsig til BKK kraftproduksjon



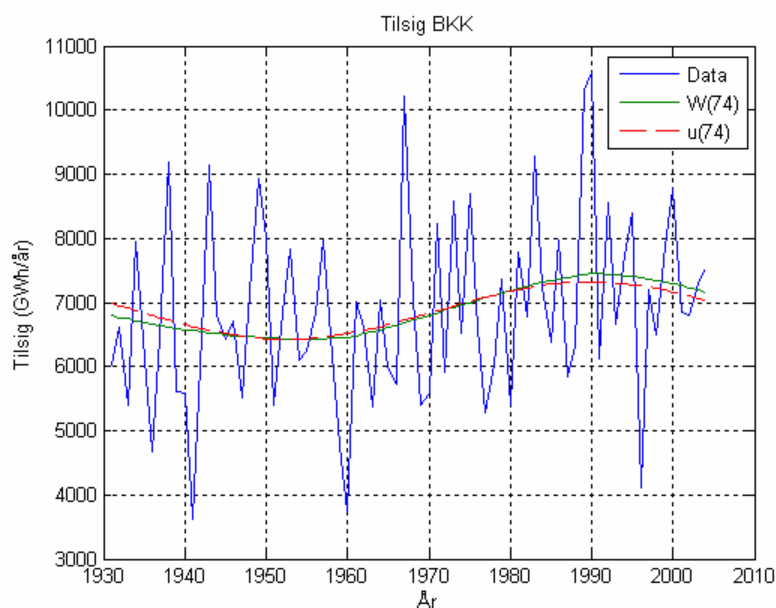
Figur 27. Dataserie fra 1931 til 2004 for tilsig til BKK kraftproduksjon

Figur 27 viser data fra 1931 til 2004 for samlet tilsig til BKK som kraftleverandør. Det framgår av figuren at tilsiget hadde store svingninger fram til 1960 der en hadde et minimum nivå. Deretter får dataserien en annen form.



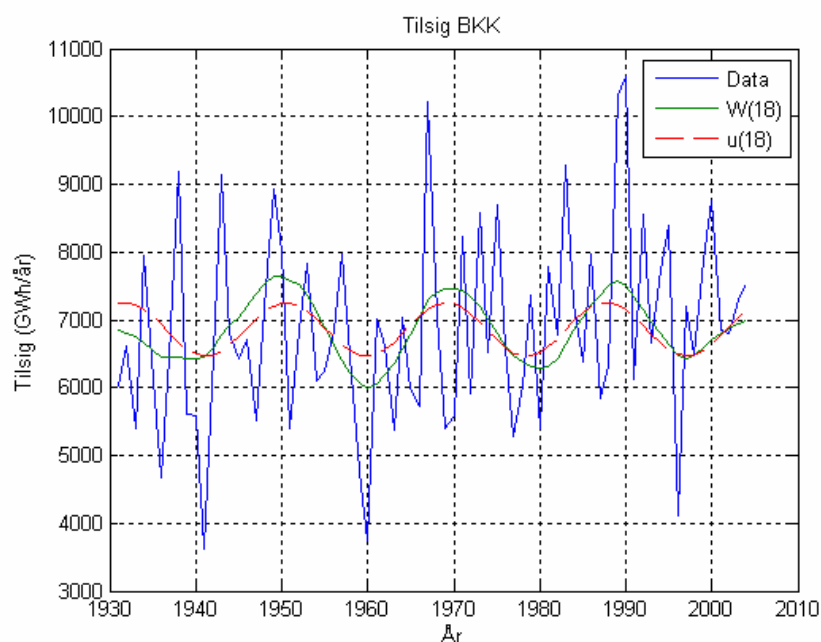
Figur 28. Wavletspekter for dataserien tilsig til BKK

Figur 28 viser wavelet spekteret for dataserien tilsig til BKK. Det framgår nå av figuren at fluktuasjonene har samlet seg rundt noen raske fluktuasjoner, en periode på ca 18-20 år, en periode rundt 40 år og en lengre periode med et minimum rundt 1965.



Figur 29. Utviklingen av tilsig til BKK, dominant 74 år wavelet syklus og astronomisk lunar nodal syklus på 74 år som referanse.

Figur 29 viser tidsserien for BKK tilsig for perioden 1930 til 2004, 74 år wavelet syklus  $W_{\text{nor}}(74)$  og astronomisk syklus  $u_{\text{bkk}}(74)=18.6*4=74.4$  år. I dette tilfellet er fasen til denne syklusen beregnet til  $\phi_{\text{bkk}}(74)=1.0\pi$  (rad) med korrelasjonen  $R_{\text{bk}}(74)=0.98$ . I dette tilfellet er dataserien for kort til å få en god representasjon av denne syklusen. Resultatet er tatt med for å vise sammenhengen med de andre estimatene.

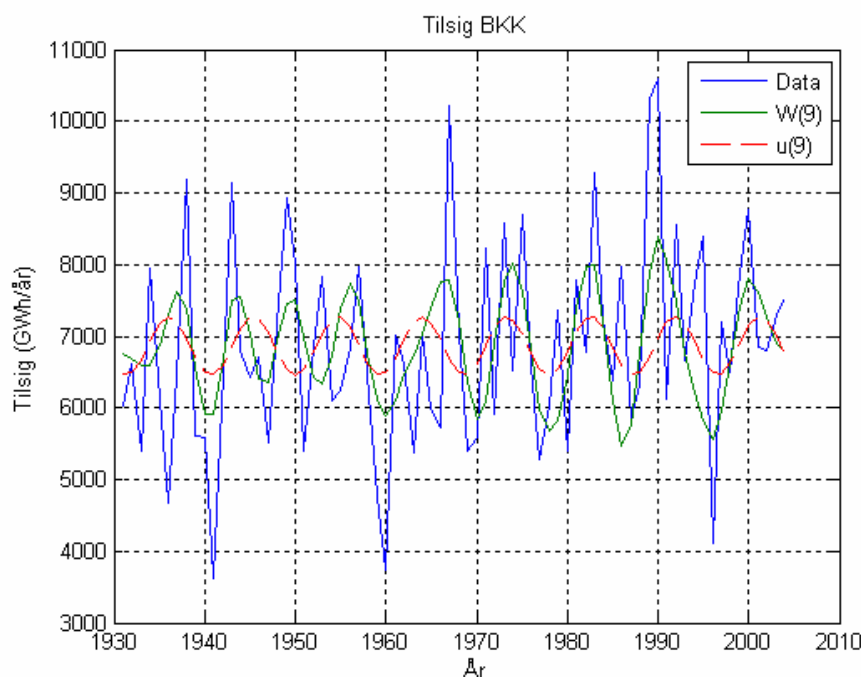


Figur 30. Dataserie for tilsig til BKK, dominante wavelet perioder på 18 år og 18.6 år syklus.

Figur 30 viser tidsserien for midlere BKK tilsig, dominante wavelet periodene på 18 år og den astronomiske syklus på 18.6 år. Det fram går av figuren at der er 18 år syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{bkkMax}}(18) = \{1950, 1969, 1989\} \text{ og } W_{\text{bkkMin}}(18) = \{1940, 1960, 1980, 1997\}$$

Krysskorrelasjonen mellom wavelet syklusen  $W_{\text{bkkMax}}(18)$  og den astronomiske lunar nodal syklus er beregnet til  $R_{\text{bkk}}(18)=0.82$  for  $\varphi_{\text{nor}}(18)=0.92\pi$  (rad). For hele dataserien og  $R_{\text{bkk}}(18)=0.94$  for perioden 1960 til 2004. Dette viser syklusen på 18 år har samme fase som tidevannsyklusen på 18.6 år og 18-år syklusen for havstrømmen utenfor Skottland.

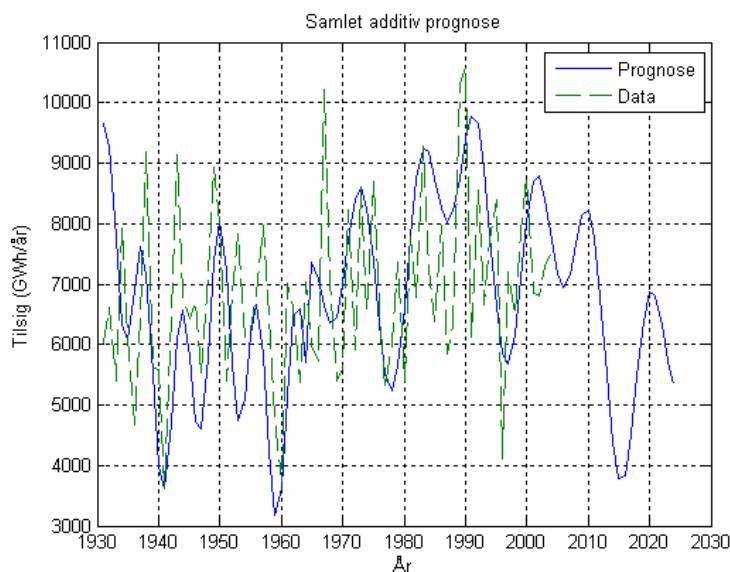


Figur 31. Dataserie for tilsig til BKK, dominante 9-års wavelet og stasjonær 9.3 år syklus.

Figur 31 viser tidsserien for tilsig til BKK, dominante 9 års wavelet og stasjonær syklus på 9.3 år. Det fram går av figuren at etter 1960 har 9 års syklusen maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{bkkMax}}(9) = \{1967, 1974, 1983, 1990, 2000\} \text{ og} \\ W_{\text{norMin}}(9) = \{1960, 1970, 1979, 1978, 1986, 1996\}.$$

Krysskorrelasjonen og mellom wavelet syklusen  $W_{\text{norMax}}(9)$  og den astronomiske lunar nodal syklus  $u(9)$  er beregnet til  $R_{\text{bkk}}(9)=0.67$  når fasen er  $\varphi_{\text{bkk}}(18)=0.59\pi$  (rad) for perioden 1960 til 2004.



Figur 32. Tilslig til BKK og prognose

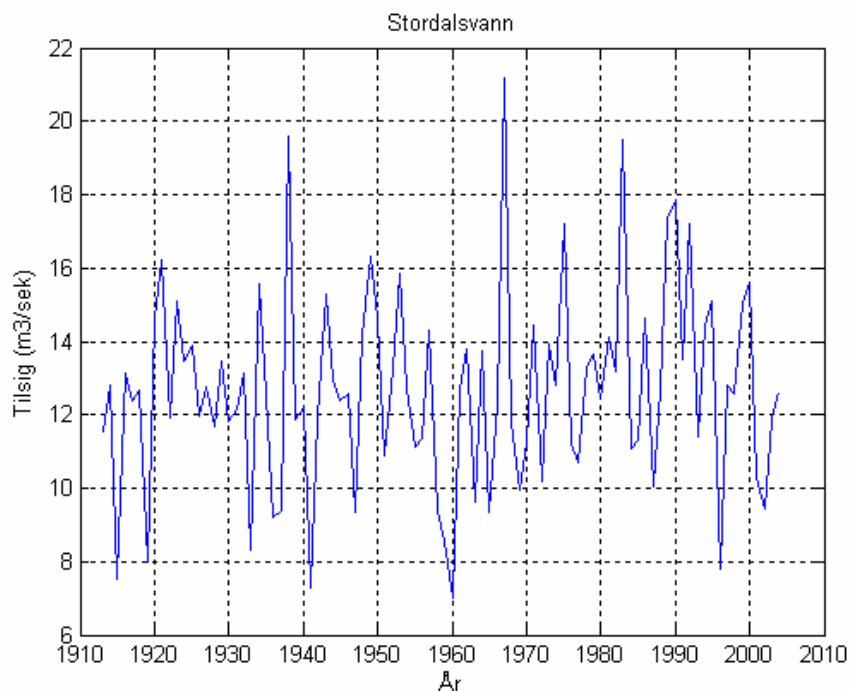
Figur 32 viser dataserien for tilslig til BKK fra 1931 til 2004 og en estimert deterministisk prognose fra 1931 til 2024. Det framgår av figuren at prognosen følger tett fluktuasjonene fra 1960 til 2004. Etter 2004 har prognosen en generell nedgang med et maksimum rundt 2010 og et minimum rundt 2015.

### Kommentar

Dataserien for tilslig til BKK kraftproduksjon viser en utpreget dominant fluktusjon på ca 18 og 9 år. Disse fluktusjonene har om lag samme fase som i periodene for Norsk tilslig og innflyt av Atlanterhavsvann. Dataserien er for kort til å identifisere en 74-års syklus. Samtidig ser vi at 74-år syklusen følger middelverdien etter 1960. Prognosen fra 2004 til 2024 følger en negativ trend med et maksimum rundt 2010 og et minimum rundt 2015. Det betyr at etter denne prognosen er det først etter 2010 en kan forvente å få en merkbar reduksjon i tilslig.

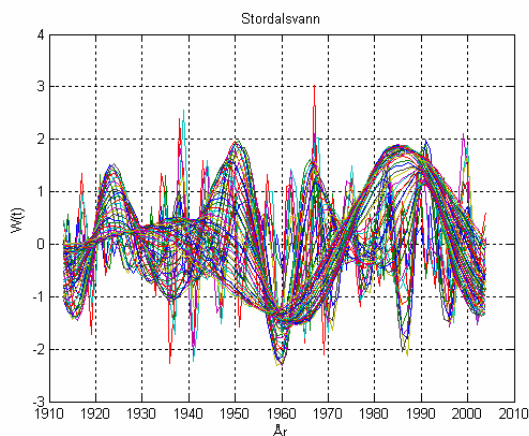


### 4.3 Tilsig til Stordalsvatn

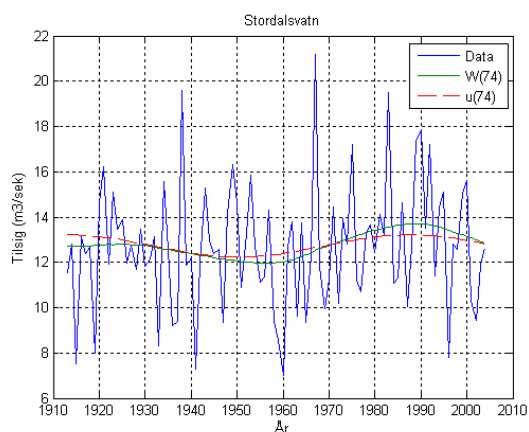


Figur 33. Tilsig til Stordalsvatn for perioden 1913 til 2004.

Stordalsvatn tilhører Etnedalsvassdraget i Hordaland fylke og representerer et feltareal på 127 km<sup>2</sup>. Figur 33 viser utviklingen av tilsig ved Stordalsvatn for perioden 1913 til 2004. Denne dataserien har forholdsvis store fluktuasjoner med et markert minimum rundt 1940, 1960 og 1996. Den generelle trenden ser ut til å være en nedgang rundt 1960 og en oppgang i slutten av 1980 årene.



Figur 34. Wavelet spekteret for tilsig til Stordalsvatn.

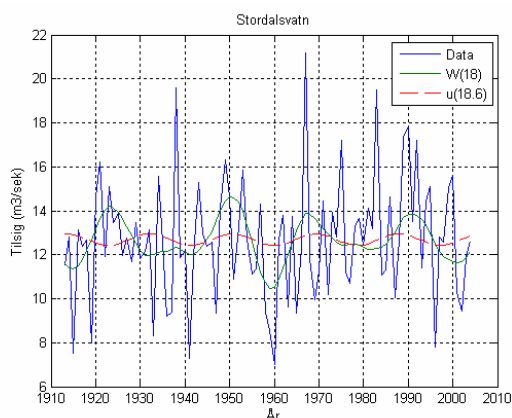


Figur 35. Tilsig og 74 år sykluser.

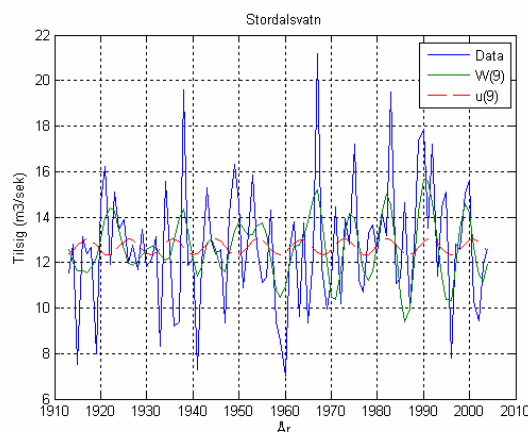
Figur 34 viser wavelet spekteret for tilsig til Stordalsvatn. Det framgår av figuren at spekteret har en syklus på ca 9 år etter 1960 og der er syklus med et markert maksimum rundt 1922, 1950 og 1985. I tillegg er der en langtids trend som har et minimum omkring 1960.

Figur 35 viser dataserien for tilsiget, den optimale 74 år wavelet syklus og den estimert 74 år lunar nodal syklus. Vi ser nå at 74 år syklusene følger middelverdiene til fluktusjonene for hele tidsserien unntatt for de første 7 målingene fram til 1920. Korrelasjonen mellom 74 år wavelet syklus og 74 år referansen er beregnet til  $R_{sto}(74)=0.88$  og fassen er beregnet til  $\varphi_{sto}(74)=1.11\pi$  (rad). Perioden har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{stoMax}(74) = \{1925, 1990\} \text{ og } W_{stoMin}(74) = \{1955\}.$$



Figur 36. Tilsig til Stordalsvatn og 18 år sykluser.



Figur 37. Tilsig til Stordalsvatn og 9 år sykluser.

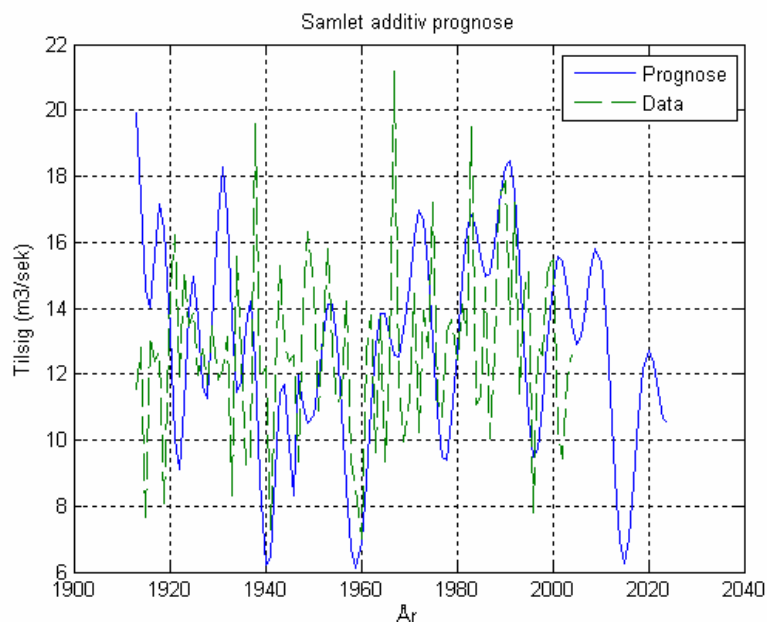
Figur 36 viser tilsig fra 1913 til 2004 og estimerte 18 år wavelet syklus ved Stordalsvatn. I dette tilfelle ser vi at 18 år syklusen er ustabil over hele tidsserien. I den første delen er de i motfase med den astronomiske syklus. Omkring 1930 og 1960 inntreer faseendringer og en når fassen til den stasjonære syklusen først rundt 1980. Wavelet syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{stoMax}(18) = \{1923, 1950, 1967, 1990\} \text{ og } W_{stoMin}(18) = \{1915, 1936, 1960, 1980, 2000\}.$$

Korrelasjonen mellom syklusene fra 1960 er  $R_{sto}(18)=0.67$  for fassen  $\varphi_{sto}(18)=0.55\pi$  (rad). Dette representerer en faseforsinkelse på ca  $0.90\pi - 0.55\pi = 0.35\pi$  (rad) eller ca 3.2 år i forhold til 18-år syklusen ved Norsk tilsig.

