

# Konsekvenser av klimaendringer for kraftmarkedet i Norden

CREE modellforum, SSB, 2. februar 2012

# CES-prosjektet

- Climate and Energy Systems (CES); Potential and Adaption (2007 – 2010)
- Målsettinger
  - Forstå naturlig variasjon i klima og for fornybar energiproduksjon
  - Vurdere risiko forbundet med ekstremvær
  - Vurdere risiko og muligheter for fornybar energiproduksjon
- Budsjett 18 millioner, halvparten fra Nordisk Energiforskning
- 34 partnere – i hovedsak fra Norden
- SINTEF ledet 1 av 9 WG: Energy System Analysis

# Partnere i CES-prosjektet

- **CICERO, Center for Klimaforskning, Norway**
- Denmark Meteorological Institute
- DONG Energy, Denmark
- Ea Energianalyse A/S, Danmark
- Elforsk, Sweden
- Finnish Energy Industries
- Finnish Environment Institute (SYKE)
- Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Geological Survey of Denmark and Greenland
- HugurAx Software Solutions, Iceland
- Latvian Environment, Geology and Meteorology Agency
- Icelandic Meteorological Office
- Institute of Meteorological Research
- IVL Swedish Environmental Research Institute
- Lithuanian Energy Institute
- National Energy Authority, Iceland
- National Power Company, Iceland
- **Norwegian Meteorological Institute (NMI)**
- **Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)**
- Optsys Energianalys
- Risø National Laboratory, Denmark
- **SINTEF Energy, Norway**
- **Statkraft, Norway**
- Stockholm University
- Swedish Meteorological and Hydrological Institute
- Tallin University of Technology
- University of Joensuu, Finland
- University of Copenhagen
- University of Edinburgh
- University of Helsinki
- University of Iceland
- University of Joensuu, Finland
- Voeikov Main Geophysical Obs. (VMGO)
- VTT, Finland

# Energy System Analysis: Simulere Nord Pool kraftmarked (SINTEF)

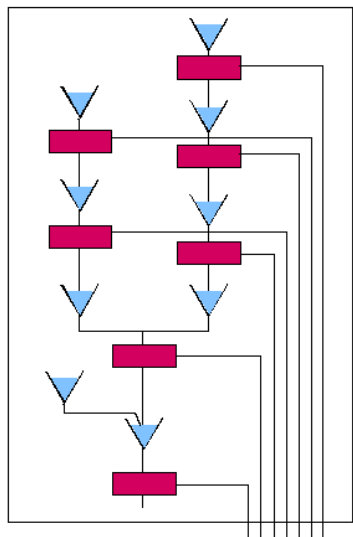
- Samkjøringsmodellen
- For år 2020
- Studere virkning av klimaendringer
  - Som har skjedd
  - Som vil skje i nær fremtid
- Fokus på resultater for vannkraft
  - Tilsig
  - Produksjon (per år, fordeling)
  - Flom
  - Magasindisponering

Nordenmodell



# Samkjøringsmodellen - modellkonsept

## Detaljer for vannkraft

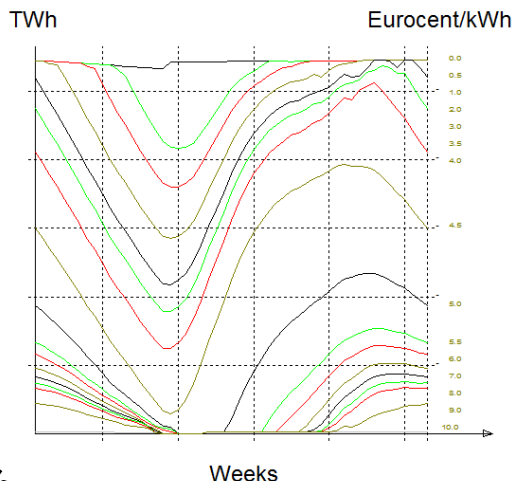


Aggregering

Detailjert simulering

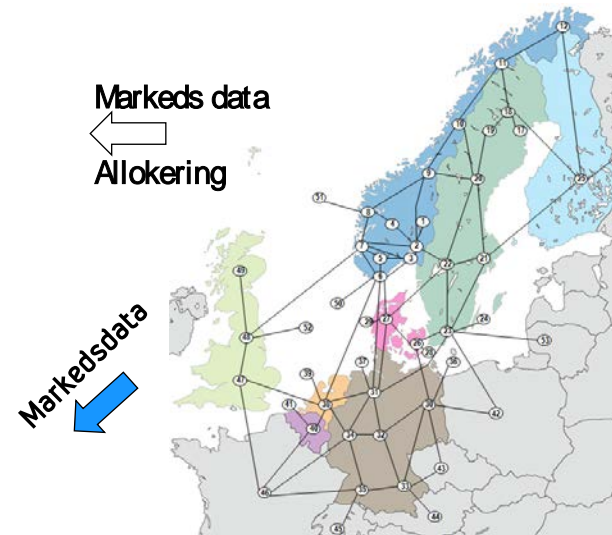
Sannsynligheter

## Vannverdiregning (SDP)

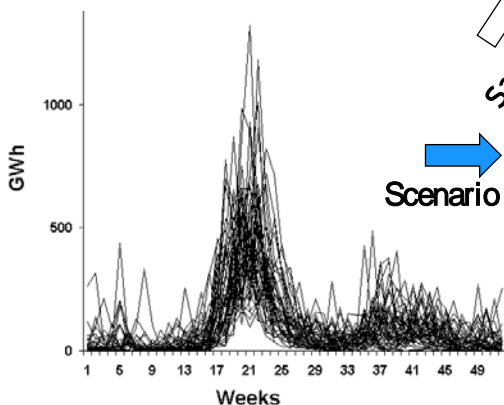


Vannverdier

## Markedsbeskrivelse

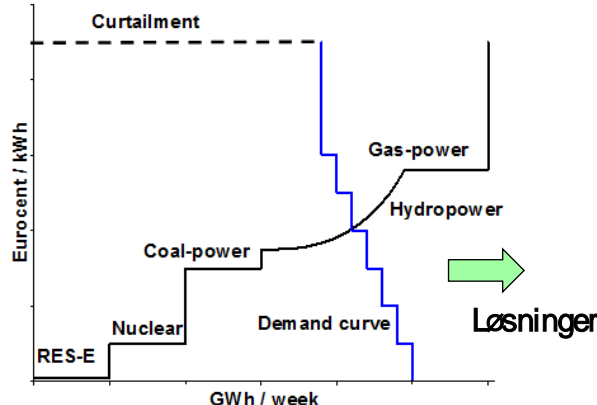


## Stokastisk vær



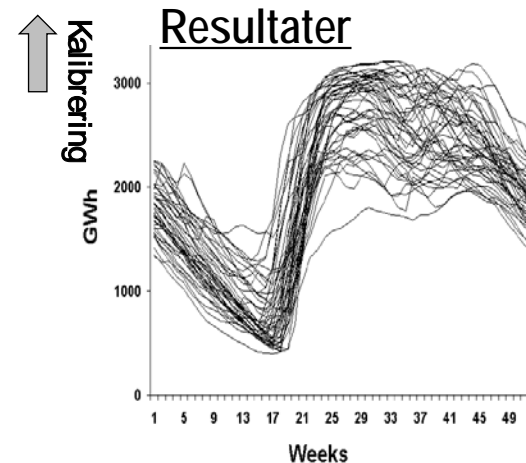
Scenario

## Markedssimulering (LP)



Løsninger

## Resultater



# Kraftproduksjon 2020

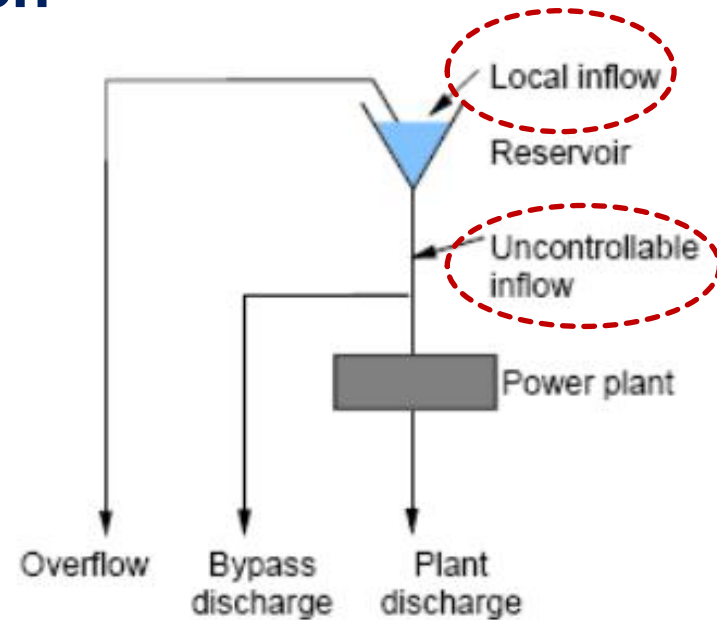
- Vannkraft
  - Detaljert beskrivelse av dagens system:  
1108 moduler (magasin, generatorer, koblinger, kWh/m<sup>3</sup>, etc)
  - Årsnivå for 2020 basert på prognose i Eurelectric-rapport (2009)
- Termisk kraftproduksjon
  - Dagens system: Ca 110 enheter i Norden
  - Aggregerte kapasitetsendringer basert på Eurelectric
  - Prisprognoser for brensel og CO<sub>2</sub>: Energianalyse AS
- Vindkraft
  - Variasjon iht. CE-prosjekt, Risø (forløper til CES-prosjekt)
  - Nivå per land iht. Eurelectric-rapport

