

■ www.energy.sintef.no ■



IEEE Norge v/ Bjørn Idsøe Næss
Inst for elkraftteknikk, NTNU
7495 Trondheim
www.ieee.no



Den norske komité for CIGRÉ
Strandveien 18
Postboks 280, 1326 Lysaker
www.energy.sintef.no/arr/cigre/cigre.htm



Institutt for Energiteknikk
Postboks 40
2027 Kjeller
Tlf: 63 80 60 00*
www.ife.no



Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
7491 Trondheim
Telefon: 73 59 50 00*
www.ntnu.no



SINTEF Energiforskning AS

Postadresse: 7465 Trondheim
Resepsjon: Sem Sælands vei 11
Telefon: 73 59 72 00
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:
NO 939 350 675 MVA

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Vindkraft FoU Seminar – 20 TWh i 2020?
26. – 27. januar 2006**

SAKSBEARBEIDER(E)

John Olav Tande

OPPDRAKSGIVER(E)

TR NR. TR A6283	DATO 2006-01-31	OPPDRAKSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR. 12X27801
ELEKTRONISK ARKIVKODE 060131RHA94736	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.) John Olav Tande	GRADERING Åpen	
ISBN NR. 82-594-2993-4	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.) for Petter Støa	OPPLAG SIDER 10 366
AVDELING Energisystemer	BESØKSADRESSE Sem Sælands vei 11	LOKAL TELEFAKS 73 59 72 50	

RESULTAT (sammendrag)

Norge har enorme vindressurser som kan utnyttes til kraftproduksjon. Utbygging vil bidra til sikre norsk energibalanse og oppfyllelse av klimamål, men også kunne gi mulighet til utvikling av ny industri. Dette er noe norske FoU-miljø, kraftprodusenter og industri har tatt tak i, og mange gode resultat er allerede oppnådd som presentert i denne rapporten.

Denne rapporten gjengir presentasjoner fra Vindkraft FoU seminar 26-27 Januar 2006 i Trondheim. Seminaret er en oppfølging på tilsvarende arrangert i januar 2004 og 2005, og er etablert som en viktig møteplass for alle norske vindkraftaktører. Følgene tema er presentert:

- Politikk og planlegging
- Nettintegrasjon
- Blader
- Vind & Ising
- Offshore teknologi

Seminaret er arrangert av SINTEF, IFE og NTNU i fellesskap ved John Olav Tande (SINTEF Energiforskning), Per Finden (IFE/NTNU), Tore Undeland (NTNU), Geir Moe (NTNU), Terje Gjengedal (Statkraft/NTNU) og Olav Fosso (NTNU).

STIKKORD

EGENVALGTE		
------------	--	--

INNHALDSFORTEGNELSE

	<u>Side</u>
1 PROGRAM	4
2 DELTAKERLISTE	6
PRESENTASJONER	
Senter for fornybar energi, Prof. Johan Hustad, NTNU.....	8
Planer for vindkraft i Norge, Dag Rune Stensaas, ENOVA.....	21
Vindkraftutbygging og politikk – kamper om eksternaliteter, Post Doc Jøran Solli, NTNU.....	30
Vindkraftverk og landskapsestetikk, Einar Berg, Inter Pares.....	39
Vindkraft FoU ved SINTEF, IFE og NTNU, John Olav Tande, SINTEF Energiforskning.....	56
Drift og vedlikehold av vindkraftverk, Lene Mostue, EBL.....	65
Havsul – verdens største vindpark, Harald Dirdal, Havgul.....	70
HyWind – vindkraftverk for dypt vann, Finn Gunnar Nielsen, Hydro.....	92
ScanWind – vindkraftteknologi tilpasset norske forhold, Torolf Pettersen, ScanWind.....	106
Nettintegrasjon	
Utfordringer og muligheter for storskala integrasjon av vindkraft, John Olav Tande, SINTEF Energiforskning.....	115
Storskala vindkraftsproduksjon i Norden – sammenlagringseffekter og påvirkning av elsystemet, Hannele Holtinen, VTT.....	127
Systemkrav og nettanalyser, Kjetil Uhlen, SINTEF Energiforskning.....	146
Krav til vindkraftanlegg, Inge Vognild, Statnett.....	174
Stabilitetsundersøkelse av kraftsystem med stor andel vindkraft, PhD Giuseppe Di Marzio, NTNU.....	194
Innvirkning av storskala vindkraft på det nordiske nettets primærregulering, PhD Jarle Eek, NTNU.....	207
SmartGenerator – utvikling av ny generatorteknologi for vindkraftverk, Prof. Robert Nielsen, NTNU.....	214
Drift av vindkraftverk gjennom nettfeil, PhD Bjarne Næss, NTNU.....	220
Modellering, simulering og regulering av flytende vindturbin, PhD Thomas Fuglseth, NTNU.....	224
Planlegging og drift av store vindparker i områder med begrenset overføringskapasitet, Post Doc Magnus Korpås, NTNU.....	232
Blader	
Erfaringer fra verdens største fabrikant av vindturbinblader, Steen Broust Nielsen, LM Glasfiber.....	240
Blader og aerodynamikk, Andreas Knauer, IFE.....	252
Fibermatter for blader – hvor går utviklingen? Baard Røsvik, Devold AMT.....	263
Evalueringsmetoder for karbonkompositter, PhD Jørg Høyland, NTNU.....	271
Individuell pitchregulering av vindturbinblader, PhD Fredrik Sandquist, NTNU.....	276
“Smart Coatings” for turbinblader, Christian Simon, SINTEF M/K.....	283
Turbinblader – utfordringer og muligheter, Nere Skomedal, Umoe Ryving.....	298

Vind og ising

Kartlegging av vindressurser og ising med ulike metoder, Erik Berge, Kjeller Vindteknikk.....	309
Nesting av meso-/mikroskalamodeller, Karl Eidsvik, SINTEF IKT og Dag Bjørge, Meteorologisk institutt.....	322
Innsamling og analyse av vinddata fra met.no's stasjoner, Knut Harstveit, Meteorologisk Institutt.....	348
Vindtunnelstudie av terrengmodell, PhD Kjersti Røkenes, NTNU.....	359

Vindkraft FoU Seminar - 20 TWh i 2020?	
26-27 januar 2006, Royal Garden Hotel, Kjøpmansgata 73, Trondheim	
Torsdag 26 Januar	
09.00	Registrering & kaffe/mineralvann
10.00	Åpning og velkommen, Prof. Johan Hustad, NTNU (inkl kort presentasjon av SFFE)
10.20	Planer for vindkraft i Norge, Dag Rune Stensaas, Enova
10.40	<i>Vindkraftutbygging og politikk - kamper om eksternaliteter</i> , Post Doc Jøran Solli, NTNU
11.00	<i>Vindkraftverk og landskapsestetikk</i> , Einar Berg, Inter Pares
11.20	Oppsummering & Vindkraft SFI – WTRC, John Olav Tande, SINTEF
11.40	Lunsj - Cicignon
Parallelle sesjoner	
	A1) Nettintegrasjon ; Ordstyrer: Terje Gjengedal, Statkraft/NTNU
	B) Blader ; Ordstyrer: Per Finden, IFE/NTNU
13.00	Innledning ved ordstyrer
13.10	<i>Utfordringer og muligheter for storskala integrasjon av vindkraft</i> , John Olav Tande, SINTEF Energiforskning
13.30	<i>Storskala vindkraftsproduksjon i Norden - sammenlagringseffekter og påvirkning av elsystemet</i> , Hannele Holtinen, VTT
14.10	<i>Systemkrav og nettanalyser</i> , Kjetil Uhlen, SINTEF Energiforskning
14.40	<i>Krav til vindkraftanlegg</i> , Inge Vognild, Statnett
14.55	<i>Individuell pitchregulering av vindturbinblader</i> , PhD Fredrik Sandquist, NTNU
15.10	Pause med lett servering
15.40	Diskusjon (paneldebatt) og oppsummering ved ordstyrer
16.10	<i>"Smart Coatings" for turbinblader</i> , Christian Simon, SINTEF M/K
16.40	<i>Turbinblader - utfordringer og muligheter</i> , Nere Skomedal, Umoe Ryving
17.00	Pause
18.00	Middag (Toast Master Prof Tore Undeland, NTNU) – Cicignon



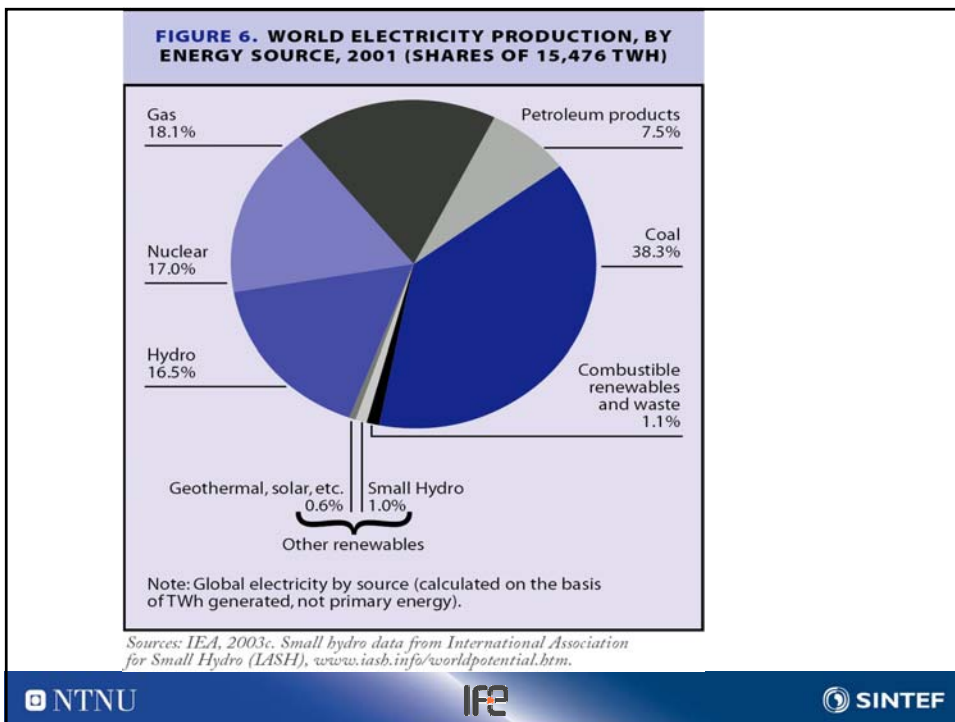
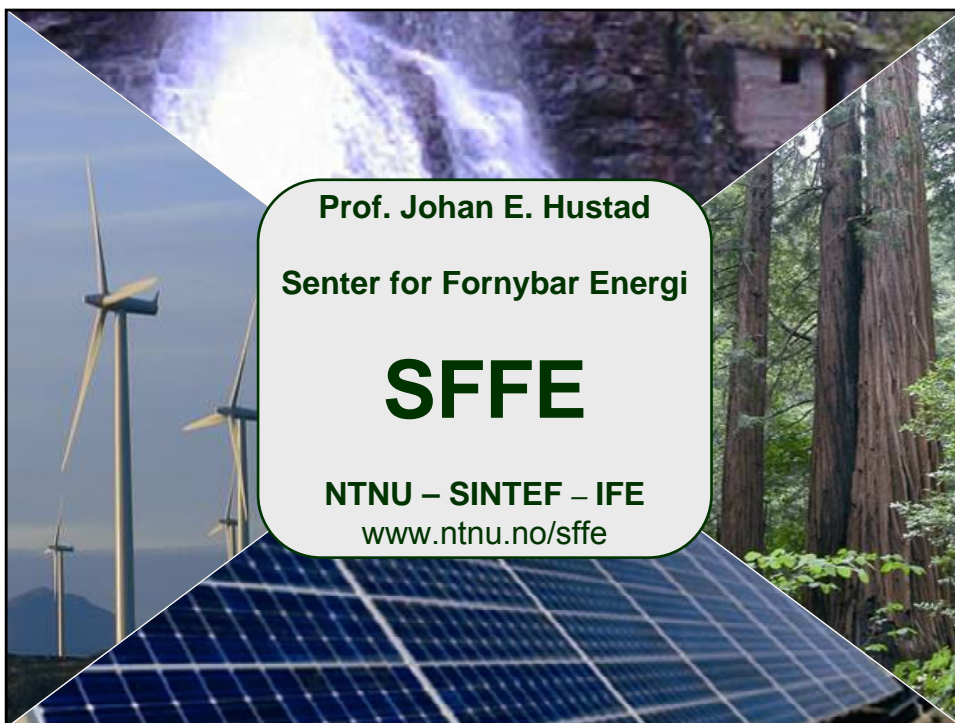
Vindkraft FoU Seminar - 20 TWh i 2020? 26-27 januar 2006, Royal Garden Hotel, Kjøpmansgata 73, Trondheim		
Fredag 27 Januar		
Parallele sesjoner		
	A2) Nettintegrasjon; Ordstyrer: Prof. Tore Undeland, NTNU	C) Vind og ising; Ordstyrer: Lars Tallhaug, Kjeller Vindteknikk
09.00	Innledning ved ordstyrer	Innledning ved ordstyrer
09.10	<i>Stabilitetsundersøkelse av kraftsystem med stor andel vindkraft</i> , PhD Giuseppe Di Marzio, NTNU	<i>Kartlegging av vindressurser og ising med ulike metoder</i> , Erik Berge, Kjeller Vindteknikk
09.25	<i>Innvirkning av storskala vindkraft på det nordiske nettets primærregulering</i> , PhD Jarle Eek, NTNU	
09.40	<i>SmartGenerator - utvikling av ny generatorteknologi for vindkraftverk</i> , Prof Robert Nielsen, NTNU	<i>Nesting av meso-/mikroskalamodeller</i> , Karl Eidsvik, SINTEF IKT og Dag Bjørge, Meteorologisk Institutt
10.10	<i>Drift av vindkraftverk gjennom nettfeil</i> , PhD Bjarne Næss, NTNU	<i>Innsamling og analyse av vinddata fra met.no's stasjoner</i> , Knut Harstveit, Meteorologisk Institutt
10.25	<i>Modellering, simulering og regulering av flytende vindturbin</i> , PhD Thomas Fuglseth, NTNU	
10.40	<i>Planlegging og drift av store vindparker i områder med begrenset overføringskapasitet</i> , Post Doc Magnus Korpås, NTNU	<i>Vindtunnelstudie av terrengmodell</i> , PhD Kjersti Røkenes, NTNU
11.00	Diskusjon og oppsummering	Diskusjon og oppsummering
11.10	Pause med lett servering	
11.40	Innledning, Prof Geir Moe, NTNU	
11.45	<i>Drift og vedlikeholdsoppfølging av vindkraftverk</i> , Lene Mostue, EBL	
11.55	<i>Havsul - verdens største vindpark planlegges utenfor kysten av Møre og Romsdal</i> , Harald Dirdal, Havgul	
12.20	<i>HyWind – vindkraftverk for dypt vann</i> , Finn Gunnar Nielsen, Hydro	
12.50	<i>ScanWind – vindkraftteknologi tilpasset norske forhold</i> , Torolf Pettersen, ScanWind	
13.20	Oppsummering, Prof Geir Moe, NTNU	
13.30	Lunsj - Prins Olav Grill / Slutt	

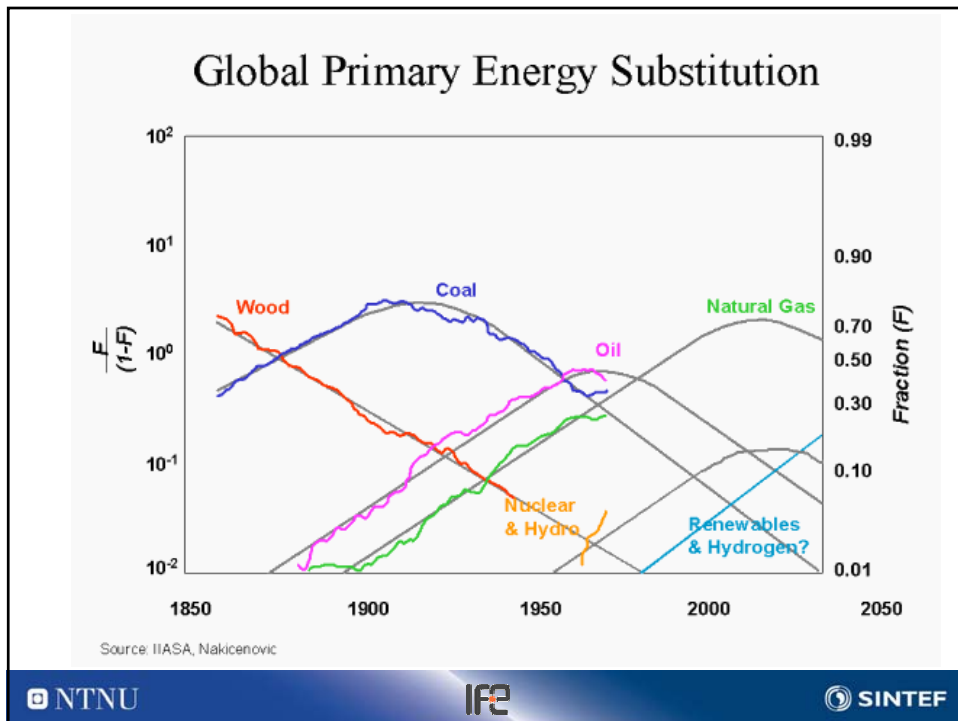


Vindkraft FoU Seminar – 20 TWh i 2020?
Deltakerliste, Vindkraftseminar 26. – 27. januar 2006, Royal Garden Hotel

Navn:	Firma:	Email
Leirbukt, Albert	ABB AS	Albert.Leirbukt@no.abb.com
Ottesen, Øyvind	Agder Energi Produksjon	oyvind.ottesen@ae.no
Stakkeland, Øyvind	Agder Energi	
Vogstad, Klaus	Agder Energi	Klaus-Ole.Vogstad@ae.no
Håvik, Astrid	BKK Rådgeving AS	astrid.havik@bkk.no
Matre, Jostein	BKK Rådgeving AS	jostein.matre@bkk.no
Blindheim, Bernt	Dalane Vind AS	bernt.blindheim@ae.no
Mathisen, Jan	Det Norske Veritas	Jan.Mathisen@sintef.no
Røsvik Baard	Devold AMT	rj@amt.no
Mostue, Lene	EBL Kompetanse	lm@ebl-kompetanse.no
Ådland, Hans Magne	EBL	hma@ebl.no
Jensen, Svend Richmann	Energi E2	rj@e2.dk
Stensaas, Dag Rune	Enova	dag.rune.stensaas@ENOVA.NO
Dirdal, Harald	Havgul	harald.dirdal@havsul.no
Sira, Ragnar	Hybridtech	ragnar.sira@hybridtech.no
Finden, Per	IFE	Per.Finden@ife.no
Knauer, Andreas	IFE	Andreas.Knauer@ife.no
Berg, Einar	Inter Pares AS	einar.berg@interpares.no
Berge, Erik	Kjeller Vindteknikk AS	erik.berge@vindteknikk.no
Føre, Ivan	Kjeller Vindteknikk AS	Ivan.Fore@vindteknikk.no
Tallhaug, Lars	Kjeller Vindteknikk AS	Lars.Tallhaug@vindteknikk.no
Undheim,Ove	Kjeller Vindteknikk AS	Ove.Undheim@vindteknikk.no
Nielsen, Steen Broust	LM Glasfiber	sbn@lmglassfiber.com
Otterdal, Bjørn Roger	Lyse Produksjon AS	BjornRoger.Otterdal@lyse.no
Bjørge, Dag	Meteorologisk institutt	dag.bjorge@met.no
Harstveit, Knut	Meteorologisk institutt	Knut.Harstveit@met.no
Næss, Arild	Nordmøre Energiverk AS	an@neas.mr.no
Ludescher-Huber, Franziska	Norconsult AS	windpower@norconsult.no
Hanssen, Ulf R.	Nordkraft Vind AS	urh@narvik-energi.no
Steinsvik, Ole André	Nordkraft Vind AS	oas@narvik-energi.no
Frantzen, Erik	Hydro Olje & Energi	Erik.Frantzen@hydro.com
Gulliksen, Christian	Hydro Olje & Energi	christian.gulliksen@hydro.com
Hanson, Tor D.	Norsk Hydro	Tor.David.Hanson@hydro.com
Karlsen, Elly	Hydro Olje & Energi	Elly.Karlsen@hydro.com
Lauvdal, Terje	Hydro Olje & Energi	terje.lauvdal@hydro.com
Nielsen, Finn Gunnar	Norsk Hydro	Finn.Gunnar.Nielsen@hydro.com
Skaare, Bjørn	Hydro Olje & Energi	Bjorn.Skaare@hydro.com
Stormyr, Åse	Hydro Olje & Energi	ase.stormyr@hydro.com
Dalbu, Helge	NTE	helge.dalbu@nte.no
Tønne, Erling	NTE Nett AS	Erling.Toenne@nte.no
Bratt, Johan F.	NTNU	Johan.F.Bratt@ntnu.no
Breton, Simon Philippe	NTNU student	simon.breton@ntnu.no
De Marzio, Giuseppe	NTNU	giuseppe.di.marzio@elkraft.ntnu.no
Eek, Jarle	NTNU	jarle.eek@elkraft.ntnu.no
Flack, Sverre	NTNU	sverre.flack@ark.ntnu.no
Fuchs, Ida	NTNU student	idafu@stud.ntnu.no
Fuglseth, Thomas	NTNU	thomas.fuglseth@elkraft.ntnu.no
Gether, Harald	NTNU	harald.gether@geo.ntnu.no
Greiner, Christopher	NTNU student	Christopher.Greiner@elkraft.ntnu.no
Gustafson, Claes G.	NTNU	claes.g.gustafson@ntnu.no
Hustad, Johan	NTNU	johan.e.hustad@ntnu.no

Høyland, Jørg	NTNU	jorg.hoyland@ntnu.no
Korpås, Magnus	NTNU	magnusk@ntnu.no
Moe, Geir	NTNU	geir.moe@ntnu.no
Løvseth, Jørgen	NTNU	jorgen.lovseth@ntnu.no
Myhren, Kjell Petter	NTNU student	myhren@stud.ntnu.no
Mæland, Halstein	NTNU student	
Nilsen, Roy	NTNU	Roy.Nilsen@elkraft.ntnu.no
Nilssen, Robert	NTNU	robert.nilssen@elkraft.ntnu.no
Nilsen, Tore	NTNU student	torebrei@stud.ntnu.no
Næss, Bjarne	NTNU	bjarne.ness@elkraft.ntnu.no
Røkenes, Kjersti	NTNU	kjersti.rokenes@ntnu.no
Sandquist, Fredrik	NTNU	fredrik.sandquist@ntnu.no
Solli, Jøran	NTNU	joran.solli@hf.ntnu.no
Suul, Jon Are Wold	NTNU student	suul@stud.ntnu.no
Undeland, Tore	NTNU	tore.undeland@elkraft.ntnu.no
Kristensen, Roar	NVE	rok@nve.no
Messiha, Amir	NVE	ame@nve.no
Skorpen, Per Ove	Rambøll Norge AS	per.ove.skorpen@ramboll.no
Pettersen, Torolf	ScanWind	Torolf.Pettersen@scanwind.no
Eggen, Arnt Ove	SINTEF Energiforskning AS	Arnt.O.Eggen@sintef.no
Norheim, Ian	SINTEF Energiforskning AS	Ian.Norheim@sintef.no
Tande, John Olav	SINTEF Energiforskning AS	John.O.Tande@sintef.no
Uhlen, Kjetil	SINTEF Energiforskning AS	Kjetil.Uhlen@sintef.no
Eidsvik, Karl	SINTEF IKT	karl.j.eidsvik@sintef.no
Simon, Christian	SINTEF Materialer og kjemi	christian.r.simon@sintef.no
Hestevik, Svein	SmartGenerator AS	svein@smartmotor.no
Idland, Fredrik	SmartMotor A/S	fredrik@smartmotor.no
Øvrebø, Sigurd	SmartMotor A/S	sigurd@smartmotor.no
Gjengedal, Terje	Statkraft AS	Terje.Gjengedal@statkraft.com
Hagstrøm, Espen	Statkraft Development AS	espen.hagstrom@statkraft.com
Mollestad, Knut Andreas	Statkraft Development AS	knut.andreas.mollestad@statkraft.com
Notkevich, Leon Eliassen	Statkraft Development AS	leon.notkevich@statkraft.com
Olufsen, Thomas	Statkraft Development AS	thomas.olufsen@statkraft.com
Bjørge, Åge	Statkraft Energi AS	aage.bjorge@statkraft.com
Kolstad, Ulf	Statnett SF	ulf.kolstad@statnett.no
Skyberg, Berit	Statnett SF	berit.skyberg@statnett.no
Vognild, Inge Harald	Statnett SF	Inge.Vognild@statnett.no
Vormedal, Lars Kristian	Statnett SF	lars.vormedal@statnett.no
Steenefeldt, Rosetta	Statoil ASA	rosst@statoil.com
Borgen, Eystein	SWAY AS	eb@sway.no
Pimenta de Miranda, Wilfried	SWECO Grøner AS	Wilfried.Miranda@sweco.no
Andersen, Asbjørn	Transtech AS	asbjorn.andersen@transtech.no
Skauen, Nils Reidar	Transtech AS	nils.skauen@transtech.no
Lorås, Kåre	Trønderenergi Kraft AS	kl@tronderenergi.no
Skomedal, Nere	Umoe Ryving	nere.skomedal@umoe.no
Aslaksen, Torsten	Universitetet i Tromsø	torsten@phys.uit.no
Ankile, Kristin	Vardar AS	Kristin.Ankile@vardar.no
Pedersen, Theis H.	Vestas Northern Europe AS	thpe@vestas.com
Holttinen, Hannele	VTT	Hannele.Holttinen@vtt.fi
Rommetveit, Olav	Østfold Energi AS	Olav.Rommetveit@ostfoldenergi.no





EU-Politics, regulations

•RES increase from 6% (1997) to 12% (2010)

RES-E incr. from 14% (1997) to 22% (2010)

**Energy Performance Certificate in Buildings (Savings,
Space Heat., DH, reduce FF)**

Solid Biofuel Standardisation – CEN TC-335

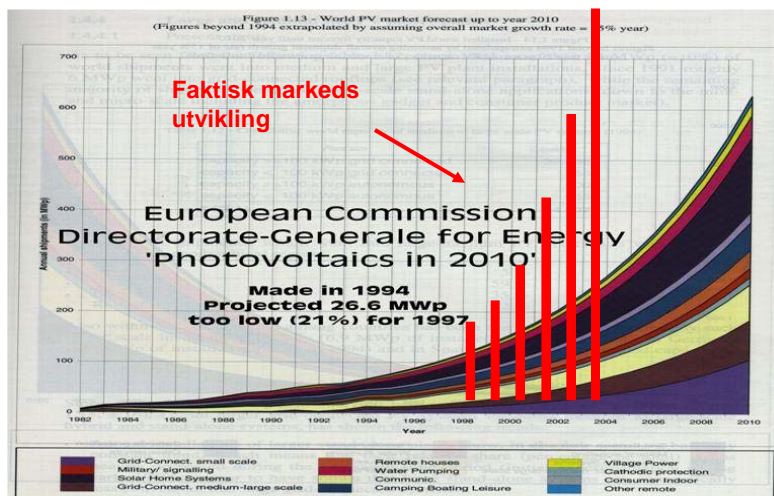
**Biofuels Directive to replace gasoline and diesel by 2% in
2005, 5.75% in 2010 and 20% in 2020**

Bidrag fra fornybar energi

	2001	2010	2020	2030	2040
World Primary Energy Consumption (IIASA)	10038.3	10549	11425	12352	13310
Biomass	1080	1313	1791	2483	3271
Large Hydro	222.7	266	309	341	358
Small Hydro	9.5	19	49	106	189
Wind	4.7	44	266	542	688
PV	0.2	2	24	221	784
Solar Thermal	4.1	15	66	244	480
Solar Thermal Electricity	0.1	0.4	3	16	68
Geothermal	43.2	86	186	333	493
Marine (tidal/wave/ocean)	0.05	0.1	0.4	3	20
TOTAL RES	1364.5	1745.5	2694.4	4289	6351
RES Contribution	13.6%	16.6%	23.6%	34.7%	47.7%

Solceller

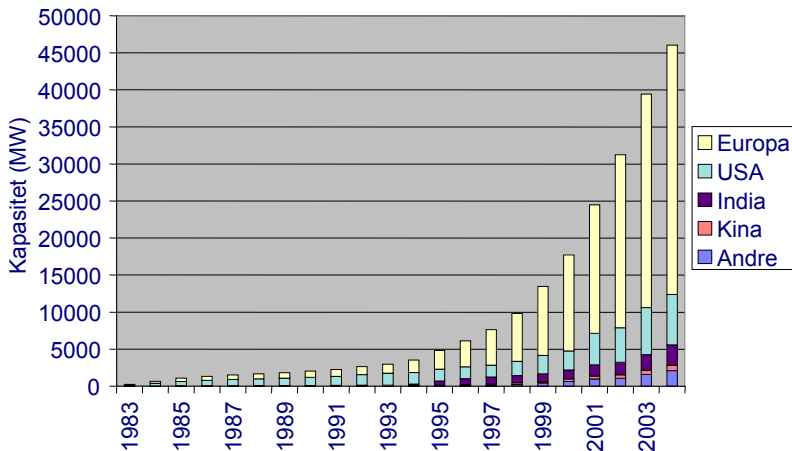
– Markedet vokser raskere enn forventet...