Figur 37 viser tilsig sammen med den identifiserte 9 år wavelet syklus og den astronomiske  $18.6/2=9.3$  år lunar nodal syklus. Det framgår av minimumsverdiene at 9 års syklusen har vært stabil fra 1960 til 2004. Korrelasjonen mellom syklusene fra 1960 er beregnet til  $R_{sto}(9)=0.54$  når fassen er  $\varphi_{sto}(9)=0.59\pi$  (rad). Syklusen hadde maksimum om minimum omkring årene

$$W_{stoMax}(9) = \{1923, 1931, 1938, 1944, 1955, 1967, 1974, 1983, 1990, 2000\} \\ W_{stoMin}(9) = \{1915, 1927, 1934, 1947, 1959, 1970, 1978, 1986, 1996, 2002\}$$



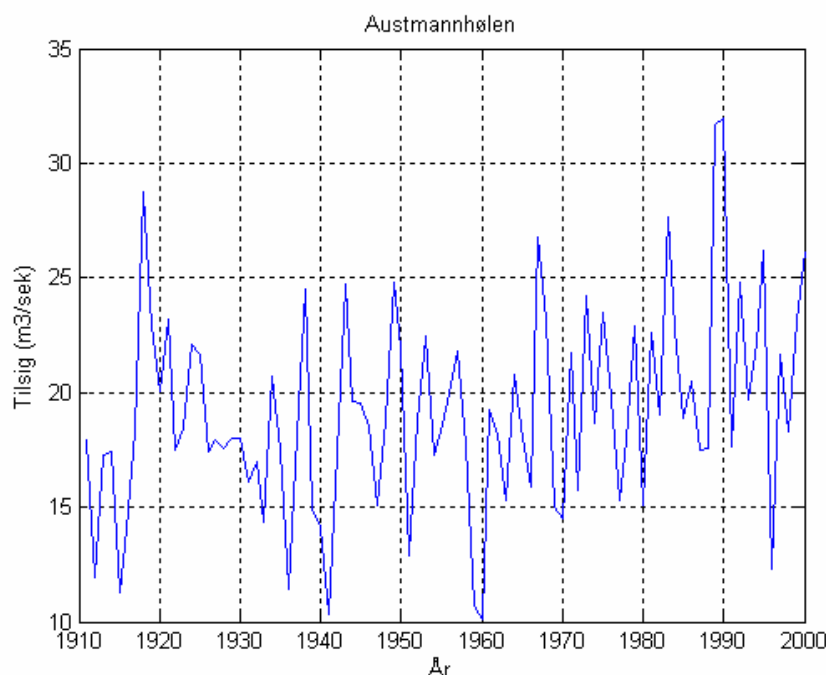
Figur 38. Tilsgig og 20 års prognose ved Stordalsvatn.

Figur 38 viser tidsserien fra 1913 til 2004 for tilsgig til Stordalsvatn og estimert prognose fra 1913 til 2024. Vi ser at prognosen følger i store trekk fluktusjonene til tidsserien fra 1960 til 2000. Plasseringen av tidspunkt for minimumsverdier og maksimums verdier stemmer også godt over ens i denne perioden. Etter år 2000 har prognosen en generell nedadgående tendens med et maksimum rundt 2015 og 2020.

### Kommentar

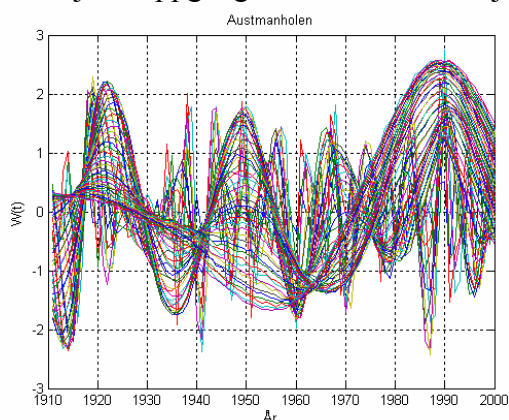
I denne dataserien faller 74 år syklusen sammen med 74 år syklusen for samlet Norsk tilsgig. Syklusen på 18-år syklusen er mer ustabil over hele dataserien. Syklusen på 9-år faller godt sammen med den estimerte 9-års syklusens i de andre tidsseriene. Den samlede prognosen for de neste 20 år viser en nedgang med samme forløp som i prognosen for Norsk tilsgig. Dette har sammenheng med at de har samme dominante syklusene på 9 og 74 år.

## 4.4 Tilsig til Austmannhølen

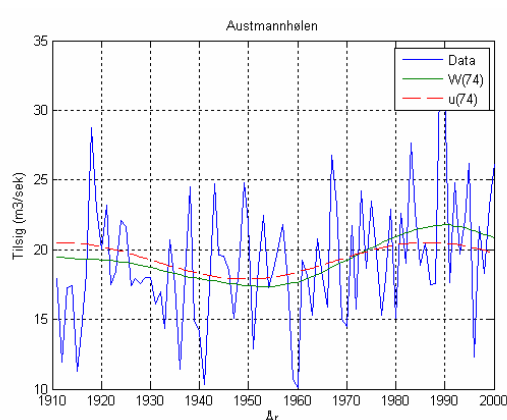


Figur 39. Tilsig til Austmannhølen for perioden 1911 til 2000

Austmannhølen tilhører Vossovassdraget i Hordaland fylke og representerer er feltareal på 293 km<sup>2</sup>. Figur 39 viser tidsserien for tilsig til Austmannhølen for perioden 1911 til 2000. Vi ser av figuren at tilsiget hadde en topp rundt 1920 og et minimum rundt 1940. Deretter har der vært en jevn oppgang med store fluktuasjoner etter 1960.

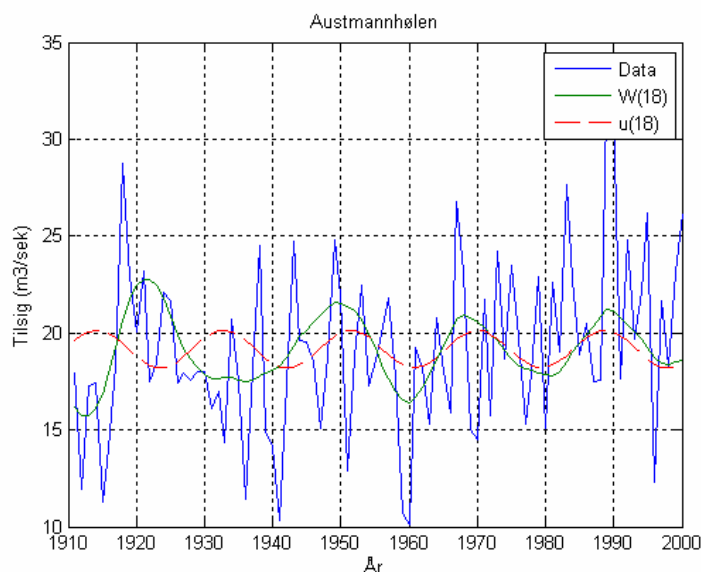


Figur 40. Wavelet spektrum for tilsig til Austmannhølen



Figur 41. Tilsig, 74 år wavelet og optimal 74 år referanse syklus

Figur 40 viser wavelet spekteret fra 4 til 80 % av antall punkt i tidsserien. Vi ser av figuren at der trer fram minst tre periodiske endringer. Tidsserien er for kort til å få en god identifikasjon av lange perioder. Samtidig framgår det av figur 41 at den lange perioden har et minimum rundt 1955 og et maksimum rundt 1990. I dette estimatet er  $R_{\text{aus}}(74) = 0.87$  når fasen er  $\varphi_{\text{aus}}(74) = 1.14\pi$  (rad). Det er omkring de samme årene som et minimum ble identifisert for NAO vinter indeks og Norsk tilsig.



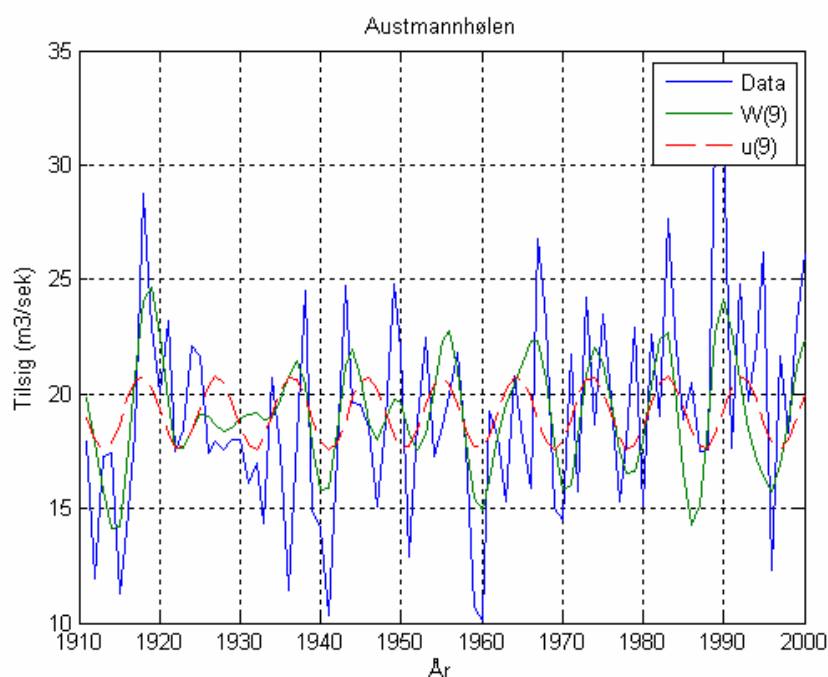
Figur 42. Tilslig til Austmannhølen og dominant 18-år syklus.

Figur 42 viser tilslig til Austmannhølen og identifisert dominant 18 års syklus  $W_{\text{aus}}(18)$ . Denne har maksimum om minimum omkring

$$W_{\text{ausMax}}(18) = \{1921, 1950, 1968, 1990\}$$

$$W_{\text{ausMin}}(18) = \{1905, 1935, 1960, 1980, 2000\}.$$

Vi ser her at denne perioden faller sammen med tidsserien for Norsk tilslig. Korrelasjonen er  $R_{\text{aus}}(18)=0.9$  for de siste 50 årene når fasen  $\phi_{\text{aus}}(18)=0.90\pi$  (rad). Det framgår også at syklusen får en invertering av fasen etter 1920.

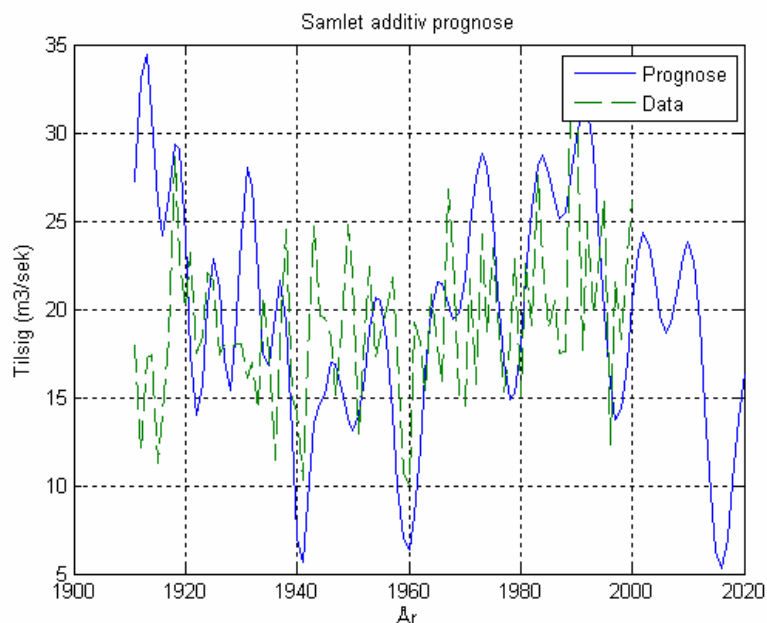


Figur 43. Tilslig til Austmannhølen, 9 år wavelet og stasjonær harmonisk syklus på  $18.6/2=9.3$  år.

Figur 43 viser tilsig på Austmannheim, identifisert syklus på 9 år og stasjonær referanse syklus på  $18.6/2=9.3$  år. Etter 1960 har den maksimum og minimum omkring årene.

$$W_{\text{ausMax}}(9)=\{1973, 1982, 1990\} \text{ og } W_{\text{ausMin}}(9)=\{1960, 1970, 1979, 1986, 1995\}$$

Det framgår visuelt av figuren at der er en klar sammenheng mellom minimumspunktene for tilsig og minimumspunktene for referanse syklusen på 9.3 år. Krysskorrelasjonen mellom syklusene er beregnet til  $R_{\text{nor}}(9)=0.57$  for de 40 siste målingene når fasen er  $\varphi_{\text{nor}}(9)=0.59\pi$  (rad).



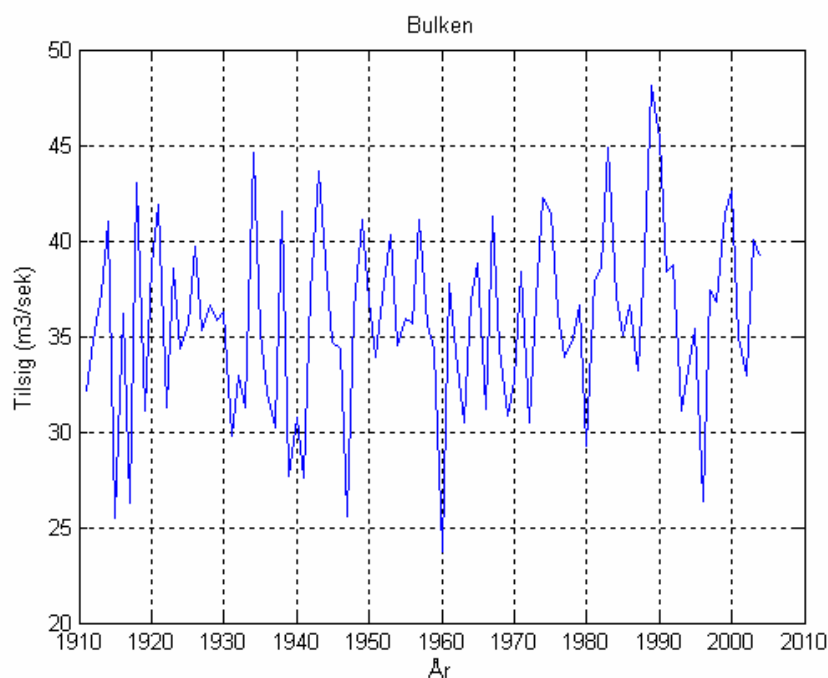
Figur 44 Tilsig til Austmannhølen og 20 års prognose fra 2000.

Figur 44 viser dataserien fra 1931 til 2004 og en estimert deterministisk prognose fra 1931 til 2020. Prognosen er basert på summen av de estimerte stasjonære syklusene på 74, 18 og 9 år. Videre er det tatt hensyn til at der er et skifte fra en 6 år syklus til en 9 år syklus fra 1965. Korrelasjonen mellom dataserien fra 1931 til 2004 og den deterministiske prognose i samme perioden er beregnet til  $R_{\text{yu}}=0.3$  i samme perioden. Korrelasjonen til summen av wavelet syklusene er beregnet til  $R_{\text{wu}}=0.5$ .

### Kommentar

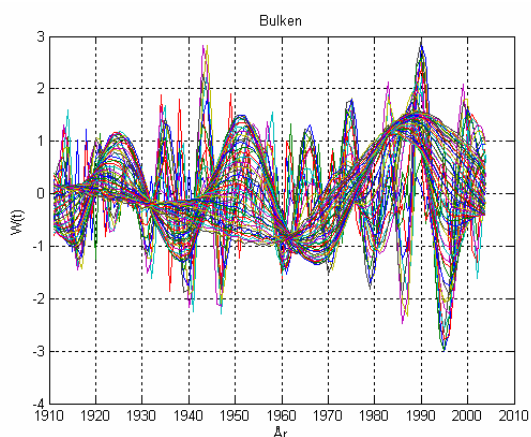
De identifiserte dominante fluktuasjoner på 74, 18 og 9 år faller sammen med de estimerte sykluser i tidsserien for Norsk tilsig. I perioden 2000 til 2020 viser prognosen de samme hovedtrekkene som prognosen for Norsk tilsig. Prognosen følger også godt tidsserien fra 1960 til 2004. Rundt 1987 er der et felles minimum der prognose og data ikke når samme nivå. Dette viser at der er ikke en lineær additiv sammenheng mellom de deterministiske periodene på 9, 18 og 74 år. Samlet viser prognosen en nedadgående tendens fra 2000. Fluktuasjonene har et minimum omkring 2006 og enda større minimum rundt 2015.

## 4.5 Tilsig til Bulken

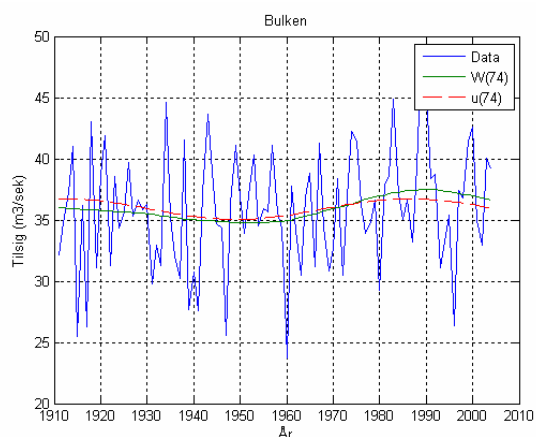


Figur 45. Tilsig til Bulken fra 1911 til 2004

Bulken tilhører Vossovassdraget i Hordaland fylke og representerer et feltareal på 1102 km<sup>2</sup>. Figur 45 viser forløpet av tilsig til Bulken for perioden 1911 til 2004. Tidsserien viser at det har vært forholdsvis store fluktuasjoner i tilsig og det er vanskelig å se direkte en generell trend i utviklingen med det blotte øye.