# Transmisjon og forbruk 2020

- Transmisjon
  - Kapasiteter: Statnett, Baltso, Nordel
  - Priser handel utenom Norden: Dels basert på marginalkostnad i Tysk kullkraft, og dels på prisvariasjon prisområdet Kontek (DK-DE)
- Forbruk
  - Årsnivå iht. Eurelectric-prognose
  - Endringer fordelt ut proporsjonalt med forbruk i eksisterende system
  - Kan avvike noe pga. pris- og temperaturfølsomhet

# Klimavariabeler i Samkjøringsmodellen

- Tilsig for vannkraft
  - Regulert og uregulert tilsig (m<sup>3</sup>/vann)
  - Basert på målinger
  - Uke for uke, for eksempel 1931 - 2010
  - For Norge inngår typisk ca 80 serier
- Temperaturer (påvirker forbruk)
  - Per uke
  - Oslo, Bergen, Trondheim, Tromsø, Stockholm og Helsinki
- Vind- og solkraft
  - CE-prosjekt (2003 – 2006) viste liten endring for vindkraft
  - Ikke prognosert solkraft i Norden i 2020 (dog mye i Tyskland!)

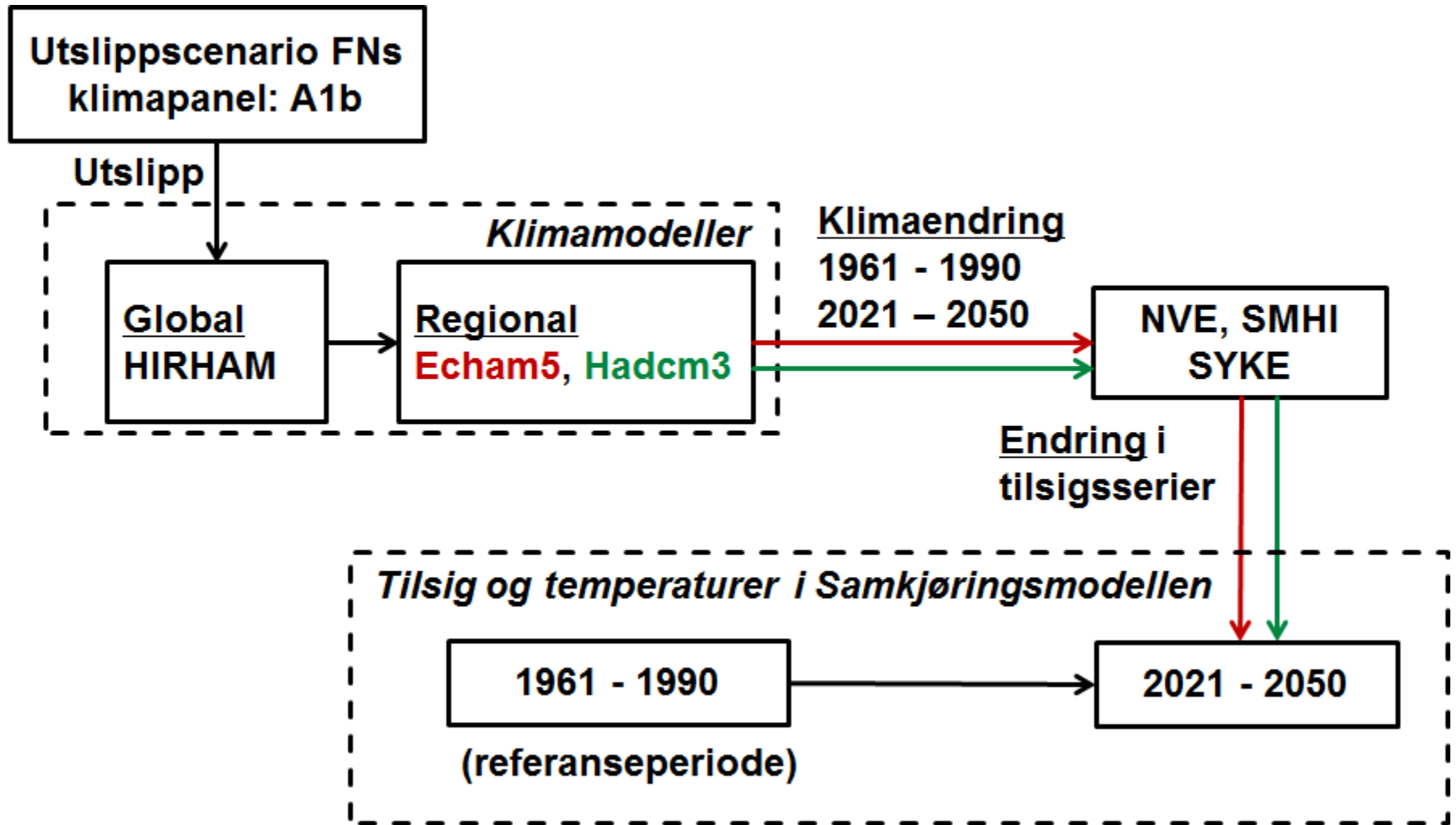




# Filosofi for klimakorrigerering i CES-prosjektet

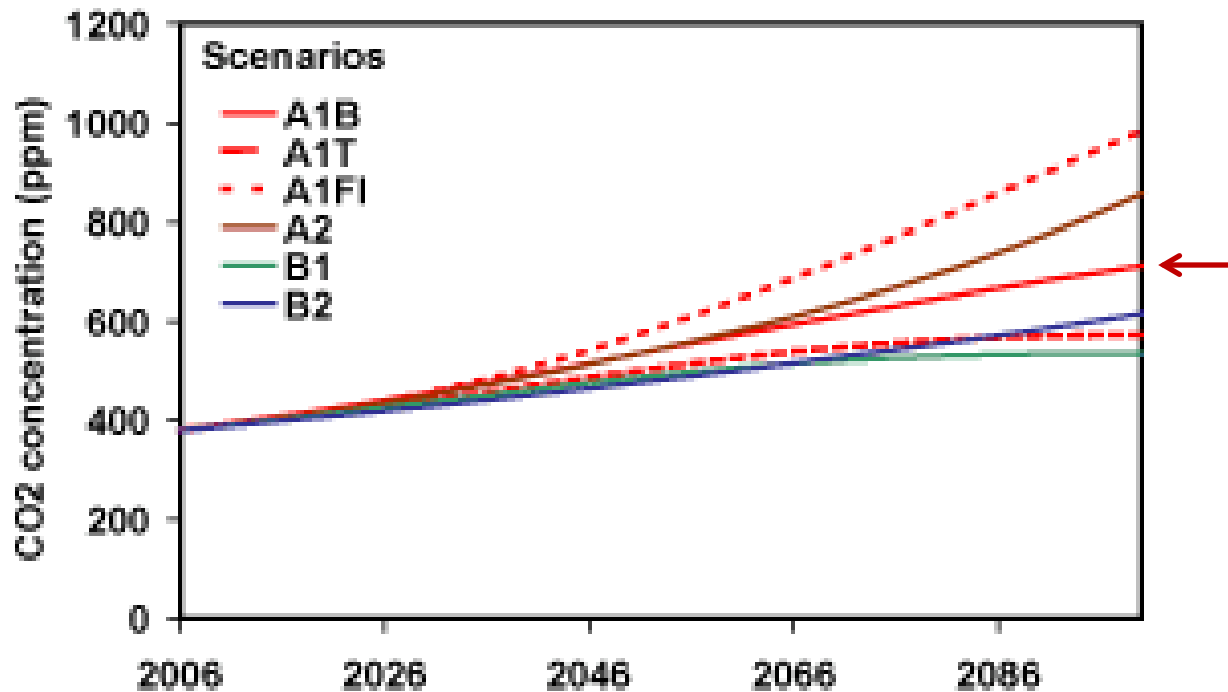
- Historiske tilsigsserier brukes til å fange opp
  - Spesifikke geografiske forhold for vannkraft
  - Variasjon fra år til år
- Klimamodeller brukes til å lage prognoser for endringer i tilsiget klima
- Historiske tilsigsserier korrigeres basert på simuleringer fra klimamodeller