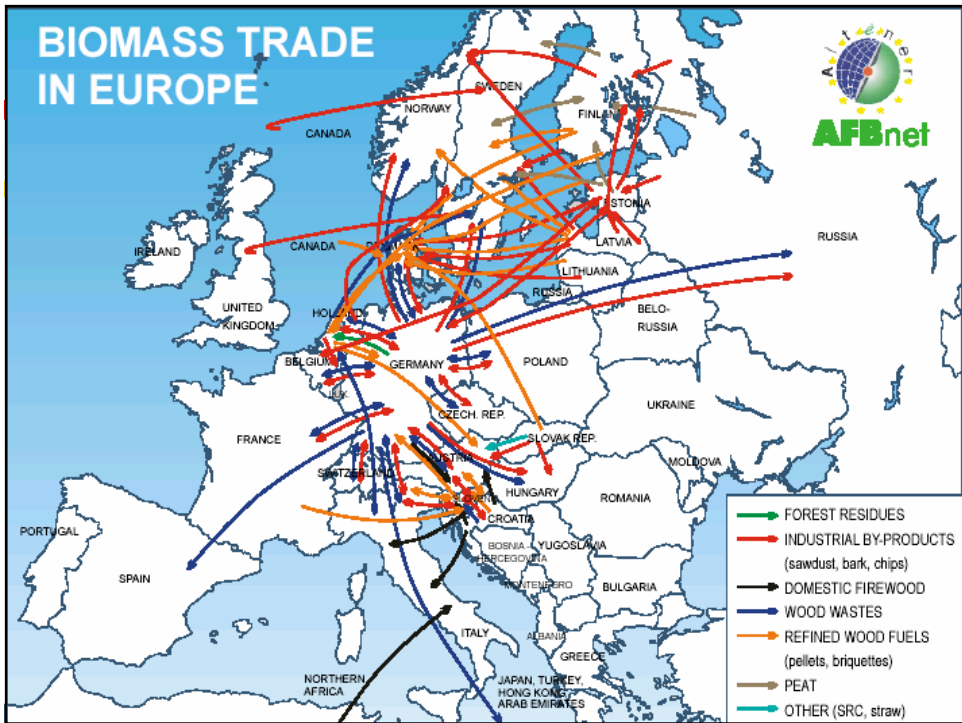
Vindkraft

– den raskest voksende energiteknologien

Installert vindkraft



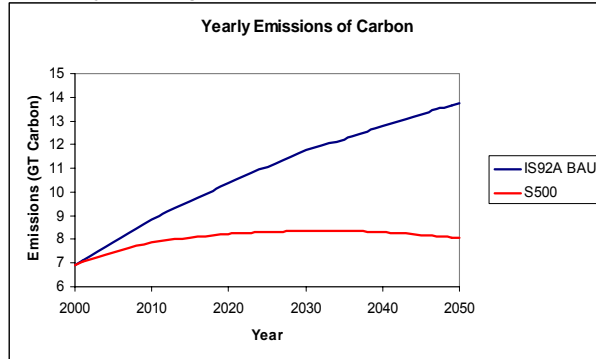
BIOMASS TRADE IN EUROPE



From Multiple Targets and Baselines to The Stabilization Wedge in Three Steps

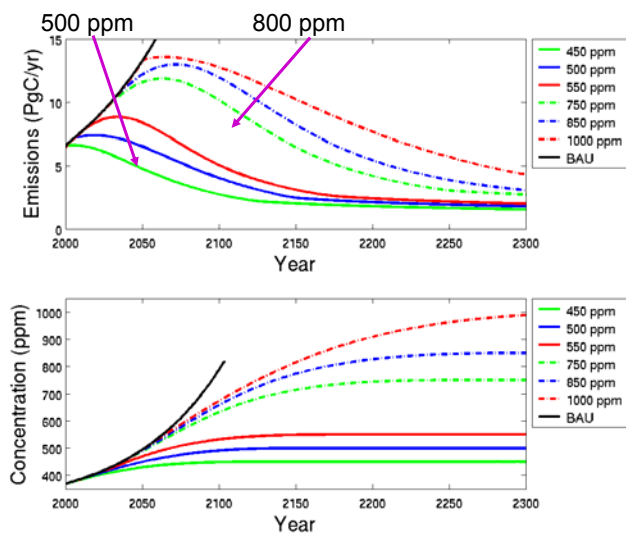
Step One: Restrict attention to 50 years

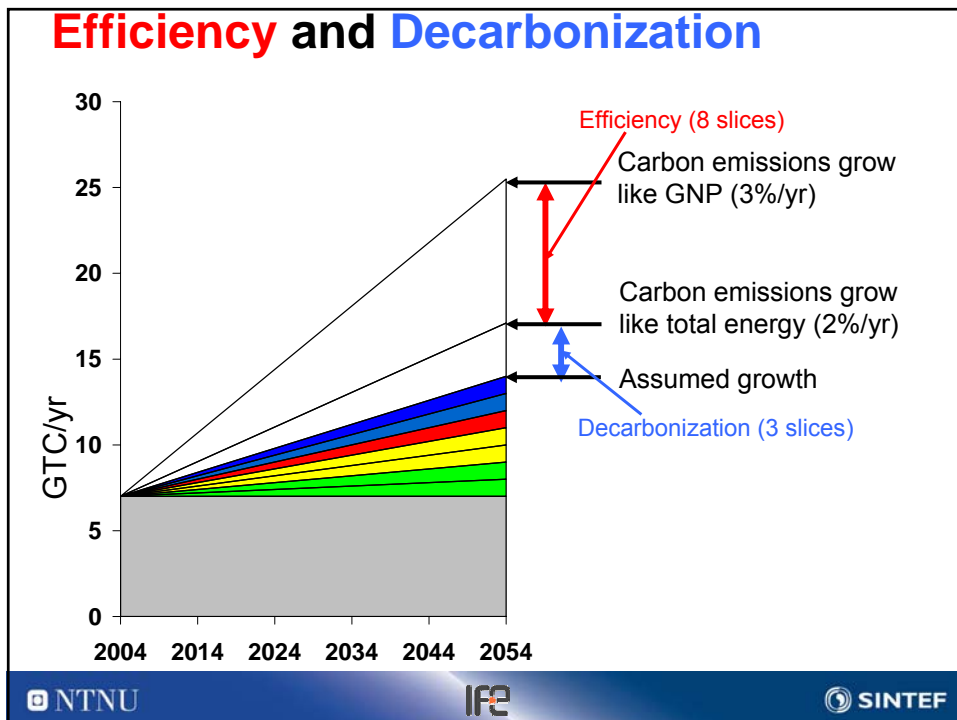
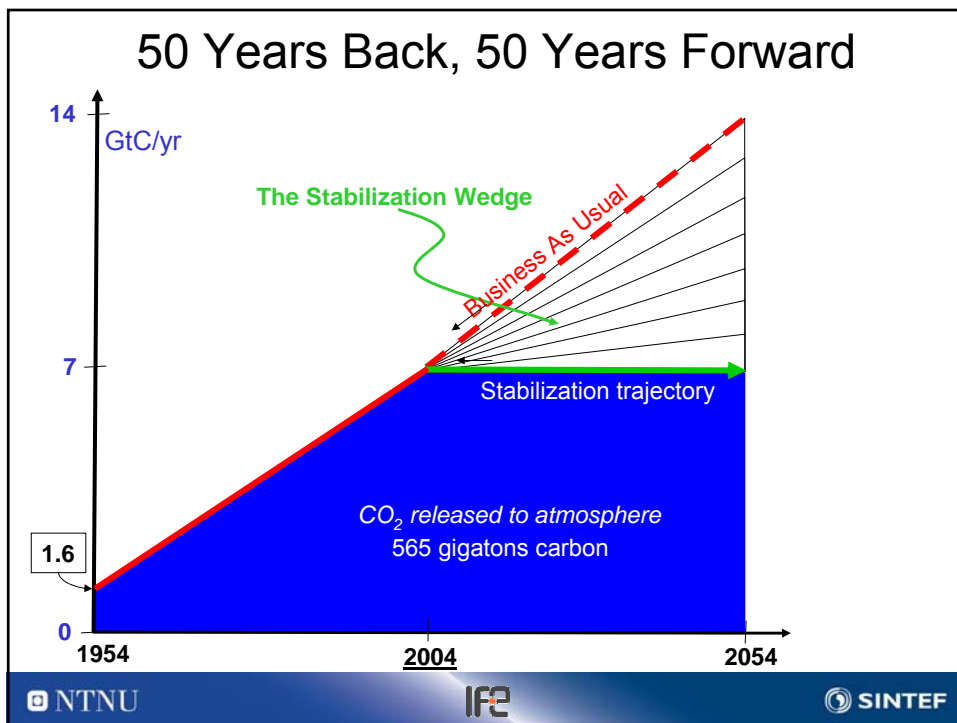
Step Two: Choose just one goal and one baseline

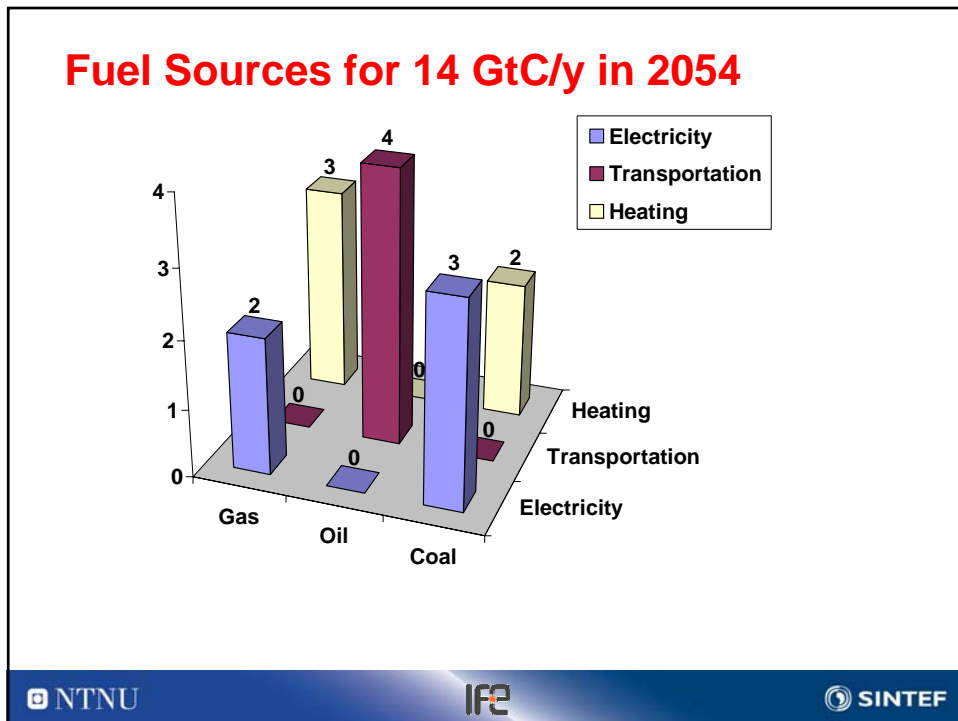


Step Three: Abstracting further, take the goal to be flat emissions and the baseline to be doubling linearly in 50 years.

Flat now: ≈ 500 ppm; BAU till 2054: ≈ 800 ppm







Coal to Gas for Electricity

Effort needed for 1 slice:

700 1-GW baseload coal plants (5400 TWh/y) emit 1 GtC/y.

Natural gas emits ~1/2 as much CO₂ as coal, per kWh.

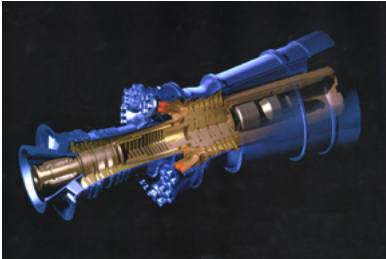
So: by 2054, build 1400 GW baseload (**10,800 TWh/y**) fueled by gas, not coal.

Potential Pitfalls:

Natural gas geopolitics

Yr 2000 electricity:

Coal : 6000 TWh/y;
Natural gas: 2700 TWh/y.



Cross-section of the GE MS9001H Advanced Gas Turbine
Photo courtesy of DOE

NTNU IFE SINTEF

Efficiency in transport



Effort needed for 1 slice:

2 billion gasoline and diesel cars
(10,000 miles/car-yr) at 60 mpg
instead of 30 mpg

500 million cars now.



Potential Pitfall:

Suburban sprawl

Photos courtesy of Ford, WMATA, Washington State Ridesharing Organization

Biofuels

Effort needed for 1 slice:

Annually, plant and sustain 4
million new hectares of high-yield
(15 t/ha-yr) crops, back out
gasoline and diesel

By 2050, have planted area equal
to U.S. cropland (200 million
hectares)



Photos courtesy of NREL

Potential Pitfalls:

Competing land use, biodiversity



Prototype of 80 m tall Nordex 2,5 MW wind turbine located in Grevenbroich, Germany (Danish Wind Industry Association)

Wind Electricity

Effort needed for 1 slice:

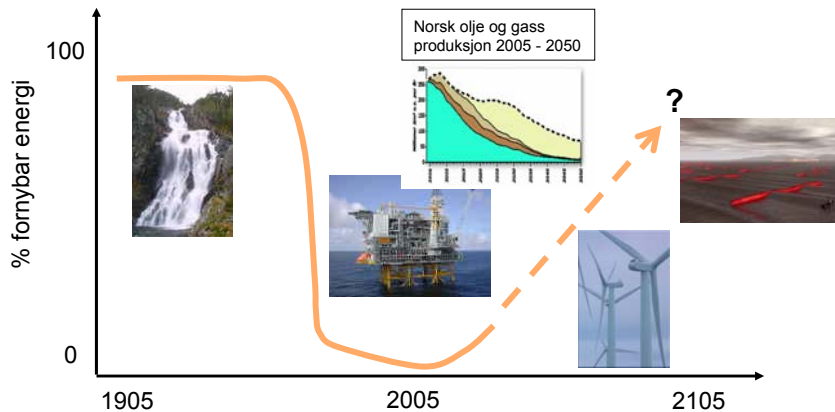
Install 40,000 1 MW_{peak} windmills each year
 30,000 MW_{peak} in place today, +30%/yr
 60 million hectares (7% of U.S.): multiple use

Potential Pitfalls:

NIMBY
 Changes in regional climate?

Fornybar Energi

– Vår primære energikilde i fortiden – også i fremtiden?



Senter for Fornybar Energi (SFFE)

- Senteret er **virtuelt, koordinerende** og **rådgivende** organ for undervisnings- og forskningsmiljøene ved NTNU, SINTEF og IFE innen fornybar energi



- SFFEs Styre kommer fra NTNU, SINTEF, IFE og industri



- Senteret rapporterer til NTNUs, SINTEFs og IFEs ledelse



SFFEs formål

Øke kvalitet, effektivitet og omfang av undervisning, forskning, utvikling og innovasjon innen fornybar energi i Norge

– ved å samordne eksisterende aktiviteter og etablere nye aktiviteter ved NTNU, SINTEF og IFE knyttet til kunnskapsutvikling, implementering og utnyttelse av fornybare energikilder og energiteknologier

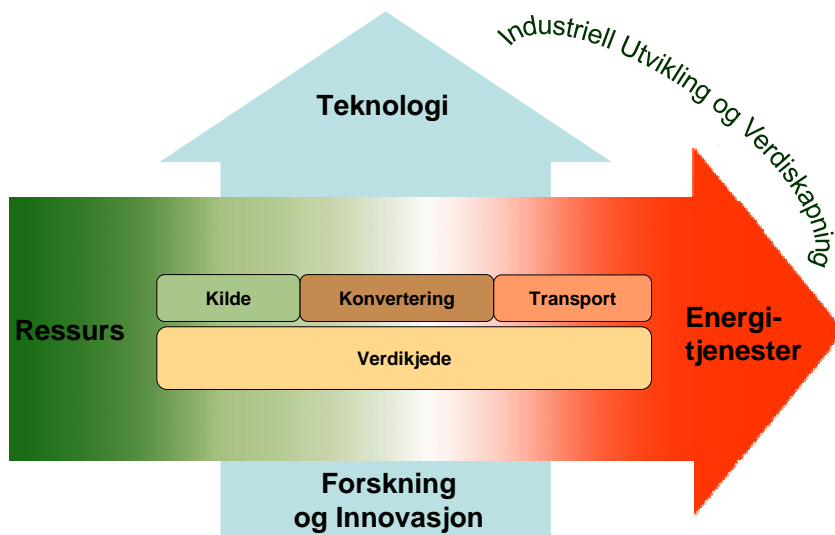
Visjon:

”Fornybar energi for et bedre miljø og økt verdiskaping”



Fornybar Energi

- Fra forskning og utvikling til innovasjon og nyskaping



Aktiviteter - prosjekter

- **SEEWEC**
 - Sustainable Economically Efficient Wave Energy Converter
- **FOXY**
 - Development of solar-grade silicon feedstock for X wafers and cells, by purification and crystallisation
- **WAVESSG**
 - Full-scale demonstration of robust and high-efficiency wave energy converter
- **EMINENT**
 - Early Market Introduction of New Energy Technologies by the OPET Network in Liaison with Science and Technology
- **DGFACTS**
 - Improvement of the Quality of Supply in Distributed Generation networks through the integrated application of power electronic techniques
- **WILMAR**
 - Wind Power Integration in Liberalized Electricity Markets
- **RELIANCE (TSO-Research)**
- **Nextgen BIOWASTE**
 - Innovative demonstrations for the next generation of biomass and waste combustion plants for renewable electricity production
- 2 SFI søknader 2005 Vind og Solceller
- 2 KMB start opp 2006
- *Tysk-Norsk Energiseminar Febr. 2006 - EU-Seminar 17./18. Mars 2006 -> 7 FP*
- *KUF på Gløshaugen i DAG!*

Tillegg

Energy scenarios

Ecologically driven energy scenarios

(C1: new renewables, C2: new renewables and new nuclear)

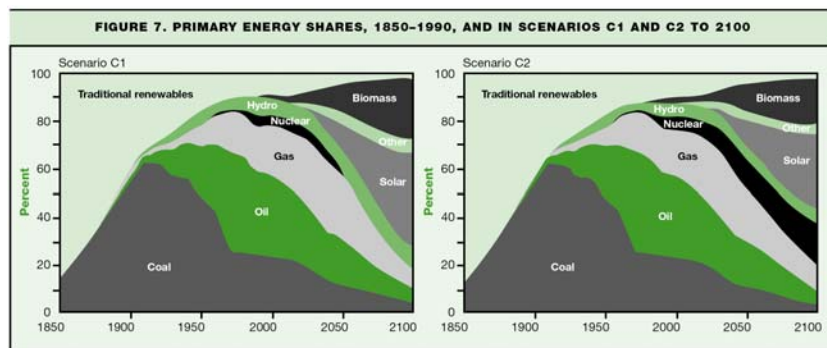


TABLE 7. STATUS OF RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES, END 2001

Technology	Increase in energy production, 1997-2001 (percent per year)	Operating capacity, end 2001	Capacity factor (percent)	Energy production, 2001	Turnkey investment costs (2001 US\$ per kilowatt)	Current energy cost	Potential future energy cost
Biomass energy							
Electricity	~ 2.5	~ 40 GWe	25-80	~ 170 TWh (e)	500-6000	3-12 c/kWh	4-10 c/kWh
Heat ^a	~ 2	~ 210 GWth	25-80	~ 730 TWh (th)	170-1000	1-6 c/kWh	1-5 c/kWh
Ethanol	~ 2	~ 18 bln litres		~ 450 PJ		(8-25 \$/GJ)	(6-10 \$/GJ)
Bio-diesel	~ 1	~ 1.2 bln litres		~ 45 PJ		15-25 \$/GJ)	10-15 \$/GJ)
Wind electricity	~ 30	23 GWe	20-40	43 TWh (e)	850-1700	4-8 c/kWh	3-10 c/kWh
Solar photovoltaic electricity	~ 30	1.1 GWe	6-20	1 TWh (e)	5000-18000	25-160 c/kWh	5 or 6-25 c/kWh
Solar thermal electricity	~ 2	0.4 GWe	20-35	0.9 TWh (e)	2500-6000	12-34 c/kWh	4-20 c/kWh
Low-temperature solar heat	~ 10	57 GWth (95 million m ²)	8-20	57 TWh (th)	300-1700	2-25 c/kWh	2-10 c/kWh
Hydro energy							
Large	~ 2	690 GWe	35-60	2600 TWh (e)	1000-3500	2-10 c/kWh	2-10 c/kWh
Small	~ 3	25 GWe	20-90	100 TWh (e)	700-8000	2-12 c/kWh	2-10 c/kWh
Geothermal energy							
Electricity	~ 3	8 GWe	45-90	53 TWh (e)	800-3000	2-10 c/kWh	1 or 2-8 c/kWh
Heat	~ 10	11 GWth	20-70	55 TWh (th)	200-2000	0.5-5 c/kWh	0.5-5 c/kWh
Marine energy							
Tidal	0	0.3 GWe	20-30	0.6 TWh (e)	1700-2500	8-15 c/kWh	8-15 c/kWh
Wave	-	exp. phase	20-35	0	2000-5000	10-30 c/kWh	5-10 c/kWh
Tidal stream/Current	-	exp. phase	25-40	0	2000-5000	10-25 c/kWh	4-10 c/kWh
OTEC	-	exp. phase	70-80	0	8000-20000	15-40 c/kWh	7-20 c/kWh

a. Heat embodied in steam (or hot water in district heating), often produced by combined heat and power systems using forest residues, black liquor, or bagasse.

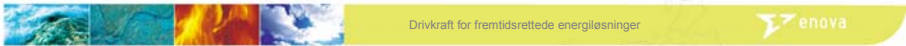
Source: W.C. Turkenburg, Utrecht University, Netherlands (March 2003), with contributions from Andre Faaij (Netherlands), Peter Fraenkel (United Kingdom), Ingvar Fraldrup (Iceland), Carls Hamelink (Netherlands), Geyer (Germany), David Mills (Australia), Jose Roberto Moreira (Brazil), Wim Sinke (Netherlands), Bart van der Kooij (Netherlands).



Planer for vindkraft i Norge – Enovas perspektiv

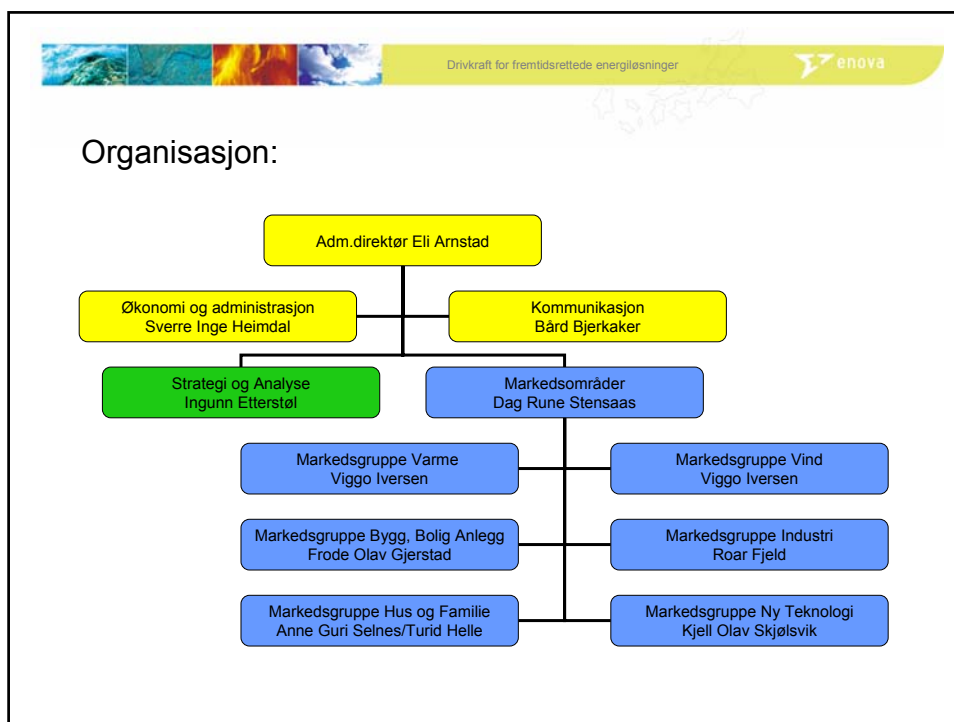
Dag Rune Stensaas
Enova SF


Vindkraft FoU Seminar – 20 TWh i 2020?, 26. januar Royal Garden Hotel



Enova SF:

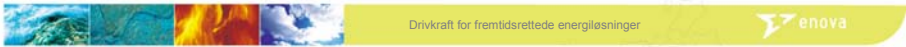
- Statsforetak eid av olje og energidepartementet etablert i Trondheim 01.01.2002
- Har som oppgave å bidra til en miljøvennlig energiomlegging i Norge
- Forvalter Energifondet (680 mill i 2006)
- Styreleder: Jørn Rattsø
- Adm.direktør: Eli Arnstad
- Resultatmål på 12 TWh innen 2010
 - 3 TWh Vind
 - 4 TWh Varme
 - 5 TWh redusert energibruk
- Resultat akkumulert til 6,5 TWh kontraktsfestet ved utgangen av 2005



Drivkraft for fremtidsrettede energiløsninger 

Aggregerte kontraktsfestede resultater 2001-2005 (GWh)

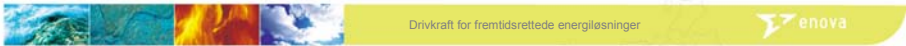
Program-område	2001	2002	2003	2004	2005	TOTAL T
Energibruk	372	171	428	646	988	2605
Vindkraft	120	80	123	649	585	1557
Varmeenergi	328	188	855	517	432	2320
Annen fornybar	0	0,7	0	35	18	54
TOTALT	820	440	1406	1848	2023	6536



Levetider og kostnadseffektivitet

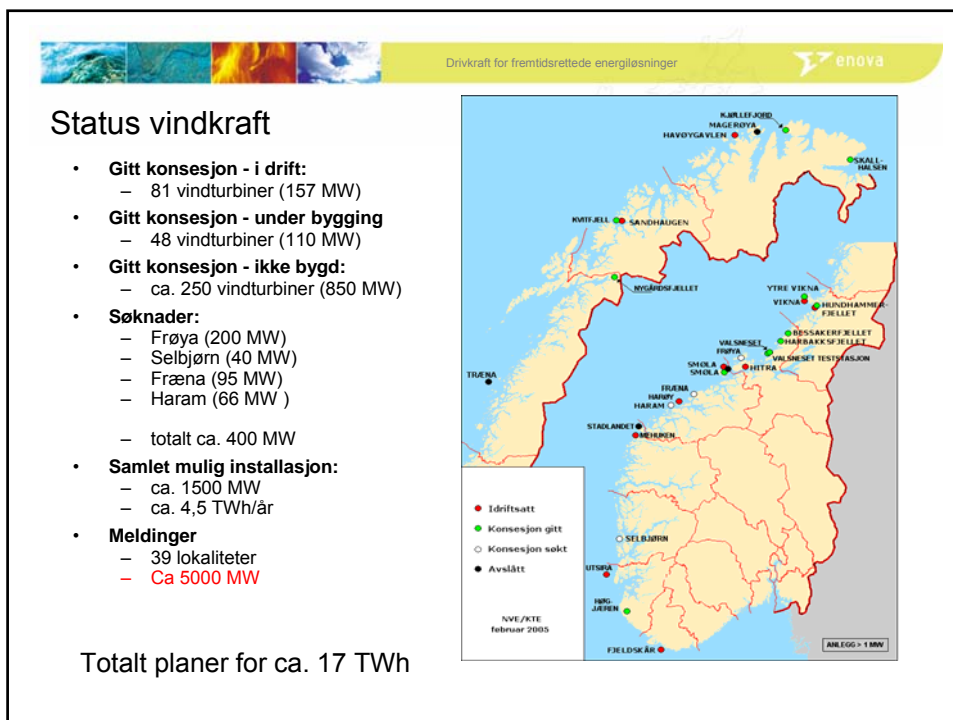
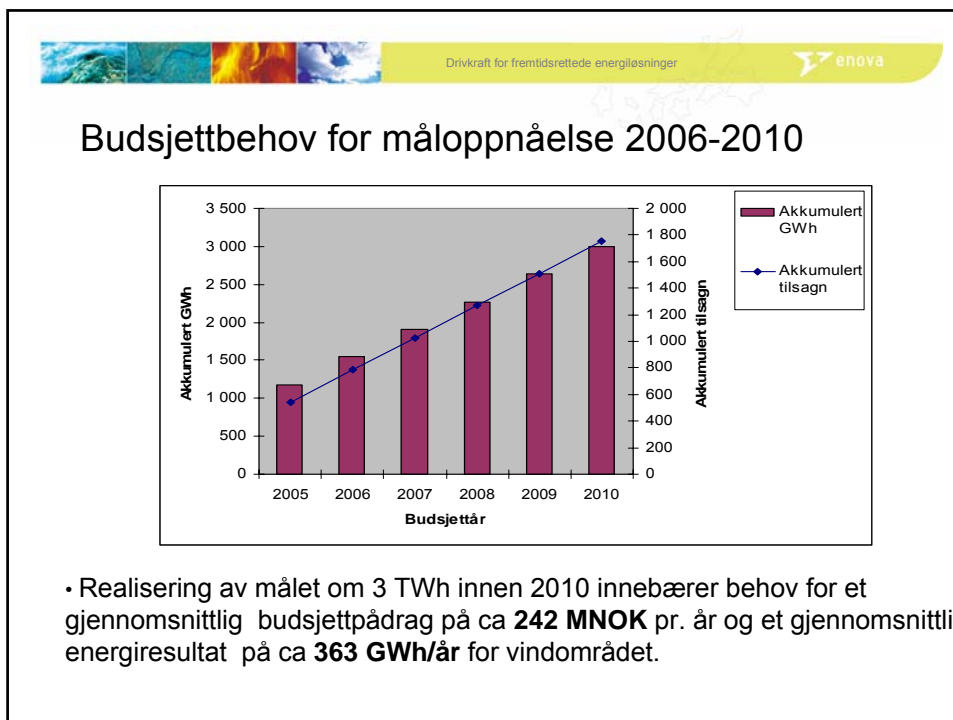
	LEVETID	2003		2004		2005	
		Kr/kWh	Kr/kWh*	Kr/kWh	Kr/kWh*	Kr/kWh	Kr/kWh*
Energibruk	10 år	0,24	0,024	0,22	0,022	0,21	0,021
Vindkraft	20 år	0,20	0,010	0,38	0,019	0,49	0,025
Varme	20 år	0,10	0,005	0,21	0,011	0,33	0,017
TOTALT	15 år	0,16	0,011	0,30	0,020	0,32	0,022

* Kostnadseffektivitet over levetiden



Status Enovas prosjektportefølje - vind

Aktør	Prosjekt	GWh/år	Støtte	Tilsagn	Status	%	Sannsynl. justert
Statkraft	Smøla 1	120	72	2001	Ferdig	100 %	120
Statkraft	Hitra	155	33,7	2003	Ferdig	100 %	155
NTE/ScanWind	Hundhammerfjellet	10	35	2003	Ferdig	100 %	10
Statkraft	Smøla 2	330	66,6	2003	Ferdigstillelse	95 %	313,5
Norsk Miljøkraft	Sandhaugen testfelt	4	2,9	2003	Ferdigstillelse	95 %	3,8
Nordkraft Vind	Nygårdsfjellet	24	4,2	2003	Ferdigstillelse	95 %	22,8
Statkraft	Kjøllefjord	155	86	2004	Besluttet	90 %	139,5
Statkraft	Skallhalsen	191	107,9	2004	Ikke besluttet	10 %	19,1
Nord-Trøndelag e-verk	Hundhammerfjellet	140	30	2004	Under bygging	50 %	70
TrønderEnergi AS	Valsneset	35,1	30,7	2004	Besluttet	90 %	31,59
TrønderEnergi AS	Bessakerfjellet	155	100	2005	Ikke besluttet	80 %	124
Nord-Trøndelag e-verk	Ytre Vikna	248,4	150	2005	Ikke besluttet	70 %	173,88
Sum løpende og avsluttede prosjekter		1567,5	719				1183,17
Norsk Miljøkraft	Kvitjell	660	130	2003	Avbrutt	75 %	





Grønne EI-sertifikater utsatt på ubestemt tid (eller for alltid ?)

- Bråbrems i markedet, ballongen er punktert!
- Til forandring fra forrige utsettelse er det ingen ny dato å forholde seg til
- Alles øyne rettes mot Enova!
- Tydelig tilbake fra utenlandske turbinleverandører. Det norske markedet er beheftet med for høy politisk risiko. Dette kan føre til at industrien ikke legger ressurser i å tilpasse sin teknologi for norske forhold. For stor politisk og værmessig risiko ift markedspotensialet.



Hva skjer framover - Norsk Vindkraftbransje nede for tellinging ?