Figur 46. Waveletspekter for tilsig til Bulken

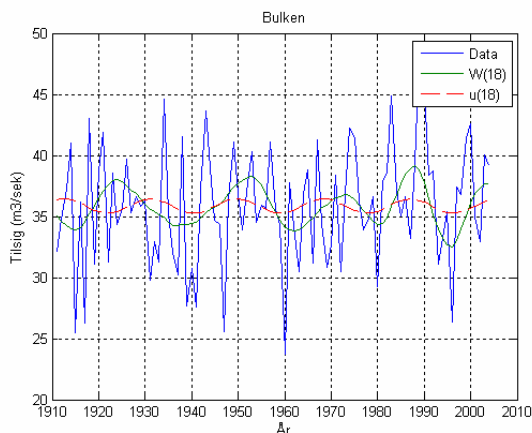


Figur 47. Dataserie og identifisert 74 år syklus

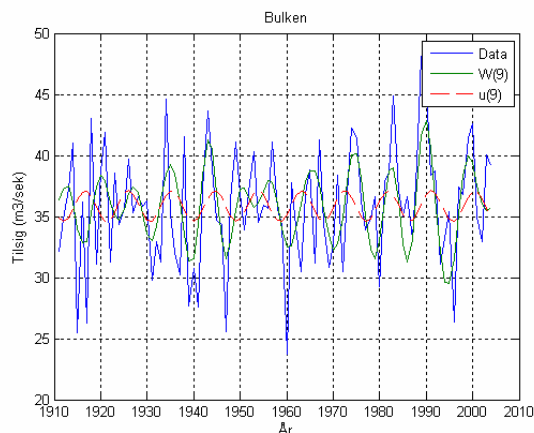
Figur 46 viser waveletspekteret for tidsserien til Bulken. Vi ser av figuren at dataserien har 3 dominerende sykluser. 74 år syklusen er lite utpreget i denne dataserien, men vi kan observere en syklus på 20-30 år. Denne syklusen ser ut til å være en 3. sub-harmonisk av den utpregende syklus på  $18.6/2=9.3$  år. Figur 47 viser dataserien og et optimalt estimat av 74-år syklusen og den astronomiske referanse syklus  $u(74)$  på  $18.6 \cdot 4=74.4$  år. Fasen er beregnet til  $\phi_{bul}(74)=1.14\pi$  (rad). Syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{bulMax}}(74)=\{1915, 1990\} \text{ og } W_{\text{bulMin}}(74)=\{1955\}.$$

Denne fluktuasjonen danner en varierende middelvei for fluktuasjonene som faller sammen med de tilsvarende 74 år periodene for Norsk tilsig og tilsig til Austmannholen. Korrelasjonen med den astronomiske syklusen er beregnet til  $R(74)=0.84$ .



Figur 48. Tilsig til Bulken og 18 år sykluser



Figur 49. Tilsig til Bulken og 9 år sykluser

Figur 48 viser dataserien for tilsig til Bulken, identifisert 18 wavelet syklus og astronomiske lunar nodal syklus på 18.6 år. Wavelet syklusen har maksimum om minimum omkring

$$W_{\text{bulMax}}(18)=\{1924, 1953, 1973, 1988, 2003\}$$

$$W_{\text{bulMin}}(18)=\{1915, 1937, 1961, 1980, 1996\}.$$

Korrelasjonen med den astronomiske syklusen er beregnet til  $R_{\text{bul}}(18)=0.71$  for de siste 40 målingene når  $\phi_{\text{bul}}(18)=0.90\pi$  (rad). Samtidig ser vi at fasen snudde  $1.0\pi$  (rad) eller 180 grader omkring året 1920. Dette viser at dataserien har den samme 18-år syklus som vi finner i havtemperaturen og for Norsk tilsig.

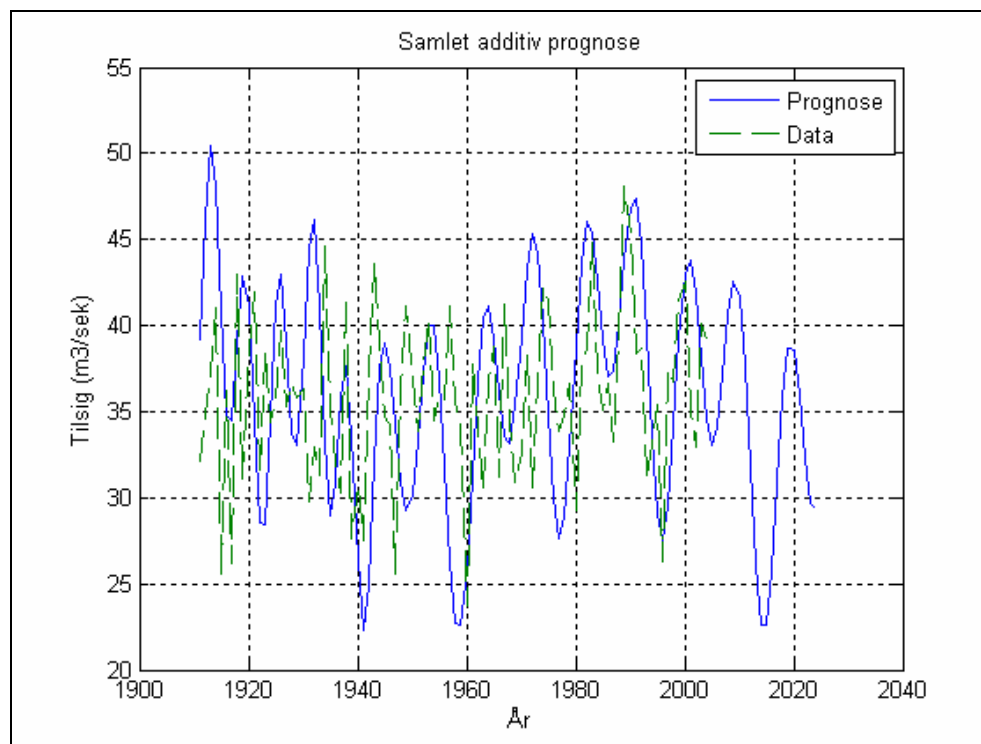
Figur 49 viser tilsig til Bulken, den identifiserte 9 år wavelet syklus og den astronomiske syklus på  $18.6/2=9.3$  år. Den tilsvarende dominante 9 års wavelet syklus har etter 1960 maksimum og minimum for årene omkring

$$W_{\text{bulMax}}(9) = \{1966, 1975, 1983, 1990, 1999\}$$

$$W_{\text{bulMin}}(9) = \{1960, 1969, 1979, 1986, 1994, 2002\}$$

Korrelasjonen for 9-år syklusen  $R_{\text{bul}}(9)=0.51$  for de 40 siste målingene når  $\phi_{\text{bul}}(9)=0.59\pi$  (rad). Vi ser altså at også her følger 9-år syklusen samme fase som i tidsseriene for innflyt av Atlanterhavsvann ved Skottland og for samlet Norsk tilsig.





Figur 50. Tilslig til Bulken fra 1911 til 2004 og prognose fra 1911 til 2024.

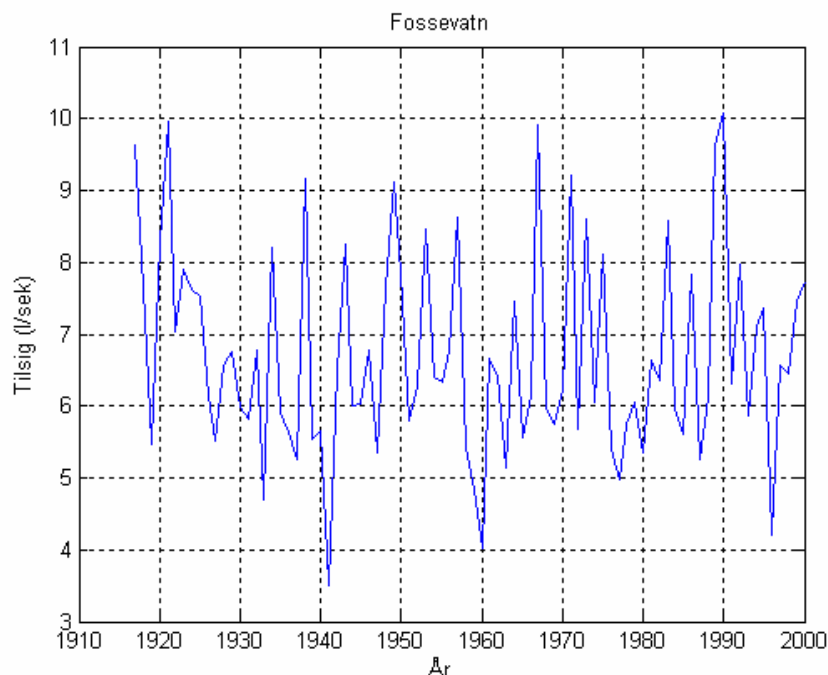
Figur 50 viser tilslig til Bulken fra 1931 til 2004 og en estimert deterministisk prognose fra 1931 til 2020. Prognosen er basert på summen av optimalt estimerte stasjonære syklusene på 74, 18 og 9 år. Videre er det tatt hensyn til at det er et skifte fra en 6 år syklus til en 9 år syklus fra 1965. Det framgår av figuren at prognosen følger hovedtrendene i dataserien. Korrelasjonen mellom dataserien og prognosen er beregnet til  $R=0.2$  over en periode på 88 år. Det framgår av prognosen at trenden viser en nedadgående tendens fra 2004 til 2024. Samtidig er der fluktuasjonene med et minimum omkring 2006 og enda større minimum rundt 2015.

### Kommentar

Tidsserien for tilslig fra Bulken har dominante sykluser tilknyttet perioder på 74, 18 og 9 år. Fasen til periodene ligger nært opp til de samme syklusene en har i Norsk tilslig og de faller også sammen med fasen til syklusene i tidsseriene for Austmannhølen. Den estimerte syklus på 18 følger den astronomiske tidevannsyklusen på 18.6 og 18-år syklusen i temperaturen for innflyt av Nordatlantisk vann ved Skottland. Begge tidsseriene har en faseinvertering omkring 1920.

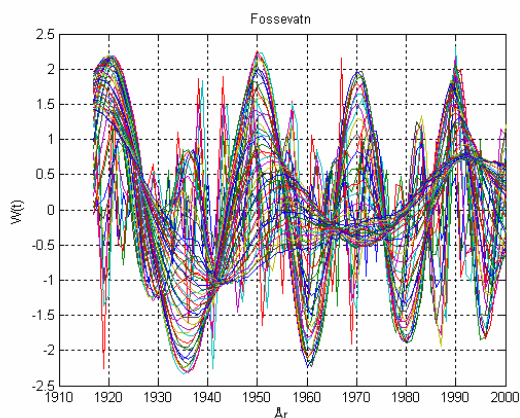
Det framgår av figur 50 at det er en god sammenheng mellom data og prognose i perioden 1960 til 2004. Langtidsprognosen viser også en klar nedadgående trend fra 2000 til 2020. Fluktuasjonene på 9 år estimerer maksimum omkring 2008 og 2019 og et minimum rundt 2015.

## 4.6 Tilsig til Fossevatn

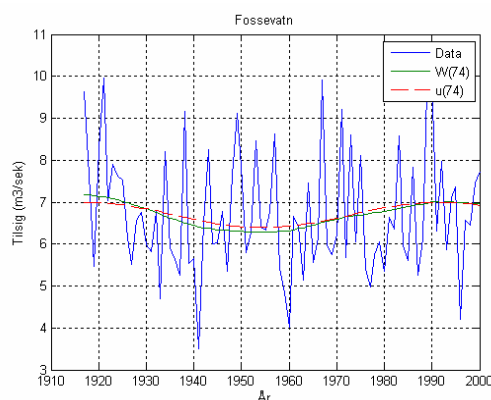


Figur 51. Tilsig ved Fossevatn fra 1917 til 2000.

Fossevatn tilhører området rundt Masfjorden i Nord-Hordaland og representerer et feltareal på 63.6 km<sup>2</sup>. Figur 51 viser utviklingen av tilsig ved Fossevatn for perioden 1917 til 2002. Vi ser her at tilsiget veksler mellom omtrent 5.5 og 8.5 m<sup>3</sup>/sek. Der er et minimum omkring 1940 og 1960 ellers er det vanskelig å oppdage en generell trend i dataserien med det blotte øye.



Figur 52. Waveletspekteret for Fossevatn dataserie.



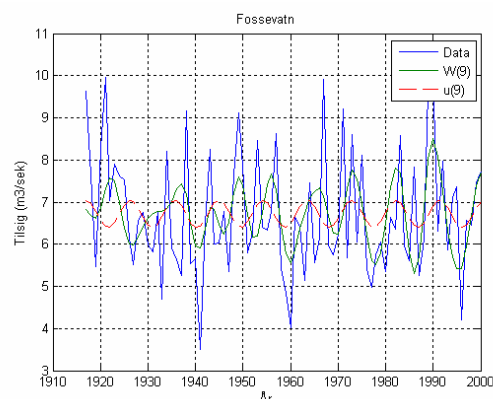
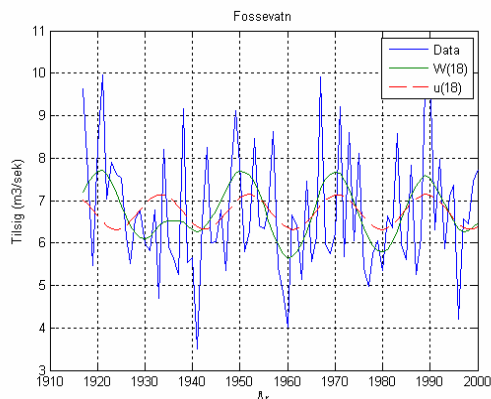
Figur 53. Tilsig og 74 år syklus.

Figur 52 viser waveletspekteret for tilsig ved Fossevatn. Vi ser av waveletspekteret at det nå trer fram en klarere konsentrasjon av sykliske endringer. I perioden fra 1917 til 1960 er der om lag 30 år mellom de dominante positive verdiene og om lag 25 år mellom det negative nivået. Dette kan tyde på at denne syklusen har sitt opphav i 9 års syklusen som danner en 3. ordens sub-harmonisk syklus. Det vil si at energien fra en syklus på  $18.6/3=9.3$  år danner en ny periode på  $3(18.6/2)=27.9$  år. Alle tidsseriene i analysen har hatt en fundamental endring etter 1960. I dette tilfelle ser det ut til vi får en dominant syklus på ca 18.6 år fra 1960.

Figur 53 viser dataserien for tilsig ved Fossevatn, optimal 74 wavelet syklus og 74 år lunar nodal syklus. Det framgår av figuren at estimatet på 74 år wavelet syklusen følger middelverdiene til fluktuasjonene og den følger referansesyklusen på 74 år. Syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{eidMax}}(74)=\{1920, 1990\} \text{ og } W_{\text{eidMin}}(74)=\{1955\}.$$

Korrelasjonen mellom wavelet syklus og referansen er beregnet til  $R_{\text{fos}}(74)=0.98$  når fasen er  $\varphi_{\text{fos}}(74)=1.00\pi$  (rad).



Figur 54. Tilsig og 18 år sykluser ved Fossevatn      Figur 55. Tilsig og 9 års syklus

Figur 54 viser tilsig fra 1917 til 2000 og estimerte 18 år sykluser ved Fossevatn. Vi ser her at i denne tidsserien er syklusen på 18 år meget utpreget. Det kan se ut som at det kom en faseinvertering omkring 1940 når det var et globalt minimum. Deretter har den vært forholdsvis dominant og stabil. Korrelasjonen til den astronomiske syklusen på 18.6 år er  $R_{\text{fos}}(18)=0.6$  for hele dataserien med et midlere fase estimert  $\varphi_{\text{fos}}(18)=0.8\pi$  (rad). Waveletsyklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{fosMax}}(18)=\{1921, 1935, 1950, 1970, 1989\}$$

$$W_{\text{fosMin}}(18)=\{1930, 1941, 1960, 1980, 1997\}.$$

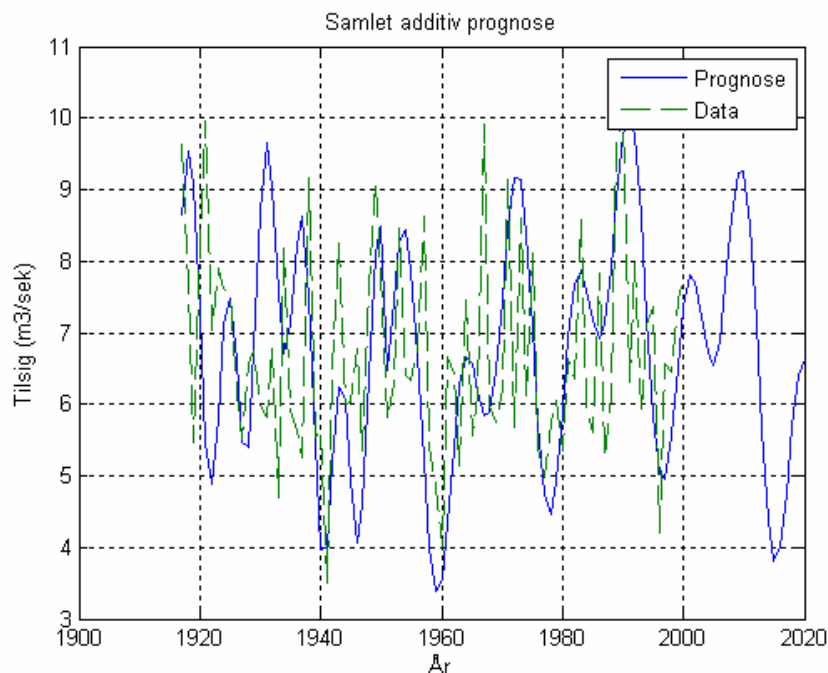
Korrelasjonen for de 40 siste årene er estimert til  $R_{\text{fos}}(18)=0.91$  når  $\varphi_{\text{fos}}(18)=0.90\pi$  (rad). Det er samme fase som 18 år syklusen til tidevannet, temperaturen i Nordatlantisk havvann og i tilsig for Norsk tilsig.