# Oversikt klimakorrigerering i CES-prosjektet



# Utslippsscenario A1B

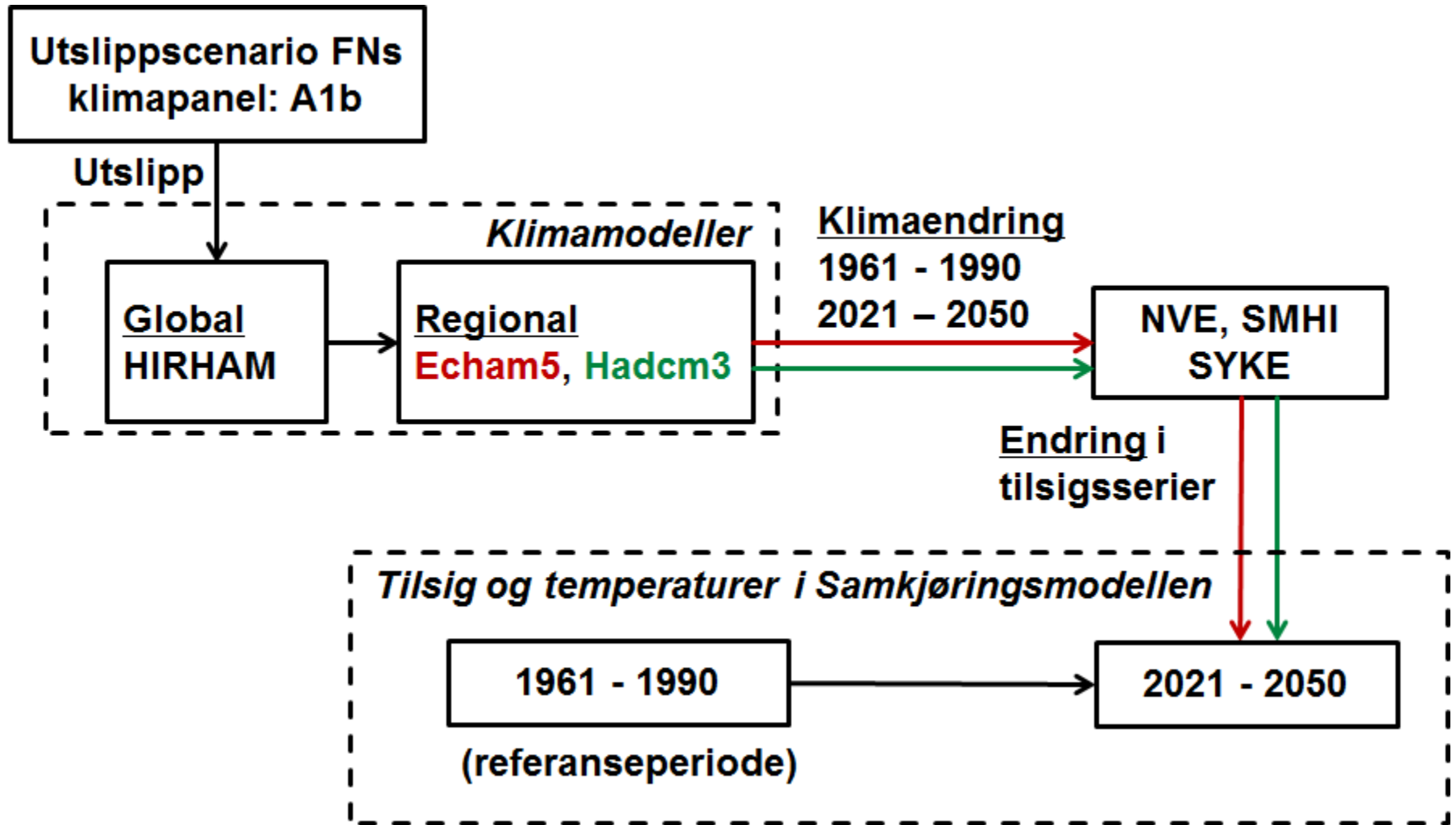
	Focus	
	Growth	Environment
Globalization	A1	B1
Regionalization	A2	B2



**A1**  
1.4 – 6.4 °C økning  
til 2100

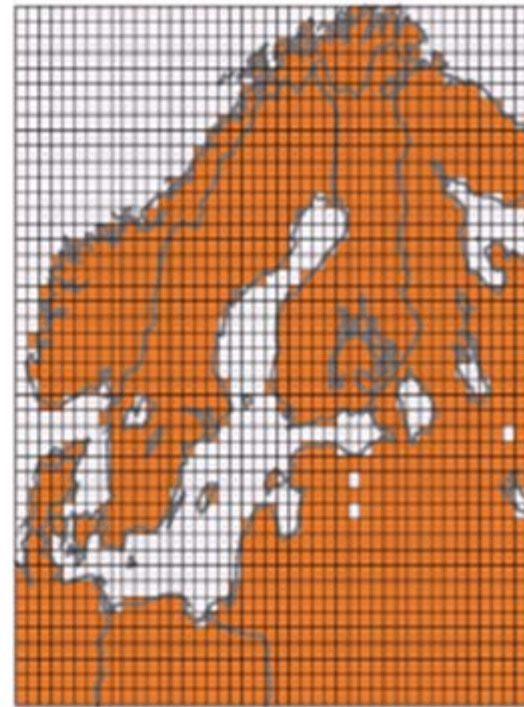
**A1b**  
Balansert fokus på  
fossil og fornybar  
energi