Viktig med fortsatt og forsert utbygging av vindkraft fordi:

- Norge trenger et mer diversifisert energisystem.
- DVS:
 - Flere energisystemer
 - Flere energikilder
- Vindkraft er en fornybar energiressurs som, i tillegg til en del vannkraft, ligger nærmest kommersiell lønnsomhet



Utfordringer for vindkraft i Norge :

- Areal og næringsinteresser:
 - Forsvarsinstallasjoner
 - Reindrift
- Miljø og kulturminner
- Økonomi
- Nettkapasitet
- Ustabile rammebetingelser

						
Navn prosjekt	Fylke	Kommune	Installert effekt (MW)	Forsvaret	Miljø og kulturminner	Rein drift
Båtsfjord	Fin.	Sør-Varanger	250	C/D	E	C
Hamnefjell	Fin.	Båtsfjord	5			
Laksefjorden	Fin.	Lebesby	100	A	B	C/D
Digermulen	Fin.	Gamvik	100	A	D	C/D
Hammerfest	Fin.	Hammerfest	110			D
Fakken	Tr.	Karlsøy	60	A	B	C
Andmyran	No.	Andøy	200	D/E	D	
Røst	No.	Røst	6	A	E	
Frøya	Sør-T	Frøya	200	A	D	
Fræna	MogR	Fræna	100	B	E	
Haramsfjellet	MogR	Haram	66	A	D	
Selbjørn	Hord.	Austevoll	40	A	C	
Store Kalsøy	Hord.	Austevoll	9	A	C	
Kvalvåg	Hord.	Austevoll	6	A	C	
Stolmen	Hord.	Austevoll	6	A	C	
Tysvær	Rog.	Tysvær	39	A	B	
Royrmyrå	Rog.	Hå	2			
Friestad	Rog.	Hå	1,5			
Lista	V-Agd	Farsund	102	B	E	

	
<p>All energiproduksjon har synlige virkninger:</p>	
	

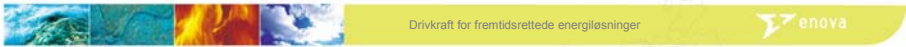


Drivkraft for fremtidsrettede energiløsninger 

Vi må tåle å se vindmølleparker langs kysten!

Vindkraft forstyrrer landskapet, men fornuftig utbygging av vindkraft er akseptabelt miljømessig hvis man sammenlikner med alternativet.

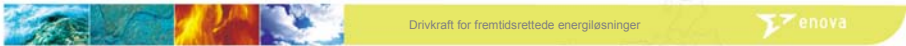




Oppsummering

Enova mener en fortsatt utbygging av vindkraft er viktig og riktig – i samspill med utbygging av fjern/nærvarme og tiltak for redusert energibruk

- Behov for videre støtteordninger/økte bevilgninger om ikke vindkraftutbyggingen skal stoppe opp. Enova vil være en pådriver i forhold til dette!
- Stigende energipriser og fortsatt teknologiutvikling vil etter hvert redusere behovet for offentlig støtte til vindkraft.
- I forhold til alternativene har vindkraft akseptable miljøkonsekvenser.



Takk for oppmerksomheten !

Vindkraft, natur og politikk - kamper om eksternaliteter

Jøran Solli
Institutt for tverrfaglige kulturstudier
NTNU

Disposition

- Background: localisation politics
- What is done?
- Difficulties collaborating in this work. Why?
- Conclusion

Why localisation politics?

- A high number of applications in the planning system
- High intensity in localisation conflicts
- Environment officials have been vocal for a general plan for years
- Accumulate knowledge on environmental impacts

What is in a plan?

Strong disagreements:

- MD and bodies managing plan and building act and
- OED and NVE managing the energy act and having the licensing authority:

A bit by bit development, a general, ("samla") plan or something halfway between?

A struggle of externalities: what kind of environmental impacts counts?

How should the work on creating new politics of locational planning relate to this?

Data for analysis

Interviews with environment planning officials, politicians, environmental org. in Norway and Scotland

A range of different written sources serves as background for interviews and also continuously feeding the process of analysis

- Political documents and reports
- Research reports
- Policy guidelines
- Applications/Project outlines
- Media reports on “Wind Energy”
- Controversies unfolding in local newspapers

Political signals

- Thematical conflict assessments
 - Goal: a more interconnected assessment of impacts of the planned installations
 - Methods and criteria for implementation: OED in consultation with MD and NVE a.o.
 - DN and RA will implement these assessments in the environmental sector

Political signals

- National localisation guidance
 - Goal: stimulating local councils and county authorities to actively assess suitable areas for wind power purposes
 - Make clearer what considerations should be emphasised in the assessments done by the developers and NVE and the planning authorities
 - These directives are to be made by MD in consultation with the energy authorities

Cumulative impacts - Visibility

Landscape-aestehical impacts adressed

- Norway: "The Propeller Coast"
- Scotland: "Wind Mills on every hill"

Adresses the lack of holistic localisation guidance



“Where is it ugly?”

The difficulty of negotiating and ordering aesthetics

DN and Naturvernforbundet should talk less about nature in terms of «untouched/exploited»

Rather: «matter in place – matter out of place»

Doing localisation politics

- An arena of struggle and negotiation
- Agreement
 - On the strength of the norwegian planning system in terms of arranging public meetings
 - But also that the planning system is rigid and demanding in terms of resources
 - A lack of knowledge on some types of nature environment impacts e.g. birds and also impacts on cultural environments
- Disagreement
 - What to include in the thematic conflict assessments: the scope of it and the amount of resources needed

Modes of managing controversies

Scotland: Wind developers/industry + Environment/
Nature Conservation officials + national politicians:

A collaborative mode

Growing conflict:
between local councils, anti-wind org. \longleftrightarrow
and the national institutions determined to reach national aims

Modes of managing controversies

- Norway: A dividing line between Ministry of Petroleum and Energy and the Ministry of Environment. Also internal split among the environmental org. between nature conservationist and climate political orientation :

Double dividing mode

Growing conflict: local councillors wanting wind farms in their backyards and regional environmental government

Politics by disagreement

- Disagreements are not bad, depends on what you make out of them
- How can the nature research side and the energy side do politics by disagreement?

Latours normative modell

	Naturtinget	Samfunnstringet
	<i>Fakta</i>	<i>Verdier</i>
Første kammer: Ta i betraktning	Undring 1	2 Konsultasjon
Andre kammer: Rangere	Institusjon 4	3 Hierarki

(Politics of Nature 2004)

Latours normative modell

Du skal forsikre deg om at antallet stemmer som deltar i å formulere proposisjoner ikke blir tilfeldig begrenset

Du skal ikke forenkle antallet proposisjoner som det skal tas hensyn til i diskusjonen

	Natur-tinget	Samfunnstinget
	Fakta	Verdier
Første kammer: ta i betraktning	Undring 1	2 Konsultasjon
Andre kammer: rangere	Institusjon 4	3 Hierarki

Når proposisjonene har blitt institusjonalisert skal du ikke lenger stille spørsmål ved deres legitime tilstedeværelse i hjertet av samfunnet

Du skal diskutere sammenlignbarheten ved nye proposisjoner med de som allerede er institusjonalisert, på en slik måte at de opprettholdes i den samme felles verden som gir dem deres legitime plass

Naturforskningssiden

- Modellen:
 - Klar arbeidsdeling mellom vitenskap og politikk
 - Sitter fast i det gamle tokammersystemet
 - Faktaproduksjon- kartlegge antall arter, sjekke rødlista
 - Ikke mer diskusjon. Ønsker å holde politikk og verdier utenfor
 - Insisterer på faktas robusthet

GAMMEL TOKAMMERINDELING

Fakta	Verdier
Undring 1	Konsultasjon 2
4 Institusjon	3 Hierarki

Neglisjerer dialogen med verdier

Energisiden

Modellen:

GAMMEL TOKAMMERINNDELING

Fakta	Verdier
Undring 1	Konsultasjon 2
4 Institusjon	3 Hierarki



- Relativt klar arbeidsdeling mellom forskning/teknologi og miljøpolitikk

Sitter også fast i det gamle tokammersystemet

- Mest mulig energiproduksjon
- Bygge der det mest vind
- Ønsker å holde ørn og estetikk utenfor
- Insisterer på faktas robusthet



Neglisjerer dialogen med verdier

Conclusion

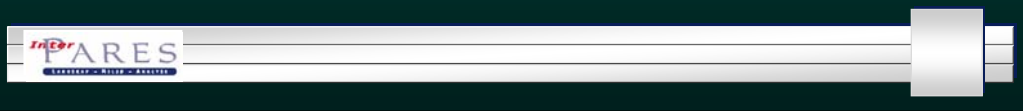
The ongoing work of constructing localisation politics are made difficult by different ways of shortcutting the political

- Environment side represented by nature researchers and their fundamental principals
- Energy side by production targets and øre/kwh

There may be more hope for the energy side breaking out of the two-chambered thinking as they are populated by pragmatic engineers.

Husk: **Fornuften** er en ensom ting. Hvor ofte er man ikke alene om å stole på den!

Ord for dagen: vindkraftverk og landskapsestetikk



Hva handler dette om?



Dagbladet.no Innenriks

Du er her: Dagbladet.no » Nyheter » Innenriks

Søk Dagbladet Sikt

Sist oppdatert: Onsdag 25.01.2006, 13:38

NYHETER

- Innenriks
- Utenriks
- Siste 2 dager
- Arkiv

FORSIDEN

NYHETER

SPORT.no

FOTBALL

KULTUR

PÅ DIN SIDE

- KUNNSKAP
- MAGASINET
- WEBLOGG
- MENINGER
- BLOGGING.no

Spill

Dil/trafikk

Helse/samliv

Litteratur

Musikk

Odde/ops

Reise

Vin

Blink

Noen som passer for meg

Ny: HEI!

Weblogg

Spilllogg

Opprop.no

Snakk

Humor911

Pondus

123 spill

Litt lettere

Pluss

nett pris

annonse

Vinn en Hyundai Getz og billetter til VM i fotball 2006

FOR WOLFGANG BERGMANN SCOP

Chrysler

- Største angrep på norsk natur siden 20-tallet

Kilder: NVE

VINDKRAFT-KYSTEN: Grafikken viser en oversikt over alle vindkraftprosjekter i Norge som enten allerede er bygget, er under planlegging eller hvor søknad om konsesjon er under behandling. De svarte møllene viser områder hvor søknad er avslått.

Grafikk: Dagbladet

Krass kritikk av vindmølleprosjekter.

NANNA BALDERSHEIM

Onsdag 25.01.2006, 13:17

oppdatert 13:29

MEST LEST

NYHETER

- Fant hvalbar verd to millioner
- Prøveskiet for han drepte

Chrysler

FARES

FARES

Dagbladet.no Innenriks

Du er her: Dagbladet.no » Nyheter » Innenriks

Søk Dagbladet Sikt

Sist oppdatert: Onsdag 25.01.2006, 13:38

NYHETER

- Innenriks
- Utenriks
- Siste 2 dager
- Arkiv

FORSIDEN

NYHETER

SPORT.no

FOTBALL

KULTUR

PÅ DIN SIDE

- KUNNSKAP
- MAGASINET
- WEBLOGG
- MENINGER
- BLOGGING.no

Spill

Dil/trafikk

Helse/samliv

Litteratur

Musikk

Odde/ops

Reise

Vin

Blink

Noen som passer for meg

Ny: HEI!

Weblogg

Spilllogg

Opprop.no

Snakk

Humor911

Pondus

123 spill

Litt lettere

Pluss

nett pris

annonse

Vinn en Hyundai Getz og billetter til VM i fotball 2006

FOR WOLFGANG BERGMANN SCOP

Chrysler

- Største angrep på norsk natur siden 20-tallet

Kilder: NVE

VINDKRAFT-KYSTEN: Grafikken viser en oversikt over alle vindkraftprosjekter i Norge som enten allerede er bygget, er under planlegging eller hvor søknad om konsesjon er under behandling. De svarte møllene viser områder hvor søknad er avslått.

Grafikk: Dagbladet

Krass kritikk av vindmølleprosjekter.

NANNA BALDERSHEIM

Onsdag 25.01.2006, 13:17

oppdatert 13:29

MEST LEST

NYHETER

- Fant hvalbar verd to millioner
- Prøveskiet for han drepte

Chrysler

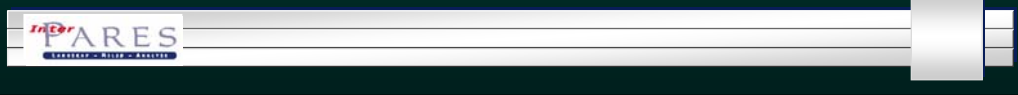
FARES

FARES

The screenshot shows a news article on the website 'innenside.no'. The main headline is '- Største angrep på norsk natur siden 20-tallet'. Below the headline, there is a large image of wind turbines. Overlaid on this image in blue text is the sentence: 'Dette er ikke dagens tema'. At the bottom of the page, there is a logo for 'FARES' with the tagline 'Landskap - Rulle - Skille'.

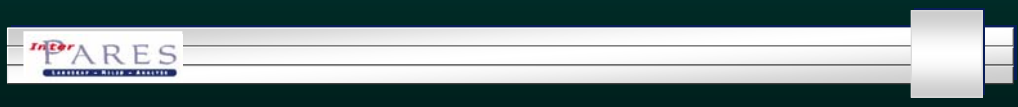
This screenshot is identical to the one above, showing the same news article on 'innenside.no'. However, the blue text overlay now reads: 'Dagens tema: gitt at utbygging av vindkraft skal gjennomføres, hvordan da best ivareta landskapsestetiske hensyn?'. The 'FARES' logo and tagline are also present at the bottom.

En selvransakelse 8 år etter:
Er prinsippene fra den gang
fortsatt gyldige?



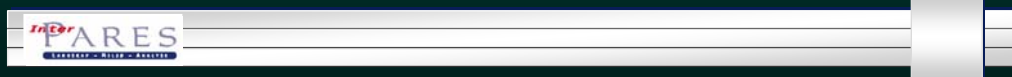
Vurdering av fire faktorer :

- Visuell influens og visuell dominans
- Oppstillingsmønstre
- Møllestørrelse
- Mølledesign



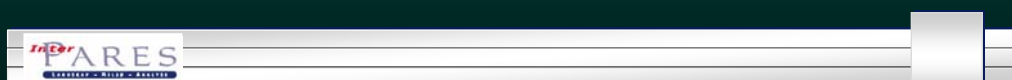
Visuell influens

- "På større avstander enn ca. 6 km vil vindmøllene sjelden være særlig fremtredende" (NVE veileder 19:98 "Vindkraft - en generell innføring")
- Det har blitt en del bråk omkring disse grensene
- Noen mener at visuell influens = synlighet
- En slik bruk av begrepet vanner ut forståelsen av hva visuell influens er



Visuell influens

- 6 km viste seg fort å være i snaueste laget
- Vi har lenge brukt 8 km som "standard"
- Som HOVEDREGEL er dette i det store og hele en fornuftig grense - men det kan nok i enkelte tilfelle være rimelig å strekke influensgrensen enda litt lenger
- 10 km bør i de aller fleste sammenhenger være tilstrekkelig



Visuell influens

- Når kan det være grunn til å øke grensene for visuell influens?
 - Når vindparken står slik at den er det ene naturlige blikkfanget i utsiktsretningen
 - Når det er få eller ingen andre innslag i landskapet som fanger oppmerksomheten
 - Kanskje rundt HELT spesielle kulturmiljøer der landskapet som omgir det er like viktig som det lokale miljøet i seg selv





Visuell dominans

- "Den visuelle dominanssonen rekker ut til den avstanden der vindmøllen ikke lenger fyller hele synsfeltet, men der også omgivelsene begynner å sette sitt preg på inntrykksbildet. For vindmøller regnes denne sonen ut til 10 - 12 ganger høyden på vindmøllen" (NVE veileder 19:98 "Vindkraft - en generell innføring")

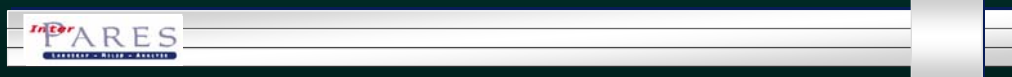
Visuell dominans

- Avstand er nok alt i alt den viktigste faktoren, men disse faktorene er nok relativt sett viktigere enn vi den gang anga:
 - Den samlede massevirkningen av et stort antall synlige møller øker dominansgraden vesentlig
 - Møller med en fremskutt plassering, gjerne høyt i terrenget, dominerer mer enn andre
 - Møller i naturlig utsiktsretning er mer dominerende enn i "baklandet"



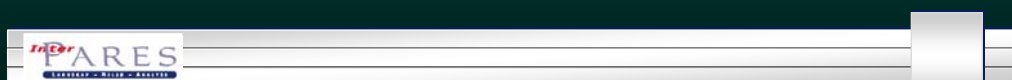
Oppstillingsmønstre i Norge - opprinnelig vurdering:

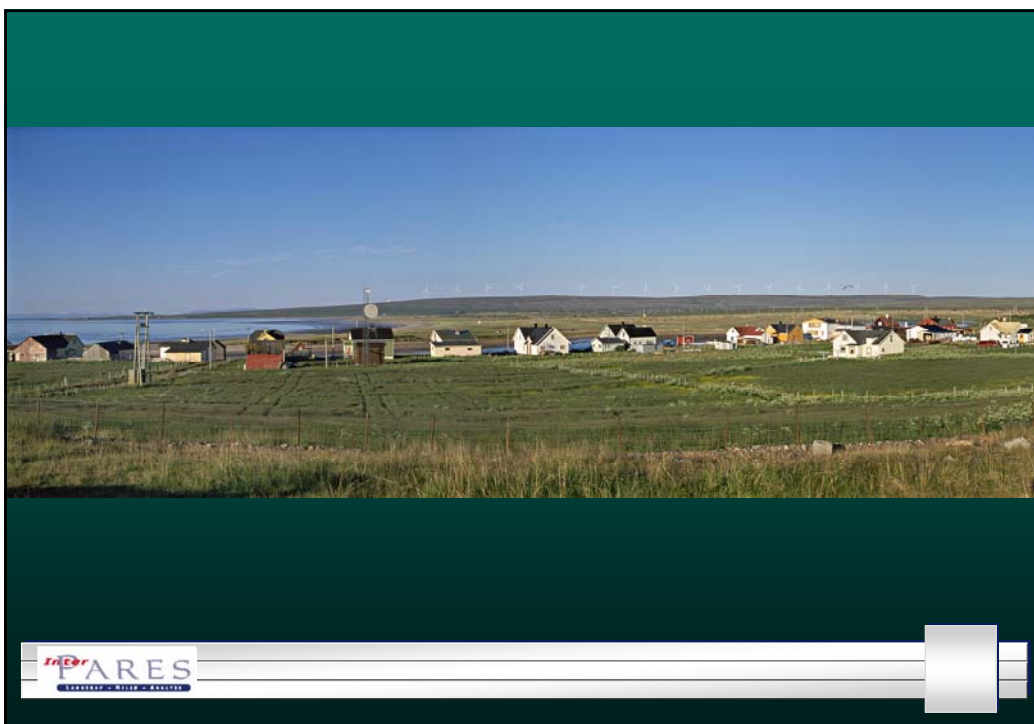
- Ikke overfokusere på geometriske mønstre
 - Mønsteret er oftest mye mindre fattbart enn man ville tro
 - Heller ikke ulik fundament høyde på møllene har så mye å si (innenfor rimelighetens grenser)
 - Antall synlige møller og innbyrdes avstand viktigst



Oppstillingsmønstre i Norge - erfaringer:

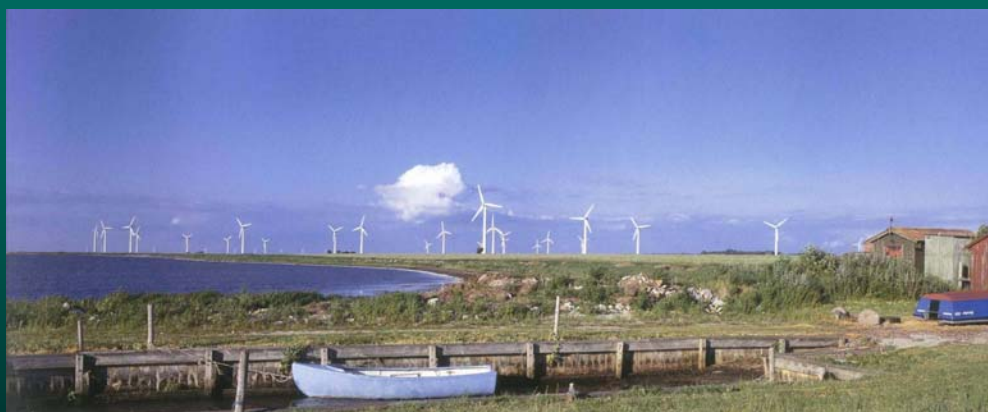
- I all hovedsak stemmer disse vurderingene også i norsk praktisk virkelighet
- Unntaket kan være der:
 - Landskapet er svært homogent og flatt
 - Mønsteret er så enkelt at det bare utgjør én enkelt rekke

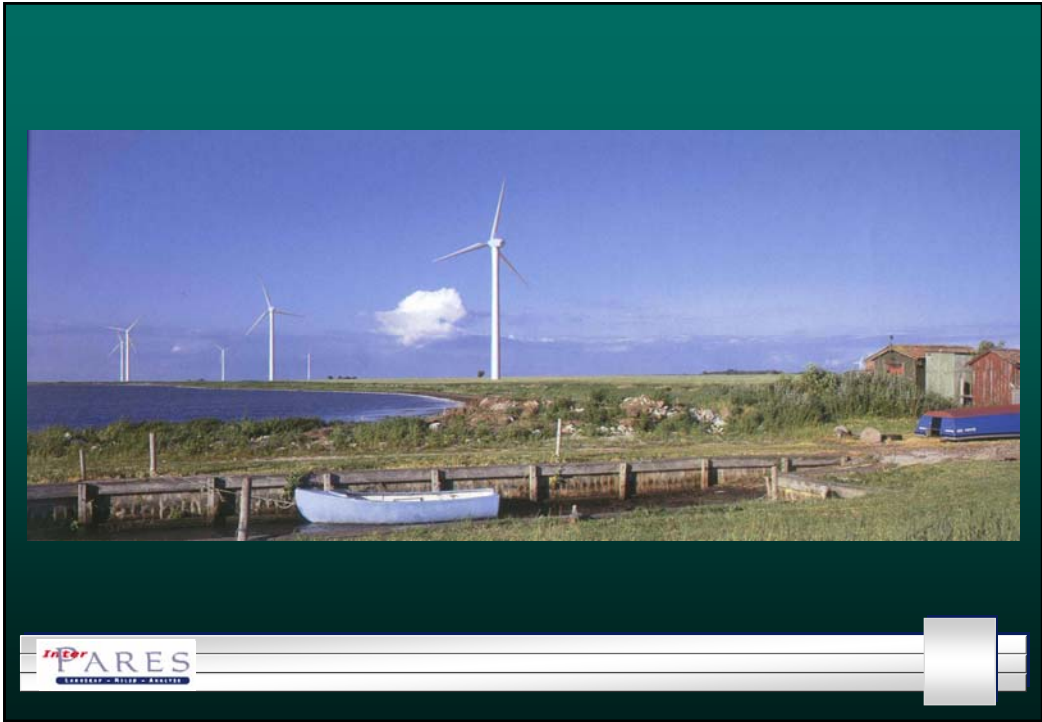




”Få og store vindmøller er en fordel fremfor mange og små”

- Roligere inntrykk - færre møller
- Mer ”rom og luft” mellom møllene
- Store møller har lavere omdreingshastighet enn små





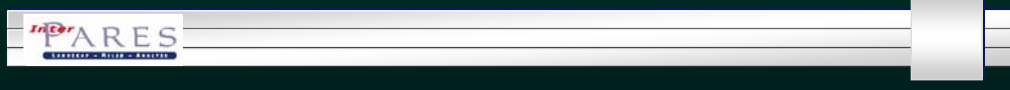


”Unntaket som bekrefter regelen”:

- Når store møller stikker opp over horisonten der man helst skulle vært foruten innsyn til møllene
- Når en eller flere møller står spesielt dominerende plassert i forhold til nærliggende bebyggelse

En annen interessant observasjon:

- Når møllene blir så store som de vi opererer med for tiden, skal det betydelige økninger til i dimensjonene for at forskjellen skal kunne oppfattes i virkeligheten





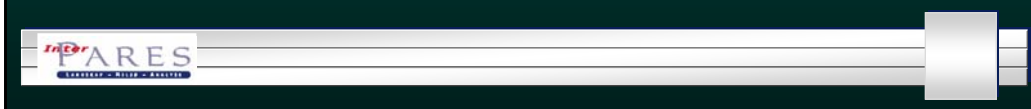
Mølledesign – erfaringer og observasjoner:

- Prinsippet navhøyde = rotordiameter for harmonisk utseende:
 - Mer robust for slingringsmonn enn det som ble antatt i utgangspunktet
 - Yttereksempel 1: tårnhøyde 105 m, rotordiameter 90 m. Gir et "normalt" inntrykk
 - Yttereksempel 2: tårnhøyde 65 m, rotordiameter 90 . Gir også et "normalt" inntrykk



Mølledegn – erfaringer og observasjoner:

- Selve designen på møllen er viktigere enn det opprinnelig ble fokusert på
 - Et smekkert møllehus gir bedre visuelt inntrykk av hele anlegget
 - Slanke tårn gjør anlegget "lettere"





Wind energy research at SINTEF/NTNU/IFE

John Olav Giæver Tande

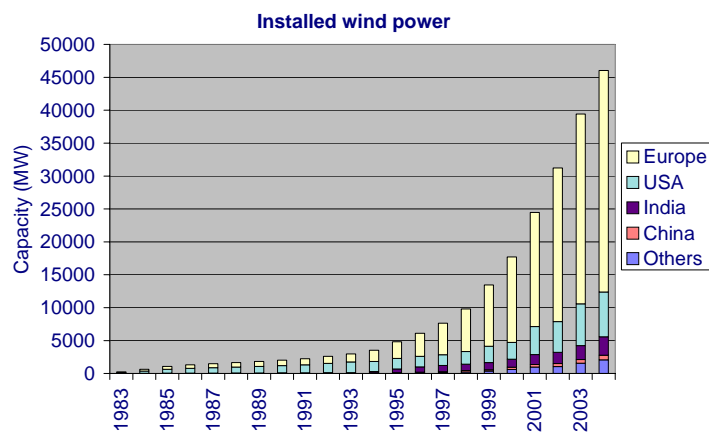
SINTEF Energy Research

7465 Trondheim, Norway

Phone: +47 73 59 74 94; Fax: +47 73 59 72 50

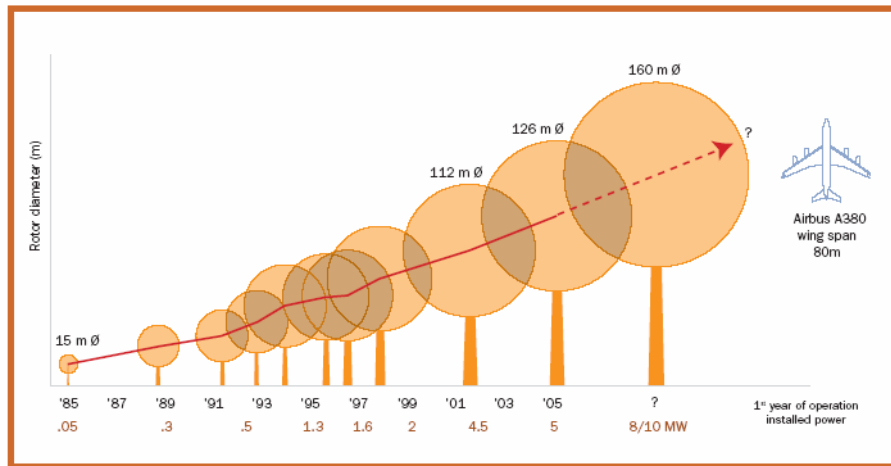
john.o.tande@sintef.no

Wind energy - the fastest growing energy technology



EWEA press release 03-2004: “.. even on a conventional scenario the total wind power installed worldwide could quadruple from 40GW to **160GW by 2012**. The next ten years will also see a broadening of the global wind energy market to engage a spread of new countries..”

Rapid technology development

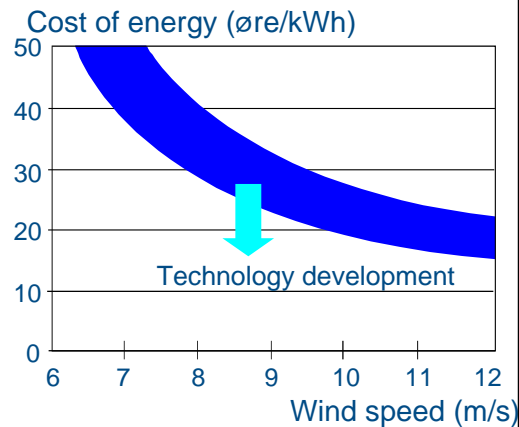


Wind is becoming commercial attractive

- **Manufacturers:**
Local (1980) ~ Corporations (2000); total turnover ~ 50 GNOK/år
Top 5: Vestas, Enercon, Gamesa, GE, Simens
- **Technology:**
50 kW (1980) ~ multi MW in large wind farms (2000);
same concept (HAWT); more advanced design
- **Cost:**
+100 øre/kWh (1980) ~ 25-35 øre/kWh (2000 – Norwegian conditions)
- **Support schemes:**
direct support about to be phased out; replaced by green certificates

Wind technology still needs to be developed

- Technology must be developed for improved reliability and reduced cost (Design, Manufacturing, Installation, Operation and Maintenance)
- Technology must be adapted to new markets (Strong wind, Complex terrain, Weak grids, Cold climate, Offshore, High penetration, ..)