Figur 55 viser tilsig til Fossevatn, optimal 9 år wavelet syklus og den astronomiske syklus på  $18.6/2=9.3$  år. Vi ser av figuren at det har vært en stabil 9-års syklus etter 1960 slik vi har sett i de andre tidsseriene. Etter 1960 har wavelet syklusen maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{fosMax}}(9) = \{1966, 1974, 1983, 1990\}$$

$$W_{\text{fosMin}}(9) = \{1960, 1970, 1978, 1986, 1996, 2003\}.$$

Her er korrelasjonen for 9-års syklusen beregnet til  $R_{\text{bul}}(9)=0.75$  når fasen er til  $\varphi_{\text{fos}}(9)=0.59\pi$  (rad).



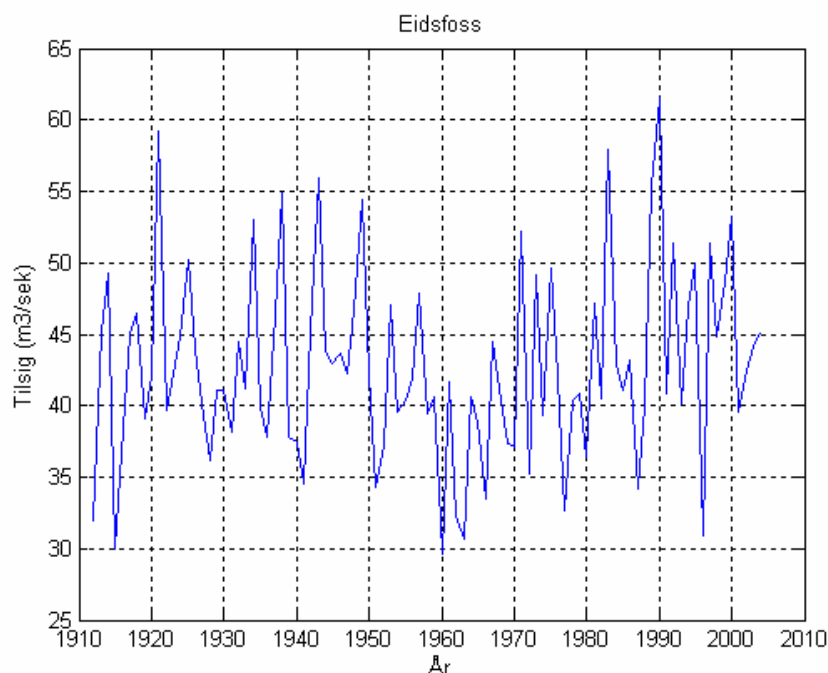
Figur 56. Tilsig og 20 års prognose for Fossevatn

Figur 56 viser tidsserien fra 1911 til 2004 for tilsig til Eidsfoss og estimert prognose fra 1911 til 2024. Prognosen er basert på summen av optimalt estimerte stasjonære syklusene på 74, 18, 9 og 6 år. Syklusen på 6 år dominerer fram til 1950 og 9 år syklusen dominerer resten av prognosen. Vi ser at prognosen følger hovedtrendene i tilsig over hele dataserien. Avviket har i store trekk sammenheng med at der er raskere fluktuasjoner i tidsserien. Korrelasjonen mellom dataserien og prognosen er beregnet til  $R=0.4$  over en periode på 88 år.

### Kommentar

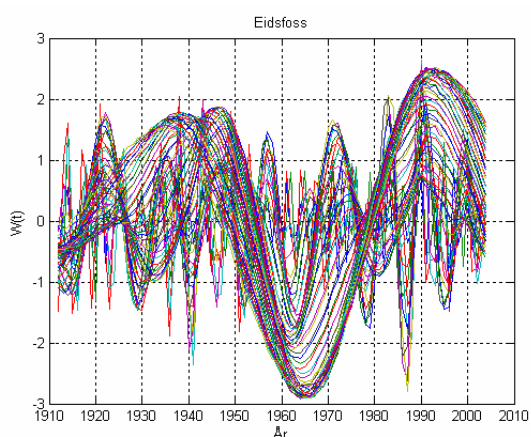
Tilsetet til Fossevatn har de samme sykliske endringer på 74, 18 og 9 år som en har i dataserien for Norsk tilsig. De framgår videre av figur 56 at der er et godt samsvar mellom data og prognose i perioden 1960 til 2004. Prognosen viser så en nedadgående tendens fra 2004 til 2024. Syklusene på 9 og 18 år fører til at prognosen har samme form som maksimum og minimum av tilsig fra 1980 til 2000. Den nedadgående trenden fra 2000 har sammenheng med at 74-år syklusen har passert et maksimum. Omkring 2015 har prognosen et maksimum som den hadde rundt 1970 og 1990.

## 4.7 Tilsig til Eidsfoss

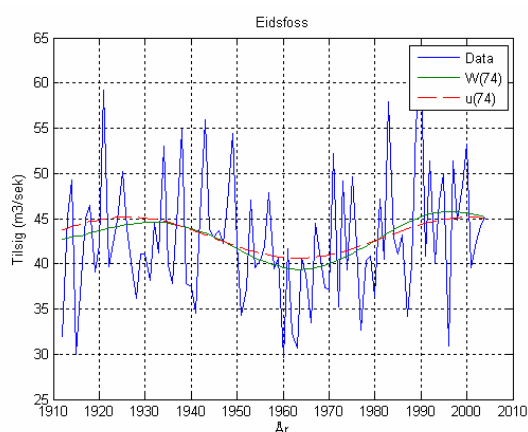


Figur 57. Tilsig til Eidsfoss for perioden 1911 til 2004

Eidsfoss tilhører Breimsvassdraget i Nordfjord. Figur 57 viser utviklingen av tilsig til Eidsfoss for perioden 1911 til 2004. Vi ser at også dette tilsiget har store fluktuasjoner, men samtidig et noe jevnt forløp for middelverdien. I dette tilfellet ser vi at der er et minimum i tilsiget rundt 1965.



Figur 58. Wavelet spekteret for tilsig til Eidsfoss.



Figur 59. Dataserie, optimal 74 år wavelet og 74 år lunar nodal syklus.

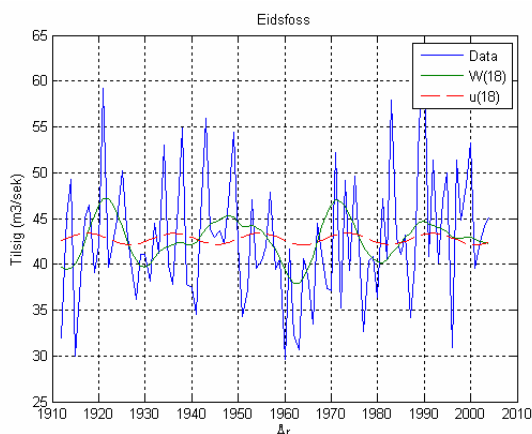
Figur 58 viser wavelet spekteret for tilsig til Eidsfoss. Det framgår av figuren at tidsserien har noen raske fluktuasjoner, en fluktusjon med omkring 10 års mellomrom og en lengre fluktusjon med minimum omkring 1960.

Figur 59 viser dataserien for tilsig til Eidsfoss, optimal 74 wavelet syklus og 74 år lunar nodal syklus. Selv om dataserien er for kort til å få et godt estimat på 74 år, ser vi at den følger

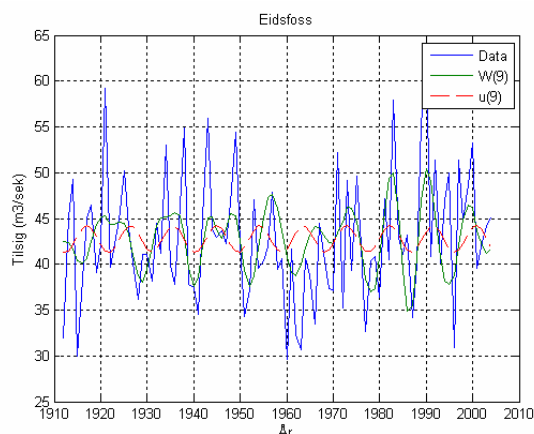
middelverdiene til fluktuationene og den følger referansesyklusen på 74. Syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{eidMax}}(74)=\{1925, 2000\} \text{ og } W_{\text{eidMin}}(74)=\{1965\}.$$

Korrelasjonen mellom wavelet syklus og referansen er beregnet til  $R_{\text{eid}}(74)=0.95$  når fasen er  $\varphi_{\text{eid}}(74)=0.76\pi$  (rad).



Figur 60. Dataserie og 18 år sykluser.



Figur 61. Dataserie og 9 år wavelet.

Figur 60 viser dataserien for tilsg til Eidsfoss, identifisert 18 wavelet syklus og astronomiske lunar nodal syklus på 18.6 år. Wavelet syklusen har maksimum om minimum omkring

$$W_{\text{eidMax}}(18)=\{1921, 1940, 1959, 1971, 1990\}$$

$$W_{\text{eidMin}}(18)=\{1913, 1930, 1963, 1980, 1996\}.$$

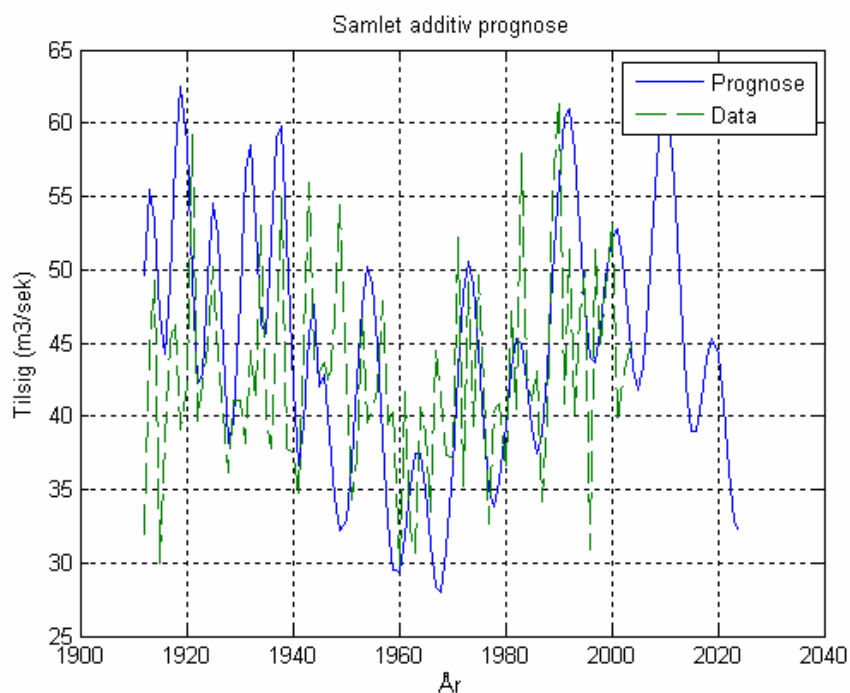
Korrelasjonen med den astronomiske syklusen er beregnet til  $R_{\text{bul}}(18)=0.71$  for de siste 40 målingene når  $\varphi_{\text{bul}}(18)=0.90\pi$  (rad). Vi ser at fasen endres rundt 1920 og rundt 1940.

Figur 61 viser tilsg til Eidsfoss, optimal 9 år wavelet syklus og den astronomiske syklus på  $18.6/2=9.3$  år. Vi ser av figuren at der har vært en stabil 9-års syklus etter 1960 når 74-år syklusen hadde et minimum. Den dominante 9 års wavelet syklus har etter 1960 maksimum og minimum for årene omkring

$$W_{\text{eidMax}}(9) = \{1966, 1974, 1983, 1990, 1999\}$$

$$W_{\text{eidMin}}(9) = \{1962, 1970, 1979, 1986, 1995, 2003\}$$

I denne dataserien er korrelasjonen for de 40 siste målingene er  $R_{\text{bul}}(9)=0.51$  når  $\varphi_{\text{bul}}(9)=0.59\pi$  (rad).



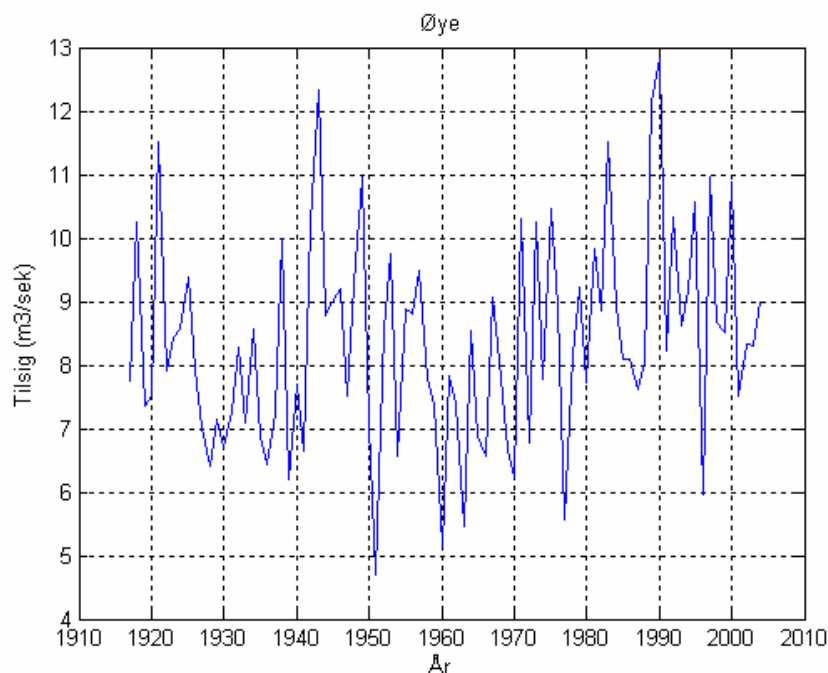
Figur 62. Tilsig og 20 års prognose for Eidsfoss

Figur 62 viser tidsserien fra 1911 til 2004 for tilsig til Eidsfoss og estimert deterministisk prognose fra 1911 til 2024. Prognosen er basert på summen av de optimalt estimerte stasjonære syklusene på 74, 18 og 9 år. Det framgår av figuren at prognosen følger hovedtrendene i dataserien. Korrelasjonen mellom dataserien og prognosen er beregnet til  $R=0.2$  over en periode på 88 år.

### Kommentar

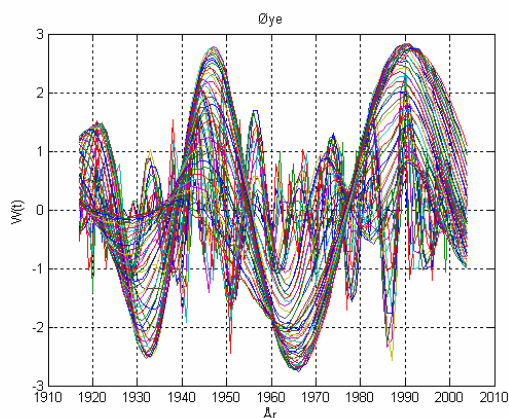
Dataserien for tilsig til Eidsfoss har sykluser på 74, 18 og 9 år som faller sammen med syklusene i Norsk tilsig og de andre dataseriene. Det framgår av figur 62 at prognosen følger godt dataserien i perioden fra 1960 til 2004. Den kraftige dominansen til 74-år syklusen fører til at langtidsutviklingen har en kraftig nedadgående tendens fra 2004 til 2024. Omkring 2015 har det et maksimum på linje med det en hadde rundt 1990.

## 4.8 Tilsig til Øye

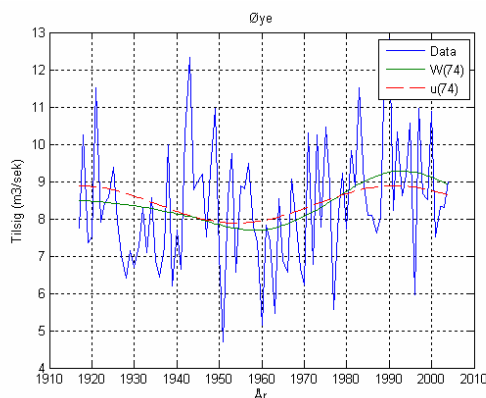


Figur 63. Tilsig til Øye i perioden 1913 til 2004.

Øye tilhører vassdragene omkring Storfjorden, Synnlyvsfjorden og Geirangerfjorden på Sunnmøre og representerer et feltareal på 138 km<sup>2</sup>. Figur 63 viser utviklingen av tilsig ved Øye i perioden 1917 til 2004. Vi ser her at dataserien har store fluktuasjoner med minimum i 1930-årene, i 1950, 1960, 1977 og 1996. Den generelle trenden ser ut til å være en nedgang rundt 1960 og en oppgang med et maksimum rundt 1990.



Figur 64. Waveletspekter for tilsig til Øye.



Figur 65. Dataserie og 74 år syklus.

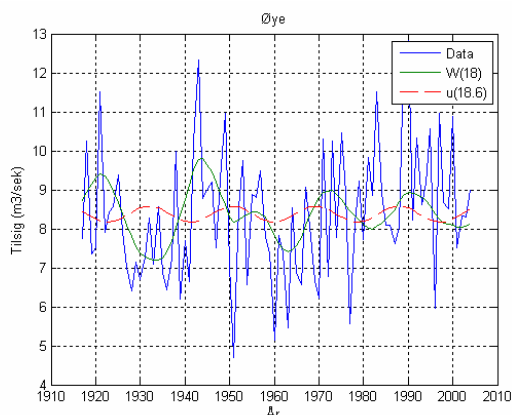
Figur 64 viser wavelet spekteret for tilsig til Øye i perioden 1917 til 2004. Det framgår av figuren at spekteret har en syklus på ca 9 år etter 1960. Samtidig er dataserien preget av en lengre syklus med et markert maksimum rundt 1922, 1947 og 1990 og minimum omkring årene 1933 og 1965. Denne syklusen ser ut til å være 2. sub-harmonisk syklus fra 18.6 år lunar nodal syklus som er  $2 \cdot 18.6 = 37.2$  år.

Figur 65 viser dataserien for tilsiget, den optimale 74 år wavelet syklus og den estimerte 74 år lunar nodal syklus. Vi ser at 74-år syklusene også i denne dataserien følger middelverdiene til

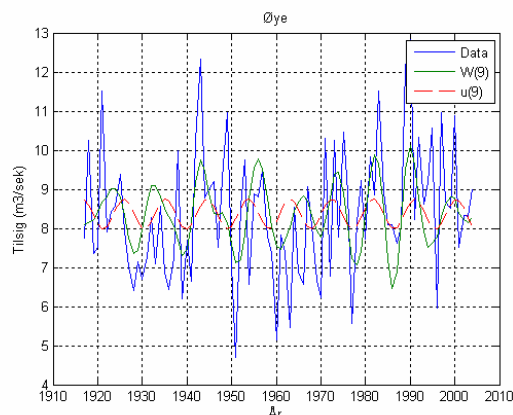


fluktuasjonene for tidsserien. Korrelasjonen mellom 74 år waveletsyklusen og 74 år referansen er beregnet til  $R_{\text{øye}}(74)=0.89$  og fasen er beregnet til  $\varphi_{\text{øye}}(74)=1.01\pi$  (rad). Perioden har maksimum om minimum omkring årene

$$W_{\text{øyeMax}}(74) = \{1922, 1990\} \text{ og } W_{\text{øyeMin}}(74) = \{1960\}.$$



Figur 66. Tilsig og 18 år sykluser.