# Oversikt klimakorrigerering i CES-prosjektet



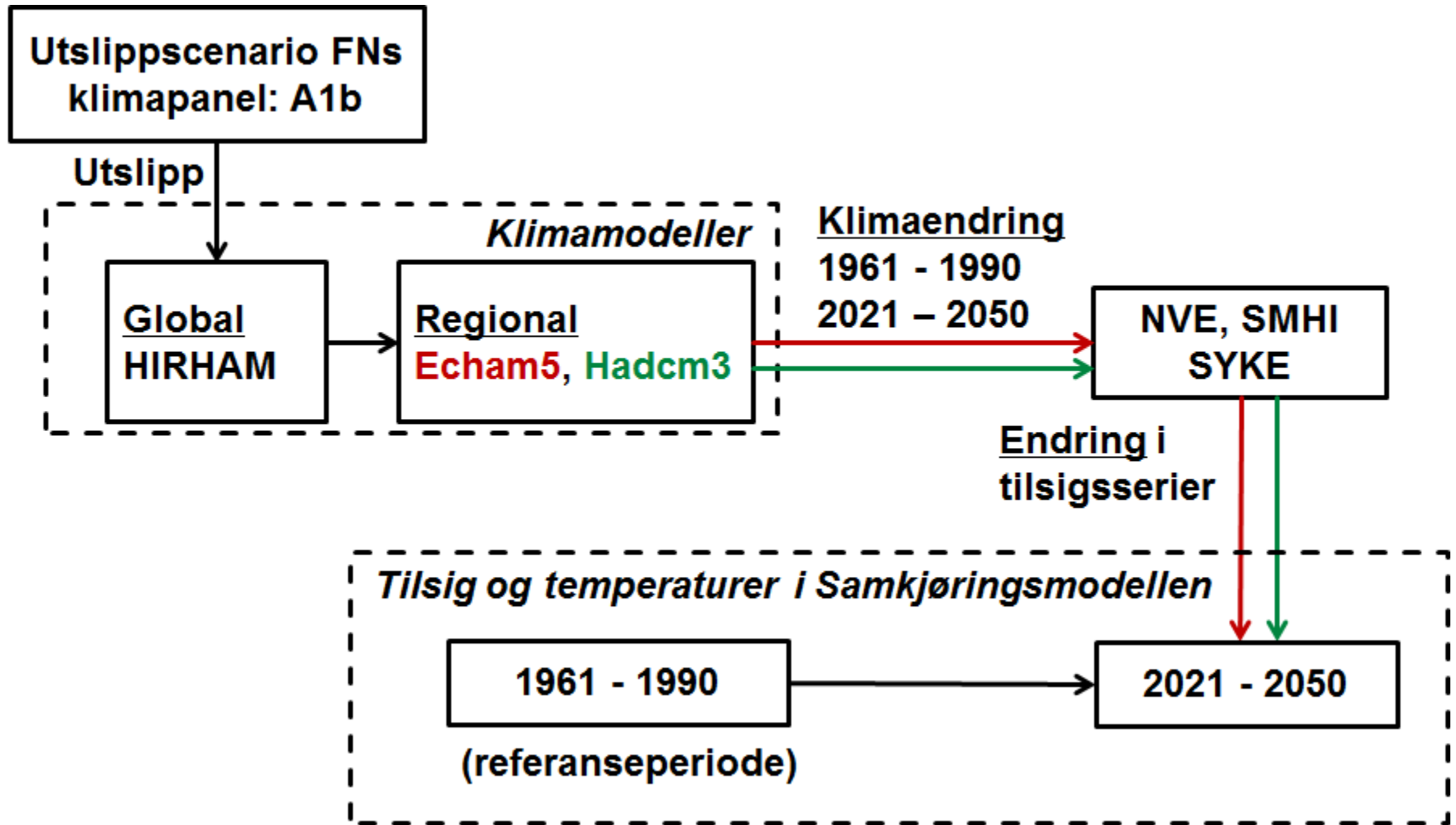


Global



Regional

# Oversikt klimakorrigering i CES-prosjektet



# Klimakorrigering av tilsig (matematisk beskrivelse)

Beregninger for hver tilsigsserie

**Input til Samkjøringsmodellen**      **Skaleringsfaktorer**

$$y_{t,s+60}^{adj} = y_{t,s}^{obs} \cdot c^{level} \cdot c_t^{N\ profile}$$

$$t \in \{1, \dots, 52\}$$

$$s \in \{1961, \dots, 1990\}$$

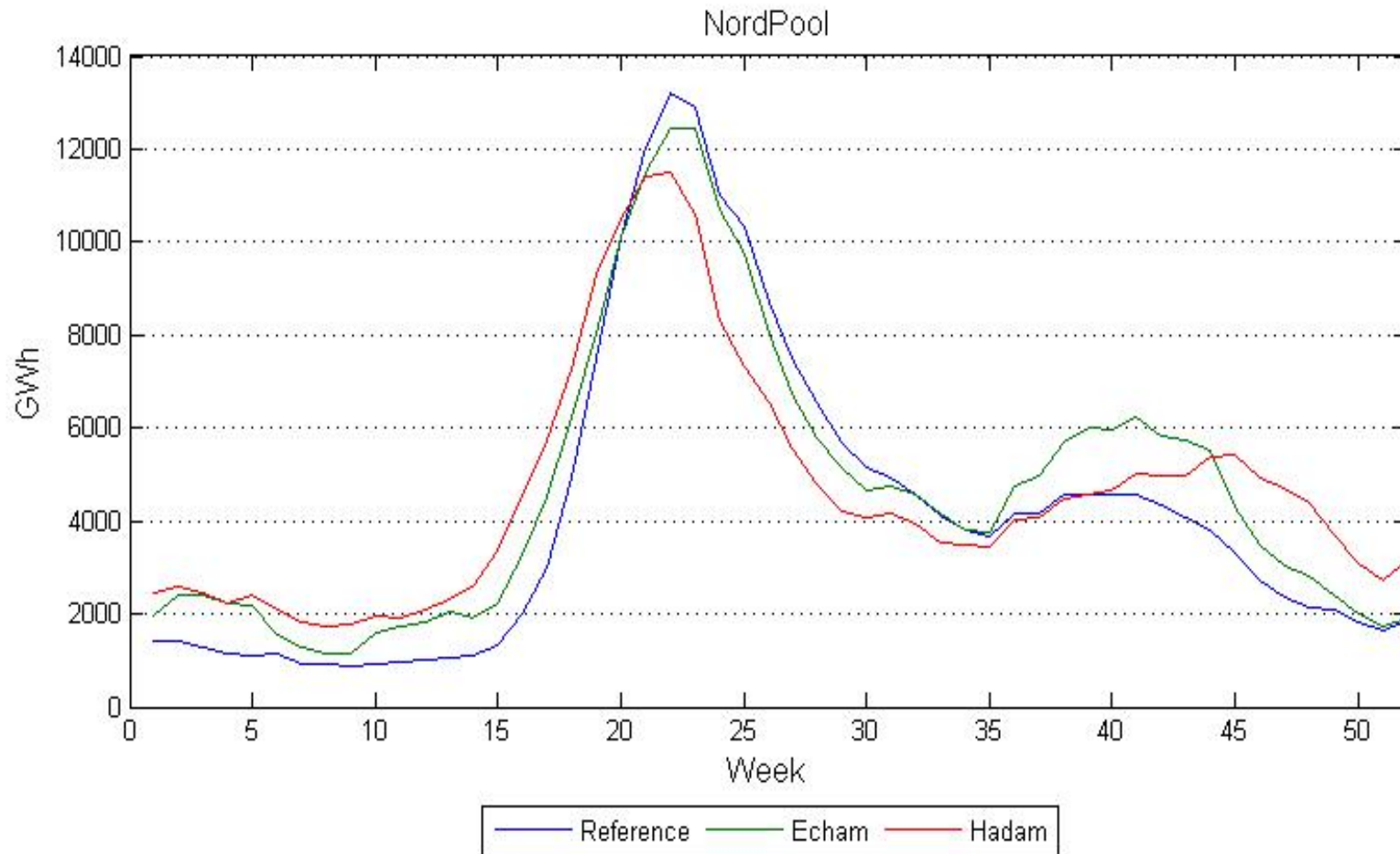
**Resultat fra klimamodeller  
konvertert til tilsig**

$$c^{level} = \frac{\sum_{t=1}^{52} \sum_{s=2021}^{2050} x_{t,s}}{\sum_{t=1}^{52} \sum_{s=1961}^{1990} x_{t,s}}$$

$$c_t^{profile} = \frac{\sum_{s=2021}^{2050} x_{t,s}}{\sum_{s=1961}^{1990} x_{t,s}}$$

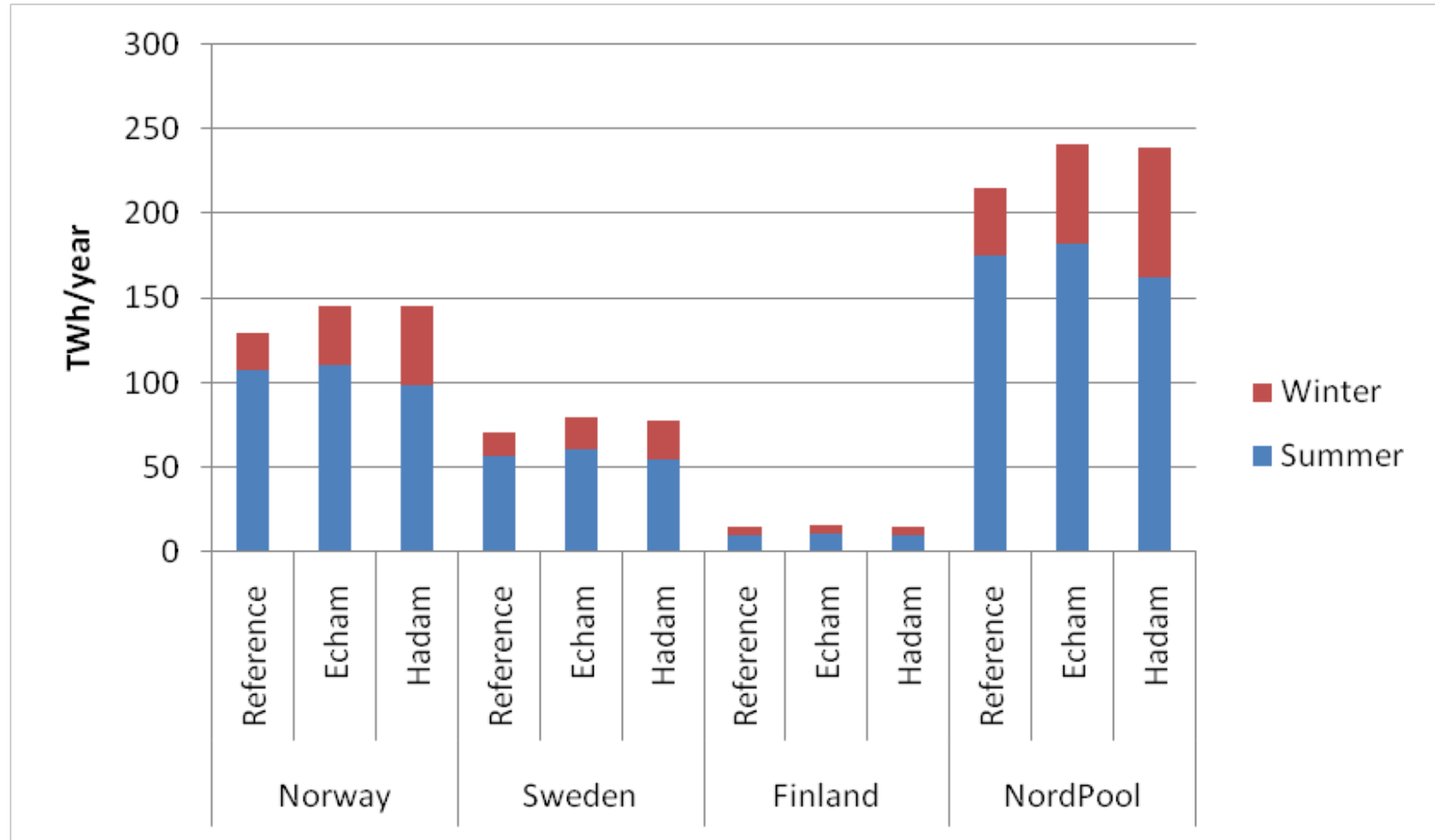
$$c_t^{N\ profile} = \frac{c_t^{profile} \cdot 52}{\sum_{t=1}^{52} c_t^{profile}}$$