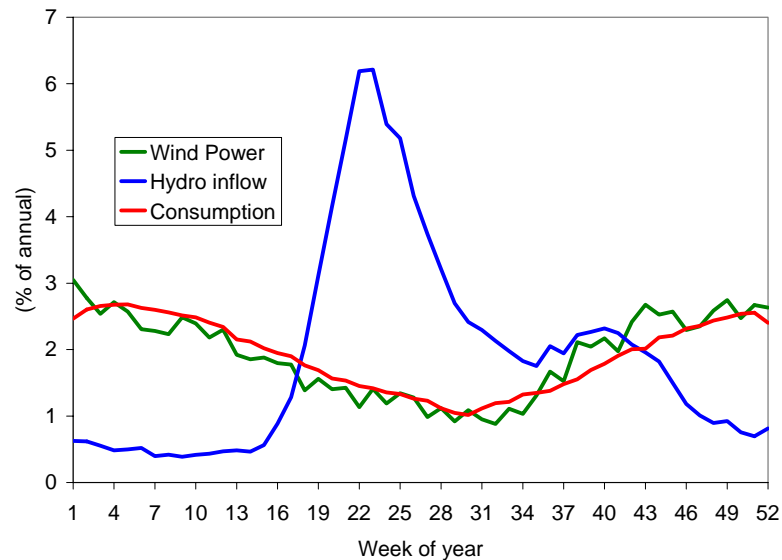


Norwegian wind energy potential

- Very good wind conditions – wind farms will produce +3000 full load hours
- Theoretical potential according to resource study + 1000 TWh/year (annual electricity consumption in Norway is ~ 120 TWh)
- Official target is 3 TWh wind energy production in 2010
- Development is just started: 270 MW (0.8 TWh) was installed by mid 2005; + 15 TWh is in planning
- Installation of new wind farms depend on introduction of green certificate scheme, expected to be in operation by 2007
- Vision for wind energy use in Norway is 20 TWh by 2020 (land and offshore)



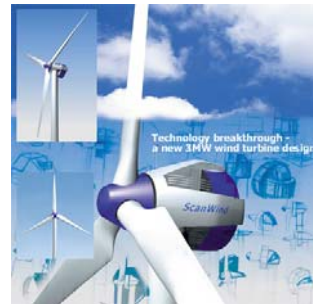
WIND AND HYDRO – A WIN-WIN CASE



Wind power in Norway – challenges

- Development of wind farms:
 - Weak grids
 - Strong wind
 - Complex terrain
 - Cold climate
 - Public acceptance
 - Economics

- Development of Norwegian wind industry: (export ~400 mill NOK in 2004)
 - ScanWind; large wind turbines (+ 3 MW)
 - Devold AMT; fibreglass for blade production
 - Kristiansands Jernstøperi (Windcast/Vestas); cast iron components
 - Umoe Ryving; wind turbine blades (+34 m)
 - SmartMotor; advanced generator technology
 - Hydro and Sway; floating offshore wind turbine
 - etc



SINTEF, IFE and NTNU cooperate in wind energy R&D

- Basis for cooperation is need for coordinated Norwegian wind energy R&D; cooperation gives complementary know-how and strength
- Wind power centre of competence; agreement signed 2001 by NTNU, IFE and SINTEF Energy Research
- NFR KMB "Development of Norwegian wind power technology" (2001-2005) with Statkraft, Umoe Ryving and Norsk Hydro; total budget ~12 mill NOK incl 2 phd;
www.energy.sintef.no/prosjekt/vindkraftteknologi/index.asp
- NFR "Strategic wind power programme" (2003-2007); total budget ~20 mill NOK incl 7 phd and 1 post doc;
www.energy.sintef.no/prosjekt/SIP/SIP_JOT/wind.asp
- Test station for wind turbines at Valsneset (VIVA AS) with support from Enova and TrønderEnergi
- Wind power electro-technical lab (NTNU & SINTEF) – Gemini centre
- Centre for renewable energy (NTNU & SINTEF) www.ntnu.no/sffe/
- Total annual wind R&D at SINTEF, NTNU and IFE is 20 MNOK

Norwegian Wind Energy R&D will be Strengthened

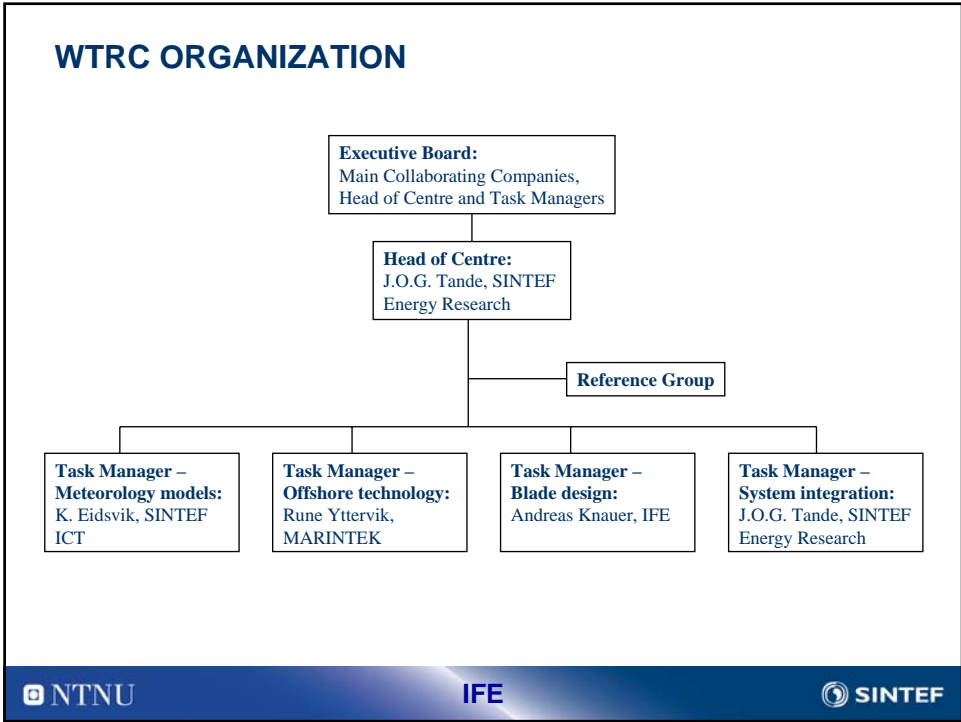
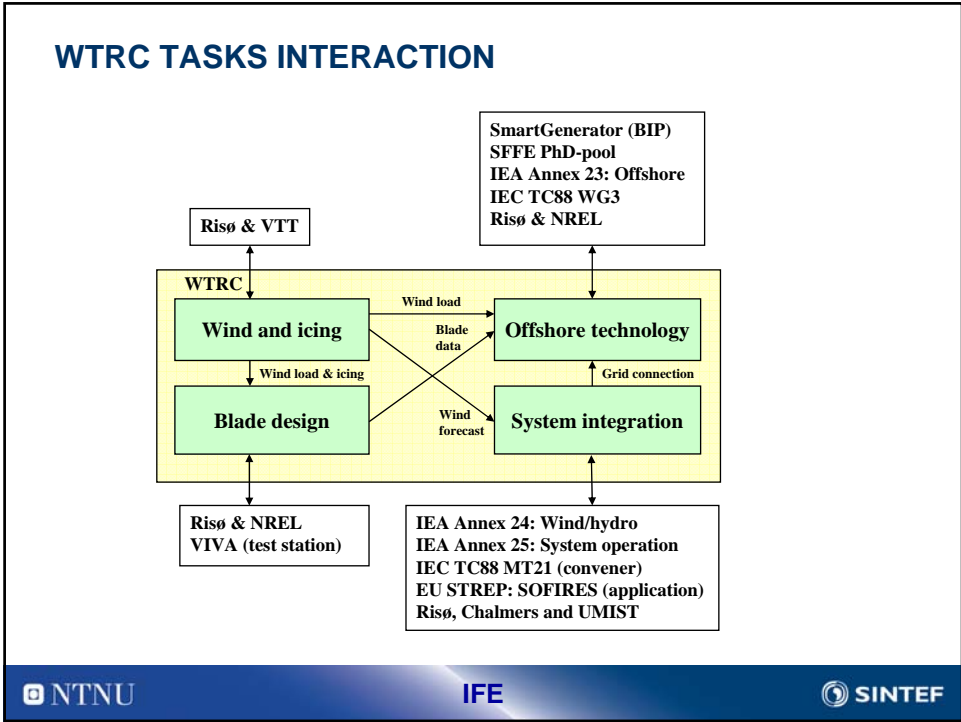
- Norwegian wind energy R&D will be strengthened to match the potential for industrial development and wind energy use
- Continue cooperation between NTNU, SINTEF and IFE
- Increase participation in EU-projects and other international cooperation (working groups, research exchange, etc)
- Establishment of Wind Technology Research Centre – 8 year/~20 M€, in cooperation with industry; planned start-up by fall 2006 pending on grant from Norwegian Research Council

Wind Technology Research Centre

- The vision is rational large scale exploitation of the wind energy potential in Norway, both land-based and offshore, that maintains environmental commitments and future security of electricity supply and built on Norwegian innovative industrialized solutions and technology.
- The main objective for the Wind Technology Research Centre is to enhance Norwegian industrial development as a supplier to the wind energy sector (domestic and export markets), but also securing rational development and operation of wind farms in Norway.
- A coordinated research effort as suggested has the right timing in that the Norwegian industry and research institutes have demonstrated relevant competence and that the international wind industry still sees significant challenges related to wind farms in tough climate, offshore and large scale integration.
- The proposed efforts are required for coordinating Norwegian wind power research, secure rational development of wind farms and enhance possibilities for industrial developments.

Wind Technology Research Centre

- **Task A: Methods for estimating wind and icing at wind farm sites**
 ⇒ Supercomputer models for site assessment and online forecast
 SINTEF ICT, Institute for Energy Technology (IFE), Norwegian University of Science and Technology (NTNU), met.no, Kjeller Vindteknikk, NTE, Statkraft, Hydro, Energi E2
- **Task B: Deep sea offshore wind turbine technology**
 ⇒ Innovative wind turbine support structure and control
 MARINTEK, SINTEF Energy Research, IFE, NTNU, Hydro, Statkraft, Aker Kværner Verdal, Veritas (DNV)
- **Task C: Wind turbine blade materials and design**
 ⇒ Cost effective lightweight multi-MW blades for tough conditions
 Partners: IFE, SINTEF Materials & Chemistry, NTNU, Umoe Ryving, Devold AMT, Jotun
- **Task D: Power system integration of large amounts of wind power**
 ⇒ Technology and market solutions for cost effective integration
 SINTEF Energy Research, NTNU, Statnett, Statkraft, Hydro, ScanWind, NTE, Energi E2



Wind Technology Research Centre

Budget plan over eight year period

- Industry / developers research: 23,1 mill NOK
- Research SINTEF / IFE / met.no: 94,9 mill NOK
- University PhDs: 16,8 mill NOK
- Equipment and others: 15,6 mill NOK
- **Total** **150,4 mill NOK**

Finance plan over eight year period

- Norwegian research council: 75,2 mill NOK
- Industry / developers: 57,9 mill NOK
- SINTEF / IFE / NTNU / met.no: 17,3 mill NOK
- **Total** **150,4 mill NOK**

OUTLOOK EWEA/Greenpeace (Wind Force 12)

- 1.2 million MW of wind power worldwide by 2020
- 12 % (3000 TWh) of the world's electricity requirements by 2020
- create 2.3 million jobs worldwide
- reduce CO₂ emissions by more than 10 billion ton
- world market increase from present 8 to 80 billion Euro by 2020
- 20 % this total capacity would be installed in Europe

WIND POWER IN NORWAY SUMMARY

- Large areas with high average wind speeds – theoretical potential according to resource study + 1000 TWh/year (annual electricity consumption in Norway is ~ 120 TWh)
- Hydro-based system is excellent counterpart to wind
- On good Norwegian sites wind energy can be the least cost option for new electricity generation (0.20 NOK/kWh)
- Official target is 3 TWh wind energy production in 2010
- Slowly starting - 270 MW (0.8 TWh) was installed by mid 2005
- Introducing green certificates will accelerate development
- Total planned projects by mid 2005 was +15 TWh
- Potential for development of Norwegian industry (ScanWind, Devold, Kr.sand Jernstøperi, Umoe, ++)
- Vision for wind power in Norway by 2020 is 20 TWh (land + offshore)
- Norway can be a leading wind energy country - development requires heavy long-term efforts – strong international competition

Drift og vedlikeholdsoppfølging av vindkraftverk

FoU Prosjekt "Driftssikkerhet for Vindturbiner"

LENE MOSTUE

Vindkraft FoU Seminar Trondheim 27.01.06



Bakgrunn

- Initiert av EBL, basert på innspill fra aktuelle vindkraftaktører i Norge.
- Behov for et leverandørnøytralt system for driftsoppfølging og tilstandsvurdering.
- Store utfordringer knyttet til vedlikehold
 - Rask teknologiutvikling
 - Økende størrelse på møllene
 - Kort erfaringsbase for utstyr/(lite utprøvd)
 - Forventet levetid av komponentene er betydelig kortere enn innen tradisjonell vannkraft.
- Erfaringsgrunnlag fra andre land lite relevant
 - Norske vindkraftturbiner utsatt for tøfft klima – og vindforhold sammenliknet med andre land.
- Ønsker å bruke erfaringer og adoptere metodikk og verktøy for vedlikehold og driftsoppfølging fra vannkraftsiden.



Basis i annen FoU aktivitet

- EBLs kodeplan for vannkraftverk og kraftnett
 - Funksjonsorienterte komponentkoder
 - Behov for oppdatering/utvidelse ivaretas av en arbeidsgruppe
- EBLs tilstandskontrollhåndbøker for vannkraftverk
 - Beskrivelse av skade-/feilmekanismer og feilårsaker
 - Beskrivelse av tilstandskontrollmetoder og kriterier for tilstandsoppfølging basert på karaktersetning (1-4)
- Modeller for registrering av driftserfaringer/-statistikk og estimering a sannsynlighet for svikt
 - Utviklet i tidligere prosjekter i regi av EBLk (utført av SINTEF)
 - Skal videreutvikles i prosjektet ”Verdiskapende vedlikehold innen kraftproduksjon (2006-2010)



Hovedmål

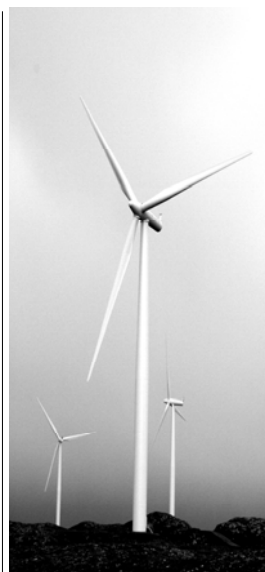
Utvikle metodikk og verktøy for:

- **Tilstand- og driftsoppfølging**
- **Vedlikeholdsplanlegging**
 - Online- registrering
 - Integrert i FDV systemer
 - Håndbøker og opplæringsmateriell



Delmål

- **Etablere kodeplan for vindturbin**
Funksjonsorientert kode tilpasset vedlikeholdsfunksjonen
Kodestrukturen skal beskrive en generisk vindturbin
- **Beskrive vindturbinvarianter som er aktuelle i Norge**
Typer av generatorer, gir, pitch-systemer, yaw-systemer, etc.
(grupperes etter funksjon)
- **Etablere håndbok for tilstandsoppfølging av vindturbiner**
Beskrive skade-/feilmekanismer, feilårsaker, driftspåkjenninger
Utarbeide skadeatlas
Beskrive tilstandskontrollmetoder og kriterier for tilstandsoppfølging
- **Etablere system for registrering av driftserfaringer/-statistikk**
Kodifisere skade-/feiltyper, feilårsaker, driftspåkjenninger
Etablere levetidsmodell mht tilstandsutvikling (sviktmodell)
Levetidskurver for gitte kombinasjoner av vindturbinvarianter og driftspåkjenninger
Utvikle registreringssystem (felles med annet prosjekt)
Innhente levetidsvurderinger og driftserfaringer (ekspertvurderinger)
- **Spesifisere krav til dokumentasjon av driftserfaringer**
Internasjonale standarder (IEC 61400-25)



Resultater og Nytteverdi

- Effektivt system for vedlikehold, tilstands- og driftsoppfølging (implementeres i FDV systemene)
- Bestillerkompetanse: Anvisninger for hvordan man skal ivareta fremtidige vedlikeholdsaspekter ved forhandlings- og bestillingstidspunktet
- Felles prosedyrer/metoder/systemer for vannkraft-vindkraft når driftsorganisasjonen skal ivareta begge typer produksjon.
- Kompetansegivende:
Kursopplegg og opplæringsmateriell



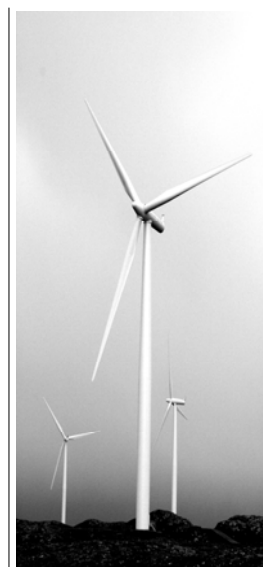
Organisering

- Styringsgruppe/brukergruppe
 - Representanter fra kraftselskapers utbyggings- og driftsenheter
 - EBL
- Utførelse:
 - SINTEF Energiforskning
 - Senter for fornybar energi – NTNU
 - Elforsks vindkraftgruppe
 - KTH
 - Deltagende kraftselskap
 - Vindturbinkonsulenter
- Andre:
 - leverandører av FDV – systemer

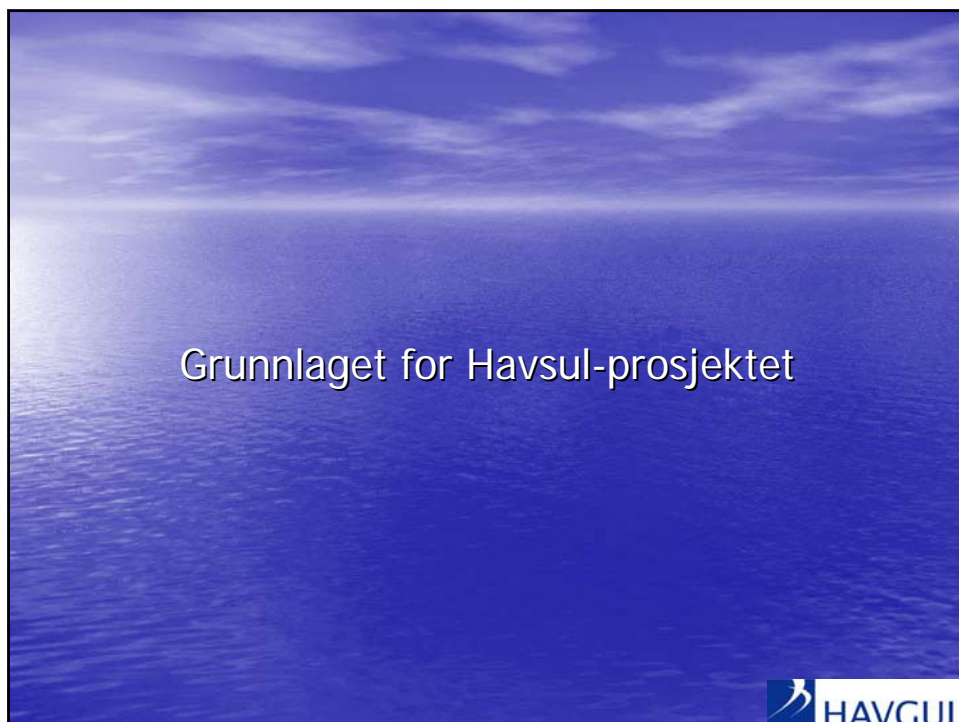


Budsjett og finansiering

- Prosjektperiode: 2006-2008
- Total budsjett: 4.0 MNOK
 - 2006: 1.5 MNOK
 - 2007: 1.5 MNOK
 - 2008: 1.0 MNOK
- Finansiering.
 - Kraftselskap
 - Nfr: Man vil søke midler for 2007-2008







Unik lokalisering

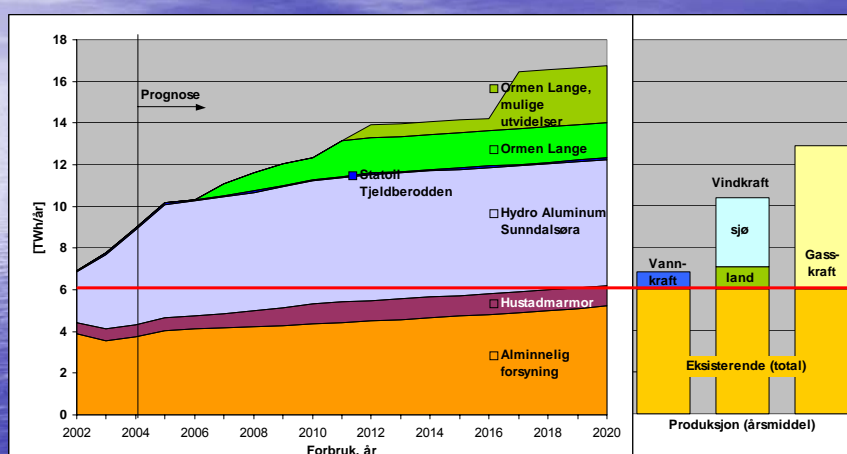
Lokaliseringsvalget for Havsul-vindparkene er basert på følgende hovedkriterier:

- Høy årsmiddelvind, over 8 m/sek
- Store havområder med dybder mellom 4 og 30 meter
- Stor inmatingskapasitet
- Stort regionalt kraftunderskudd

Dette gjør Havsul-prosjektet helt unikt i europeisk sammenheng



Kraftunderskuddet i Møre og Romsdal



Vindkraft står helt sentralt i utviklingen av en bærekraftig energiproduksjon i regionen.



Teknologi

- Vannkraft er ideell i kombinasjon med vindkraft. Vann og vind kan sammen sikre stabil strømforsyning, og gir et robust balansert kraftsystem
- Vindkraft er den fornybare teknologi i Norge som muliggjør utbygginger i stor skala nå
- Vindkraft teknologi har blitt utviklet i over 25 år og vindmøller er en moden industri

Vindenergi er voksen og den eneste fornybare energiformen en i dag kan bygge ut i stor skala i Norge.



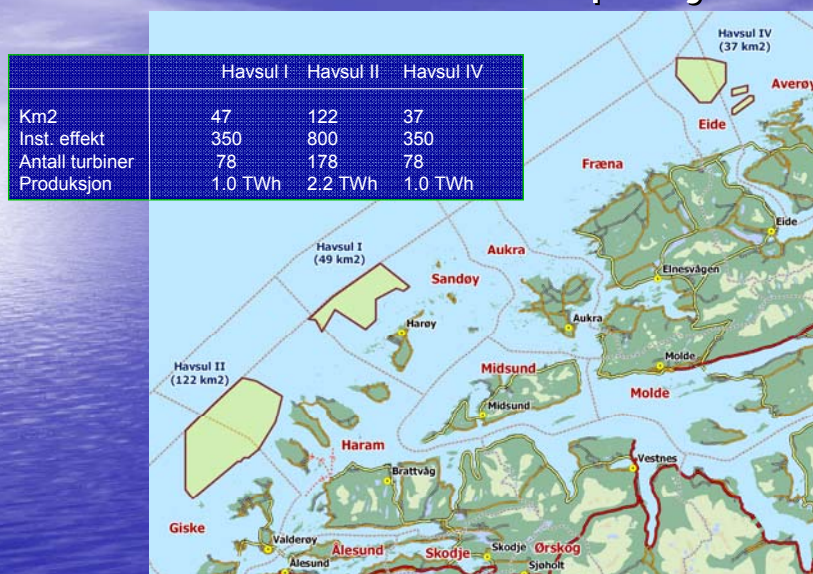
Vindturbiner er hyllevare i Europa



Teknisk presentasjon av Havsul-prosjektene



Overordnet bilde Havsul prosjektene

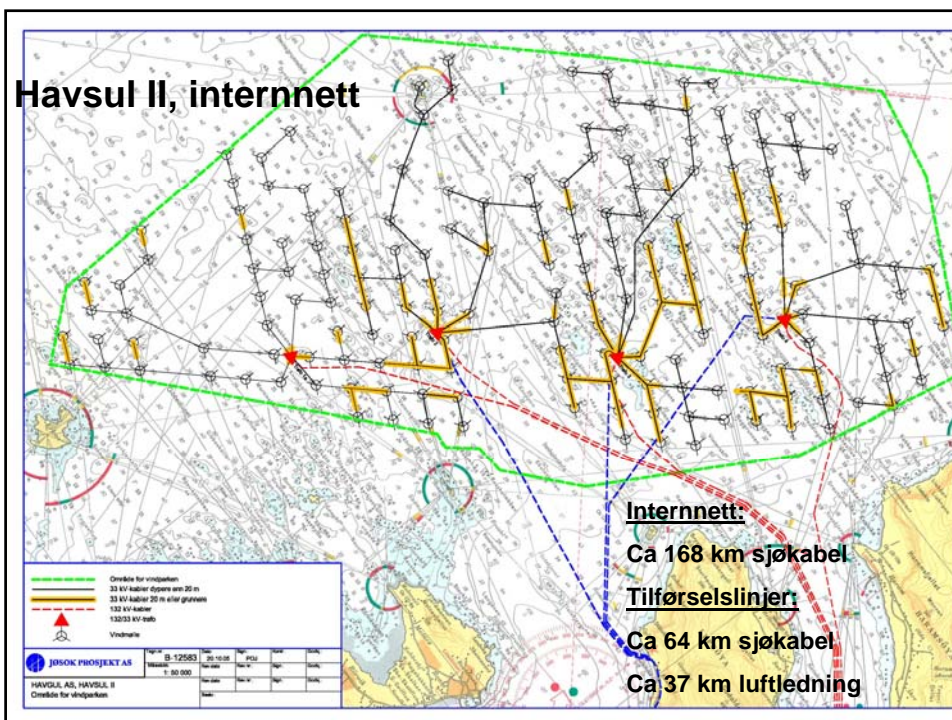


Kraftlinjer fra Havsul II



Havsulprosjektet:

- knytter seg til og forsterker eksisterende infrastruktur i Møre og Romsdal
- reduserer overføringstapene og sikrer mer stabil strømforsyning til prosesseringsanlegget på Nyhamna (Ormen Lange)

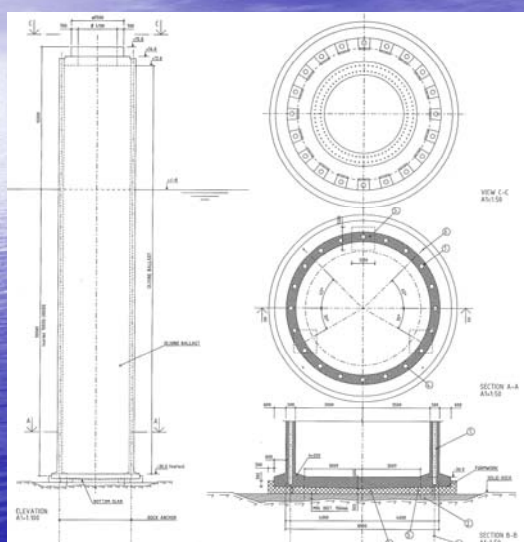


Kabelutleggingsfartøyet Bourbon Skagerrak



HAVGUL

Nyutviklet fundament



- Løsning er basert på årelang erfaring fra Nordsjøen og brobygging
- Vekt pr fundament: ca 1.200 tonn
- Totalvekt 350.000 tonn
- Armert betong i stedet for stål reduserer kostnadene betydelig
- Reduserer installasjonstiden betydelig
- Sikrer lokal produksjon og arbeidsplasser

HAVGUL

Offshore montering



Bygging og montering av fundamentene kan generere ca 3.000 årsverk i byggeperioden og vil skape store ringvirkninger i regionen



Sammenstilling av vindmøller



Flatholmen utenfor Ålesund er meget godt egnet for sammenstilling av vindmøller før montering offshore



Montering offshore



- Kranskipet jekkes opp på føtter som står på havbunnen under monteringen
- I løpet av en 14 dagers syklus monteres 6 vindmøller
- Skipet kan operere i vindstyrer opp til 8 -10 m/s og i bølgehøyder opp til 1,5 meter (er kritisk under oppjekking)



Nøkkeltall Havsul-prosjektene

- Turbinkostnad: NOK 9,8 mrd
- Fundamentering/montering: NOK 3,3 mrd
- Elektriske anlegg: NOK 2,02 mrd
- Annet: NOK 1,05 mrd
- Totalt: NOK 16,2 mrd

Selvkost uten offentlige tilskudd: 32 øre/kWh



Resultater av konsekvensutredningene

Hovedpunkter



Selskap som står bak konsekvensutredningene

Firma	Fagområde
NVK Multiconsult AS 1) Brian Glover, Kjell Mork og Alexander Kristiansen Postboks 260, 1401 SNA TF: 64 86 50 00 E-post: kjell.mork@multiconsult.no Internett: www.multiconsult.no	 Fritidstiv og reiseliv Samfunnsmessige virkninger Forurensning Burn- og strømningsforhold Slaggekast Annen arealbruk
Multiconsult AS 1) Mari-Ann Ekem, Lene Nagelhus og Stein Christensen Postboks 260, Snyen 0213 Oslo TF: 22 51 50 00 Internett: www.multiconsult.no	 Landskap Kulturminner og kulturmiljø (for vindparken) Sløy
Miljøfaglig Utredning AS 1) Bjem Harald Larsen, Geir Gaarder og Morten Mabry Bekken, 0650 Tringvoll TF: 71 53 17 50 E-post: melby@miljofaglig-utredning.no Internett: www.miljofaglig-utredning.no	 Biologisk mangfold og vernetresser Fritidstiv og reiseliv
Rådgivende Biologer AS 1) Geir Helge Johnsen Bredtjønnen, Bryggen, 5003 Bergen TF: 52 31 02 75 E-post: post@radgivende-biologer.no Internett: www.radgivende-biologer.no	 Marinbiologi Fiske og havbruk Burn- og strømningsforhold
Høgskolen i Ålesund 1) Norvald Kjerstad 6025 Ålesund TF: 70 16 12 00 E-post: norvald.kjerstad@hials.no Internett: www.hials.no	 Navigasjon og skipstrafikk
Teleplan AS 1) Einar Aarholt Postboks 69 1324 Lysaker TF: 67 12 70 00 E-post: aar@teleplan.no Internett: www.teleplan.no	 Radiokommunikasjon og fysiskhet
Odel AS 1) Torbjørn Rieberg Solbravien 188, 3512 Hønefoss TF: 90 62 76 14 E-post: odel@odel.no Internett: www.odel.no	 Kulturminner og kulturmiljøer (for 420 kv linje mellom Skjeltene-Hilde og Giskemo)
EMD International AS 1) Per Nielsen Nils Jørgen Vag 10 9220 Aalborg, Danmark TF: +45 96 35 44 50 E-post: per@emid.dk Internett: www.emid.dk	 Ansvarlig for micro-sling, sammensetting av vindstak, produktionsberegninger, sløyeberegninger, visualiseringer og utførelse av kart over sløygefelt.
EPC Management ApS 1) Johnny Leifeld Høvevej 54, 8400 Esbjerg, Danmark TF: +45 86 34 13 24 E-post: epc-management@mail.dk	 Rådgiver på den tekniske siden; fundament, vindtur, vindstruktur, kostnadsberegninger, etc.
Jesok Prosjekt AS 1) Røedur Jesok Kvitauddalen 26 5257 Kokstad TF: 55 22 90 11 E-post: roedur.jesok@jesok-prosjekt.no	 Planleggingsprosjektering av overføringslinjer (internt og mellom vindpark og eksisterende nett) og transformatorstasjoner. Ansvarlig for utarbeidelse av korrosjonsrapportene for overføringslinjene.
SWECO Grøner AS 1) Tor Morten Sveve Postboks 400 1327 Lysaker TF: 67 12 80 92 E-post: tor.sveve@sweco.no Internett: www.sweco.no	 Prosjektens innpassing i kraftsystemet, modellering av nytt nett, lastflytanalyser, spenningsberegninger, spenningsanalyser, vurdering av behov for reaktive kompensering, dynamiske analyser og beregning av parkens innvirkning på spenningskvaliteten i form av spenningsfall, spenningsprang, flensmer og overharmoniske strømmer.
ISTAD NETT AS 1) Knut-Einar Sævi Plutovien 5 6405 Molde TF: 71 21 35 00 E-post: knutefirstad@istad.no Internett: www.istad.no	 Samarbeid med Sweco Grøner (se ovenfor)

Fagutredningene må ihht krav fra NVE være utført av uavhengige selskaper



Fagutredningene, oppsummering HS II

Utredningstema	178 stk 4,5 MW (V1)	266 stk 3 MW (V2)	100 stk 8 MW (V3)
Landskap	Middels til stor negativ konsekvens (-/-/-)	Stor negativ konsekvens (-/-)	Middels negativ konsekvens (-/-)
Kulturminner og kulturmiljø	Stor til meget stor negativ konsekvens (-/-/-/-)	Stor til meget stor negativ konsekvens (-/-/-/-)	Stor til meget stor negativ konsekvens (-/-/-/-)
Biologisk mangfold og verneinteresser	Middels til stor negativ konsekvens (-/-/-)	Stor negativ konsekvens (-/-)	Middels til stor negativ konsekvens (-/-/-)
Marinbiologi	Liten negativ konsekvens (-)	Liten negativ konsekvens (-)	Liten negativ konsekvens (-)
Støy	Liten negativ konsekvens (-)	Ubetydelig til liten negativ konsekvens (0/-)	Ukjent
Forurensning og avfall	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)
Skyggekast og refleksblikk	Ubetydelig til liten negativ konsekvens (0/-)	Ubetydelig til liten negativ konsekvens (0/-)	Ubetydelig til liten negativ konsekvens (0/-)
Ising og iskast	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)
Sedimentasjons- og strømningsforhold	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)
Friluftsliv	Liten til middels negativ konsekvens (-/-)	Liten til middels negativ konsekvens (-/-)	Liten til middels negativ konsekvens (-/-)
Reiseliv	Sannsynligvis liten på kort sikt, men svært usikker på lang sikt (se omtale)		
Fiske og havbruk	Liten negativ konsekvens (-)	Middels negativ konsekvens (-)	Liten negativ konsekvens (-)
Landbruk	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)
Navigasjon og skipstrafikk	Liten positiv konsekvens (+)	Liten positiv konsekvens (+)	Liten positiv konsekvens (+)
Radarkommunikasjon og flysikkerhet	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)	Ubetydelig/ingen konsekvens (0)
Kommunal økonomi	Stor positiv konsekvens (+++)	Stor positiv konsekvens (+++)	Stor positiv konsekvens (+++)
Næringsliv og sysselsetting	Liten positiv konsekvens (+)	Liten positiv konsekvens (+)	Liten positiv konsekvens (+)
Psykososiale effekter	Ubetydelig til liten negativ konsekvens (0/-)	Ubetydelig til liten negativ konsekvens (0/-)	Ubetydelig til liten negativ konsekvens (0/-)

Følgende temaer har størst negative konsekvenser

Følgende temaer har størst positive konsekvenser

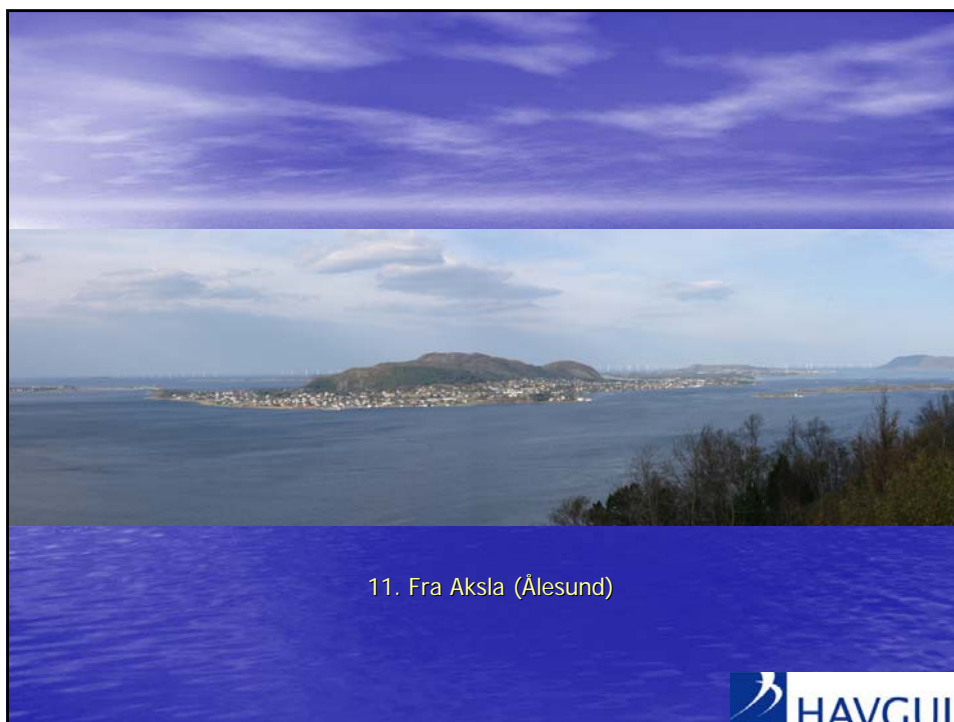


1. Fra Ulla fyr (Haram)

















Samfunnsmessige virkninger

	Giske	Haram	Sandøy	Eide	Averøy
Årlige inntekter, ref. utkast avtale tiltakshaver	Ca 19,5 mill	Ca 20,5 mill	Ca 17 mill	Ca 11 mill	Ca 6 mill
% økning av skatteinntekter	Ca 21%	Ca 14%	Ca 72%	Ca 23%	Ca 7 %
Eventuell naturressursskatt (2 øre/kWh)*	Ca 22 mill	Ca 22 mill	Ca 20 mill	Ca 13 mill	Ca 7 mill

* Som foreslått av LNVK



Samfunnsmessige virkninger

Forutsetning om kompensasjon til kommunen, som foreslått av tiltakshaver:

- Kompensasjonsinntekten fra Havsulprosjektet vil ikke påvirke rammetilskuddet til noen av kommunene
- Av en utbyggingskostnad på over 16 milliarder kroner antas at 5 mrd. kr kan bli norske leveranser, og av dette igjen ca 3,4 mrd. kr levert fra regionen
- Dette vil kunne gi omtrent 3.400 årsverk i anleggsperioden



Hvorfor Havsulprosjektet?