Figur 67. Tilsig og 9 år sykluser.

Figur 66 viser tilsig fra 1917 til 2004 og dominant 18 år wavelet syklus for tilsig til Øye. I tillegg er det satt opp den astronomiske 18.6 år lunar nodal syklus. Det framgår av figuren at syklusene er i motfase fra 1917 til omkring 1950. Etter minimumsverdien i 1950 skjer der en faseendring og syklusene har samme fase fra 1960 til 2004. 18 år wavelet syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{øyeMax}}(18) = \{1921, 1944, 1957, 1973, 1990\}$$

$$W_{\text{øyeMin}}(18) = \{1934, 1951, 1963, 1981, 2001\}.$$

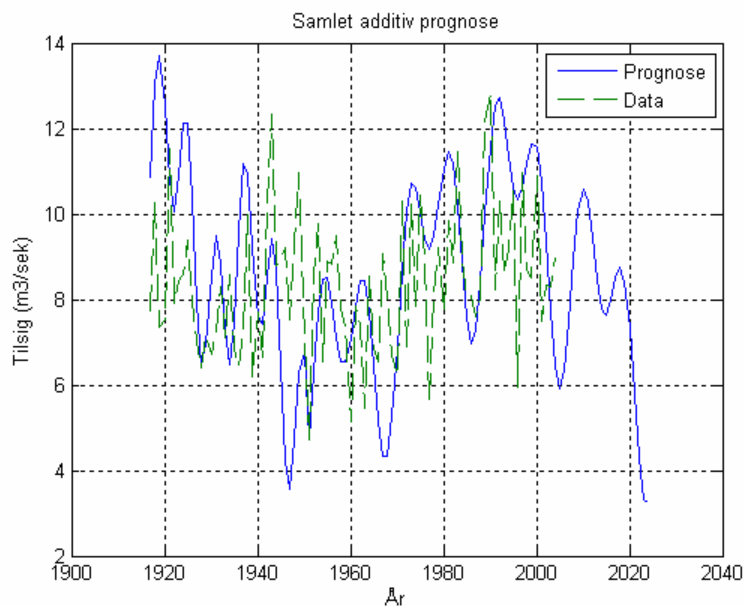
I denne dataserien er korrelasjonen fra 1960 beregnet til  $R_{\text{øye}}(18)=0.94$  når fasen  $\varphi_{\text{øye}}(18)=0.55\pi$  (rad). Dette er samme fase som ved Hæggårs Bru og Stordalsvatn.

Figur 67 viser tilsig, den identifiserte 9 år wavelet syklus og den astronomiske  $18.6/2=9.3$  år lunar nodal syklus. Det framgår av minimumsverdiene at 9 års syklusen har vært en stabil fra 1917 til omkring 1950. Den fikk da en faseendring og kom inn i en ny stabil modus fra 1960 til 2004. Syklusen hadde maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{øyeMax}}(9) = \{1923, 1932, 1943, 1956, 1966, 1974, 1982, 1990, 2000\}$$

$$W_{\text{øyeMin}}(9) = \{1928, 1939, 1951, 1961, 1969, 1978, 1986, 1995, 2003\}.$$

Korrelasjonen mellom syklusene fra 1960 er beregnet til  $R_{\text{øye}}(9)=0.71$  når fasen er  $\varphi_{\text{øye}}(9)=0.59\pi$  (rad).



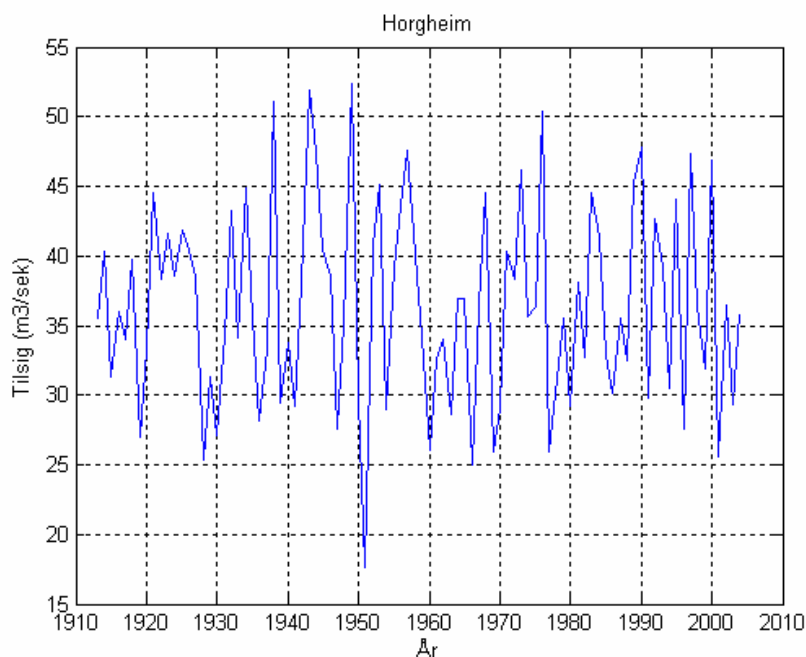
Figur 68. Tilslig og 20 års prognose ved Øye

Figur 68 viser tidsserien fra 1913 til 2004 for tilslig til Øye og estimert prognose fra 1913 til 2024. Vi ser at prognosen følger i store trekk plasseringen av tidspunkt for minimumsverdier og maksimumsverdier i dataserien. Unntaket er perioden rundt 1945. Etter år 2000 har prognosen en generell nedgang slik en hadde fra 1940 til 1960. Prognosen for 9-år syklusen fører til et maksimum rundt 2010 og 2019.

### Kommentar

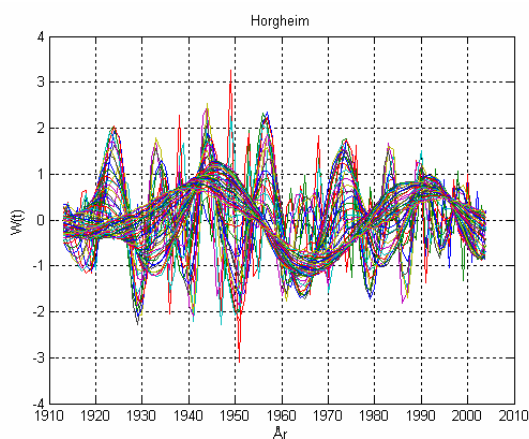
De identifiserte syklusene følger de samme syklusene som en finner i dataserien for Norsk tilslig og de andre dataseriene. Forskjellen er at fasen til 18-år syklusen har en faseforsinkelse på ca 3 år i forhold til den tilsvarende syklus i Norsk tilslig og de andre dataseriene fra Hordaland og Nordfjord. Det framgår av Figur 68 at også her er der en nær sammenheng mellom prognose og dataserie fra 1960 til 2004. Prognosen fra 2004 til 2004 har også her et sterk nedadgående forløp.

## 4.9 Tilsig til Horgheim

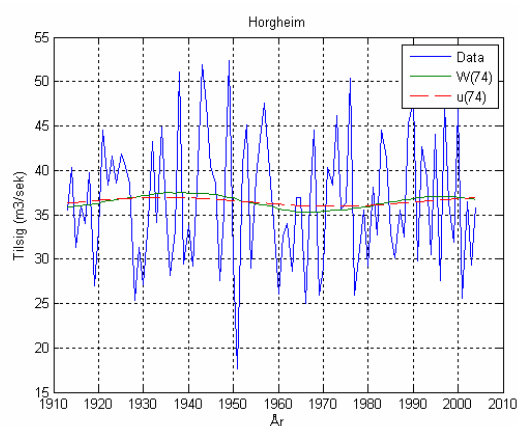


Figur 69. Tilsig til Horgheim fra 1913 til 2004

Horgheim tilhører Raumavassdraget i Romsdal og representerer et feltareal på 1142 km<sup>2</sup>. Figur 69 viser utviklingen av tilsig ved Horgheim for perioden 1913 til 2004. Dataserien viser at tilsiget veksler mellom ca 30 og 45 m<sup>3</sup>/sek. Vi ser videre av figuren at det ser ut til å være en varierende langtidstrend i dataene som har et minimum omkring 1960.



Figur 70. Wavelet spekter for Horgheim dataserie.



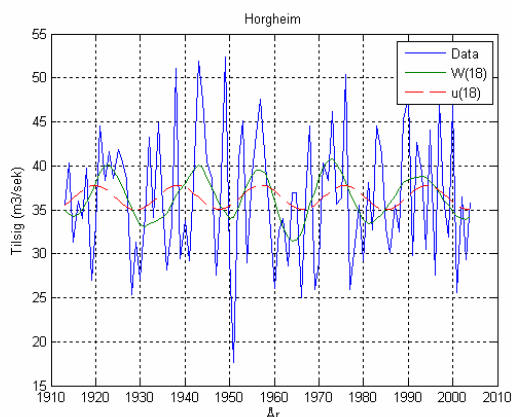
Figur 71. Tilsig til Horgheim og 74 år syklus.

Figur 70 viser wavelet spekteret for tilsig ved Horgheim. Vi ser av figuren at wavelet spekteret har en konsentrasjon av sykliske endringer på rundt 9, 18 og 40 år. Periodene på 9 og 18 er de samme som er identifisert tidligere. Perioden på ca 40 år ser ut til å være en subharmonisk syklus på  $2 \cdot 18.6 = 37.2$  år. Samtidig ser vi at den har et minimum omkring 1960 i samsvar med de andre tidsseriene.

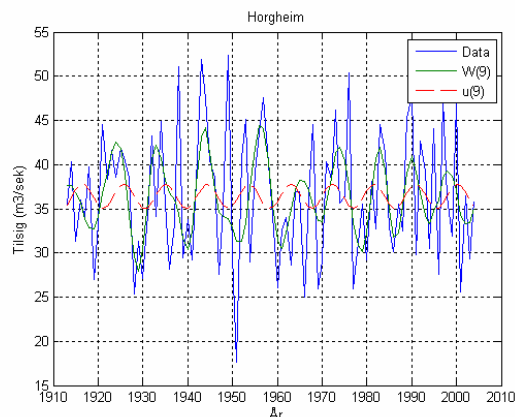
Figur 71 viser dataserien for tilsig ved Horgheim, optimal 74 wavelet syklus og 74 år lunar nodal syklus. Estimert på 74 år wavelet syklusen og referansesyklusen på 74 år følger middelverdiene til fluktuasjonene. Korrelasjonen mellom wavelet syklus og referansen er beregnet til  $R_{hor}(74)=0.91$  når fasen til referansen er  $\varphi_{hor}(75)=0.95\pi$  (rad).

Syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{horMax}(74)=\{1940, 200\} \text{ og } W_{horMin}(74)=\{1965\}.$$



Figur 72 Tilsig til Horgheim og 18 år wavelet og referanse sykluser.



Figur 73 Tilsig til Horgheim og 18 år wavelet og referanse sykluser.

Figur 72 viser tilsig fra 1913 til 2004 og estimert 18 år wavelet syklus ved Horgheim. Vi ser av denne figuren at 18 år waveletsyklusen er i motfase ( $1.0\pi$  (rad)) i perioden fram til 1960. Deretter starter en faseinvertering og fasen nærmer seg referansesyklusen. I denne dataserien er korrelasjonen  $R_{hor}(18)=0.91$  i perioden 1960 til 2004 når fasen  $\varphi_{hor}(18)=0.55\pi$  (rad). Waveletsyklusen har maksimalverdier og minimum for årene

$$W_{horMax}(18)=\{1923, 1943, 1955, 1973, 1989\}$$

$$W_{fosMin}(18)=\{1930, 1941, 1960, 1980, 1993\}.$$

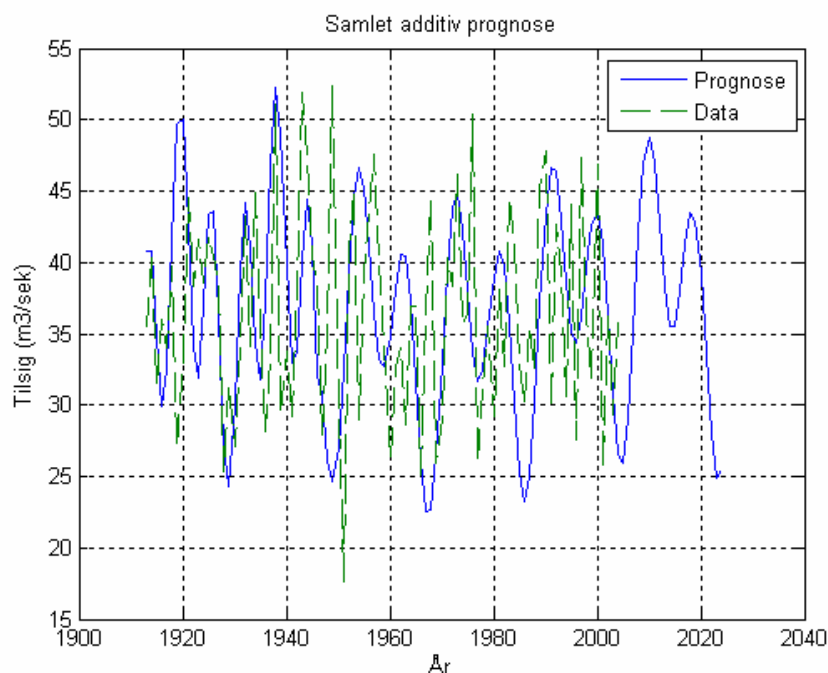
Vi ser her at fasevinkelen ved Horgheim har en forsinkelse på ca  $\varphi_{nor}(18)-\varphi_{hor}(18) = (0.90\pi - 0.22\pi) = 0.68\pi$  (rad) eller 6.3 år.

Figur 73 viser tilsig, optimal 9 år wavelet syklus og den astronomiske syklus på  $18.6/2=9.3$  år ved Horgheim. Det framgår av figuren at den ser ut til å ha vært en stabil syklus på 9 år over hele tidsserien. Ser vi på fasen i forhold til referansesyklusen, ser vi at fasen snudde  $1.0\pi$  (rad) rundt 1950 og at den snudde tilbake rundt 1980. Syklusen hadde maksimum og minimum omkring årene

$$W_{horMax}(9)=\{1924, 1933, 1944, 1956, 1965, 1974, 1983, 1990, 1989\}$$

$$W_{horMin}(9)=\{1919, 1929, 1939, 1951, 1961, 1970, 1979, 1986, 1994, 2002\}.$$

Korrelasjonen til 9-år syklusen er  $R_{hor}(9)=0.52$  for de siste 40 år når  $\varphi_{hor}(9)=0.59\pi$  (rad).



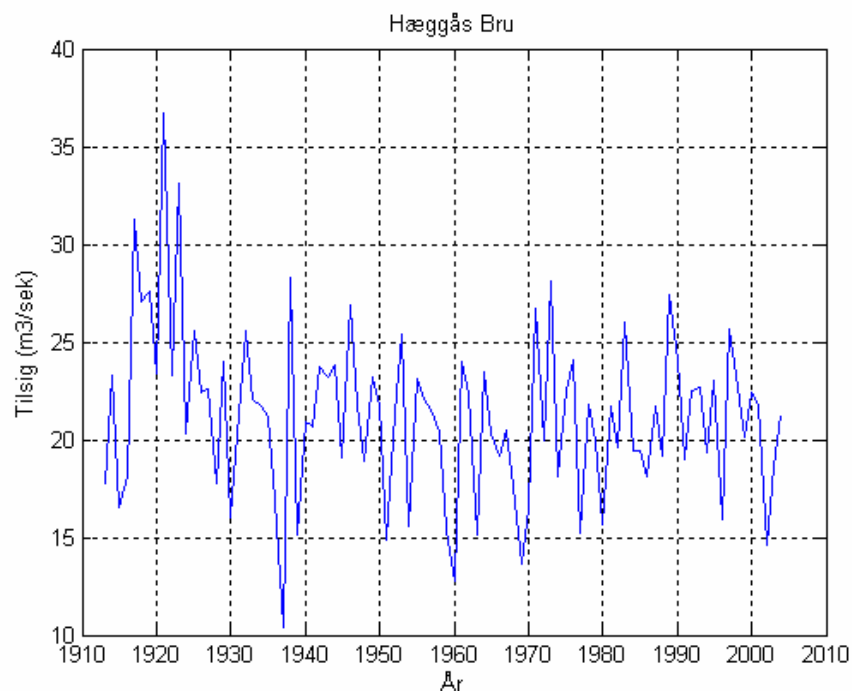
Figur 74 Tilsig og 20 års prognose for Horgheim.

Figur 74 viser tidsserien fra 1913 til 2004 for tilsig til Horgheim og estimert prognose fra 1913 til 2024. Vi ser at prognosen følger i store trekk dataserien for tilsig over hele tidsserien. Avviket ser ut til å ha sammenheng med at der er raskere fluktusjoner i tidsserien. I denne prognosen har trenden en fortsatt vekst fra 2004 til ca 2015 der den har en maksimalverdi for syklusene på 9 og 18 år. I denne prognosen er der et minimum rundt 2005 og 2024.

### Kommentar

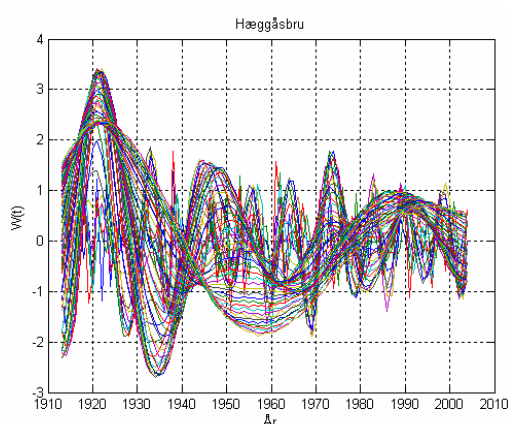
Dataserien for tilsig til Horgheim har en svak syklus på 74 år. Dette fører til at prognosen på 20 år bare er preget av syklusene på 18 og 9 år. De estimerte sykluser på 9 og 18 år har samme omtrent samme fase som for dataserien fra Øye. Det framgår at Figur 74 at prognosen følger maksimum nivået for dataserien fra 1960 til 2004. I prognosen fra 2004 til 2024 følger det samme forløp i nedgang som for de andre dataseriene.