# Tilslig: gjennomsnittlig per uke





## Tilslig: gjennomsnitt sommer og vinter



# Klimakorrigerering av temperatur (matematisk beskrivelse)

Beregninger for hver temperaturserie

- Nullpunkt for temperatur er en definisjon, jf. °C vs °F
- Bruker derfor absoluttverdier istedenfor skalering

**Input til Samkjørings-**

**modellen**

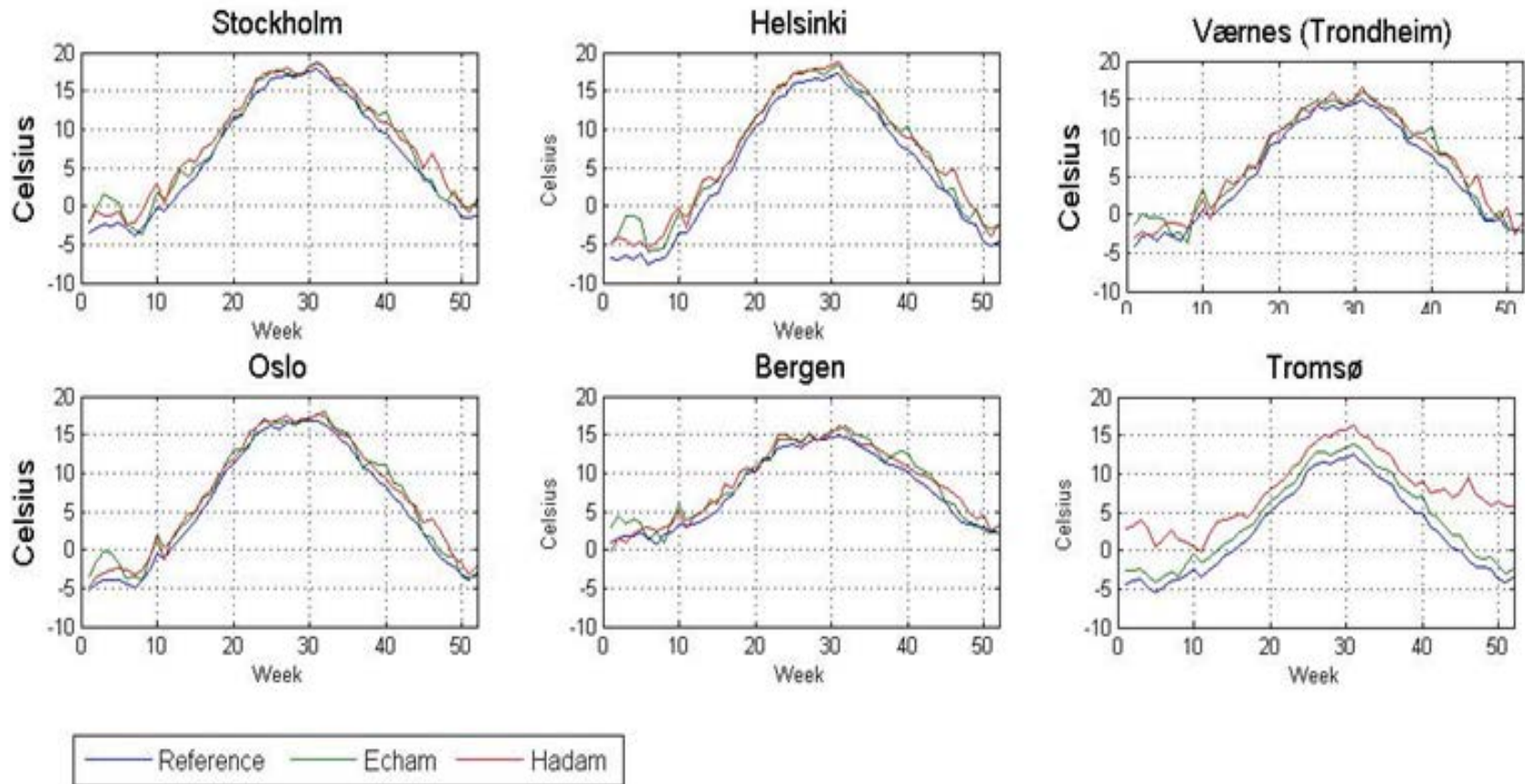
**Temperaturendring iht. klimamodeller**

$$y_{t,s+60}^{adj} = y_{t,s}^{obs} + (x_{t,s+60} - x_{t,s})$$

$$t \in \{1, \dots, 52\}$$

$$s \in \{1961, \dots, 1990\}$$

# Temperaturendringer - profiler



## Temperaturendringer - gjennomsnitt

Celsius	Reference	Echam	Hadam
Stockholm	6.7	7.8	8.3
Helsinki	4.6	6.4	6.5
Oslo	5.8	6.9	7.0
Bergen	7.7	8.6	8.6
Værnes	5.4	6.6	6.6
Tromsø	2.6	4.0	7.7