Klimaendringene er her

- Vi har en forpliktelse til å ta klimautfordringen på alvor
- Dersom vi ikke klarer å redusere utslippene av klimagasser vil temperaturen på jorden fortsette å stige
- Det vil bety enda mer ekstremvær med store menneskelige og økonomiske konsekvenser



(New Orleans 2005)

Havsulprosjektet er et lite steg i rett retning



Hvorfor vindkraft?

- Europa har store CO2 utslipp fra fossil elektrisitetsproduksjon. Disse utslippene må reduseres
- Energiforbruket i Europa øker sterkt i årene som kommer
- Alle land må derfor utnytte sine respektive naturgitte fornybare energiresurser – sol, vind, vann, bioenergi, bølgekraft
- Norge må ta sin del av dette ansvaret ved å utnytte våre fornybare energiresurser (vann, vind og bølgekraft)
- "Not in my back yard..." Hvor da?



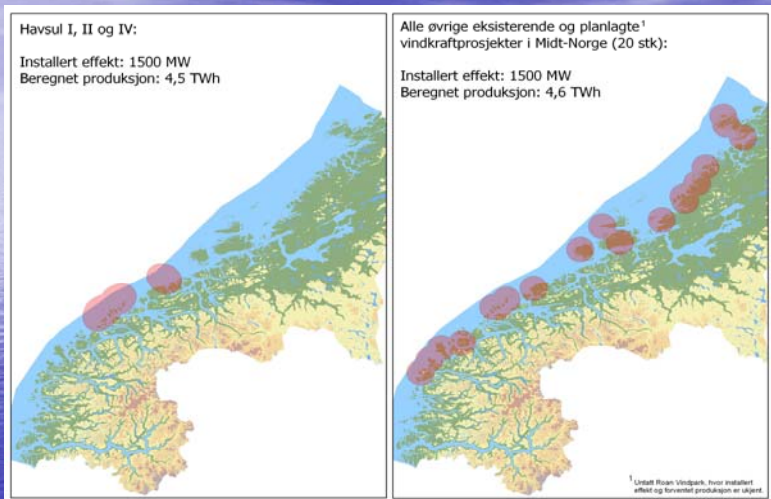
Hvorfor vindkraft?

- Hva skjer etter at oljen/gassen/kullet fases ut? Fornybare energikilder må utvikles og utbygges mens vi ennå har tid!

Det er derfor fornuftig, og bred politisk enighet om, å bygge ut vindkraft i stor skala



Spørsmålet blir hvor og hvordan vi skal bygge ut,



ikke om vi skal gjøre det.



Hvorfor Havsul?

- Havsul *monner* – reduserer CO2 utslipp tilsvarende nesten halvparten av alle biler i Norge
- Havsul *trengs* – vil produsere nesten tilsvarende dagens kraftunderskudd i Møre og Romsdal
- Havsul *lønner seg* – berørte kommuner vil øke sine inntekter betraktelig og sikrer fremtidig velferd for sine innbyggere
- Havsul *fokuserer* – samler vindkraft i ett område og blir Norges største kraftprosjekt noensinne.







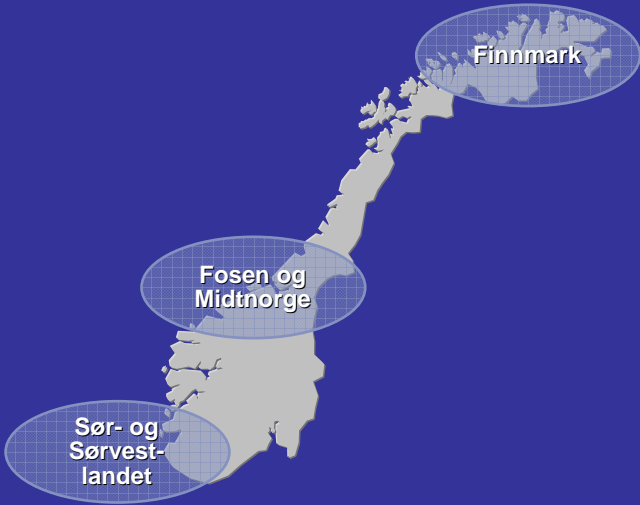

HYDRO

HYWIND – ET KONSEPT FOR FLYTENDE OFFSHORE VINDENERGI

Finn Gunnar Nielsen
Hydro Oil & Energy Research Centre, Bergen

Oil & Energy
2006-01-27

Hydros deltagelse i utvikling av vindkraft i Norge:




Finnmark

Fosen og
Midtnorge

Sør- og
Sørvest-
landet

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 2 • Oil & Energy



HYDRO



Scira – Sheringham Shoal Offshore wind farm

- JV company with participation from Hydro (50%), Ecoventures (25%) and SLP (25%)
- Development of offshore wind farm off the UK east coast (Norfolk) with 60-90 wind turbines with a maximum total capacity of 315 MW
- Closest distance to shore is approximately 11 km

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 3 • Oil & Energy



Offshore vind er et stort vekstområde

Forventer et marked på 30 milliarder NOK i 2010



Source: BTM Consult ApS - March 2005

Kilde: BTM Consult 2005 report

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 4 • Oil & Energy



Dagens konsepter: 0 – 20 m dyp



FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 5 • Oil & Energy



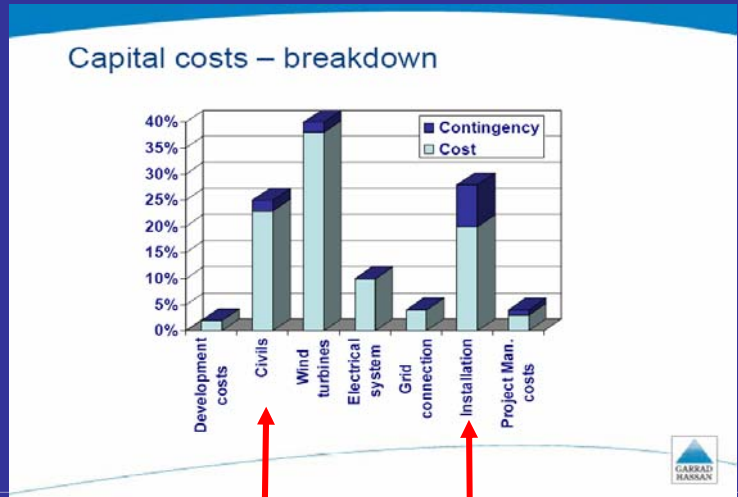
Offshore vindturbiner



FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 6 • Oil & Energy



Cost split. Shallow water offshore wind turbines

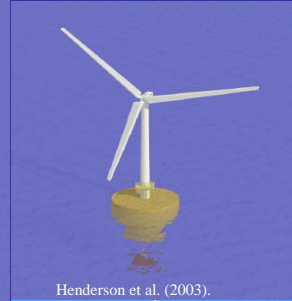
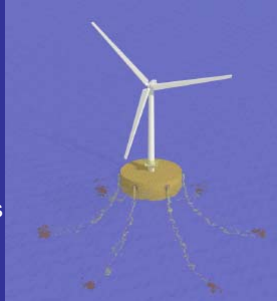


Norske forhold Havdyb, vindforhold, bølger



Floating foundations. Moderate water depths. < 50m

- Technical challenges:
 - Simple geometries
 - Stability (Wind forces)
 - Tip clearance
 - Wave induced motions
 - Fatigue
 - Mooring loads
- Access



Henderson et al. (2003).



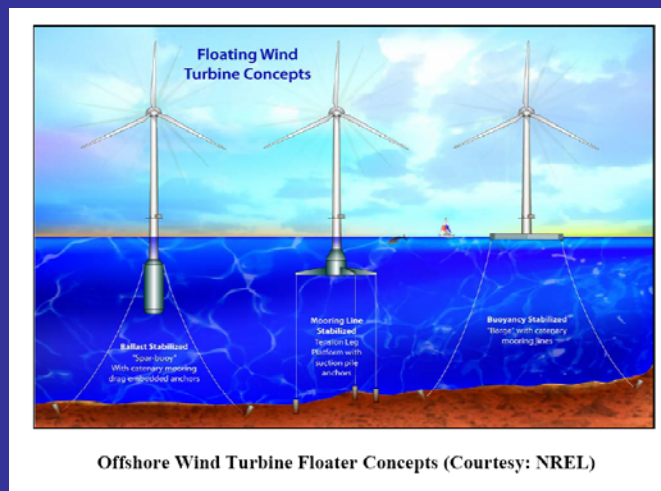
Multi-Turbine floater, Henderson et al. (2002)



Bulder et al., 2003

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 9 • Oil & Energy

Forslag fra MIT / NREL / DOE



FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 10 • Oil & Energy





Flytende vindmøller – HyWind

- **Utfordre bruken av vindkraft til havs ved å kombinere kjent teknologi:**
 - Flytertechnologi fra O&G virksomheten: Skrog og forankring
 - Tilpasse 'standard' offshore vindturbiner

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 11 • Oil & Energy




Konsept


Turbin 80 m over vannoverflaten

Effekt:	5 MW
Diameter turbin:	120 m
Dypgang:	100 – 125 m
Deplasement:	8000 m ³
Diameter i vannlinjen:	6,5 m
Diameter ved bunn:	9,4 m

- Betongskrog.
- 3 liners forankring.
- Dynamisk regulering av bladvinkel.
- Ferdig montert i skjermet farvann



FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 12 • Oil & Energy



Numerisk analyseverktøy

- **SIMO – RIFLEX (Marintek)**
 - Koplet analyse. Bølger –vind
 - Forenklet regulering
 - Langbølgeteori – Morison lign. i øyeblikkelig posisjon
 - Forankringsliner med drag
 - Stivlegeme og fleksible moder

- **HYWIND_SIM**
 - Internt
 - Matlab – Simulink basert
 - Forenklet regulering / Kopling mot SINTEF Energis turbin-modell
 - Hydrodynamiske koef. fra diffraksjonsanalyse
 - Lineariserte krefter pluss drag og fri overflate ledd
 - Kun fjærkrefter fra forankring
 - Stivlegeme respons

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 13 • Oil & Energy



Modellforsøk

- **Mål:**
 - Validere resultater fra numeriske analyser.
 - Demonstrere systemoppførsel.

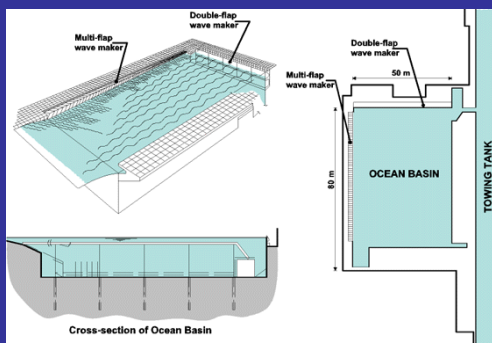


FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 14 • Oil & Energy



Modellforsøk – hoveddata

- Skala 1:47
- Diameter turbin: 123 m
- Høyde nacelle: 81.5m
- Vanndyp 320m
- Tester med bølger og vind.
- Spesialtester
- Signifikant bølghøyde: 3 – 14 m
- Vindhastigheter: 8 – 25 m/sek
- Dynamisk regulering av turbin
 - Turtall
 - Bladvinkel
 - Sintef Energi algoritmer.

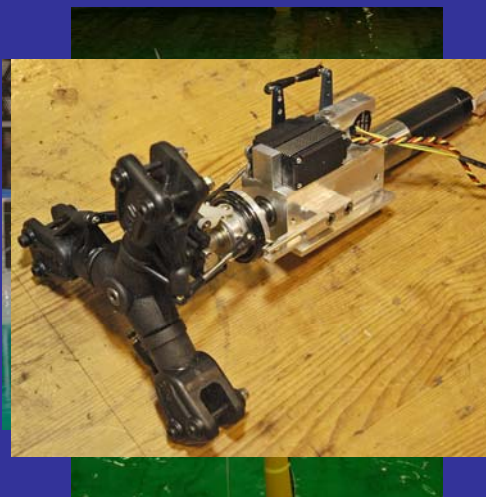


FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 15 • Oil & Energy



Modellforsøk. Hva måles

- Bølger
- Vindhastighet.
- Bevegelser, 6 frihetsgrader
- Akselerasjon av nacelle
- Ankerlinekrefter (6 pkt)
- Vindtrust
- Turtall
- Bladvinkel

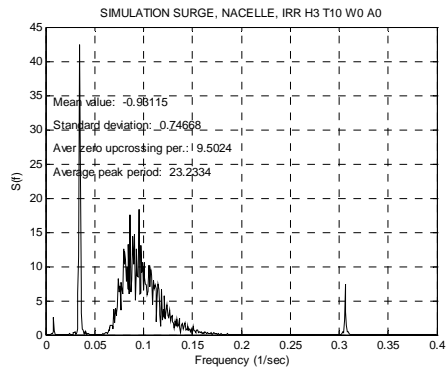


FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 16 • Oil & Energy

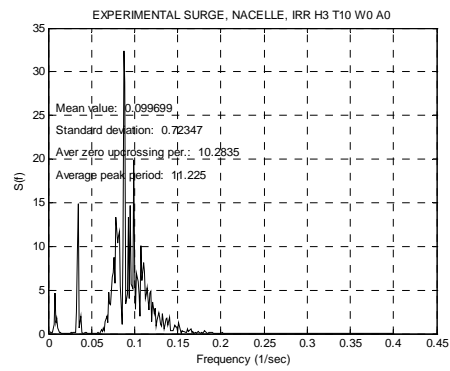


Uten vind

Foranalyse



Ekspirerter

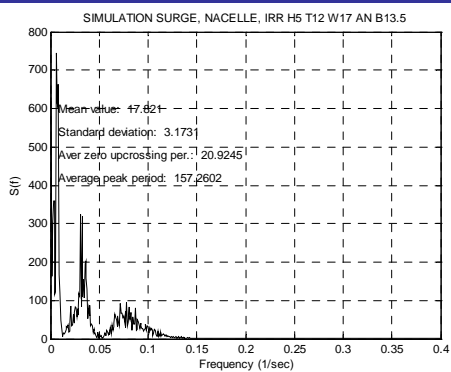


FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 17 • Oil & Energy

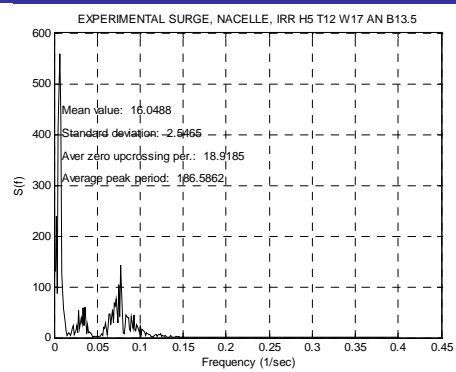


Med vind og fast bladvinkel

Foranalyse



Ekspirerter



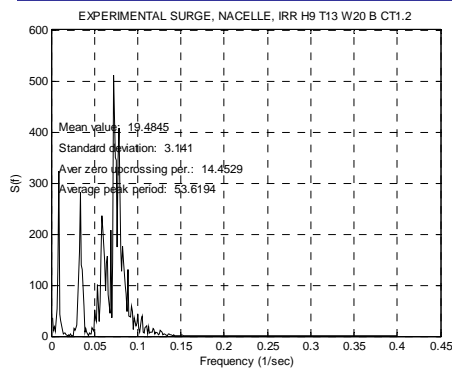
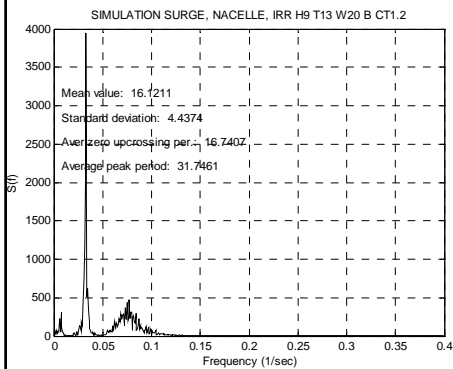
FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 18 • Oil & Energy



Bølger og vind, konvensjonell bladregulering

Foranalyse

Ekspirimeter



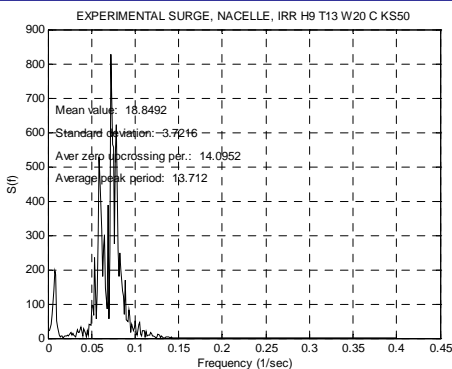
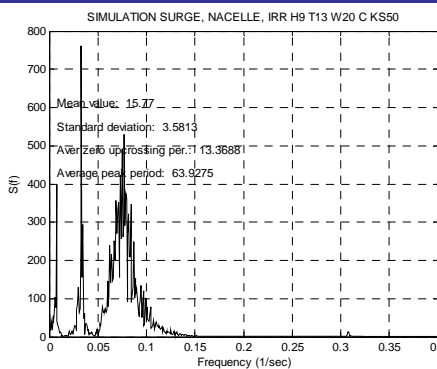
FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 19 • Oil & Energy



Bølger og vind, m / dempning

Foranalyse

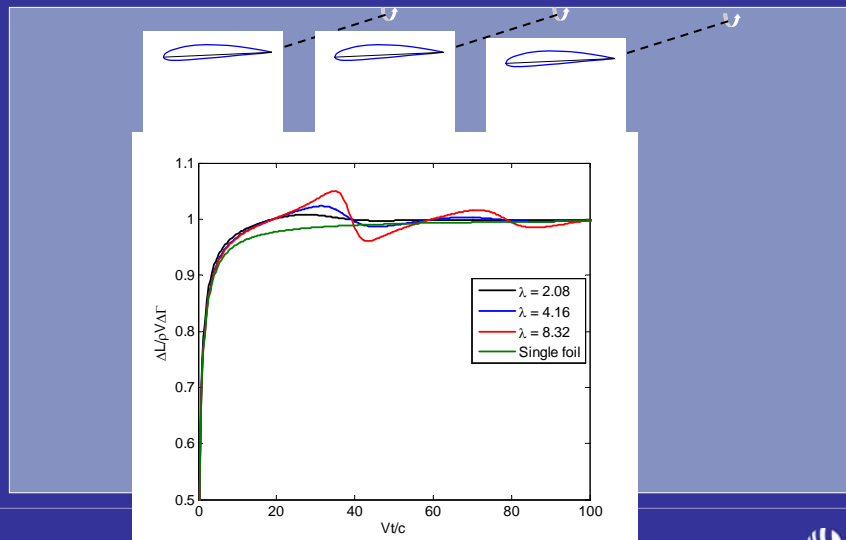
Ekspirimeter



FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 20 • Oil & Energy



Cascade of foils – delay in lift buildup



FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 21 • Oil & Energy



HYWIND





Flytende vindmøller

Konsesjonssøknad for
HYWIND demonstrasjonsmølle

November 2005

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 23 • Oil & Energy





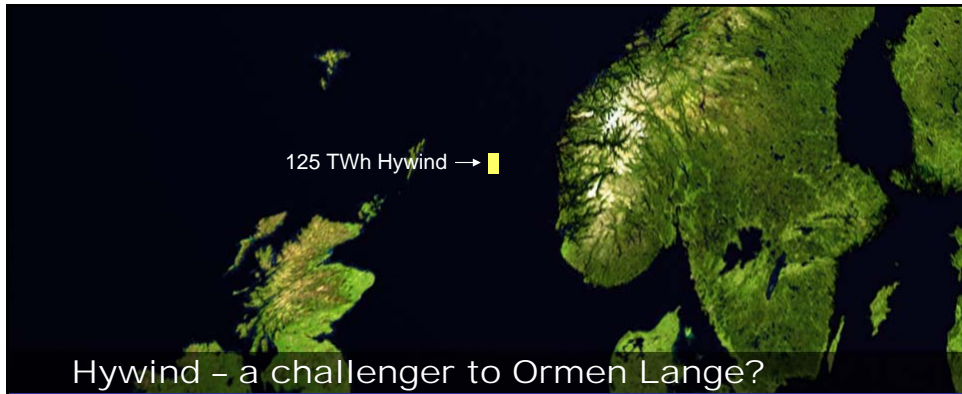
A truly global potential

- Deepwater sites near major consumption areas, with price/incentive premium

Map: NASA

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 24 • Oil & Energy






125 TWh Hywind →

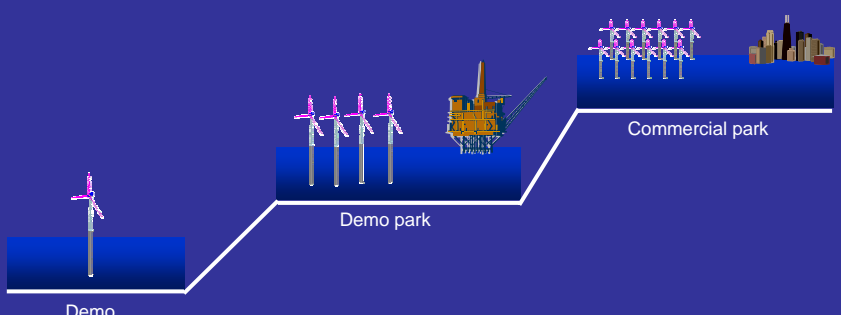
Hywind – a challenger to Ormen Lange?

- The gas in Ormen can generate 125 TWh/year for 20 years
- Same as two offshore blocks of Hywind – Forever!

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 25 • Oil & Energy



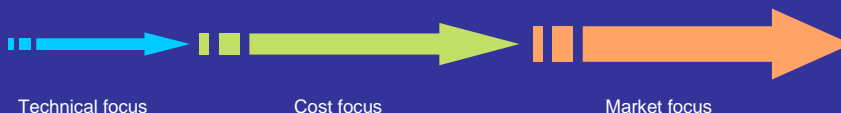
Commercialization



Demo

Demo park

Commercial park




Technical focus

Cost focus

Market focus

FGN • Date: 2006-01-27 • Page: 26 • Oil & Energy



Hydro is a Fortune 500 energy and aluminium supplier founded in 1905, with 36,000 employees in nearly 40 countries. We are a leading offshore producer of oil and gas, the world's third-largest integrated aluminium supplier and a pioneer in renewable energy and energy-efficient solutions. As we look forward to our next 100 years, we celebrate a century of creating value by strengthening the viability of the customers and communities we serve.

www.hydro.com



HYDRO

Progress of a different nature



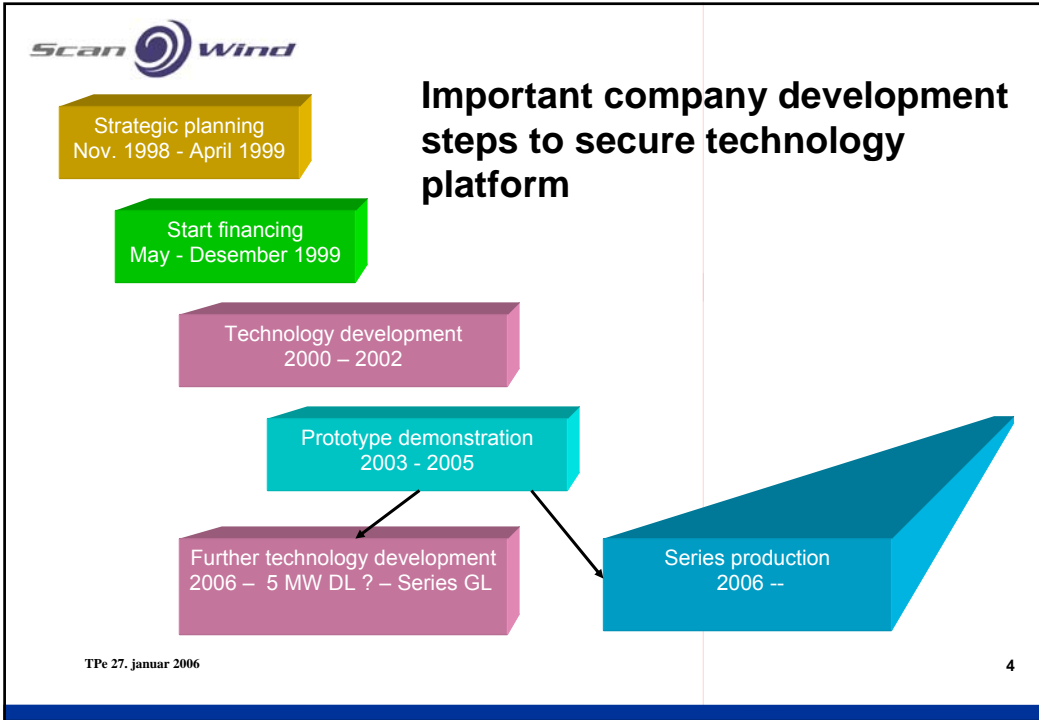
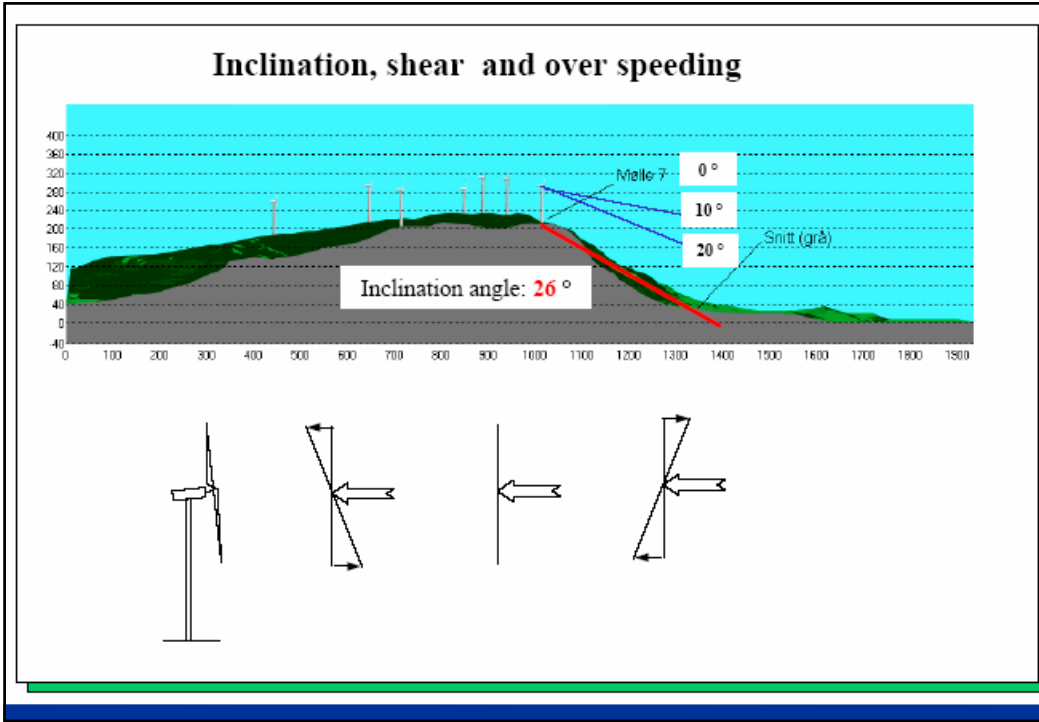
Vindkraft FoU seminar

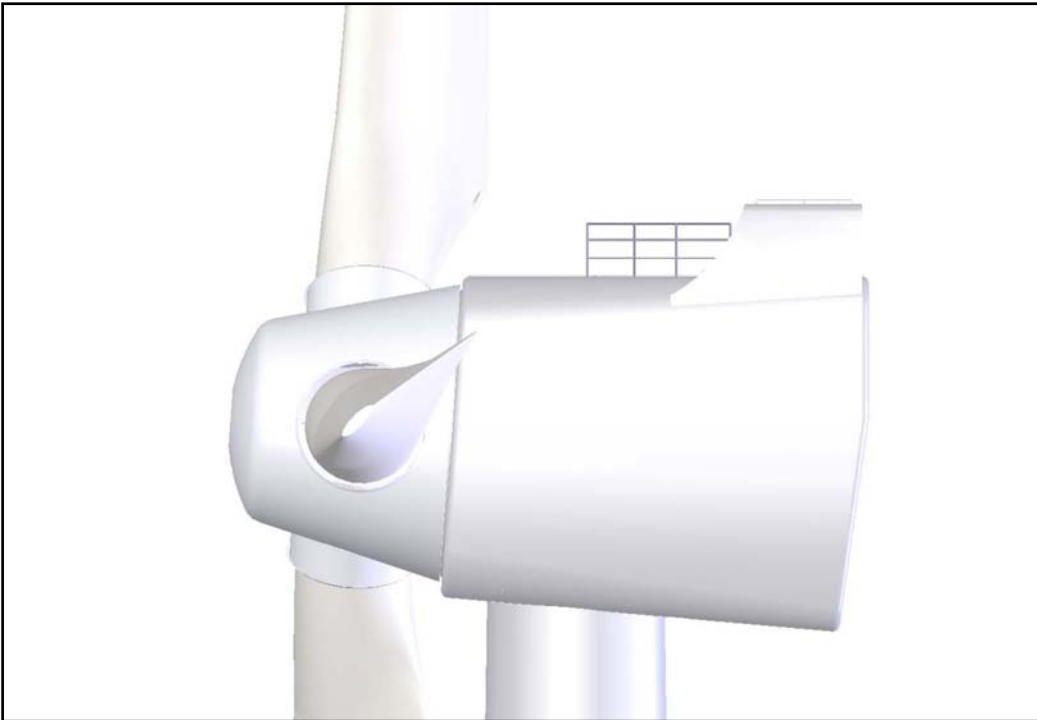
Vindkraftteknologi for norske forhold

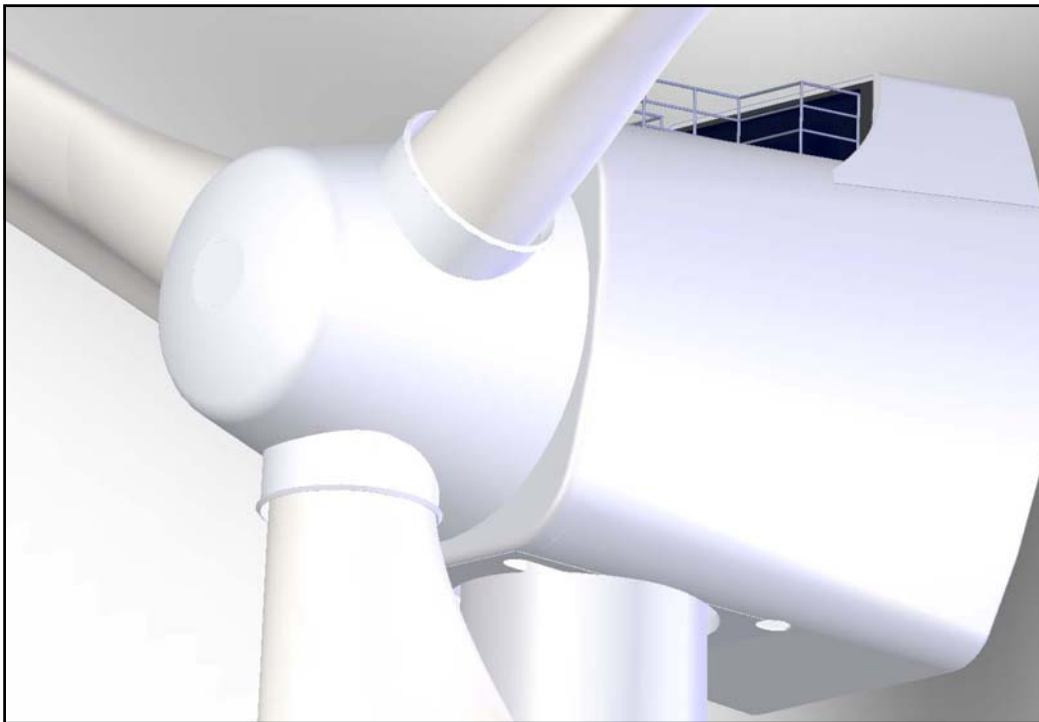


Hva er norske forhold?