## 4.10 Tilsig til Hæggås Bru

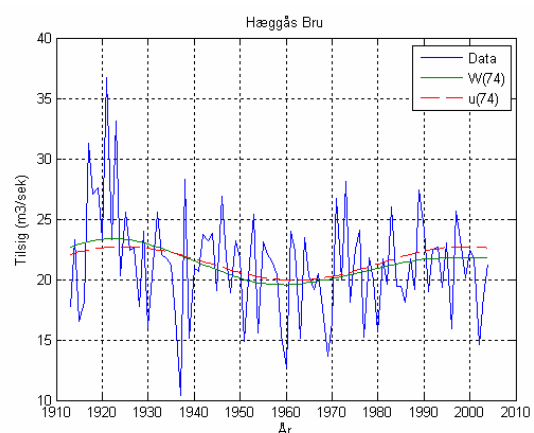


Figur 75. Tilsig til Hæggås Bru fra 1913 til 2004.

Hæggås Bru tilhører Stjørdalsvassdraget i Nord-Trøndelag og representerer et feltareal på 491.2 km<sup>2</sup>. Figur 75 viser utviklingen av tilsig ved Hæggås Bru for perioden 1913 til 2004. Det spesielle ved denne dataserien er at det er et uvanlig stort tilsig rundt 1920. Deretter er det en nedgang med minimum omkring 1937, 1960 og 1979. Vi ser videre av figuren at fluktuasjonene rundt middelveien er mindre enn det vi finner i de fleste andre tidsseriene.



Figur 76. Wavelet spekter for tilsig til Hæggås Bru.



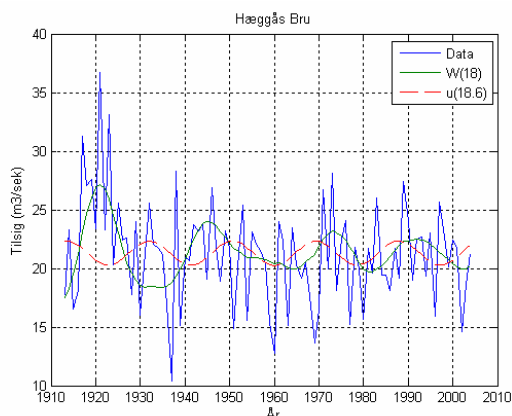
Figur 77. Tilsig og 74 år sykluser.

Figur 76 viser wavelet spekteret for tilsig ved Hæggås Bru. Vi ser av figuren at waveletspekteret er dominert av det store tilsiget en hadde rundt 1920. I tillegg ser det ut til å

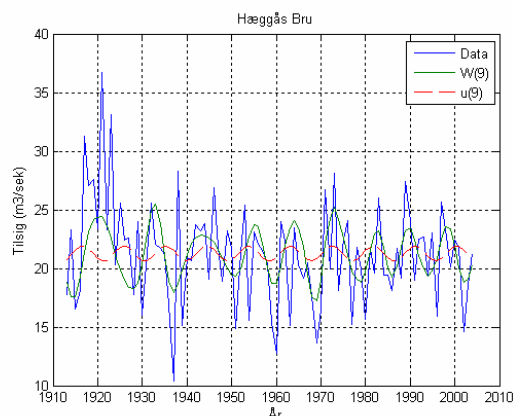
være fluktuasjoner i perioder på rundt 9 år. Samtidig ser vi også her at langtidstrenden har et minimum rundt 1960.

Figur 77 viser dataserien for tilsig ved Hæggås Bru, optimal 74 år wavelet syklus og estimert 74 år lunar nodal syklus. De estimerte 74 år syklusene følger middelverdiene til fluktuasjonene. Korrelasjonen mellom 74 år wavelet syklus og 74 år referansen er beregnet til  $R_{\text{hæg}}(74)=0.93$  og fasen er beregnet til  $\phi_{\text{hæg}}(74)=0.80\pi$  (rad). Den har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{hægMax}}(74)=\{1922, 2000\} \text{ og } W_{\text{horMin}}(74)=\{1960\}.$$



Figur 78. Hæggås Bru tilsig, 18 år wavelet syklus og 18.6 år lunar nodal syklus.



Figur 79. Hæggås Bru tilsig, 9 år wavelet Syklus og 9 år lunar nodal syklus

Figur 78 viser tilsig fra 1913 til 2004 og estimerte 18 år wavelet syklus ved Heggås Bru. Lunar nodal referansesyklus på 18.6 år har her fase  $\phi_{\text{hæg}}(18)=0.55\pi$  (rad). Det er samme fasen som 18 år syklusen i utbredelse av Arktisk is. Waveletsyklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{\text{hægMax}}(18)=\{1921, 1945, 1973, 1991\}$$

$$W_{\text{hægMin}}(18)=\{1933, 1964, 1982, 2002\}.$$

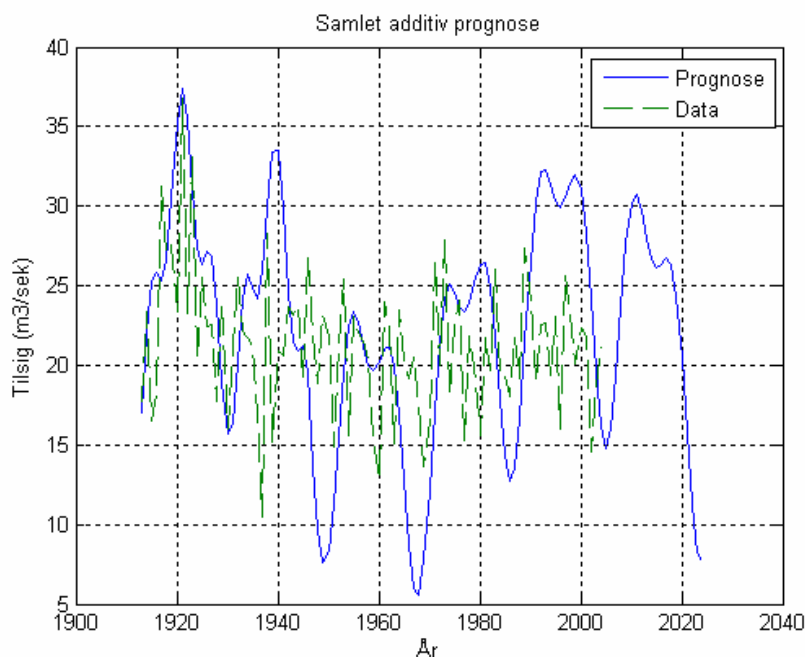
I dette tilfellet er korrelasjonen mellom syklusene for de siste 40 årene  $R_{\text{hæg}}(18)=0.97$  for de siste 40 år når fasen er  $\phi_{\text{hor}}(18)=0.55\pi$  (rad).

Figur 79 viser tilsig, den identifiserte 9 år waveletsyklus og den astronomiske 18.6/2=9.3 år lunar nodal syklus. Det framgår av minimumsverdiene at 9 års syklusen har vært en stabil fra 1960 til 2004. Fasen over hele tidsserien er estimert til  $\phi_{\text{hæg}}(9)=0.55\pi$  (rad). Det kan se ut til at fasen ble endret rundt 1945. Syklusen hadde maksimum omkring årene

$$W_{\text{hægMax}}(9)=\{1920, 1933, 1944, 1955, 1965, 1974, 1983, 1990, 1999\}$$

$$W_{\text{horMin}}(9)=\{1915, 1927, 1938, 1951, 1959, 1969, 1986, 1994, 2003\}.$$

I løpet av de siste 40 årene er korrelasjonen  $R_{\text{hæg}}(9)=0.61$  med referanse fasen  $\phi_{\text{hæg}}(9)=0.59\pi$  (rad).



Figur 80 Tilsgig og 20 års prognose for Hæggås Bru

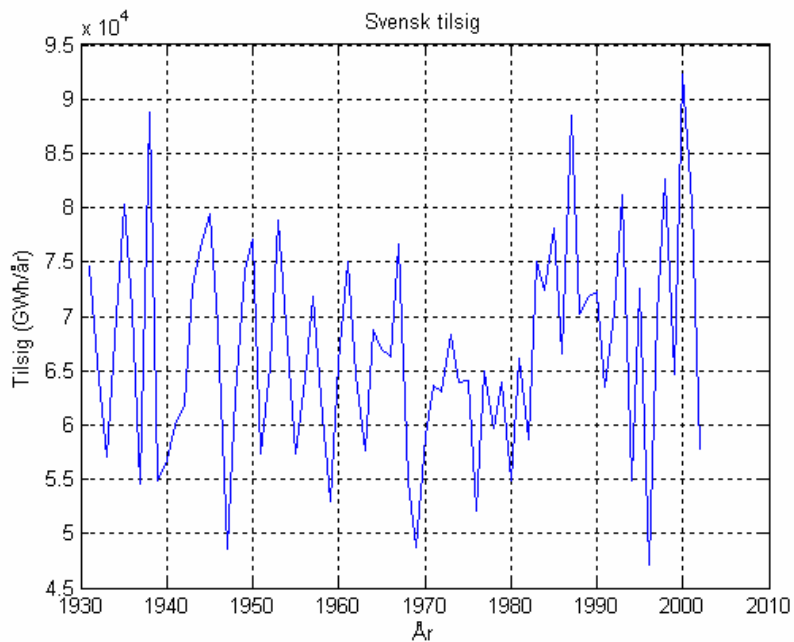
Figur 80 viser tidsserien fra 1913 til 2004 for tilsgig til Hæggås Bru og estimert prognose fra 1913 til 2024. Dataserien for tilsgig til Hæggås Bru har også dominante sykluser på omkring 74, 18 og 9 år. Syklusene på 74 og 9 år har om lag samme fase som fasen til syklusene i dataserien for Norsk tilsgig. Syklusen på 18 år har en forsinkelse på ca 3 år.

### Kommentar

Denne dataserien har dominante sykluser på 74, 18 og 9 år slik en finner i de andre dataseriene. Fasen til syklusen på 18 er den samme som ble estimert i dataseriene fra Øye og Heggås Bru. Dataserien skiller seg fra de andre ved at der er et forholdsvis høyt tilsgig i perioden 1917 til 1940. Figur 80 viser at 74 år syklusen gir for høye utslag i prognosen etter 1980. Prognosen viser ellers den samme trend i nedgangen fra 2000 som i de andre dataseriene.

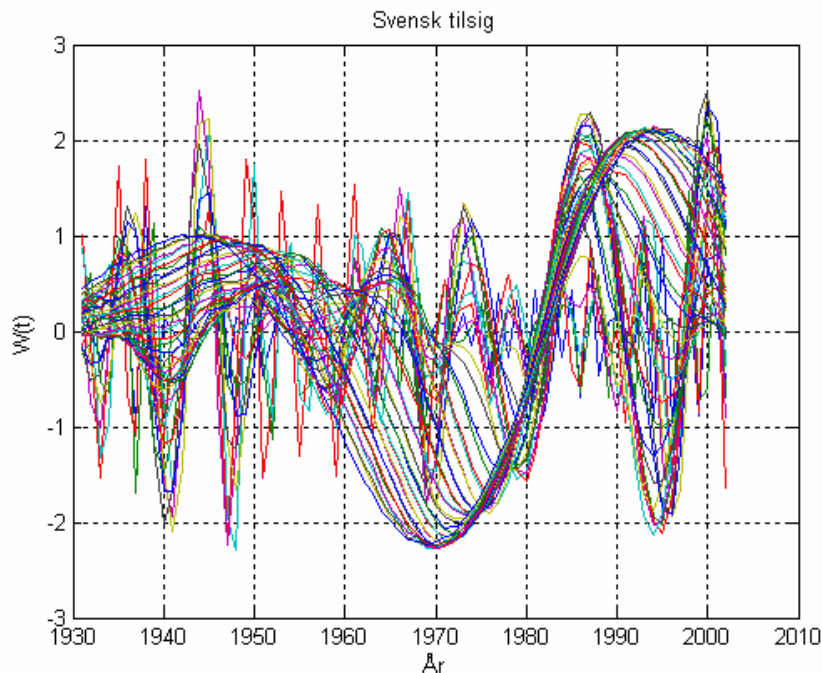


## 4.11 Svensk tilsig



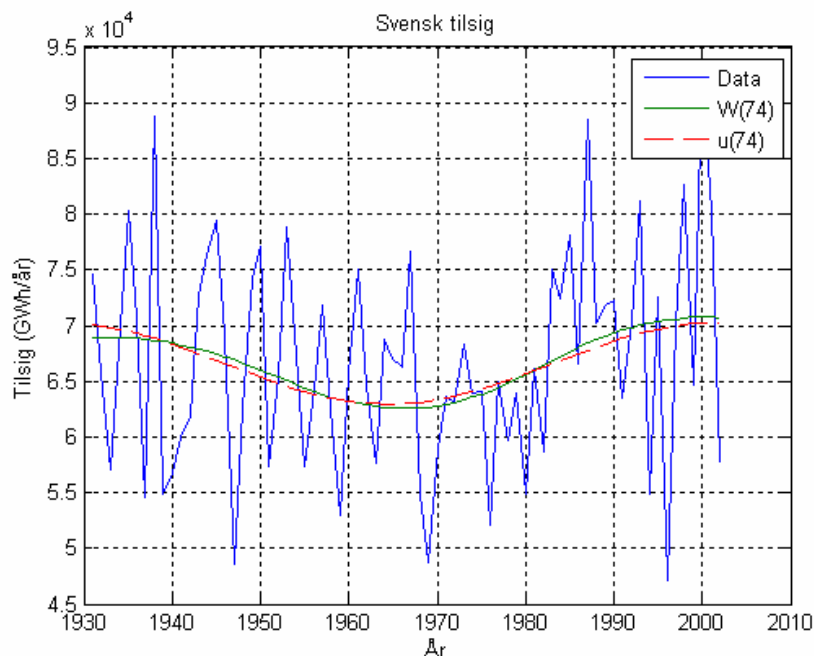
Figur 81 Dataserie for Svensk tilsig fra 1931 til 2002.

Figur 81 viser dataserien for utviklingen av samlet Svensk tilsig for perioden 1931 til 2002. Det framgår av denne dataserien at der var store fluktuasjoner i perioden 1931 til 1970. I 1970-årene var der et minimum før det kom en ny vekstperiode.



Figur 82 Wavelet spekter for Svensk tilsig fra 1930 til 2002

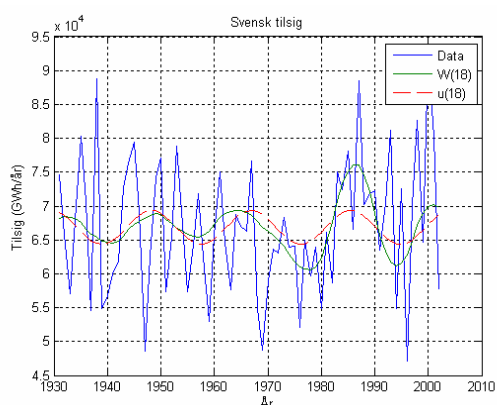
Figur 82 viser waveletspekteret for Svensk tilsig fra 1931 til 2002. Det framgår av figuren at dette waveletspekteret er litt forskjellig fra dataserien for Norsk tilsig. Den lange perioden har her et minimum som er forsinket fra 1960 til 1970. I perioden 1931 til 1970 er den preget av kortere perioder enn fra 1970 til 2002.



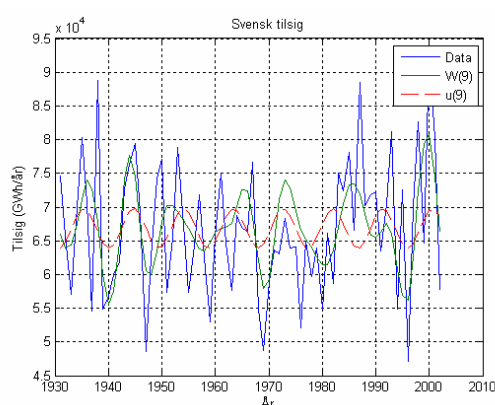
Figur 83 Dataserie for Svensk tilsig 74 år wavelet og astronomisk syklus på 74.

Figur 83 viser dataserien for Svensk tilsig, optimal 74 år wavelet syklus og estimert 74 år lunar nodal syklus. De estimerte 74 år syklusene følger middelverdiene til fluktuasjonene. Korrelasjonen mellom 74 år wavelet syklus og 74 år referansen er beregnet til  $R_{sve}(74)=0.98$  over hele dataserien på 70 år og fasen er beregnet til  $\phi_{sve}(74)=0.73\pi$  (rad). Syklusen på 74 år har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{sve}(74)=\{2000\} \text{ og } W_{sve}(74)=\{1965\}.$$



Figur 84. Dataserie for Svensk tilsig, 18 år wavelet og astronomisk syklus på 18.6 år



Figur 85. Dataserie, 9 år wavelet og astronomisk syklus på 9.3 år

Figur 84 viser Svensk tilsig fra 1931 til 2002, identifisert 18 år wavelet syklus og den astronomiske lunar nodal syklus på 18.6 år. I dette tilfellet har den stasjonære 18.6 år syklusen fasen  $\varphi_{sve}(18)=1.18\pi$  (rad). Det er en faseforskyvning på 2-3 år tidligere enn i 18-år syklusen for Norsk nedbør. Wavelet syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{sveMax}(18)=\{1932, 1949, 1965, 1986, 2001\}$$

$$W_{sve}(18)=\{1941, 1956, 1977, 1994\}$$

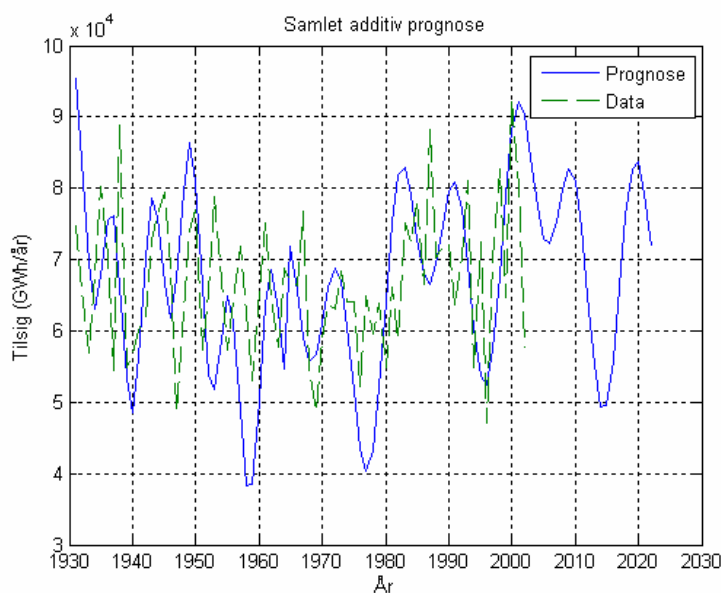
Korrelasjonen mellom syklusene over hele perioden på 70 er  $R_{sve}(18)=0.76$ .