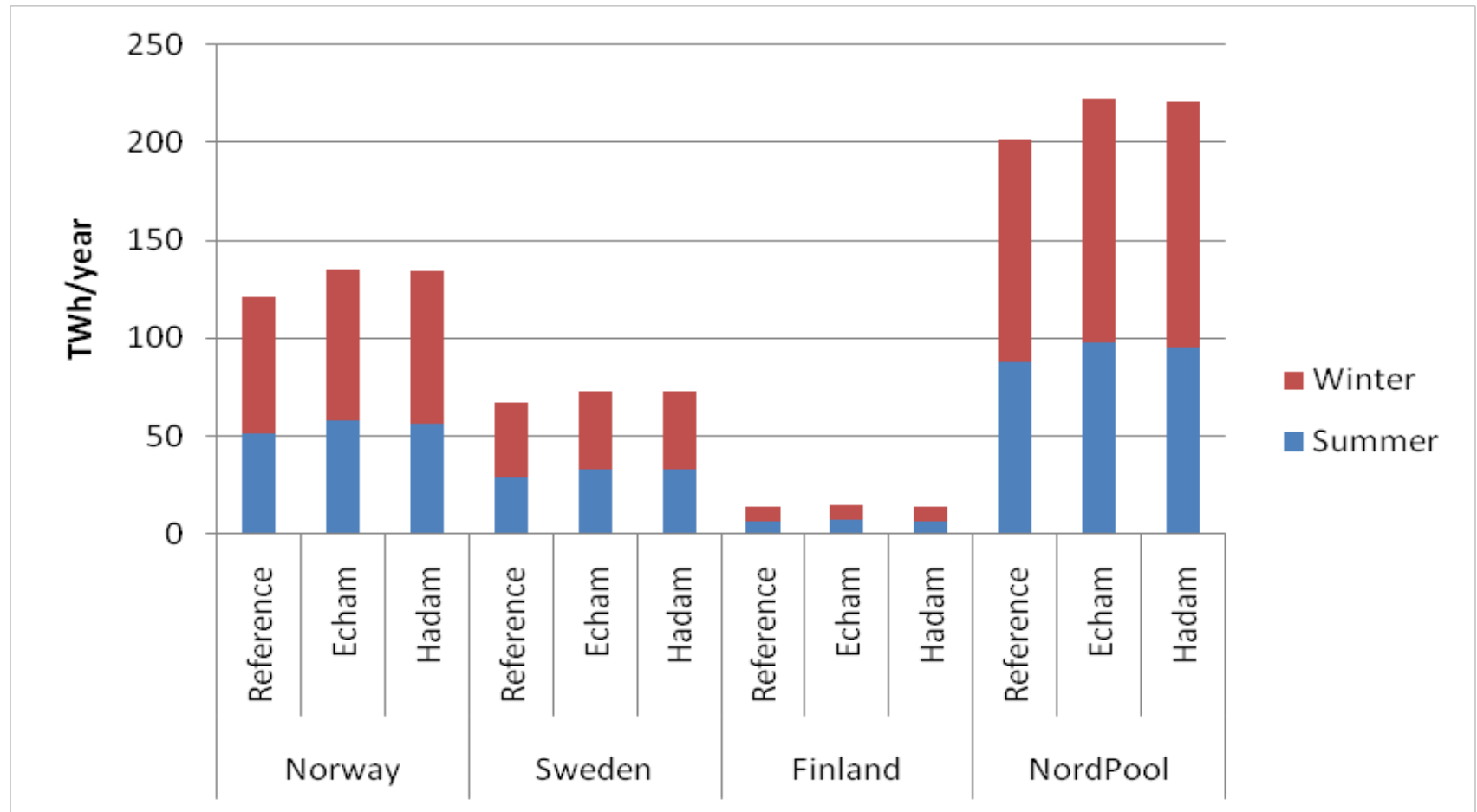
# Utfordringer ved klimakorrigering

- Stor usikkerhet ifht. endring i klimavariabel
  - Utslippsscenario
  - Klimamodeller (globale og nedskalering: matrise av alternativer, modellusikkerhet)
- For en gitt endring i tilsigserier, så kan en prognosere endringer i disponering for et gitt system
- Markedseffektene, f.eks. for kraftpris, er avhengig av forutsetninger for fremtidig stadium → mange usikkerhetsmomenter

## Vannkraft: endret produksjon sommer og vinter (i TWh)

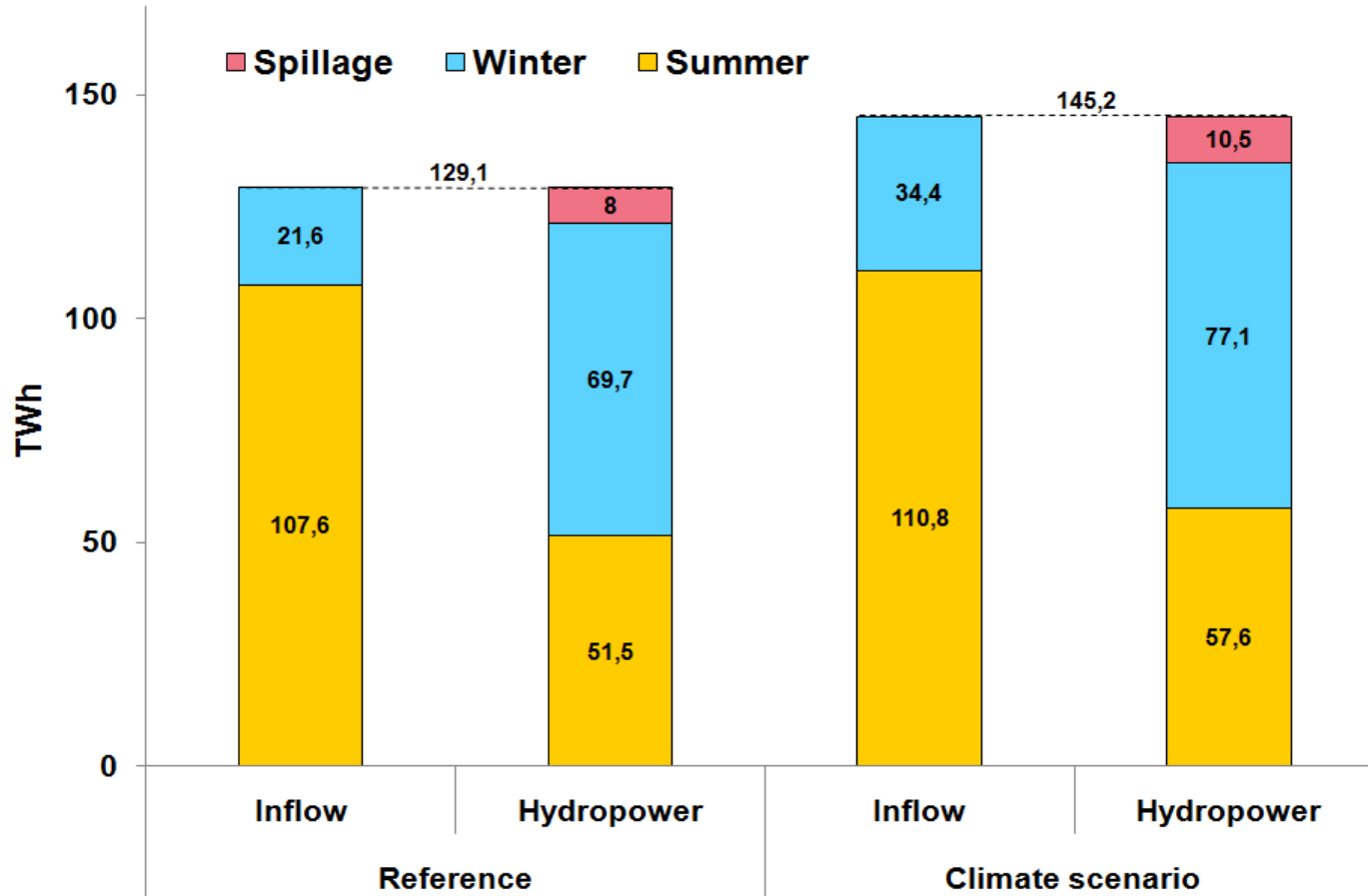
	Echam			Hadam		
Area	Summer	Winter	Year	Summer	Winter	Year
East Norway	3.4	3.5	6.9	3.2	3.8	7.0
West Norway	2.2	3.0	5.1	0.7	2.4	3.0
Central Norway	-0.1	0.8	0.7	-0.6	1.5	0.8
North Norway	0.6	0.2	0.8	1.3	0.7	2.0
<b>Sum Norway</b>	<b>6.1</b>	<b>7.4</b>	<b>13.6</b>	<b>4.6</b>	<b>8.4</b>	<b>13.1</b>
<b>Nord Pool area</b>	<b>10.4</b>	<b>10.3</b>	<b>20.7</b>	<b>8.0</b>	<b>10.9</b>	<b>18.9</b>