- Ofte mye eller lite vind
- Ofte altfor mye vind – aggregatene i sikkerhetsmodus
- Flere stormer pr. år med ødeleggelse potensial på verste tid av året
- Kupert terreng – betydelige lokale vindutfordringer
- Ikke formell støtte i IEC 61400 hva gjelder spesielle vindforhold
- Store eksterne temperaturvariasjoner
- Kondensutfordringer
- Liten plass til montasje
- Mye vind under montasje
- Bratte bakker – små veier
- Mørketid – vanskelig å gjøre eksternt vedlikehold og inspeksjoner
- Ønske om høy el- kvalitet
- En konservativ kundegruppe som skal lære mye på kort tid, samt tenke annerledes sikkerhetsmessig









Visjon

Et stykke norsk industrihistorie – fra Nord Trøndelag



AKER KVÆRNER

Ekstrem teknologi. Prosjektgjennomføring i verdensklasse av profesjonelle, internasjonalt konkurransedyktige aktører

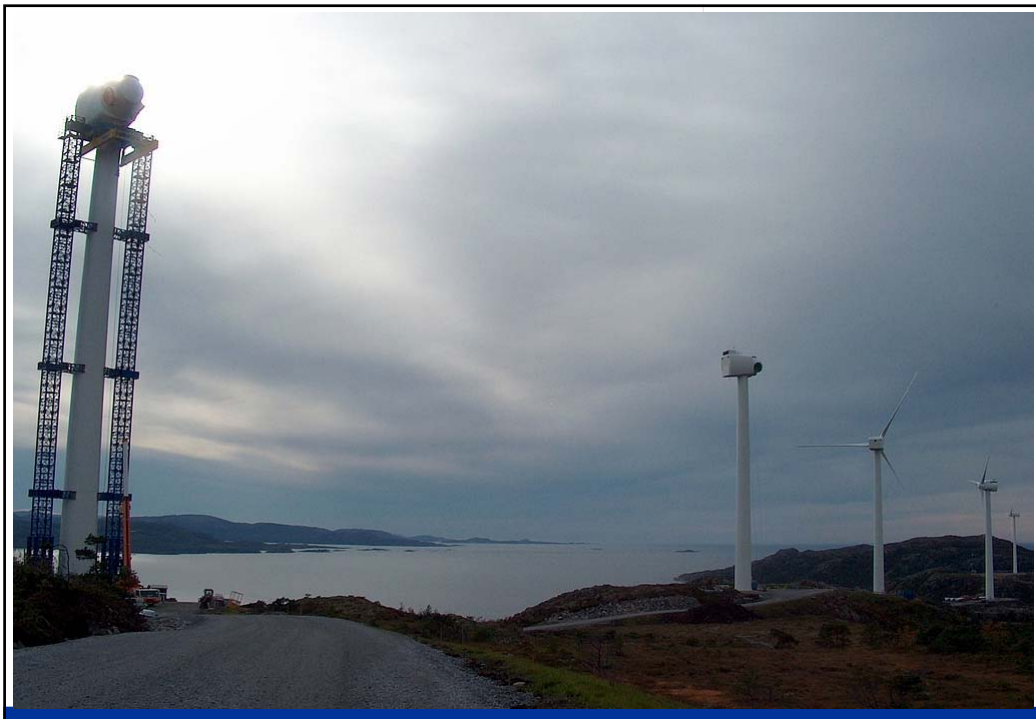
TPe 27. januar 2006

9



10







NETTINTEGRASJON

Challenges and Options for Large Scale Integration of Wind Power

John Olav Giæver Tande

SINTEF Energy Research
7465 Trondheim, Norway

Phone: +47 73 59 74 94; Fax: +47 73 59 72 50
john.o.tande@sintef.no

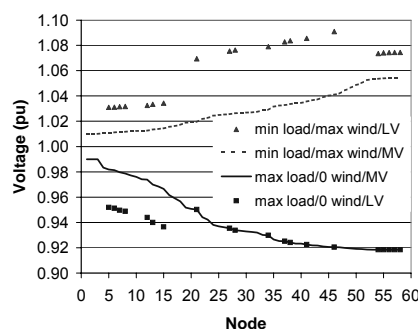
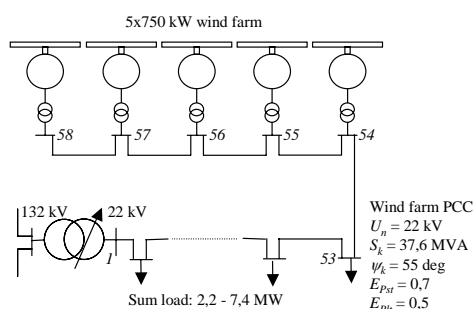
From wind turbines to wind power plants

- **In the beginning (1980's)**
 - single wind turbines / small wind farms
 - connected to distribution grids applying simple rule of thumbs
- **Distributed generation (1990's)**
 - impact on voltage quality becomes an issue
 - IEC 61400-21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines (2001)
 - rule of thumbs may be replaced by more accurate calculations
- **Large scale generation (now)**
 - impact on power system stability must be assessed
 - dynamic wind farm models is being developed (IEA ++)
 - wind farms must comply with TSO grid codes
 - wind farms may have an impact on power system operation

Distributed generation Impact on voltage quality

- Voltage quality issues:
steady-state voltages, flicker, voltage dips, harmonics
- Wind turbine manufactures supplying data according to IEC 61400-21 provides basis for detailed assessment
- Rule of thumb (short circuit ratio, max voltage increment) may result in costly grid reinforcements not needed or unnecessary limit development of wind farms
- IEC 61400-21 / detailed assessment provides for confidence, cost savings and appropriate design

Impact on voltage quality - Example

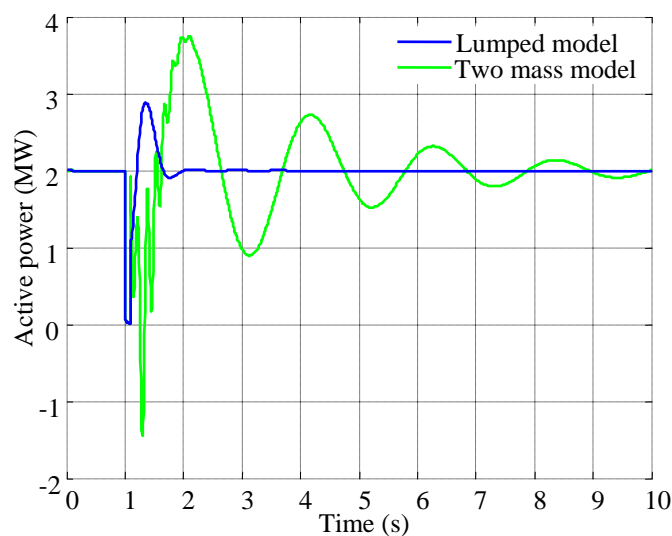


- Detailed assessment using IEC 61400-21 suggests that the wind farm will not jeopardise voltage quality and can operate at the grid
- Calculated results are confirmed by measurements on the grid
- In contrast:
"1 %" rule of thumb would allow only 1x550 kW wind turbine!

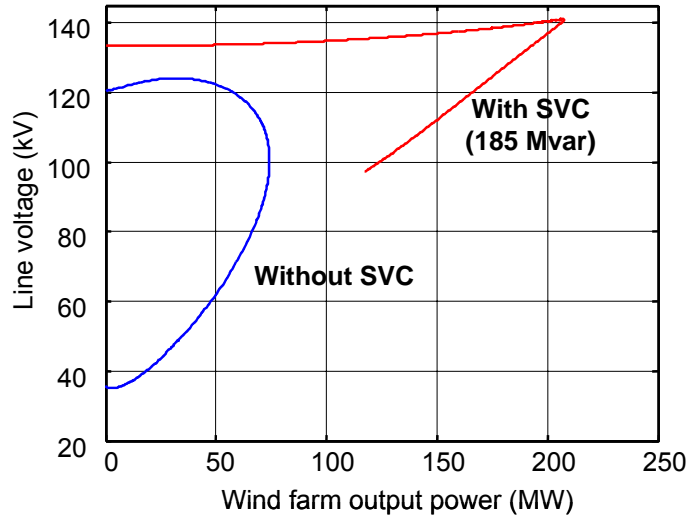
Large scale generation Impact on power system stability

- Relevant studies may be:
 - voltage stability and control / reactive power exchange
 - transient stability and fault ride through capabilities
 - thermal transmission capacity constraints
 - power fluctuations and frequency control
- Assessment requires application of dynamic simulations using computer tools such as PSS/E or others
- Well developed models of thermal and hydro generators, transformers, lines, loads, governors, exciters etc, whereas wind farm models are new / being developed

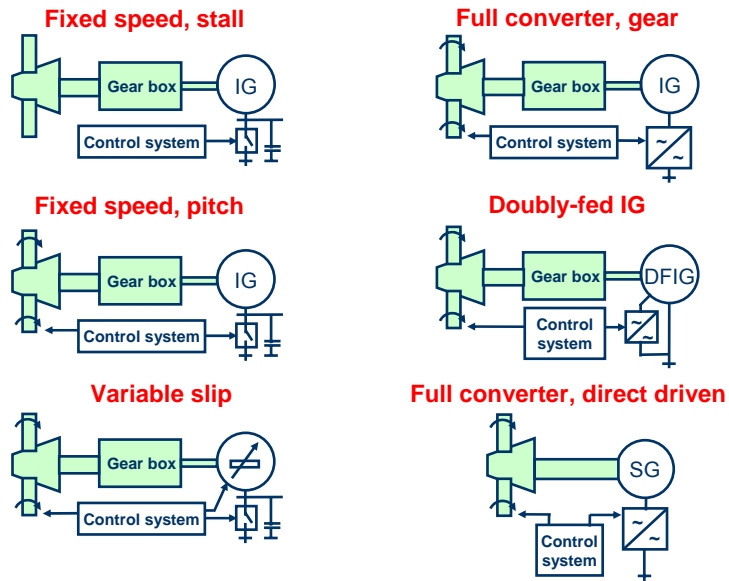
Accurate modelling is important!



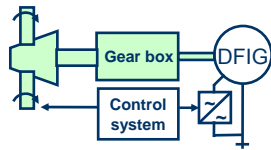
Accurate modelling save costs!



Accurate modelling is a challenge!



DFIG wind turbine model

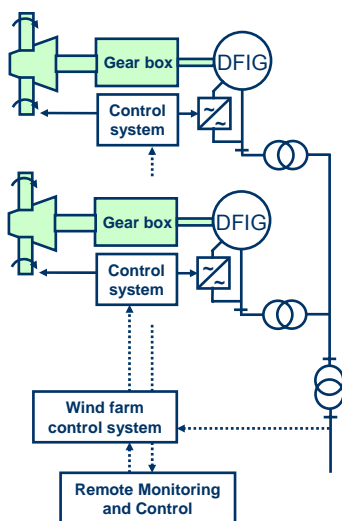


- wind speed
- turbine aerodynamics
- mechanical drive-train
- doubly-fed induction generator
- frequency converter
- control system
- relay protection
- other issues (structural swings)

A good model is:

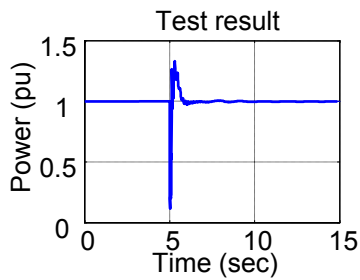
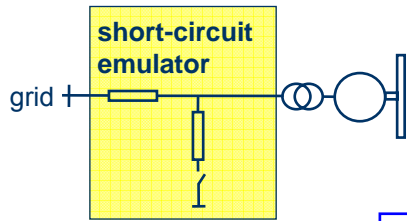
- accurate
- fast (time-step +10 ms)
- flexible (load flow, dynamic, transient)
- simple to use (minimum of parameters)
- fitted to platform (PSSE, DigSilent, ..)

DFIG wind farm model



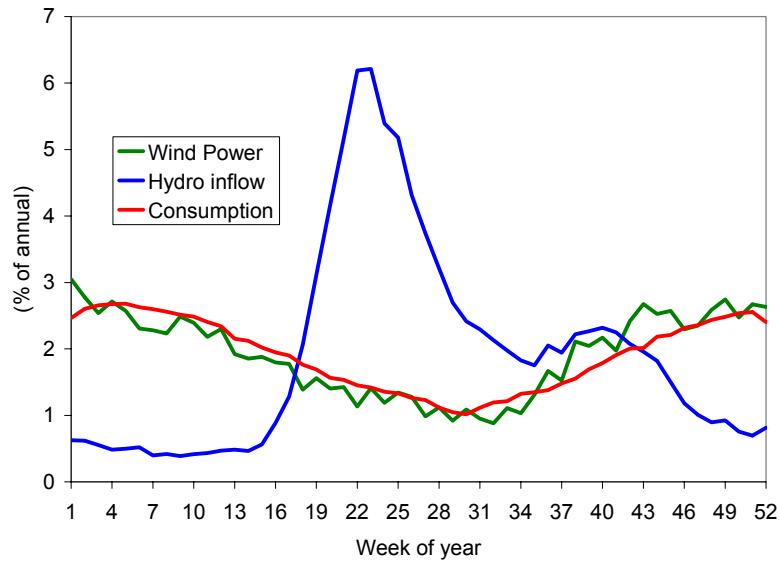
- cluster by cluster aggregation
- equivalent of internal grid
- smoothing of power output
- wind farm control system
- aggregation is not trivial

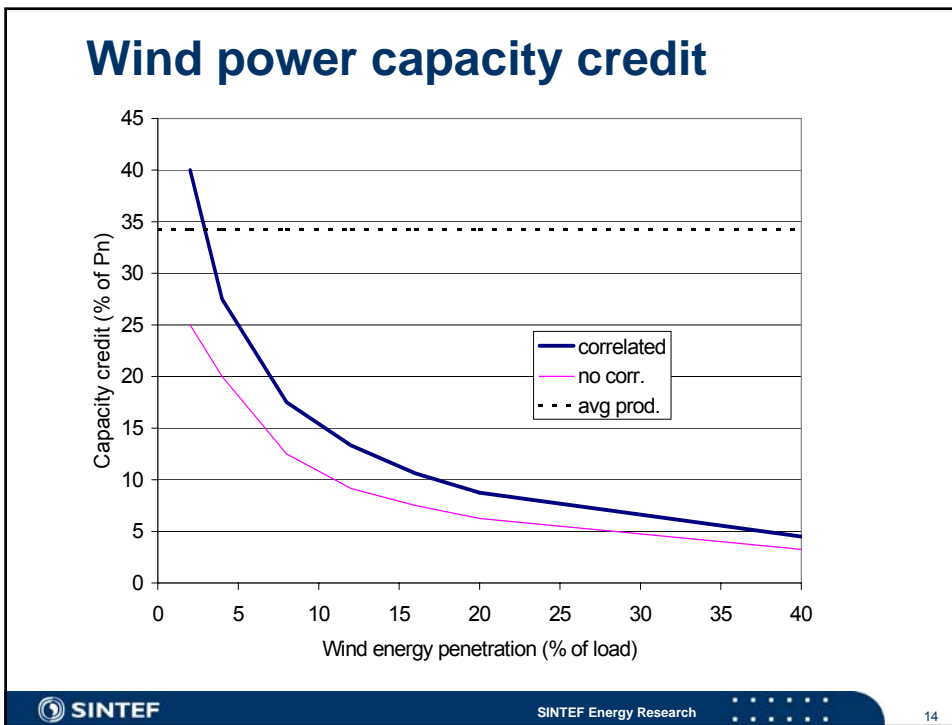
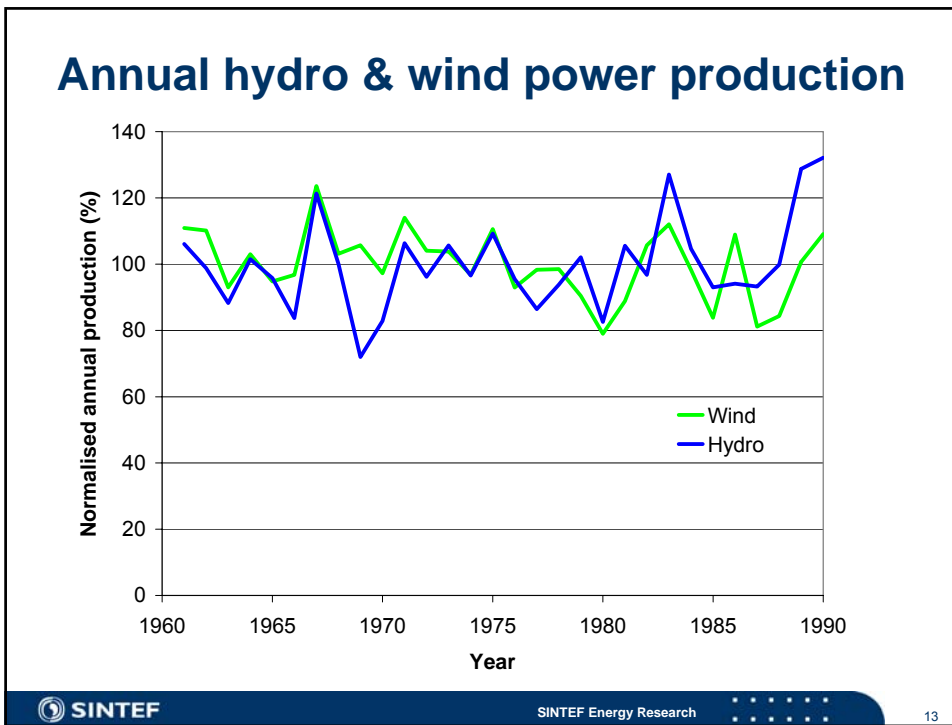
Model validation is essential



- Model benchmark testing against measurements is suggested by IEA Wind Annex 21
- IEC 61400-21 (draft ed2) specify fault ride-through test that may be used as basis for wind turbine model validation:
- Validate numerical wind turbine model by comparing test results with simulations
- Assess grid code compliance by simulations using validated numerical wind turbine model
- Optional tests may be carried out and reported for assessing compliance with specific grid code requirements to wind turbine fault ride-through capabilities.

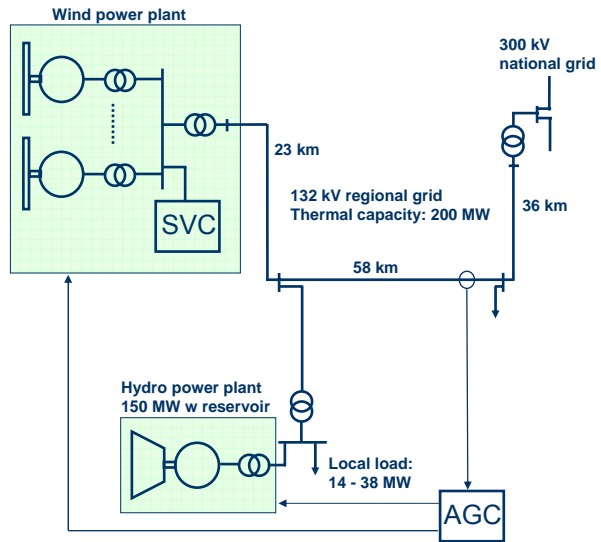
WIND AND HYDRO – A WIN-WIN CASE



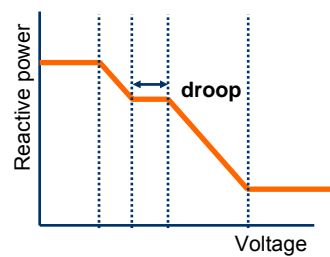
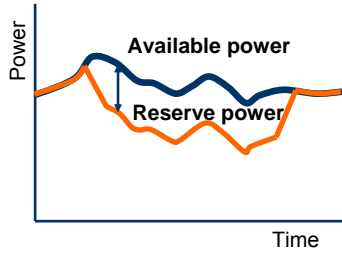
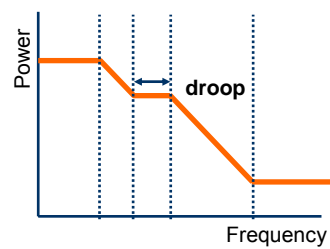
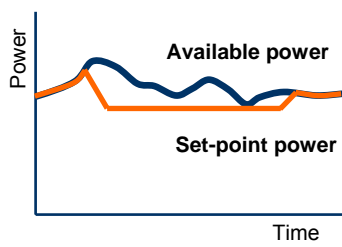


Case study regional power system

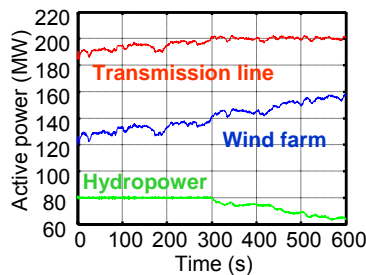
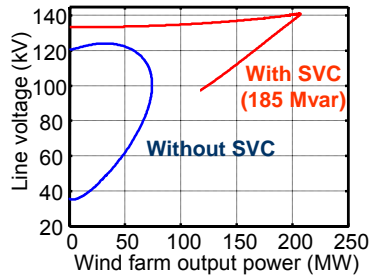
Max wind farm size without AGC & SVC: 50 MW



Modern wind farm control possibilities



Case study regional power system



■ Dynamic simulations verify:

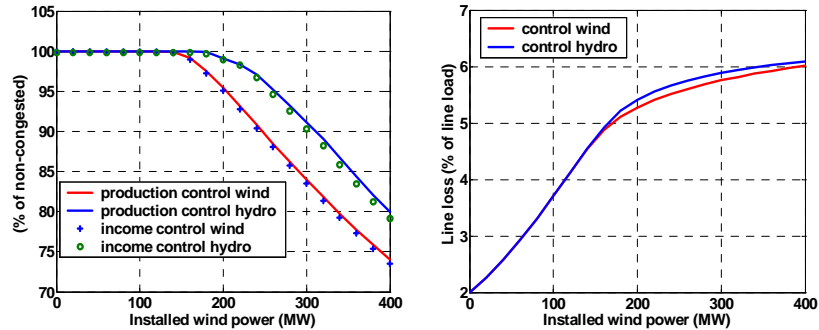
1. Application of SVC or wind turbines with frequency converters secure voltage stability (as long as the thermal limit of the 132 kV line is respected)
2. The hydropower plant or the wind farm may be controlled by an AGC scheme to avoid overloading of the 132 kV line

■ Question for this case study: How will the wind farm and AGC modify the regional power system operation?

Simulation model

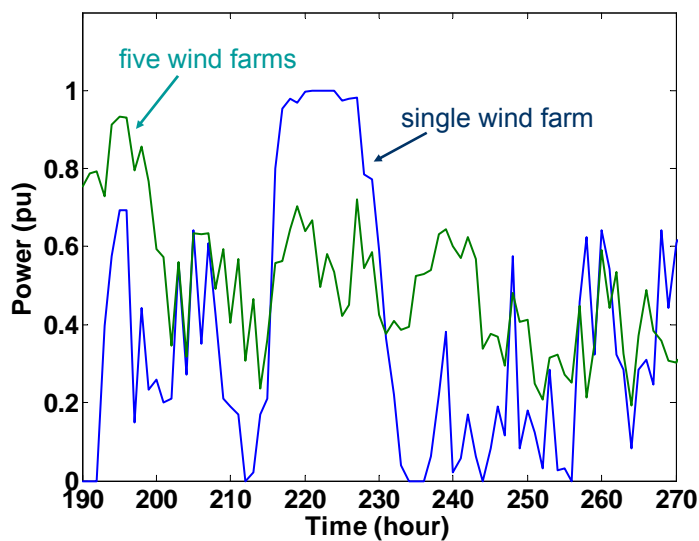
- Simulate one year operation on an hour-by-hour basis
- Model input includes:
 - time series with consumer load, market price of electricity, inflow to hydro reservoir and wind speed
 - specification of the regional power system components like wind farm power curve, maximum storage capacity of reservoir, rated power of hydropower plant and thermal limit of 132 kV transmission line
- Assumed AGC strategy:
 - The AGC operates to avoid line overloading
 - **Control hydro**: control the hydropower first and secondary the wind power (if needed)
 - **Control wind**: control the wind power only

Simulation results

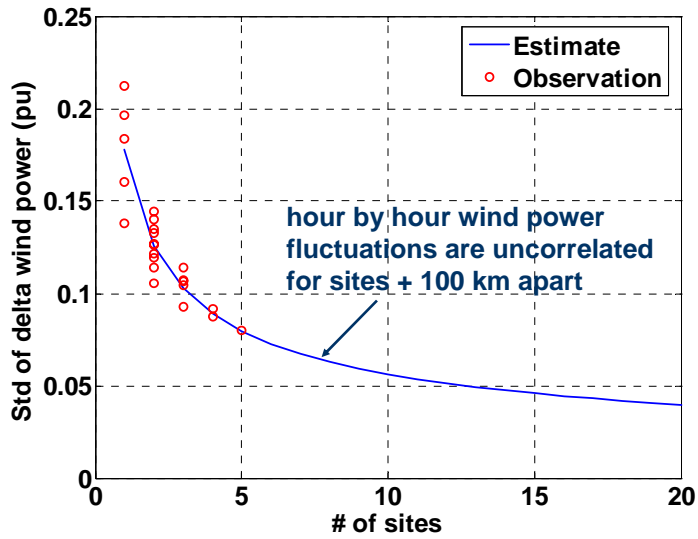


- Max wind farm size without AGC and reactive control: 50 MW
- AGC+SVC enables a 200 MW wind farm without severe losses
- AGC of hydropower provides for minimum energy losses
- AGC of wind farm only gives surprisingly low losses
- Significant line losses, but may not payback an upgrade
- Optimum size of wind farm depends on cost curve

Hour by hour power fluctuations



Hour by hour power fluctuations

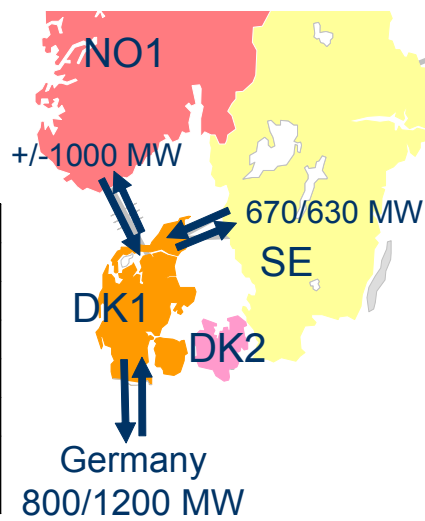


Real life case – balance handling

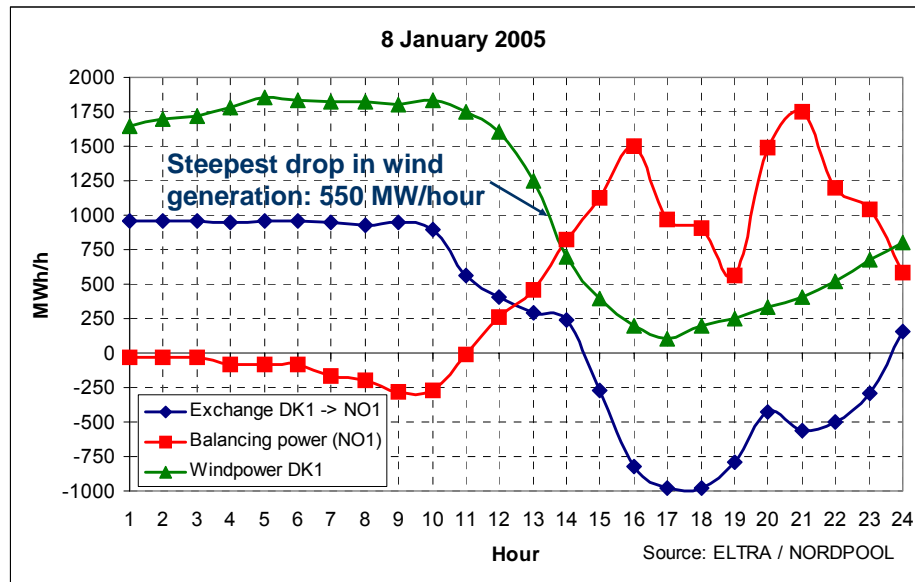
- At 8 January 2005 a strong storm crossed over Denmark
- The wind farms DK1 at first produced close to rated power, but then started to cut out due to the excessive wind speed (+ 25 m/s)
- The wind production dropped from about 1800 MW to 100 MW in a matter of 10 hours