Figur 85 viser Svensk tilsig, den identifiserte 9 år wavelet syklus og den astronomiske  $18.6/2=9.3$  år lunar nodal syklus. Vi ser av figuren at 9-år syklusen har vært en stabil fra 1931 og fram til 1970-årene når 74-år syklusen hadde et minimum. Her opptrer en ustabilitet før en går tilbake til samme fase. Fasen over heler tidsserien er estimert til  $\varphi_{sva}(9)=0.57\pi$  (rad). Det er den samme fasen som 9-år syklusen i Norsk tilsig. Syklusen hadde maksimum omkring årene

$$W_{hærMax}(9)=\{1936, 1944, 1952, 1965, 1973, 1986, 1992, 1999\}$$

$$W_{horMin}(9)=\{1933, 1940, 1958, 1969, 1980, 1990, 1996\}$$

I løpet av de siste 40 årene er korrelasjonen  $R_{heg}(9)=0.61$  med referanse fasen  $\varphi_{hæg}(9)=0.59\pi$  (rad).



Figur 86 Tilsig og 20 års prognose for Svensk tilsig

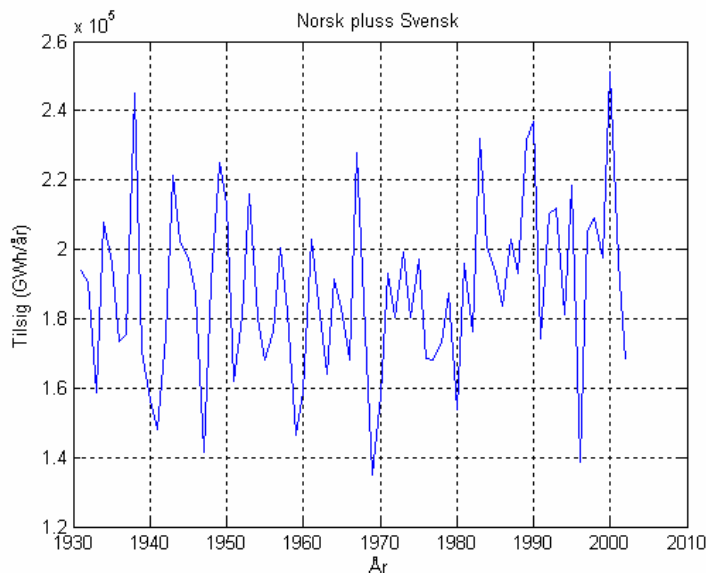
Figur 86 viser tidsserien fra 1931 til 2002 for Svensk tilsig og estimert prognose fra 1913 til 2022. Det framgår av figuren at prognosen følger trenden til dataserien. Der er visere samsvar mellom minimumsnivåer rundt de store 1958 og 1995 og trenden i veksten av tilsig. I prognosen fram til 2022 er der ingen nedgang i det midlere nivået.

## Kommentar

Norsk og Svensk tilsig har den samme dominante sykluser på omkring 9, 18 og 74 år. Forskjellen ligger i at de har litt for skjellig fase. Fasen til 9-år syklusen er den samme, 18-år

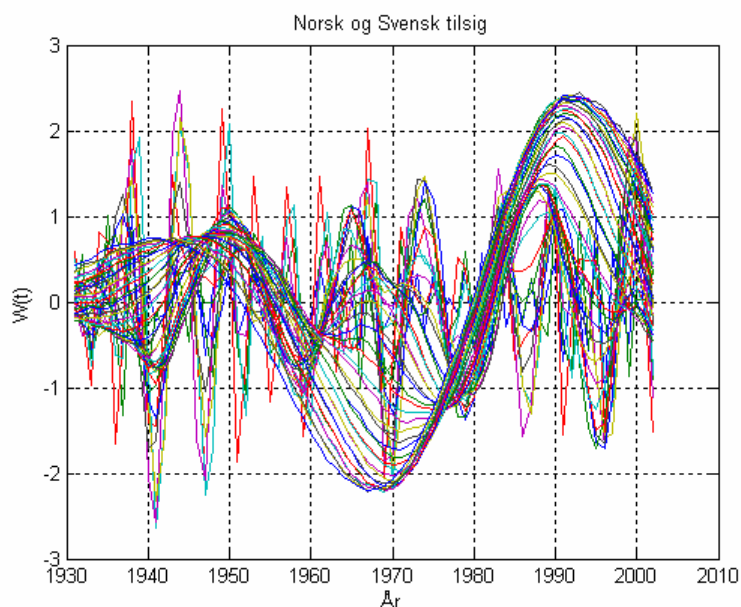
syklusen kommer ca 2.5 år tidligere og 74 år syklusen kommer ca 10 år senere. Forsinkelsen til 74-år syklusen fører til at prognosen her ikke viser en vesentlig nedgang de første 10 årene etter 2002.

## 4.12 Norsk pluss Svensk tilsig



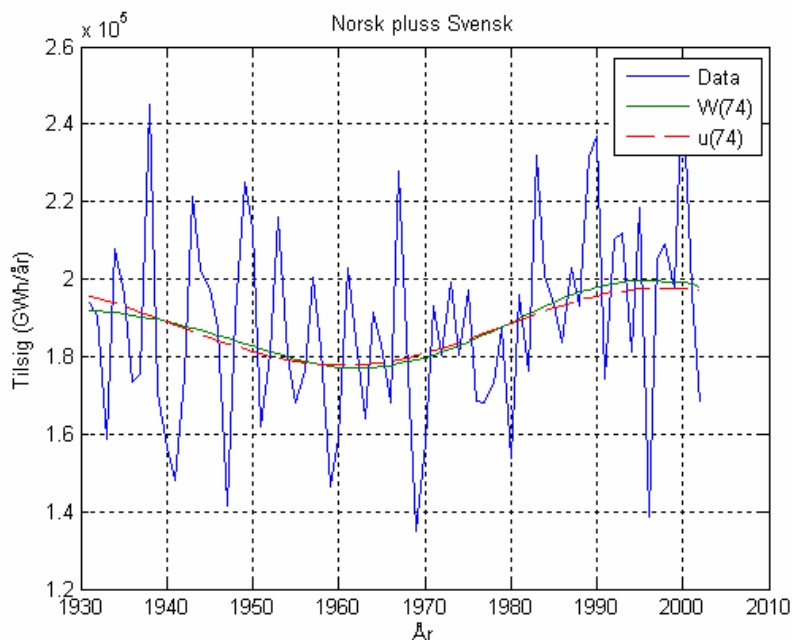
Figur 87. Norsk pluss Svensk tilsig

Figur 87 viser dataserien for utviklingen av Norsk pluss Svensk tilsig for perioden 1931 til 2002. En kan forvente å få et mer dominant lunar nodal spektrum dersom de har omtrent samme fase. Det framgår av denne dataserien at der var store fluktuasjoner i perioden 1931 til 1960 deretter kom det en ny vekst etter 1980.



Figur 88. Wavelet spekter for Norsk pluss Svensk tilsig fra 1931 til 2002

Figur 88 viser wavelet spekteret for Svensk tilsig fra 1931 til 2002. Det framgår av figuren at den lange perioden har her et minimum i 1960-årene. I tillegg trer det fram kortere perioder over hele tidsserien.

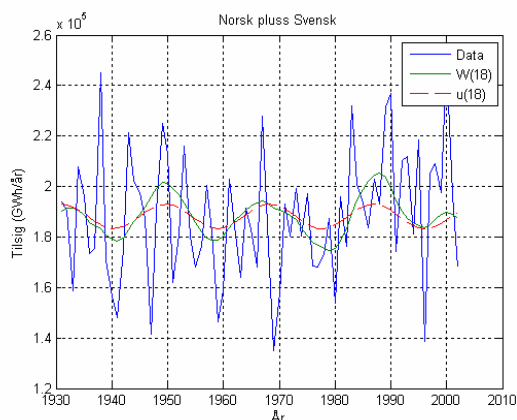


Figur 89 Dataserie for Norsk og Svensk tilsig 74 år wavelet og astronomisk syklus på 74.

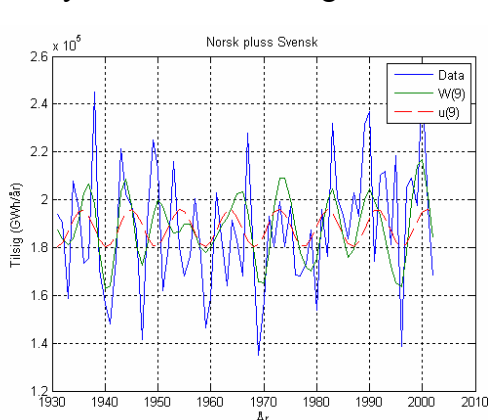
Figur 89 viser dataserien for Norsk og Svensk tilsig, optimal 74 år wavelet syklus og estimert 74 år lunar nodal syklus. De estimerte 74 år syklusene følger også her middelverdiene til fluktuasjonene. Korrelasjonen mellom 74 år wavelet syklus og 74 år referansen er beregnet til  $R_{ns}(74)=0.98$  over hele dataserien på 70 år og fasen er beregnet til  $\varphi_{sve}(74)=0.84\pi$  (rad). Syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{ns}(74)=\{1995\} \text{ og } W_{sve}(74)=\{1960\}.$$

Vi ser her at fasen er i samsvar med fasen til 74-år syklusen i Norsk tilsig.



Figur 90. Dataserie, 18-år wavelet og 18.6 år lunar nodal syklus



Figur 91 Dataserie, 9-år wavelet og 9.3 år lunar nodal syklus

Figur 90 viser Norsk pluss Svensk tilsig fra 1931 til 2002, identifisert 18 år wavelet syklus og den astronomiske lunar nodal syklus på 18.6 år. I dette tilfellet har den stasjonære 18.6-år syklusen fasen  $\varphi_{sve}(18)=1.0\pi$  (rad). Det er en faseforskyvning på ca 1 år i forhold til Norsk tilsig eller midt mellom fasen til Norsk og Svensk tilsig. Wavelet syklusen har maksimum og minimum omkring årene

$$W_{nsMax}(18)=\{1933, 1949, 1967, 1988, 2000\}$$

$$W_{nsMin}(18)=\{1941, 1958, 1977, 1996\}$$

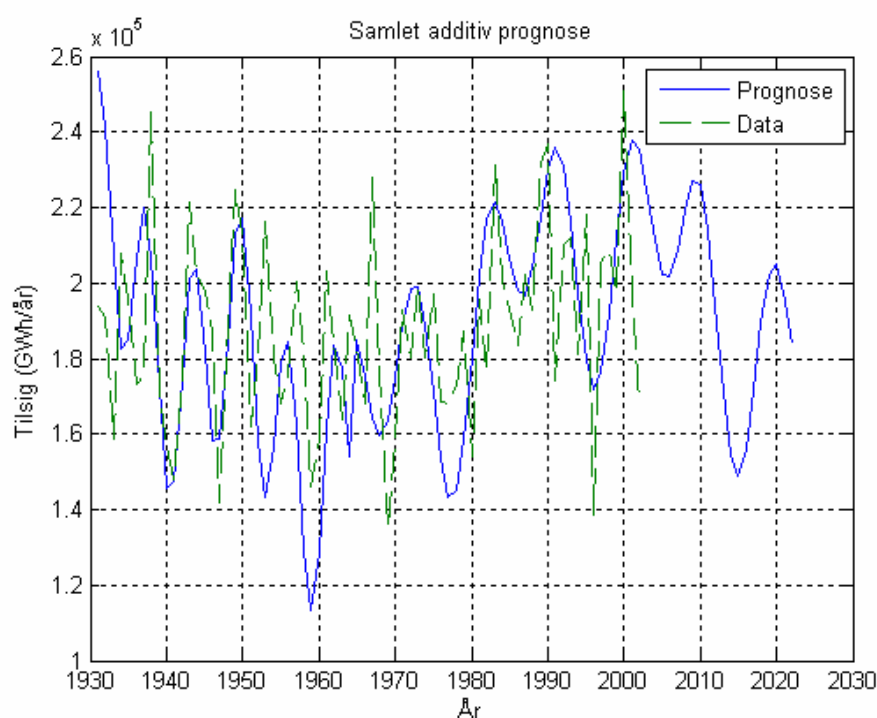
Det er om lag de samme minima og maksimum verdiene som for Svensk tilsig. Korrelasjonen mellom wavelet og stasjonær syklus over hele perioden på 70 år er  $R_{ns}(18)=0.87$ . Det viser også at syklusene har om lag samme fase.

Figur 91 viser Norsk tilsig pluss Svensk tilsig, den identifiserte 9 år wavelet syklus og den astronomiske 18.6/2=9.3 år lunar nodal syklus. Vi ser av figuren at der ikke er helt samsvar mellom fasen i 9-år syklusen over hele dataserien. Dette kan tyde på at dataserien er dominert av den markante 6-år syklusen i Norsk tilsig som en hadde fram til 1960. Syklusen hadde maksimum og minimum omkring årene

$$W_{nsMax}(9)=\{1937, 1944, 1950, 1956, 1966, 1973, 1983, 1990, 2000\}$$

$$W_{nsMin}(9)=\{1932, 1940, 1947, 1953, 1959, 1970, 1979, 1986, 1996\}$$

I perioden 1960 til 2002 er korrelasjonen  $R_{ns}(9)=0.61$  med referanse fasen  $\varphi_{ns}(9)=0.53\pi$  (rad).



Figur 92 Tilsig og 20 års prognose for Norsk tilsig pluss Svensk tilsig

Figur 92 viser tidsserien fra 1931 til 2002 for Svensk tilsig og estimert prognose fra 1913 til 2022. Det framgår av figuren at prognosen følger trenden til dataserien. Den visere samsvar mellom minimumsnivåer omkring 1958, 1978, 1985 og 1995. Samtidig ser vi at prognosen

også finner maksimum nivåene rundt 1983, 1991 og 2001. Prognosen fram til 2022 viser en generell nedgang med et maksimum omkring 2010.

### **Kommentar**

Dataserien for Norsk tilsig pluss Svensk tilsig har de samme syklusene på 74, 18 og 9 år som er identifisert i dataserien for samlet Norsk tilsig. Dette har sammenheng med at Norsk tilsig er den dominerende dataserien.

## 4.13 Oppsummering

Tidsserie	Sykluser År	Fasevinkel $\phi$ (rad)	Korrelasjon R	Kommentar
Atlantisk innflyt Temperatur ved Skottland	55, 18, 9	$\phi(55)=0.91\pi$ $\phi(18)=1.90\pi$ $\phi(9) = 1.59\pi$	$R(55)=0.95$ $R(18)=0.91$ $R(9)= 0.75$	Syklusene er korrelert med Norsk nedbør.
Barentshavet temperatur	74, 55, 18, 6	$\phi(55)=0.91\pi$ $\phi(18)=0.55\pi$ $\phi(6) = 0.09\pi$	$R(55)=0.89$ $R(18)=0.90$ $R(9)= 0.37$	Er korrelert med Arktisk is og NAO vinter indeks
Arktisk is	74, 18, 6	$\phi(74)=1.93\pi$ $\phi(18)=0.55\pi$	$R(55)=0.89$ $R(18)=0.90$	Er korrelert med NAO vinter indeks
Barentshavet is	74, 18, 6	$\phi(74)=0.12\pi$ $\phi(18)=1.43\pi$	$R(74)=0.73$ $R(18)=0.60$	Er korrelert med NAO vinter indeks
Arktisk vinter Temperatur	74, 18	$\phi(74)=0.57\pi$ $\phi(18)=1.64\pi$	$R(74)=0.93$ $R(18)=0.67$	Er korrelert med 18.6 år tidevann syklusen
NAO vinter indeks	74, 18, 6	$\phi(74)=0.95\pi$ $\phi(18)=0.48\pi$	$R(74)=0.93$ $R(18)=0.87$	Indikator for lavtrykk på Vestlandet
Polar punktet y-retning	74, 18, 6	$\phi(74)=1.26\pi$	$R(74)=0.90$	Ser ut til å være kilden til fase inverteringen i 1920

Tabell 1 Stasjonære sykluser i klimaindikatorer.

Tidsserie	Sykluser År	Fasevinkel $\phi$ (rad)	Korrelasjon R	Prognose:
Norsk tilsig	74, 18, 9	$\phi(74)=0.89\pi$ $\phi(18)=0.95\pi$ $\phi(9)=0.59\pi$	$R(74)=0.98$ $R(18)=0.84$ $R(9)=0.73$	Forventet nedgang de neste 20 år Et maksimum rundt 2010 Et minimum rundt 2015
BKK tilsig	74, 18, 9	$\phi(74)=1.0\pi$ $\phi(18)=0.92\pi$ $\phi(9)=0.59$	$R(74)=0.98$ $R(18)=0.82$ $R(9)=0.67$	Følger forløpet til Norsk tilsig
Stordalsvann	74, 18, 9	$\phi(74)=1.11\pi$ $\phi(18)=0.55\pi$ $\phi(9)=0.59$	$R(74)=0.88$ $R(18)=0.67$ $R(9)=0.54$	Følger forløpet til Norsk tilsig
Austmannholen	74, 18, 9	$\phi(74)=1.14\pi$ $\phi(18)=0.90\pi$ $\phi(9)=0.59\pi$	$R(74)=0.87$ $R(18)=0.80$ $R(9)=0.57$	Følger forløpet til Norsk tilsig
Bulken	74, 18,9	$\phi(74)=1.14\pi$ $\phi(18)=0.90\pi$ $\phi(9)=0.59$	$R(74)=0.84$ $R(18)=0.71$ $R(9)=0.51$	Følger forløpet til Norsk tilsig
Fossevatn	74, 18, 9	$\phi(74)=1.00\pi$ $\phi(18)=0.90\pi$ $\phi(9)=0.59$	$R(74)=0.98$ $R(18)=0.92$ $R(9)=0.75$	Følger forløpet til Norsk tilsig
Eidsfoss	74, 18, 9	$\phi(74)=0.76\pi$ $\phi(18)=0.90\pi$ $\phi(9)=0.59$	$R(74)=0.95$ $R(18)=0.71$ $R(9)=0.51$	Følger forløpet til Norsk tilsig
Øye	74, 18, 9	$\phi(74)=1.01\pi$ $\phi(18)=0.55\pi$ $\phi(9)=0.59$	$R(74)=0.89$ $R(18)=0.94$ $R(9)=0.71$	Følger forløpet til Norsk tilsig
Horghheim	74, 18, 9	$\phi(74)=0.95\pi$ $\phi(18)=0.55\pi$ $\phi(9)=0.59$	$R(74)=0.91$ $R(18)=0.58$ $R(9)=0.52$	Følger forløpet til Norsk tilsig
Heggås Bru	74, 18, 9	$\phi(74)=0.80\pi$ $\phi(18)=0.55\pi$ $\phi(9)=0.59$	$R(74)=0.93$ $R(18)=0.97$ $R(9)=0.61$	Følger forløpet til Norsk tilsig. Har et unormalt høyt til sig rundt 1920 i forhold til de andre.