# Vannkraft: gjennomsnitt sommer og vinter



# Referanse vs. klimascenario (Echam)

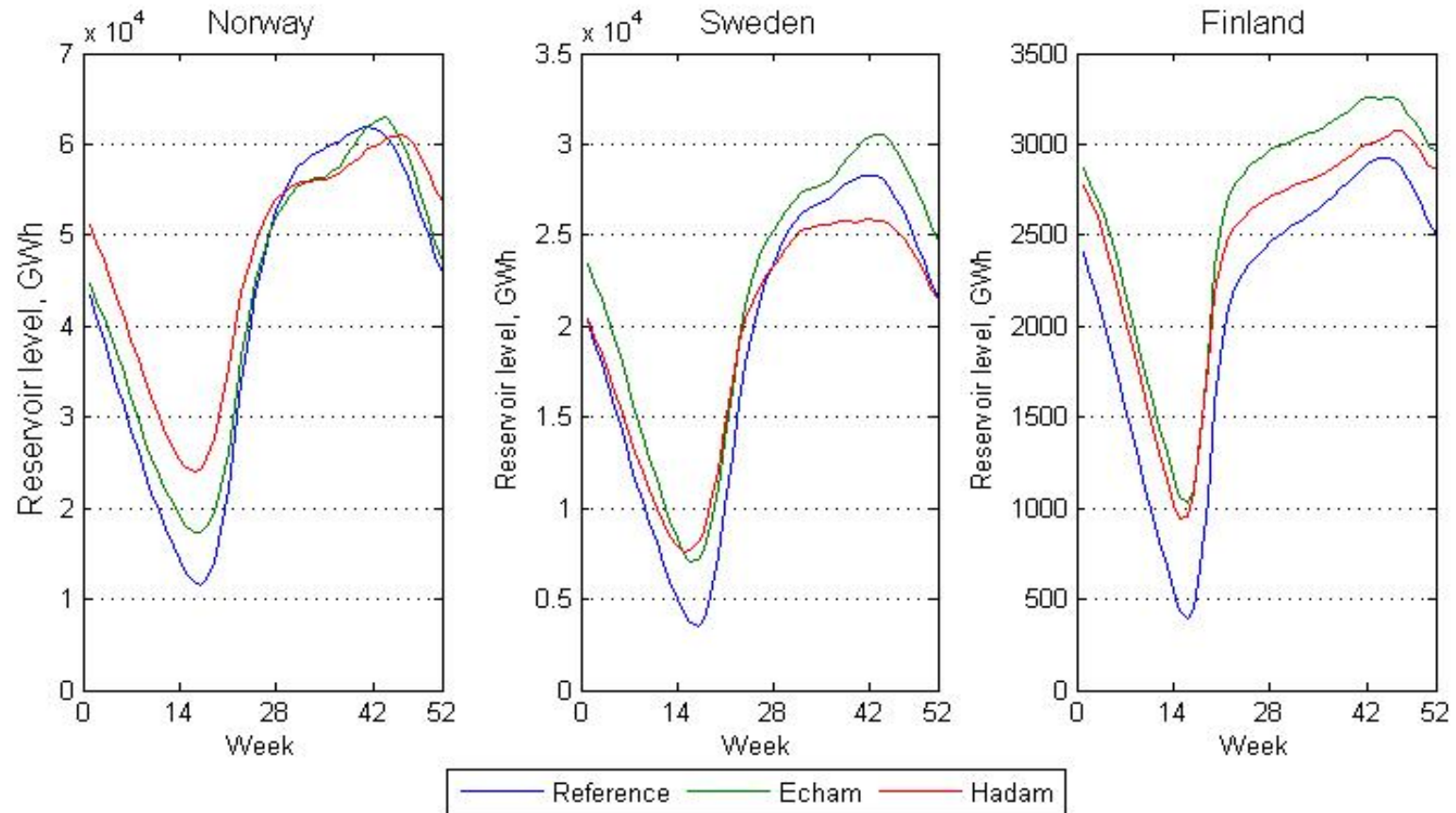
Tilslig, vannkraft og flom; sommer og vinter



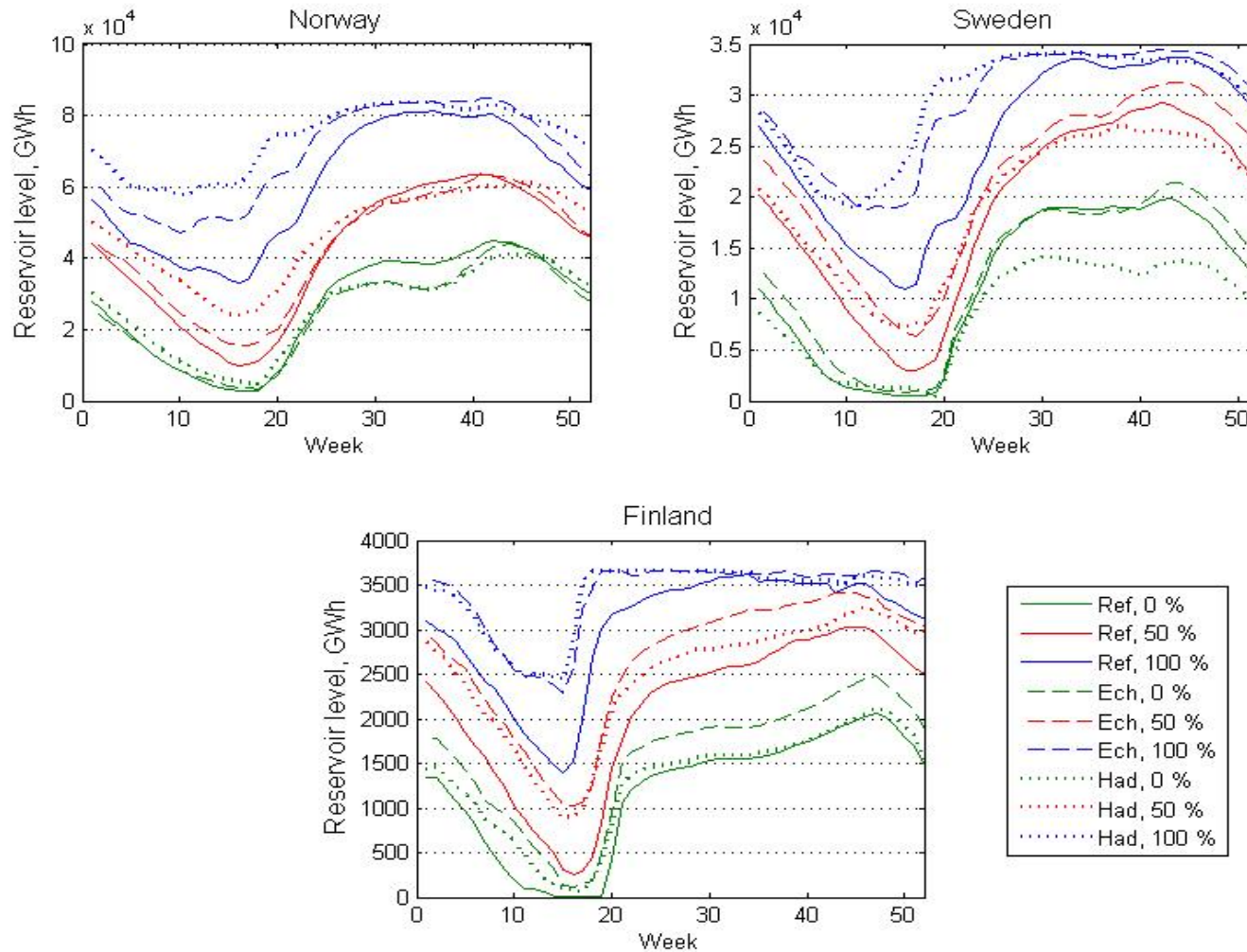
Effects for Norwegian hydropower



# Magasindisponering - gjennomsnitt



# Magasindisponering - prosentiler



## Termisk kraftproduksjon: Endret produksjon (i TWh)

	Echam			Hadam		
	Summer	Winter	Year	Summer	Winter	Year
Norway	-0.2	-1.0	-1.2	-0.2	-1.2	-1.4
Sweden	-1.2	-0.2	-1.4	-1.3	-0.3	-1.6
Finland	-3.1	-3.6	-6.6	-2.8	-4.2	-7.1
Denmark	-3.7	-1.8	-5.6	-3.1	-2.3	-5.4
<b>Nord Pool</b>	<b>-8.1</b>	<b>-6.7</b>	<b>-14.8</b>	<b>-7.4</b>	<b>-8.1</b>	<b>-15.5</b>