Data for DK1, west Denmark 2003	MW
Central power plants	3,516
Decentralised CHP units	1,567
Decentralised wind turbines	2,374
Offshore wind farm Horns Rev A	160
Maximum load	3,780
Minimum load	1,246
Area of western Denmark ~200x300 km	

Source: Eltra




Real life case hour by hour operation




Rounding up

- Immediate challenges are related to weak grids
- Assessment of system stability requires numerical simulation
- Models are being developed – validation is essential
- Coordination of wind and hydro generation is a key for allowing more wind power capacity in areas with limited transmission corridors
- For the case study grid depending on technology & control the allowed wind farm size is increased from 50 to 200 MW
- The real life example from 8 January 2005 demonstrates that existing market based mechanisms can handle large amounts of wind power
- In wind integration studies it is essential to take account for the controllability of modern wind farms, the power system flexibility and the smoothing effect of geographically dispersed wind farms
- Modern wind farms contribute to system adequacy – combining wind and hydro constitutes a win-win system



Impact of large scale wind power on the Nordic
electricity system


Hannele Holttinen
26.1.2006, Trondheim

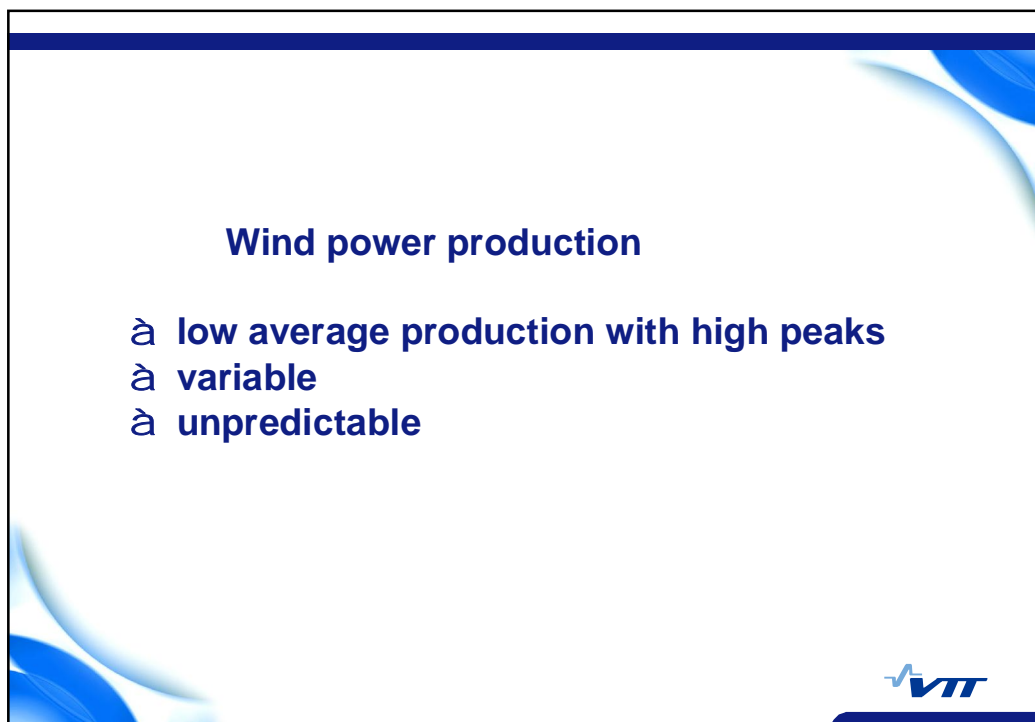
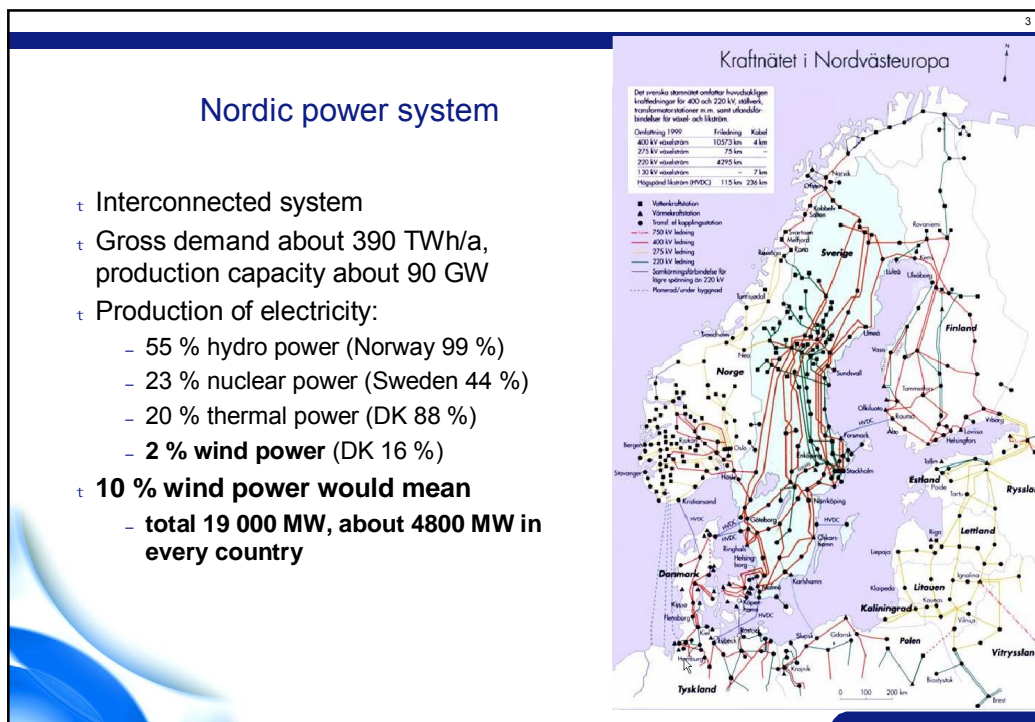


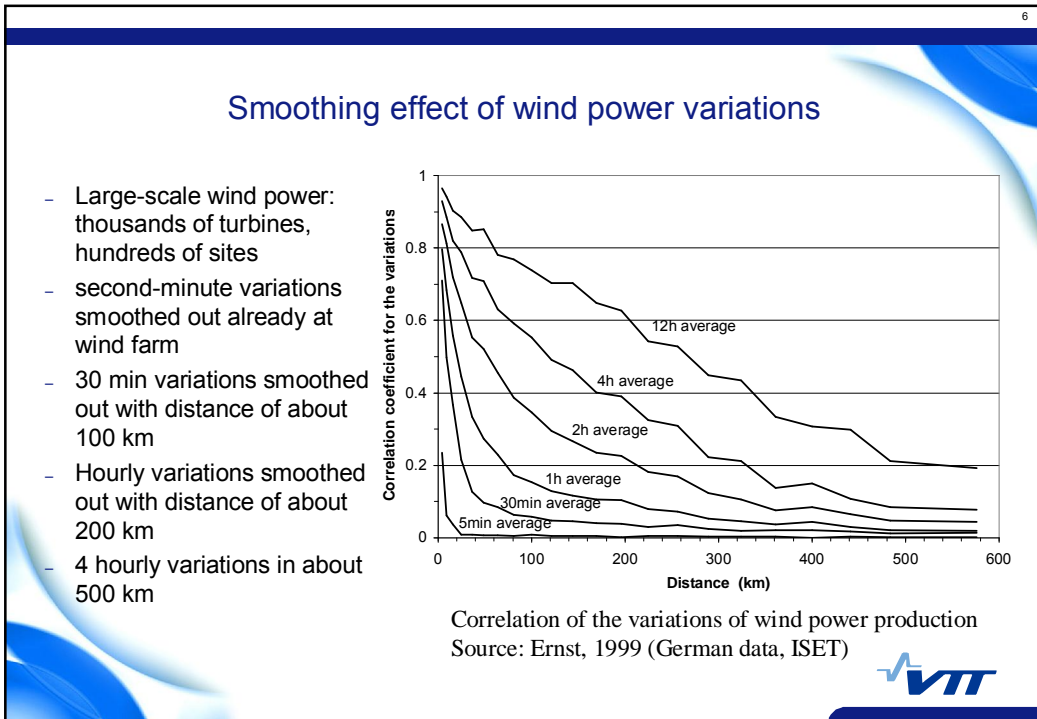
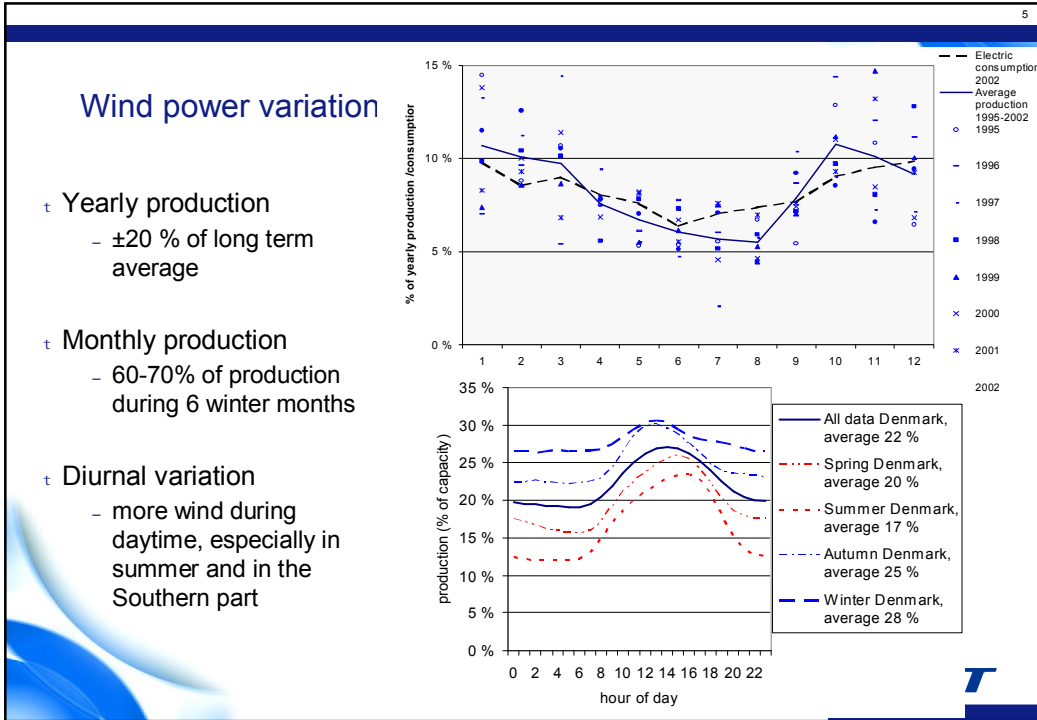
2

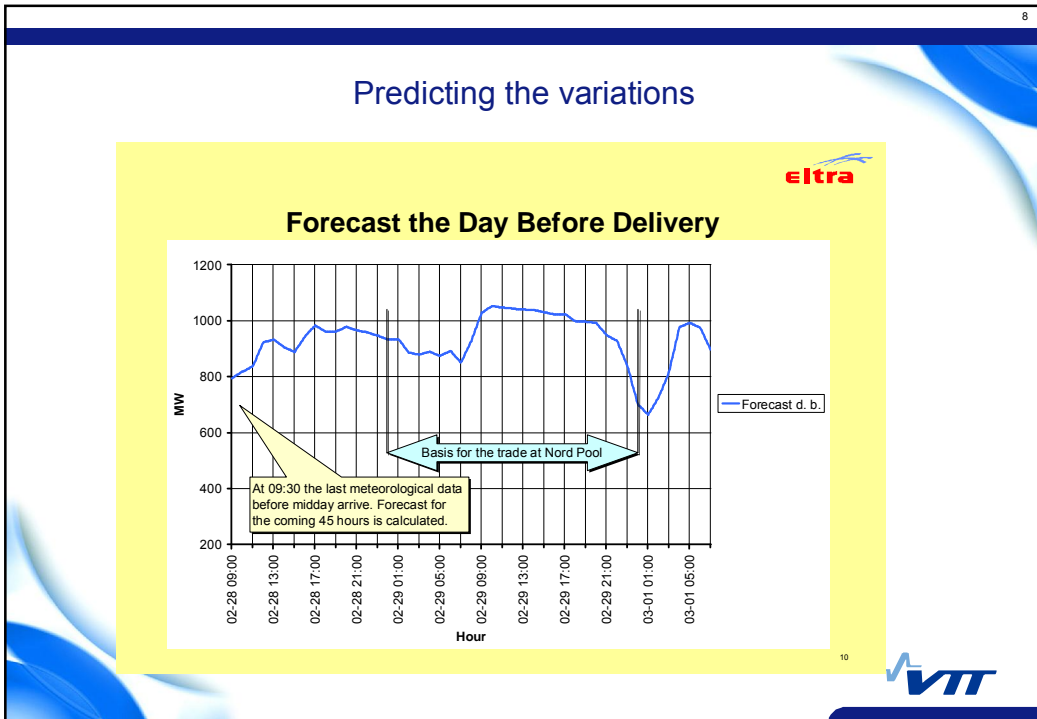
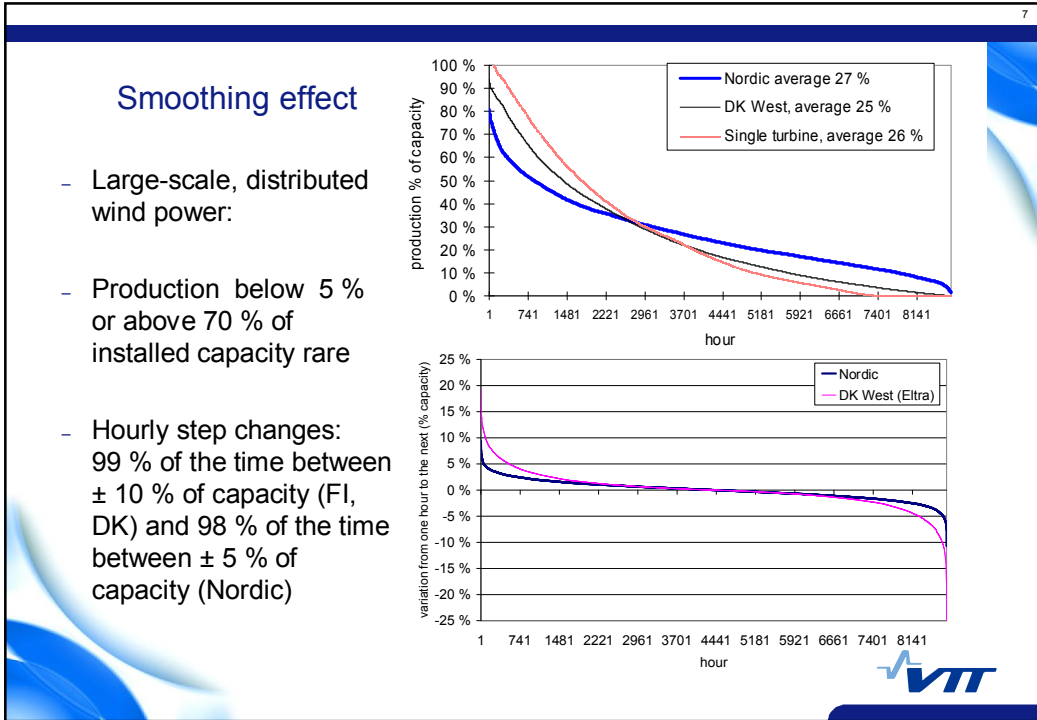
Contents

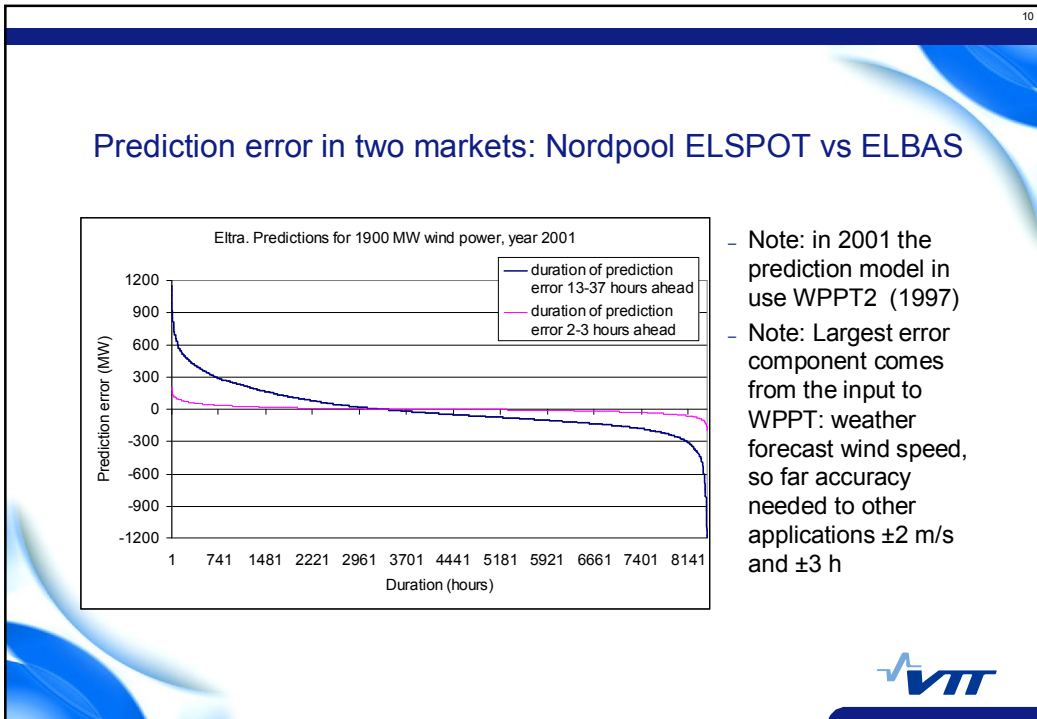
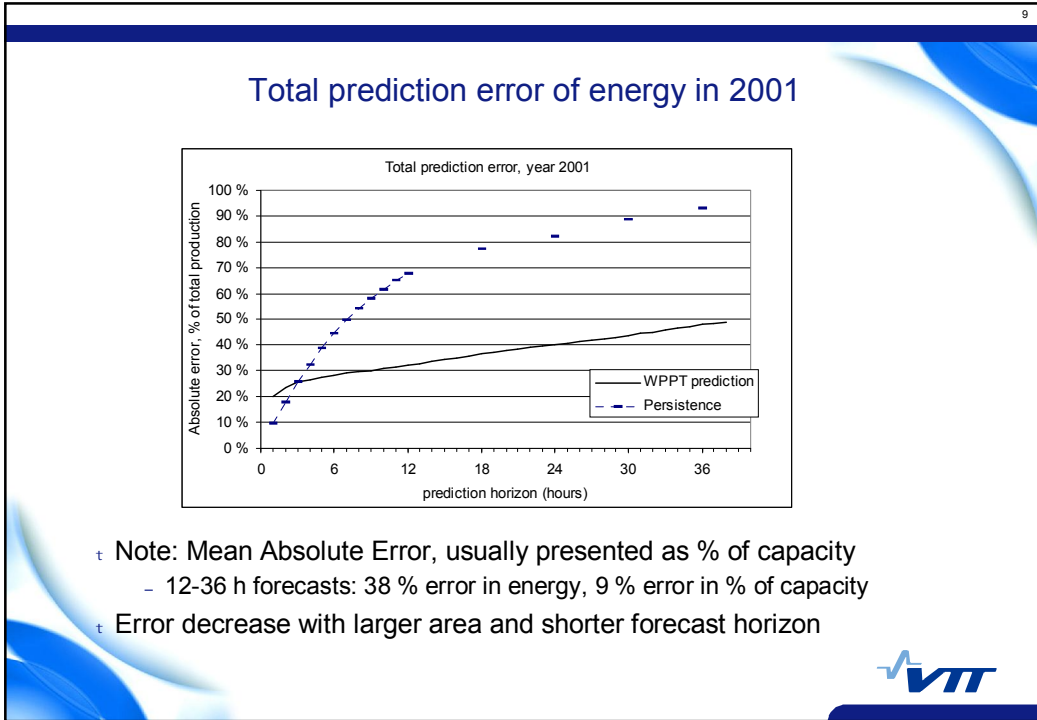
- † Large scale wind power production and smoothing effect
- † Impacts of wind power on the electricity system
- † Reserve requirement and balance handling
- † Other impacts
- † Summary and conclusions



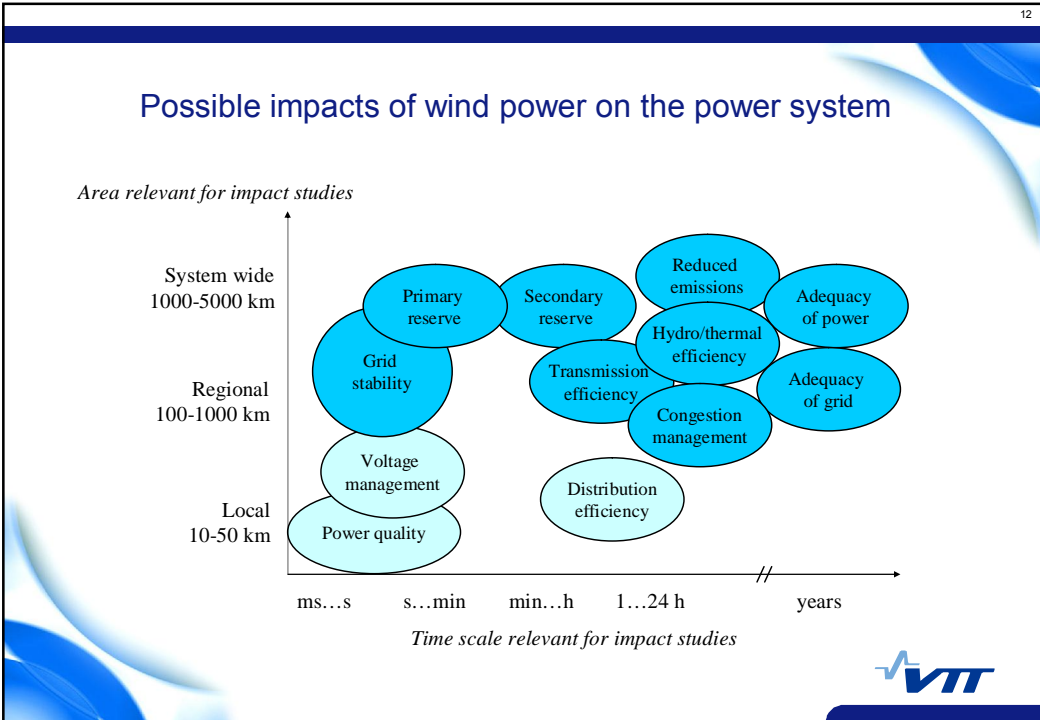



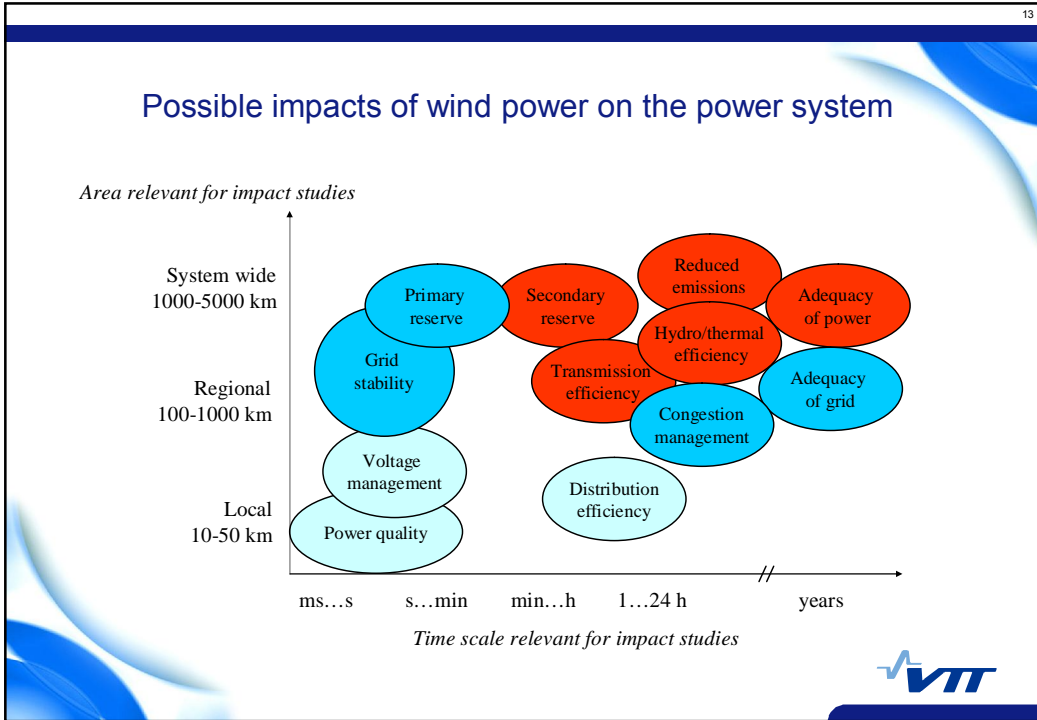






Wind energy in the power system






Balancing and reserve requirement

15

Increased reserve requirement due to wind power


- † Study area:
 - synchronous power system, in case of bottlenecks part of the area
- † Wind will impact reserve needs if it impacts the net imbalance of the power system
 - Each imbalance of single loads or production units is not balanced but the system net imbalances. Incremental increase due to wind power.
- † Study time scale:
 - primary reserve: 1 s...1 min: wind power variations in less than 1 min are random and smoothed out
 - secondary reserve: 10 min...1 hour: main impact of wind power
 - prediction errors of wind power – how much left uncorrected depends on operators and system/market designs
- † Reserve type (operational/disturbance reserve):
 - Wind power only affects the operational reserve, not the disturbance reserve

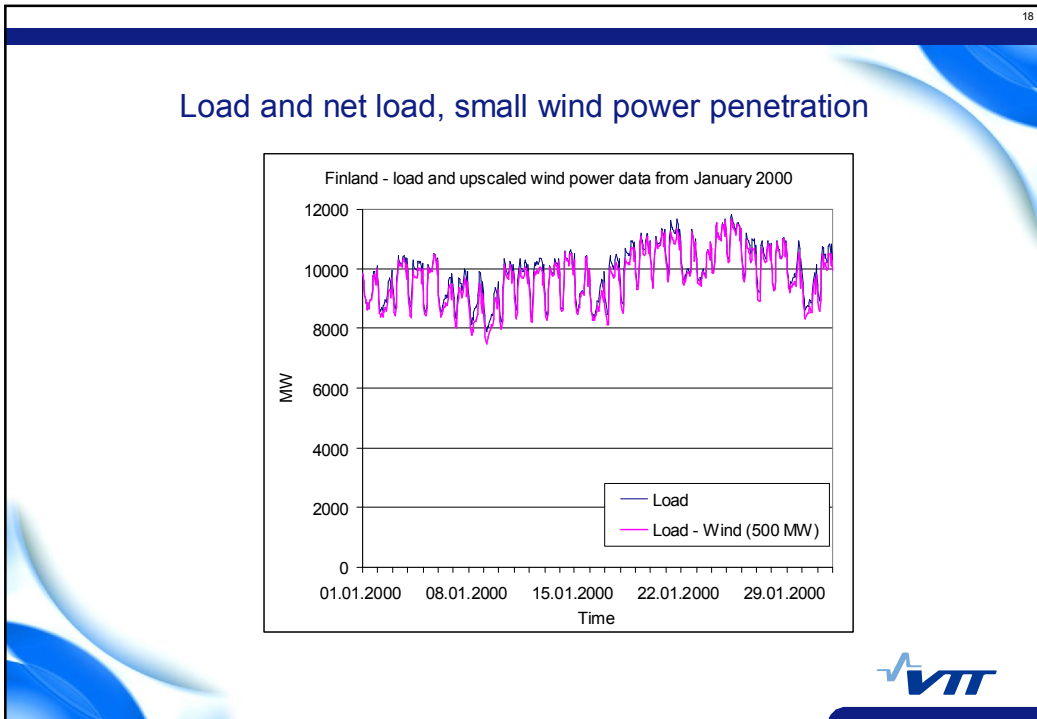
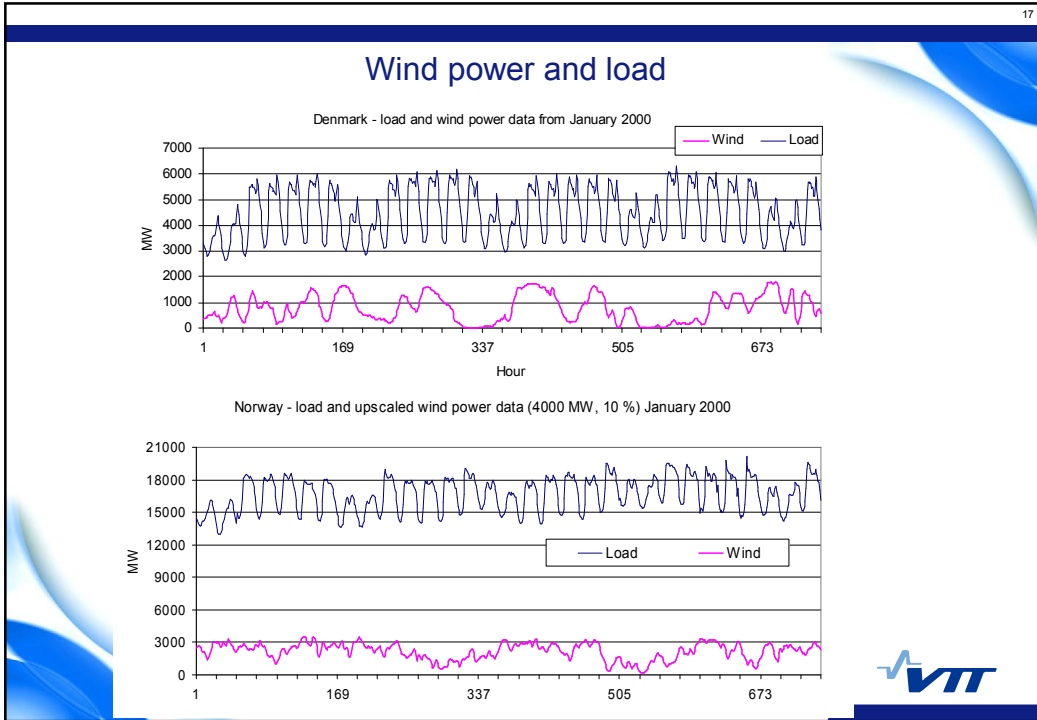