Tabell 2 Stasjonære sykluser i Arktiske klimaindikatorer.



Det framgår av Tabell 1 at der er en god korrelasjon mellom dataseriene for Arktiske klimaindikatorer og lunar nodal spektrum. Dette viser at hoveddelen av fluktuasjonene i tidsseriene kan forklares med deterministiske endringer som kan føres tilbake til påvirkninger fra månen. Samtidig ser vi syklusene har noe forskjellig fase. Dette har sammenheng treghet i naturen. Der er f. eks en treghet mellom årsak og virkning i de sykliske endringer en har i Nordatlantisk innflyt til Norskehavet, temperaturen i Barentshavet, utbredelse av Arktisk is og endringer i NAO vinter indeks.

Tabell 2 viser at også alle tidsseriene for tilsig har dominante sykluser som er korrelert til det samme lunar nodal spektrum. Disse korrelasjonene er signifikante i forhold til en student t-test (Formel 8). Syklusene i tidsserien for Norsk tilsig ser ut til å falle nær sammen med syklusene i Nordatlantisk havtemperatur utenfor Skottland. Vi ser videre at de aller fleste dataseriene for tilsig har dominante sykluser som faller sammen i periodetid og fase med syklusene i Norsk tilsig. Dette resultatet bekrefter hypotesen om at fluktuasjonene i tilsig fra nedbør faller sammen med lange deterministiske tidevannsbølger.

## 5 DISKUSJON

### 5.1 Data og metoder

#### Egenskaper ved dataserier

Dataserier fra naturen har den egenskap at amplituden på frekvensspekteret faller med om lag  $1/\text{frekvensen}$ . Rekkevidden av dette er at tilstanden i dataserien har ingen stasjonær middelvei. Middelveien varierer med lengden på estimatet og området på dataserien. Det vil da også være underliggende fluktuasjoner som går utover dataseriens lengde. Det betyr at når der i dette tilfellet er estimert en generell nedgang i tilsig for de neste 20 år, kan dere være en oppgang om f. eks. om 50 år. I dataseriene til denne undersøkelsen er det estimert en varierende middelvei som fluktuerer med en periode på ca 74 år. Dersom dataserien hadde vært lenger, ville en også kunne identifisere en periode på f. eks  $3 \cdot 74$  år.

En annen viktig egenskap ved tidsserier fra naturen er at de statistiske egenskapene varierer over tid. Det framgår av denne undersøkelsen at en ustabilitet i syklusenes fase fører til at dataseriene får tidsvariant statistiske egenskaper. Dette innfører en ny form for usikkerhet, men perioden kan fortsatt være deterministisk. Det vi kan observere er at 18-år syklusen skifter fase når 74-år syklusen har et minimum. I prognosen fra 2000 vil 18-år syklusen gi et positivt bidrag i de neste 10 årene. Dersom det av en ukjent årsak inntreier en ny faseinvertering, vil det påvirke prognosene ytterligere i negativ retning i de kommende 20 år framover.

#### Egenskaper ved metoden

I denne analysen er det benyttet wavelet spektrumanalyse for å identifisere dominante sykluser i dataserien. En wavelet transformasjon kan sammenliknes med et lineært filter. En positiv periode for en 18 år wavelet syklus gir uttrykk for at gjennomsnittet av fluktuasjonene innenfor en periode på 9 år, har en positiv verdi. En positive 9-års syklus har mest positive fluktuasjonene innenfor en periode på 3-4 år. Syklusen på 74 år gir på samme måte informasjon om der er mer positive eller negativ fluktuasjoner innenfor en periode på ca 37 år. Vi ser her at 74-år syklusen danner gjennomsnittverdien på fluktuasjonene i de fleste dataseriene.

### **Feilkilder i dataserien**

Analysen kan ha feilkilder i forholdet mellom data og metode. I dette tilfellet er dataseriene for tilsig midlet ut fra ukentlige målinger. En kan da gå ut fra at tilfeldige målefeil av typen ukorrelert støy, ikke er et problem i denne analysen. En wavelet transformasjon er også lite følsom for støy i enkeltmålinger.

### **Feilkilder ved metoden**

Wavelet transformasjonen har den spesielle egenskap at den kan identifisere lange perioder i dataserien som er vanskelig å identifisere med f. eks spektrumanalyse. Dette er grunnen til at en her kan identifisere perioder på opp til ca 75 år. Samtidig må en være oppmerksom på at en identifikasjon av så lange sykluser er forbundet med en viss usikkerhet. Dataseriene for tilsig skal være korrigert for utbygging av vassdrag. Denne korrigeringen kan påvirke estimatet av lange wavelet sykluser. Dette gjør at det er nødvendig å studere flere dataserier for å se om det er en sammenheng mellom periodetid og fase i dataseriene.

Undersøkelsen viser som helhet entydige resultater. Der er en god korrelasjon innenfor et 95 % konfidensintervall mellom syklusene i lunar nodal spektrum og de identifiserte dominante sykluser i dataseriene. Videre er det en nær sammenheng mellom resultatet fra alle dataseriene for tilsig. Unntaket er dataserien fra Heggås Bru. I denne dataserien ser vi at det er et unormalt stort tilsig omkring 1920 som i neste omgang påvirker prognosen for hele dataserien. Det er også en direkte sammenheng mellom klimaindikatorene og dataseriene for tilsig. Dette nære samsvaret mellom alle resultatene fra alle dataseriene underbygger det samlede resultat fra denne undersøkelsen.

## **5.2 Analysen av dataseriene**

Undersøkelsen viser at de dominante syklusene i tidsserien kan føres tilbake til et lunar nodal spektrum der kilden er tidevannssyklusen på 18.6 år. Den periodiske syklus på 18.6 år er tidligere identifisert i nedbør over England, Afrika og Nord-Amerika (Currie, 1981, 1984, 1987). Identifikasjonen av flere lunar nodal sykluser i dataserier for tilsig er trolig en ny oppdagelse. Grunnen til at de ikke har vært oppdaget tidligere kan være at det er vanskelig å identifisere disse syklusene med tradisjonelle statistiske metoder eller med fourierbasert spektrumanalyse.

Dataseriene er i korteste laget til å gi et godt estimat av syklusen på 74 år. Det som underbygger identifikasjonen er at det er små forskjeller i periodens fase for de ulike estimatene. Fasen stemmer også med 74 år syklusen i NAO vinter indeks med verdier fra 1822 og utbredelse av Arktisk is fra 1864 (Se tabell 1 og 2). Dette tyder på at endringen i midlere tilsig har sammenheng med NAO vinter indeks, som igjen har sammenheng med endringer i utbredelse av Arktisk is. En potensiell kilde til denne fluktuasjonen av Arktisk is er innflyt av atlantehavsvann som sirkulerer i det Arktiske hav ved nordpolen (Yndestad, 2006).

Perioden på ca 18.6 år er identifisert i alle dataseriene for tilsig. Et karakteristisk trekk ved denne syklusen er at tidsseriene nord for Stadt har en faseforsinkelse på ca 3 år. På Vestlandet sør for Stadt har 18-år syklusen en fase som faller sammen med innflyt av varmt Nordatlantehavsvann utenfor Skottland. Nord for Stadt har fasen en verdi som

faller mer sammen med 18-år syklus i NAO indeksen. Årsaken til denne forsinkelsen er uklar. Den samme forsinkelsen framgår også av en rekke dataserien for havtemperaturen langs Norskekysten (til publisering). Dette tyder på at temperatursyklusen i Norskehavet har en horisontal komponent, som påvirker hastigheten til strømmen nordover og overflatetemperaturen.

I den første delen av tidsserien var der en syklus på om lag  $18.6/3=6.2$  år. Etter 1960 ble perioden ca  $18.6/2=9.3$  år. I denne perioden har den også dominert fluktuationene i tidsserien. Kilden til denne syklusen er ikke identifisert i de Arktisk dataseriene, men vi finner den i dataserien for innflyt av varmt nordatlantisk vann utenfor Skottland. Kilden til denne periodevis ustabile tidevannsyklusen er ukjent. Dette vi ser av dataseriene er at den oppstod når 74-år syklusen hadde en minimum rundt 1960.

### **Tidevann og klimagasser**

I denne undersøkelsen er det foretatt en undersøkelse av våre lengste dataserier for klimaindikatorer og tilsig fra nedbør. Undersøkelsen viser at der er en god korrelasjon mellom endringer i månens bane, endringer i jordrotasjon, lange tidevannsbølger, utbredelse av Arktis is, innflyt av varmt atlantehavsvann til Nordsjøen, NAO vinter indeks, lufttemperatur på Vestlandet og tilsig til kraftproduksjon. Resultatet av prognosen viser at en kan forvente en nedgang i NAO vinter indeks, en noe kaldere periode, mindre nedbør og mindre tilsig de neste 20 årene framover. En enkel massebetraktning tilsier at klimagasser ikke kan være drivkraften i de klimaindikatorene som er observert i disse dataseriene.

Spørsmålet så er hva som kan være forklaringen på avviket mellom resultatet her og resultatet fra de store klimamodellene. Usikkerheten her er at en kan ikke utelukke at klimagasser vil kunne få mer betydning i framtiden. Usikkerheten ved klimamodellene er at tidevannet ennå ikke er tatt med i disse modellene (Bjerknessenteret i Bergen, personlig kom.).

## **5.3 Prognosen for tilsig**

Prognosen på 20 år er basert på forhåndsinformasjon om at der er deterministiske sykluser i dataseriene. Et viktig utgangspunkt for prognosen er her syklusen på ca 74 år. Det som underbygger at denne syklusen vil fortsette, er at den framgår av innflyt av Atlanterhavsvann til Norskehavet, vi finner den i NAO-indeksen fra 1822, i utbredelse av Arktisk is fra 1864 og at den har en periodetid som er i samsvar med den astronomiske syklus på  $18.6*4=74.4$  år. Tregheten i naturen tilsier at denne syklusen vil fortsette minst 20 år til framover.

Resultatet viser at alle prognosene har en generell midlere nedgang i perioden fra 2004 til 2024. Denne nedgangen kan sammenliknes med den midlere nedgangen en hadde for NAO-indeksen fra 1920 til 1960. En midlere nedgang i NAO-indeksen vil føre til færre lavtrykk og mindre nedbør. En videre reduksjon av Arktisk is vil føre til relativt større utslag i fluktuationen for Arktis is som igjen vil føre til større utslag i NAO vinter indeks. Dette vil igjen utslag i mer vekslende ekstreme værforhold. Samtidig vil vendepunktet i innflyt av varmt nordatlantisk vann til Norskehavet føre til en avkjøling av Norskehavet og mindre nedbør.

Analysen viser også at dataserien har sterke fluktuasjoner innenfor perioden på 20 år. Den mest dominante fluktasjonen etter 1960 er en fluktasjon på ca 9 år. Denne fluktasjonen representerer trenden for grupper av årlige fluktuasjoner. Syklusen på 9 år gir uttrykk for at en kan forvente flere høye tilsig i perioder når 9-års syklusen er positiv og mindre tilsig når den er negativ. I denne prognosen framgår det at syklusene på 75, 18 og 9 år fører til et Norsk tilsig kan forvente å få et maksimum rundt 2010 og et minimum rundt 2015 og et nytt maksimum rundt 2020.

## 6 KONKLUSJON

### Dataseriene for tilsig

I denne undersøkelsen er det foretatt en wavelet spektrumanalyse av samlet Norsk og Svensk tilsig, tilsig til BKK kraftproduksjon og tilsig til i åtte vassdrag fra Hordaland i sør til Nord-Trøndelag i nord. Denne viser at:

1. Alle dataseriene har dominante sykluser på omkring 9, 18 og 74 år.
2. De dominante syklusene er korrelert med periodevis deterministiske tidevannsykluser på  $18.6/2=9.3$ , 18.6 og  $18.6*4=74.4$  år. Alle korrelasjonene er større enn  $R=0.5$  og statistisk signifikant.
3. De identifiserte stasjonære syklusene har størst betydning i dataserier med stor tilført vannmengde som reduserer betydningen av tilfeldige lokale forhold.
4. Syklusen på 74 år ser ut til ha sin kilde fra utbredelse av Arktisk is og NAO vinter indeks. Denne syklusen danner middelverdien til fluktuasjoner i tilsig.
5. Syklusen på 18 og 9 år ser ut til å ha sin hovedkilde fra innstrøm av varmt atlantehavsvann som påvirker havets overflatetemperatur. Fasen på 18-års syklusen forsinkes i tid nordover langs norskekysten. Fasen til syklusene ser ut til å være bestemt av den underliggende syklus på ca 74 år.

### Prognose for de nest 20 år

Prognosen for de neste 20 årene er basert på en identifikasjon av de periodevis deterministiske fluktuasjoner i dataseriene som kan føres tilbake til lunar nodal spektrum i dataseriene for tilsig og i dataseriene for klimaindikatorer. Denne viser at:

1. 74-år syklusen i NAO vinter indeksen hadde et maksimum rundt 1995 og er nå inne i en nedadgående periode som forventes å snu rundt 2035.
2. En nedgang i NAO vinter indeksen vil gradvis føre til færre lavtrykk, kaldere vintre, varmere somre og mindre nedbør i den kommende 20-års periode. Denne nedgangen kan sammenliknes med de endringene vi fikk i perioden fra 1920-årene til 1960-årene.
3. Utbredelsen av Arktisk is forventes å bli redusert ytterligere i de neste 20 år, men fluktasjonene i utbredelse av is forventes å forbli konstant. Dette vil føre til at NAO vinter indeks vil bli enda mer ustabil og på lang sikt føre til sterkere utslag i negativ og positiv retning enn vi hadde i 1990-årene.
4. Tidevannsyklusene på 18 og 9 år forventes å gi et positivt bidrag til nedbør og tilsig fram til ca år 2010. Dette vil føre til at økt overflatetemperatur i Atlanterhavet og Norskehavet langt på veg vil kompensere for en nedgang i NAO vinter indeksen i denne perioden. Det store omslaget i redusert nedbør og tilsig forventes å komme etter 2010 når 18-år syklusen og 9-år syklusen er inne i en negativ periode.

## REFERANSER

- Borroughs, William James. 1992. *Weather cycles real or imaginary?* Cambridge University Press.
- Currie, R. G. 1981. Evidence for 18.6 year (*sic*) signal in temperature and drought conditions in North America since A. D. 1800: *Journal of Geophysical Research*.86:11,055-11,064.
- Currie, R. G.1984. Evidence for 18.6 year (*sic*) lunar nodal (*sic*) drought in western North America during the past millennium: *Journal of Geophysical Research*.89:1295-1308.
- Currie, R. G. 1987. Examples and implications of 18.6- and 11--year terms in world weather records, Chap. 22, p. 378-403 in M.R. Rampino, J.E. Sanders, W.S. Newman, and L.K. Konigsson, *eds*. *Climate: History, periodicity, and predictability: International Symposium held at Barnard College, Columbia University, New York, New York, 21-23 May 1984 (R. W. Fairbridge Festschrift):* New York, NY, Van Nostrand Reinhold Publishing Corp., 588 p.
- Currie, R. G. 1995. Variance Contribution of  $M_n$  and  $S_c$  Signals to Nile River Data over a 30-8 Year Bandwidth. *Journal of Coastal Research Special Issue No. 17: Holocene Cycles: Climate, Sea Levels and Sedimentation*, pp 29-38.
- Currie, R. W., T. Wyatt, and D.P. O'Brien. 1993. Deterministic signals in European fish catches, wine harvests, sea level, and further experiments: *International Journal of Climatology*. 8:255-281.
- Keeling, Charles D. and T. P. Whorf. 1997. Possible forcing global temperature by oceanic tides. *Proceedings, National Academy of Sciences of the United States*. 94:8321-8328.
- Lassen, Knud and Thejll. 2000. Multi-decadial variation of the East Greenland Sea-Ice Extent: AD 1500-2000. Danish Meteorological Institute. Scientific Report 05-02.
- Loder J. W. and C. Garret. 1978. The 18.6 year cycle of the sea surface temperature in the shallow seas due to tidal mixing. *Journal of Geophysical Research*. 83: 1967-1970.
- Roald, Lars A m.fl 2002. Scenarios of annual and seasonal runoff for Norway based on climate scenarios for 2030-49. Norwegian Meterological Institute. Net.no Report 19/02.

- Maksimov, I. V. and N.P. Smirnov. 1964. Long range forecasting of secular changes of the general ice formation of the Barents Sea by the harmonic component method. Murmansk Polar Sci. Res. Inst., Sea Fisheries. 4: 75-87.
- Maksimov, I. V. and N.P. Smirnov. 1965. A contribution to the study of causes of long-period variations in the activity of the Gulf Stream. Oceanology. 5:15-24.
- Maksimov, I. V. and N.P. Smirnov. 1967. A long-term circumpolar tide and its significance for the circulation of ocean and atmosphere. Oceanology 7: 173-178 (English edition).
- Maksimov, I. V. and B.A. Sleptsov-Shevlevich. 1970. Long-term changes in the tide-generation force of the moon and the iciness of the Arctic Seas. Proceedings of the N. M. Knipovich Polar Scientific-Research and Planning Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO). 27: 22-40.
- Petterson, Otto, 1905. On the probable occurrence in the Atlantic current of variations periodical, and otherwise, and their bearing on metrological and biological phenomena. Rapp. P.-v. R'eun. Cons. Perm. Int. l'Explor. Mer. 42: 221-240.
- Pettersson, Otto, 1914, Climatic variations in historic (*sic*) and prehistoric time: Svenska Hydrogr. Biol. Kommissiones Skrifter, No. 5, 26 p.
- Pettersson, Otto, 1915, Long periodical (*sic*) variations of the tide-generating force: Conseil Permanente International pour l'Exploration de la Mer (Copenhagen), Pub. Circ. No. 65, p. 2-23.
- Pettersson, Otto, 1930, The tidal force. A study in geophysics: Geografiska Annaler.18:261-322.
- Pugh, D T. 1996. Tides, Surges and Mean Sea-Level. John Wiley & Sons. New York.
- Yndestad, H: 2004. The Lunar nodal cycle influence on the Barents Sea. NTNU. 2004:132.
- Yndestad H, Turrell W, Ozhigin V: 2004. Temporal linkages between the Faroe-Shetland time series and the Kola section time series. ICES Annual Science Conference. Sept 2004. Vigo. Regime Shifts in the North Atlantic Ocean: Coherent or Chaotic? ICES CM 2004/M.
- Yndestad H, 2006. The lunar nodal cycle influence on Arctic climate. ICES Journal of Marine Science. 65, 000-000. (In print).