## Forbruksendring (i TWh)

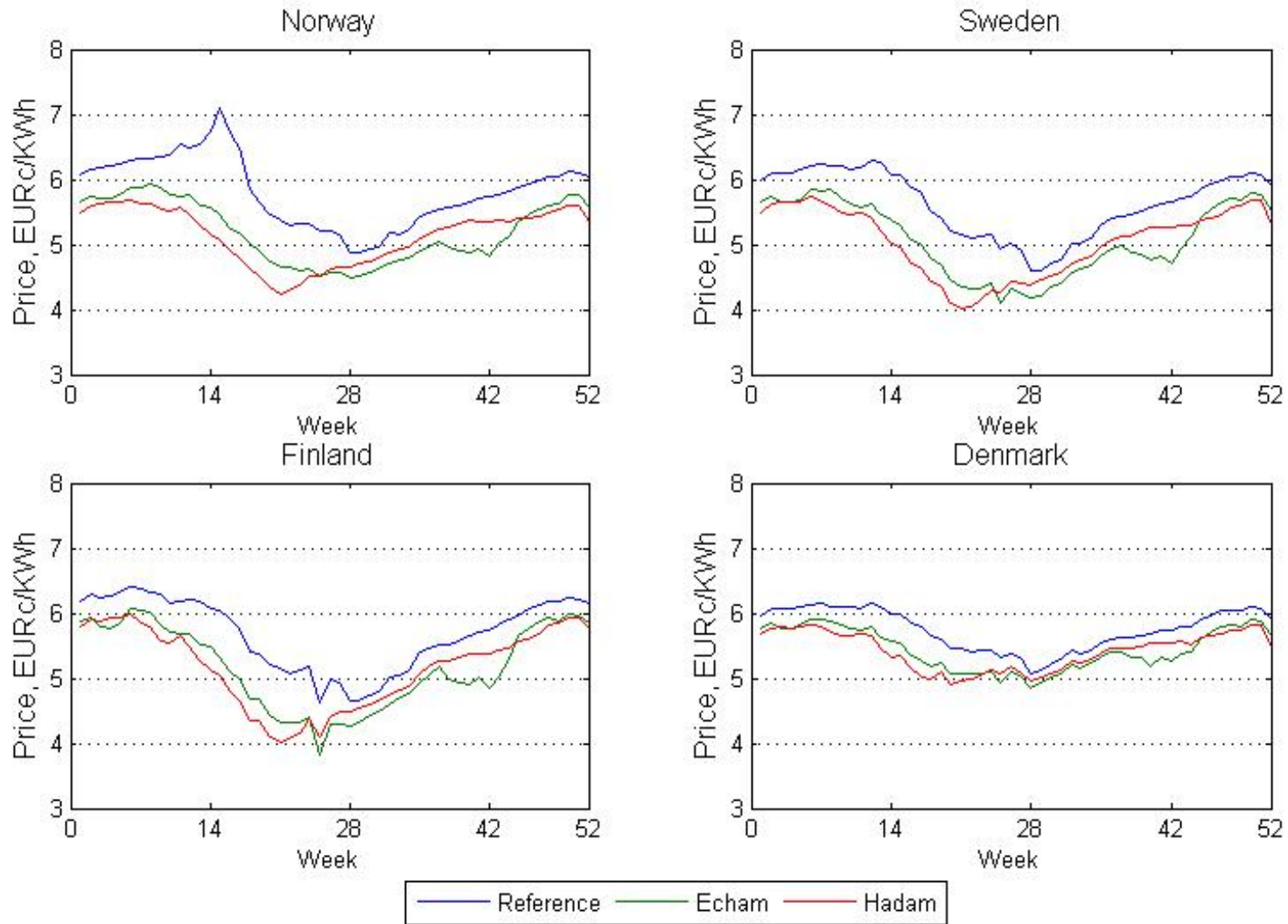
	Echam			Hadam		
	Summer	Winter	Year	Summer	Winter	Year
Norway	-1.1	-1.4	-2.6	-1.3	-2.3	-3.8
Sweden	-1.0	-1.7	-2.8	-1.1	-2.9	-4.0
Finland	-1.1	-2.1	-3.1	-1.1	-2.3	-3.4
Denmark	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Nord Pool</b>	<b>-3.1</b>	<b>-5.3</b>	<b>-8.4</b>	<b>-3.5</b>	<b>-7.5</b>	<b>-11.0</b>

## Kraftbalanser: gjennomsnitt i TWh

Reference	Hydro	Thermal	Wind	Net Import	Demand
Norway	121.1	3.3	5.2	14.0	143.6
Sweden	66.9	93.5	15.0	-29.3	146.1
Denmark	0.0	31.1	16.5	-9.1	38.5
Finland	13.8	69.4	4.5	16.9	104.6
<b>NordPool</b>	<b>201.8</b>	<b>197.3</b>	<b>41.2</b>	<b>-7.5</b>	<b>432.8</b>

Echam	Hydro	Thermal	Wind	Net Import	Demand
Norway	134.7	2.1	5.2	-1.0	141.0
Sweden	73.0	92.1	15.0	-36.8	143.3
Denmark	0.0	25.5	16.5	-3.4	38.6
Finland	14.7	62.8	4.5	19.5	101.5
<b>NordPool</b>	<b>222.5</b>	<b>182.5</b>	<b>41.2</b>	<b>-21.7</b>	<b>424.4</b>

# Priser: Gjennomsnitt per uke i 3 scenario



# Oppsummering

## Analyse og forutsetninger

- Vi har analysert hvordan klimaendring påvirker kraftmarkedet
  - [1961,1990] → [2021 – 2050]
  - Stadium 2020
  - Samkjøringsmodellen
- CES-prosjektets tilsigsscenario
  - Utslippscenario A1b
  - Global klimamodell
  - Nedskalering
  - Konsekvenser for tilsig

## Resultater

- Tilsig: + 13 %. Mest om vinteren.
- Vannkraft: +10%. Jevnt fordelt over året.
- Mindre årsvariasjon i magasinene. Høyere fyllingsgrad i vårknipen.
- Termisk kraftproduksjon: - 6 %
- Forbruket: - 2 %
- Reduserte spotpriser. Redusert mulighet for svært høye kraftpriser.
- Økt nettoeksport fra Nord Pool området

# Referanser

## Bok

Thorsteinsson T and Björnsson H (eds), "Climate Change and Energy Systems Impacts, Risks and Adaptation in the Nordic and Baltic countries", TemaNord 2011:502, ISBN 978-92-893-2190-7.

## Teknisk rapport

Styve J, Mo B and Wolfgang O (2011), "Climate change 2020-2050. Consequences for the NordPool electricity market", TR A7060, SINTEF Energy Research.

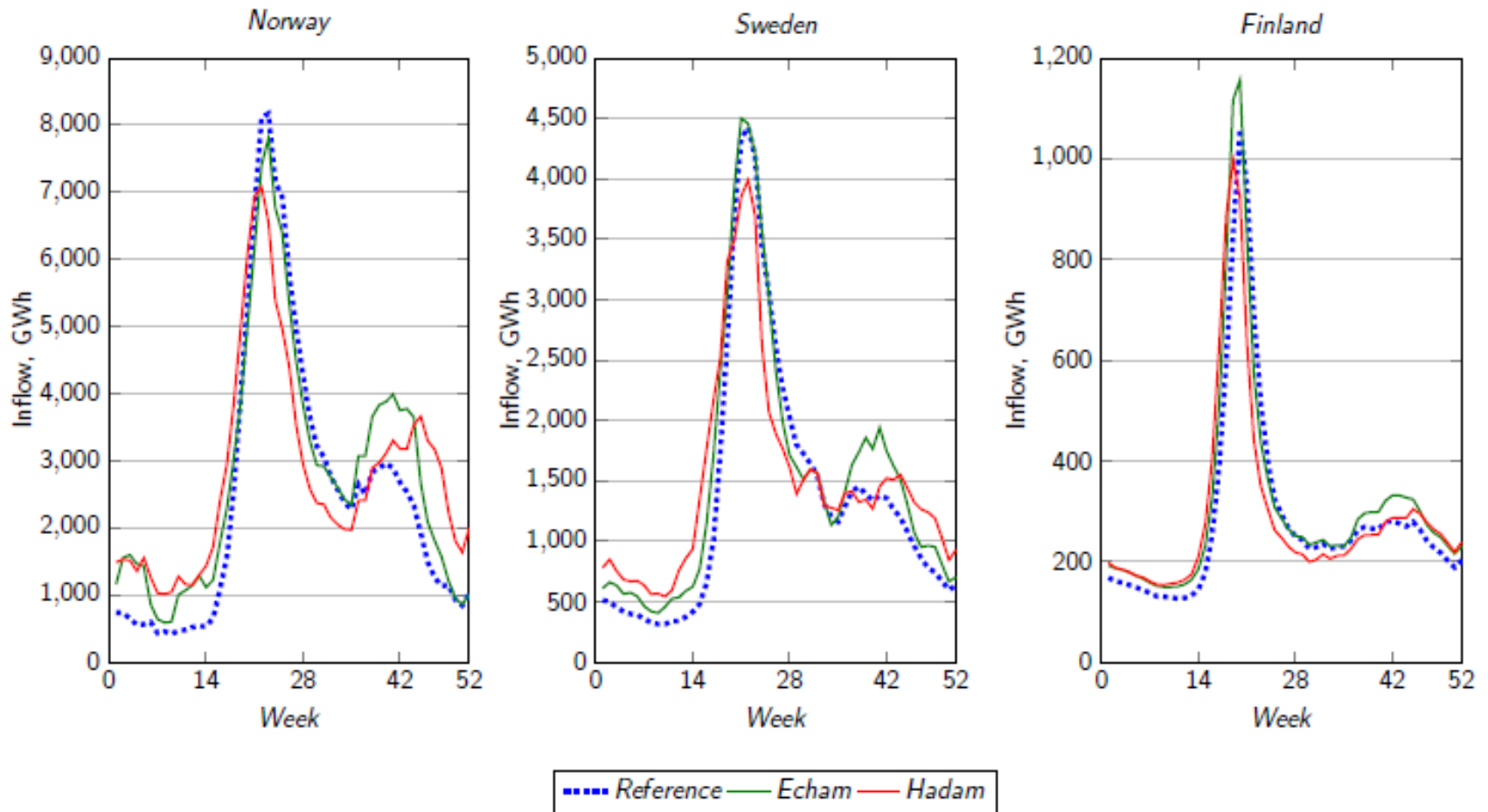
## CES-prosjektet

<http://en.vedur.is/ces/project/>





# Gjennomsnittlig tilsig per uke



# Variasjon i tilsig i Nord Pool området