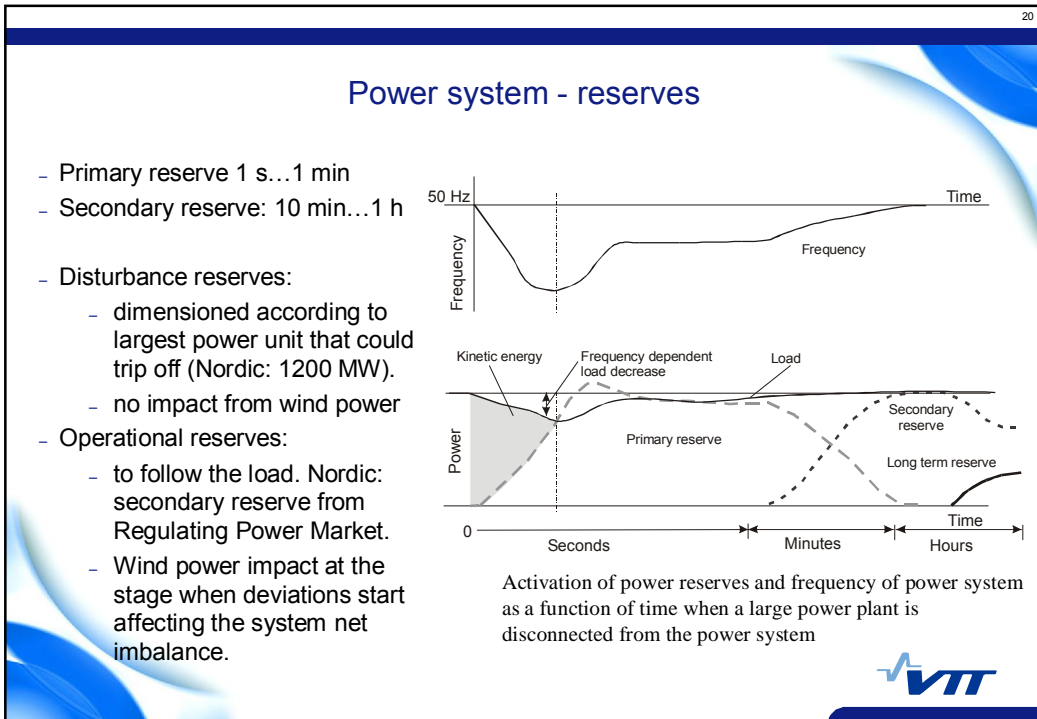
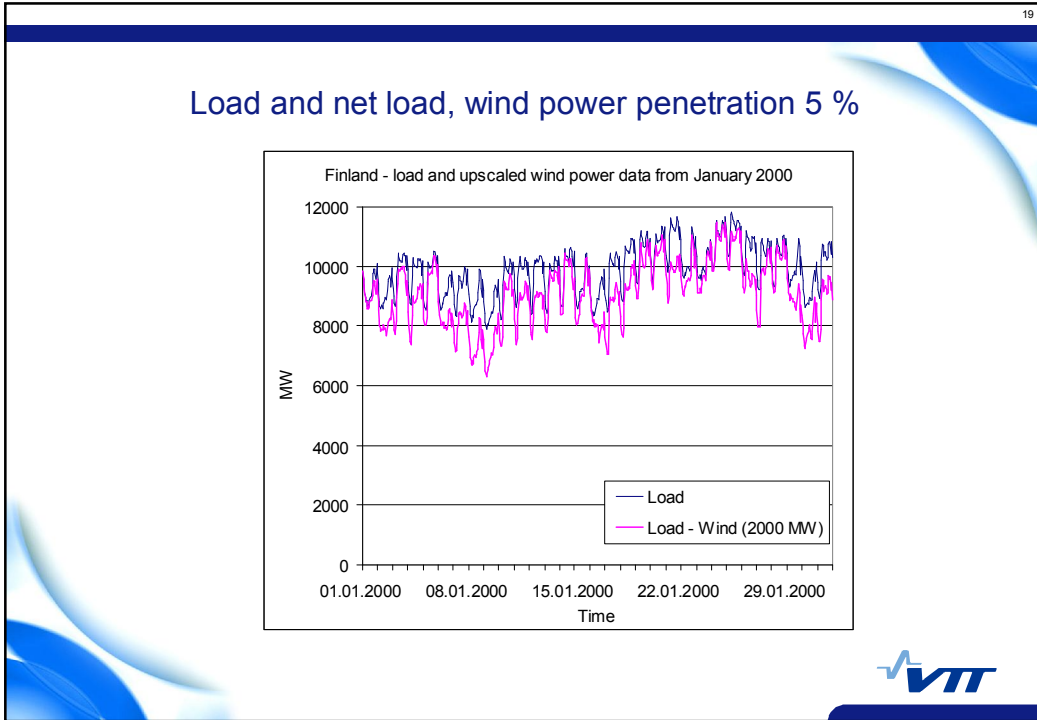
16

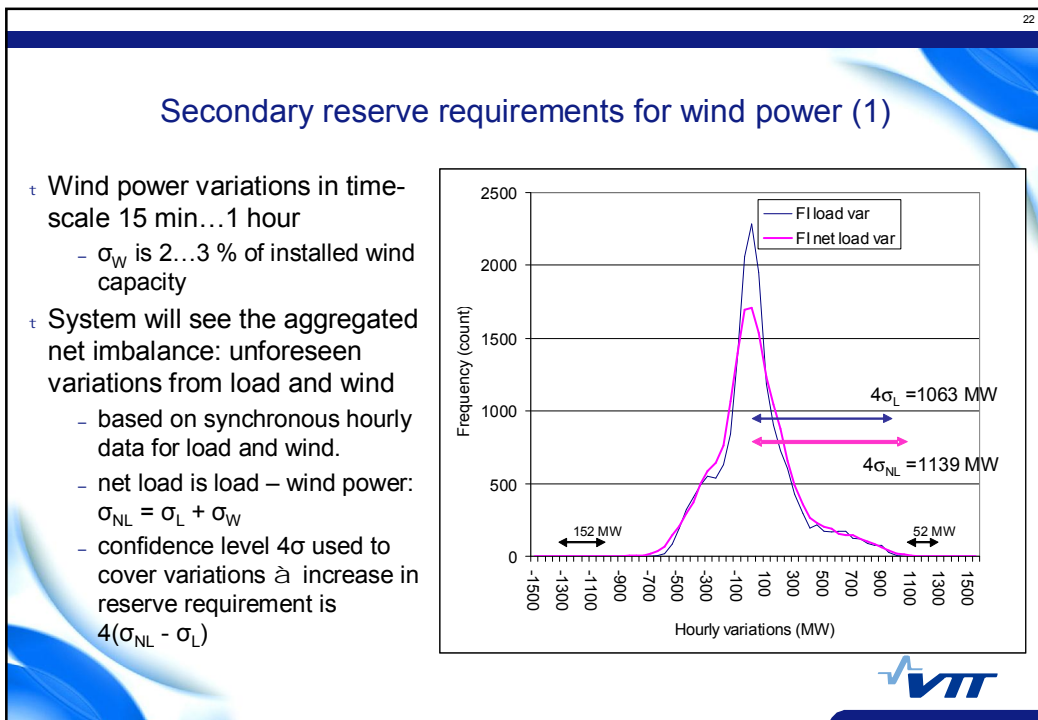
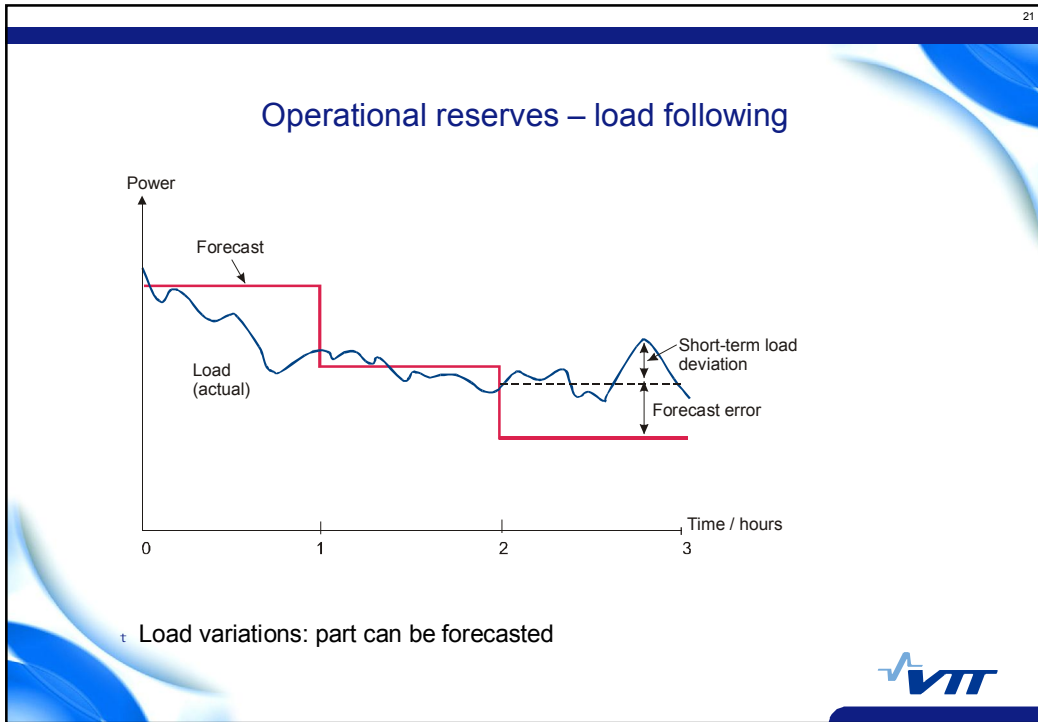
In the Nordic power system

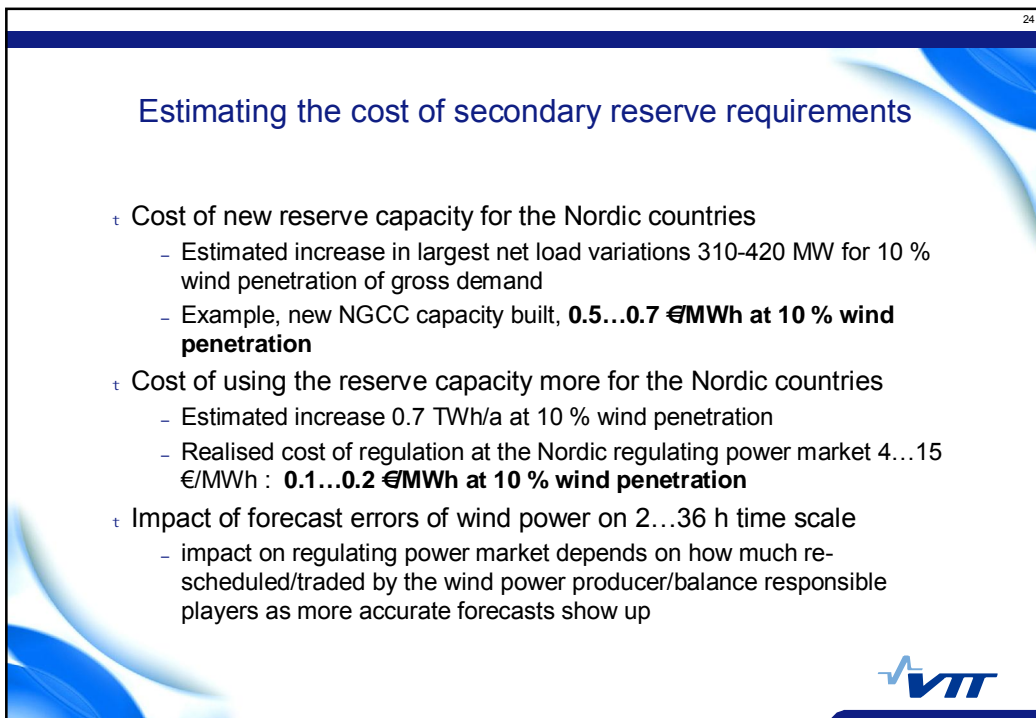
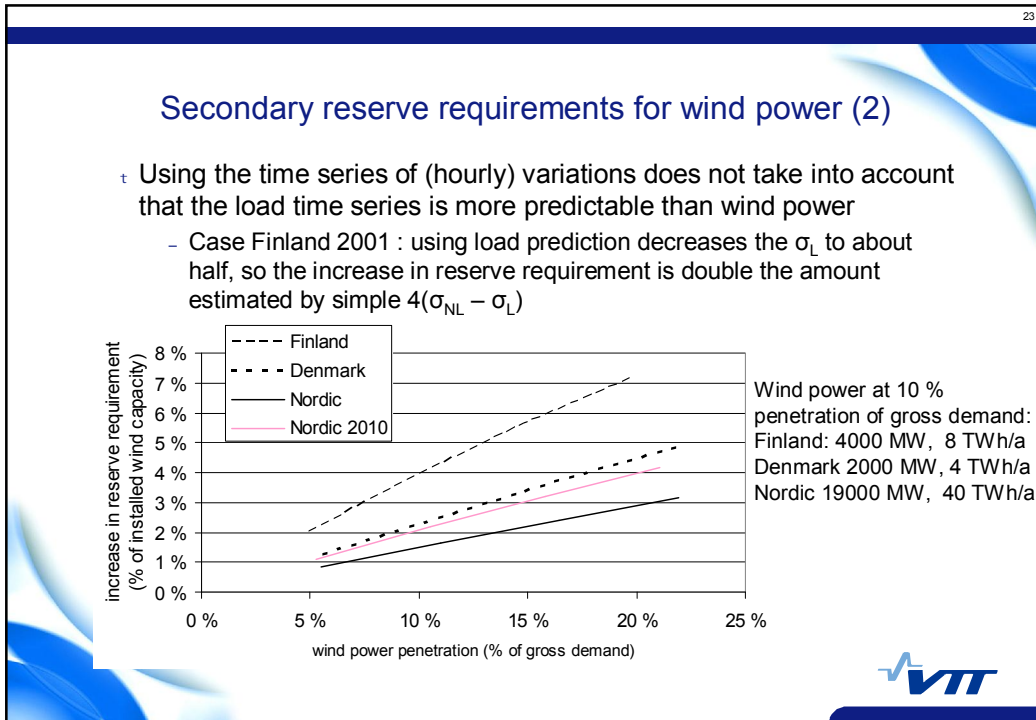
- † Task of balancing supply and demand is distributed to Balance Responsible Players (BRP).
 - All production and consumption goes through a contract with someone who has a contract with a BRP
 - BRP's give production schedules to TSO one day before, can change the schedule up to the delivery hour
- † During the operating hour, the responsibility is moved to TSO
 - Producers bid the regulating power to common Regulating Power Market and TSO's determine the use of reserves (and Regulating Power Market) according to net imbalances of the (Nordic) system.
- † After the operating hours the net imbalances of all BRP's are calculated and charged for according to country specific rules
 - If BRP net imbalance is to the same direction as system net imbalance, payment according to regulating power price of the hour
 - If BRP net imbalance has helped the system, no extra payment (Norway: extra income)











Other impacts



Impacts on losses in the power system

26


- t Increased losses in hydro power production:
 - According to simulations wind power will first decrease losses ; when wind power 12 % of gross demand, increase in losses of the order of 1 % of the produced wind energy
- t Thermal power production:
 - According to simulations, DK thermal power operating costs increased when limited transmission possibility and wind power more than 10 % of gross demand
- t Transmission
 - According to simulations, increasing especially from Nordel to Central Europe
 - Bottlenecks can be increased, depending on where wind power is built. f.ex. in Norway wind power decreases transmission between the areas during dry years and increases it during wet years



27

CO2 emission reduction


- † Wind power replaces the production form with highest operating costs
 - usually production in coal fired condense power plants
 - hydro power dominated Nordel system: does wind power replace coal condense at each instant like in other systems?
- † Wind power will decrease the CO2 emissions in the Nordic countries:
 - According to simulations, by 700 gCO₂ / kWh
 - This effect will decrease when more wind power is increased: 620 g/kWh at 12 % penetration of gross demand
 - Increasing part of this decrease will come from Central-Europe



28

Wind power in the electricity market


- † Large-scale wind power will affect the prices in the market:
 - decrease the price at spot markets about 2 €/MWh for each 10 TWh/a wind power added
 - raise the regulating power market prices
- † Wind power producers will pay imbalance payments for their prediction errors
 - Prediction methods for wind power production still need improving.
 - Market rules affect how wind power producers can act in the market: imbalance payments should reflect the real costs induced for the power system
 - One-price system for balance settlement in Norway is good for wind power producers



29

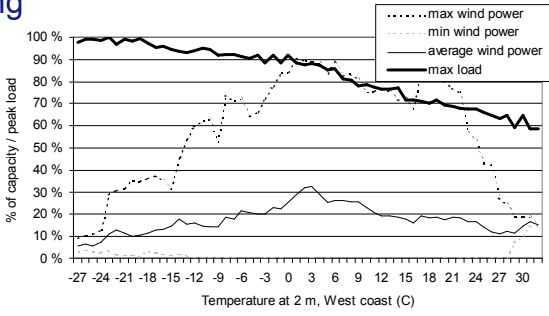
Impacts on adequacy and long-term reserves

- t How much can wind power replace other generation?
- t This depends on wind power production during high load periods
 - this is on average near the average production
- t Adequacy of power:
 - the capacity credit of wind power: wind power can replace other capacity according to average power produced at small penetrations. At higher penetrations, capacity credit of wind power decreases.
- t Adequacy of energy:
 - Hydro dominated systems, wind energy has larger benefits
- t Electricity markets:
 - also long-term reserves outside one country

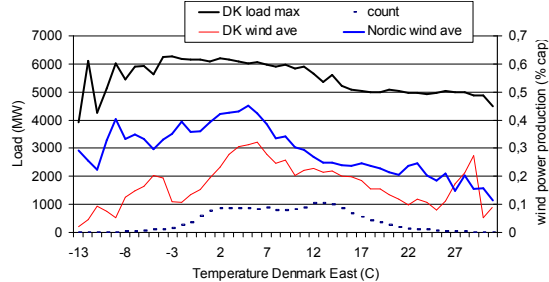


30


Wind power during peak load

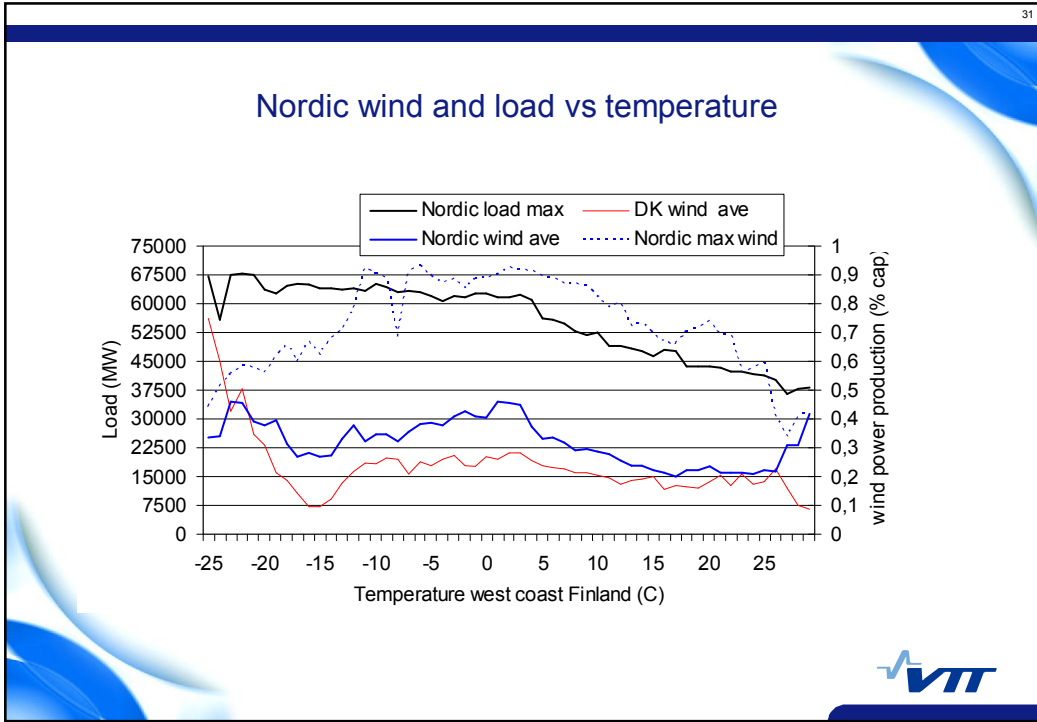


Finland



Denmark





32

Wind power production during highest peak loads

	The whole year Average (min-max)	During 10 peaks Average (min-max)	During 50 peaks Average (min-max)	During 100 peaks Average (min-max)
Denmark 2000	24 % (0-93 %)	24 % (1-70 %)	31 % (1-87 %)	31 % (0-87 %)
Denmark 2001	20 % (0-90 %)	37 % (0-74 %)	30 % (0-87 %)	28 % (0-87 %)
Denmark 2002	22 % (0-91 %)	11 % (3-23 %)	14 % (2-53 %)	17 % (1-89 %)
Finland 1999	22 % (0-86 %)	7 % (5-10 %)	7 % (3-37 %)	9 % (2-46 %)
Finland 2000	24 % (0-91 %)	36 % (4-72 %)	32 % (3-75 %)	29 % (3-75 %)
Finland 2001	22 % (0-86 %)	19 % (3-38 %)	19 % (3-38 %)	17 % (3-38 %)
Finland 2002	20 % (0-84 %)	17 % (7-32 %)	17 % (6-54 %)	18 % (2-70 %)
Sweden 1999	25 % (0-100%)	23 % (16-29 %)	20 % (2-63 %)	20 % (1-66 %)
Sweden 2000	24 % (0-95 %)	16 % (7-49 %)	16 % (1-55 %)	16 % (0-63 %)
Sweden 2001	23 % (0-95 %)	47 % (40-51 %)	33 % (3-55 %)	29 % (3-63 %)
Sweden 2002	24 % (0-91 %)	16 % (3-36 %)	24 % (2-80 %)	25 % (2-80 %)
Norway 1999	32 % (0-100%)	55 % (17-86 %)	51 % (0-100%)	53 % (0-100%)
Norway 2000	34 % (0-93 %)	36 % (9-74 %)	35 % (9-74 %)	35 % (9-79 %)
Norway 2001	31 % (0-93 %)	61 % (39-84 %)	54 % (26-84 %)	46 % (15-84 %)
Norway 2002	32 % (0-86 %)	63 % (46-84 %)	58 % (22-84 %)	51 % (13-84 %)
Nordic 2000	27 % (1-81 %)	16 % (4-40 %)	21 % (4-56 %)	24 % (4-66 %)
Nordic 2001	24 % (1-84 %)	48 % (43-50 %)	37 % (9-56 %)	30 % (7-56 %)
Nordic 2002	25 % (1-73 %)	33 % (16-54 %)	33 % (11-61 %)	30 % (10-69 %)

Summary



System impacts of wind power – some results (1)


- † Primary reserves:
 - no impact in reasonable penetration levels; wind farms can provide
- † Secondary reserves: increasing impact with increasing penetration
 - 1...2 €/MWh at 10 % and 2...5 €/MWh at 20 % penetration
 - Nordic system: 310-420 MW (2 % of capacity) , 1 €/MWh for 10 % energy penetration.
- † Impact of forecast errors of wind power on 2...36 h time scale
 - impact on regulating power market depends on how much re-scheduled/traded by the wind power producer/balance responsible players as more accurate forecasts show up
- † Adequacy of power system
 - capacity credit of wind power near average production when small penetration, reducing at higher penetrations
 - benefits of wind higher in energy restricted systems



35

System impacts of wind power – some results (2)


- † Wind power affects the electricity market prices:
 - decrease of spot market price, Nordpool: 2 €/MWh for 10 TWh/a wind power
 - increase of regulation power market price
- † Wind power decreases the CO₂ emissions
 - Nordic hydro dominated system: initially 700 g/kWh decreasing to 620 g/kWh at 12 % penetration
- † Efficiency of production in the electricity system
 - Losses in efficiency of thermal/hydro power plants: when wind power production more than 10 % of gross demand
 - Discarded wind energy, starts at 10 % penetration if thermal system leaves turbines on-line for reserves
- † Transmission and distribution losses and congestion management
 - reduction or increase depending on the siting of wind power vs load
 - high penetration of wind power ⇒ an increase in transmission is seen



36

Conclusions

- † Integration costs of wind power depend on
 - how much wind power and where
 - power system: load, generation flexibility, interconnections
- † When wind power is added to a large interconnected power system
 - there is considerable smoothing effect for the production
 - increase of reserve requirements will stay at low level
- † 10 % penetration of wind power is not a problem in Nordic countries,
 - as long as wind power is built to all 4 countries
- † Increasing the share of wind power will increase the integration costs
- † 20 % penetration would need more flexibility in the system.
 - That will not happen in the near future for Nordel, and the power system will probably also contain more flexible elements at that stage, like producing fuel for vehicles



37

PhD can be found at

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2004/P554.pdf>

The VTT logo is located in the bottom right corner of the slide. It consists of a stylized blue graphic element resembling a pulse or a signal, followed by the letters 'VTT' in a bold, blue, sans-serif font.

Presentasjon ved Vindkraft FoU Seminar
Royal Garden, Trondheim, 26. januar 2006

SYSTEMKRAV og NETTANALYSER

Systemkrav – Hva er det og hvorfor?
Sammenstilling og eksempler
Konsekvenser for nettanalyser
Eksempler

Kjetil Uhlen
SINTEF Energiforskning AS

INNHOOLD

- Systemkrav – Hva er det og hvorfor?
 - Generelt om systemkrav ved nettilkobling av vindparker
 - Sammenstilling og eksempler på systemkrav i andre land
- Konsekvenser for nettanalyser
 - Hva er viktig?
 - Eksempler på analysebehov:
 - Termisk kapasitet og spenningsnivå
 - Spenningsstabilitet
 - Simulering av feil - Transient stabilitet ("Fault ride through")
 - Effektregulering (settpunkt – systemvern)
 - Regulérstyrke - frekvensregulering
- Oppsummering og diskusjon

Systemkrav ("Grid codes")

Hva og hvorfor?

- Funksjonskrav til anlegg (f.eks. vindkraftverk) som skal tilkobles elnettet
 - Formålet er å sikre de egenskaper som er vesentlige for systemets drift med hensyn på forsyningsikkerhet, driftssikkerhet og elkvalitet på kort og lang sikt.
 - I Norge:
 - Forskrift om Systemansvar (FoS), §14: idriftsettelse av nyanlegg:
 - Statnett skal godkjenne idriftsettelse av nyanlegg
 - Bidra til å sikre funksjonalitet og driftssikkerhet i regional- og sentralnettet
- Energilovens overordnede målsetting om samfunnsmessig rasjonell utnyttelse og utvikling av kraftsystemet

Systemkrav ("Grid codes")

Vindkraft spesielt

- Spesielle krav for vindkraftverk er utarbeidet i mange land:
 - Danmark
 - Tyskland
 - Spania
 - UK
 - Irland
 - Sverige
- Norge: Innarbeidet i "Veiledende systemkrav til anlegg tilknyttet regional- og sentralnettet" (VtA)

Generelt om systemkrav til vindkraftverk

Kravene omfatter:

- Normalt driftsområde (frekvens og spenning)
 - Øvre og nedre grenser for når vindparken skal være i drift og når den skal kobles ut
- Effektregulering
 - Produksjonsregulering (tall krav)
 - Start og stopp, maksimale endringsrater,...
 - Frekvensregulering (regulérstyrke)
- Reaktiv ytelse og spenningsregulering
 - Reaktiv effektkompensering
 - Krav til reguleringsutrustning (Mvar-regulering, spenningsregulering, osv.)
- Samspill mellom elsystemet og ytelse ved feil i nettet
 - Krav til transient stabilitet ("Fault ride through". Tallkrav)
 - Beskyttelse av selve vindparken ved feil i nettet
- Krav til dokumentasjon, nettanalyser og prøver.
 - Går på ansvaret for gjensidig informasjon, driftsdata, osv.

Sammenstilling av ulike lands krav

Ulike forutsetninger

- Tyskland:
 - Del av et stort og sterkt sammenkoblet system (UCTE)
 - Termisk dominert
- Irland
 - Mindre isolert system
 - Potensial som kan gi stor andel vindkraft
- Norge
 - Del av et større system (Nordel)
 - Utstrakt og mindre sammenkoblet
 - Vannkraftdominert

Sammenstilling av ulike lands krav

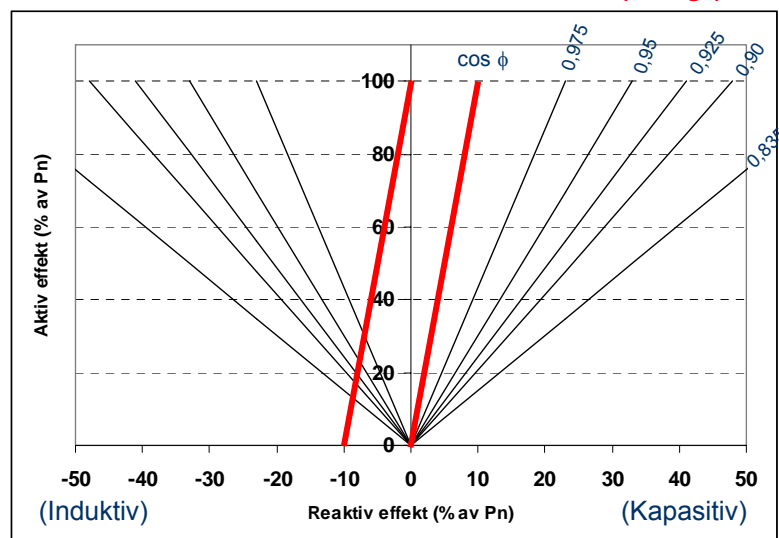
Generelle betraktninger

- Omhandler samme tema, men med ulike beskrivelser
 - (Forskjellige utgangspunkt)
- Liten grad av harmonisering
- Vanskelig å sammenstille

- Eksempler
 - Reaktiv ytelse
 - Fault ride through
 - Regulérstyrke - frekvensregulering

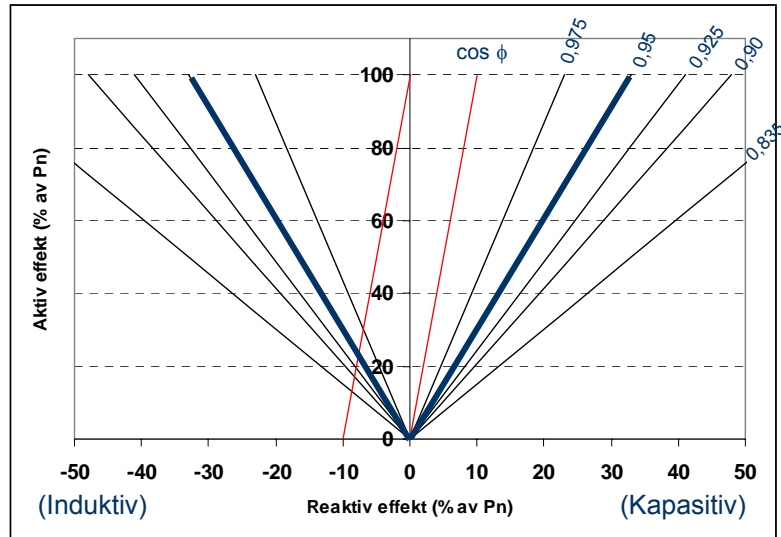
Reaktiv ytelse

Danmark (Sverige)



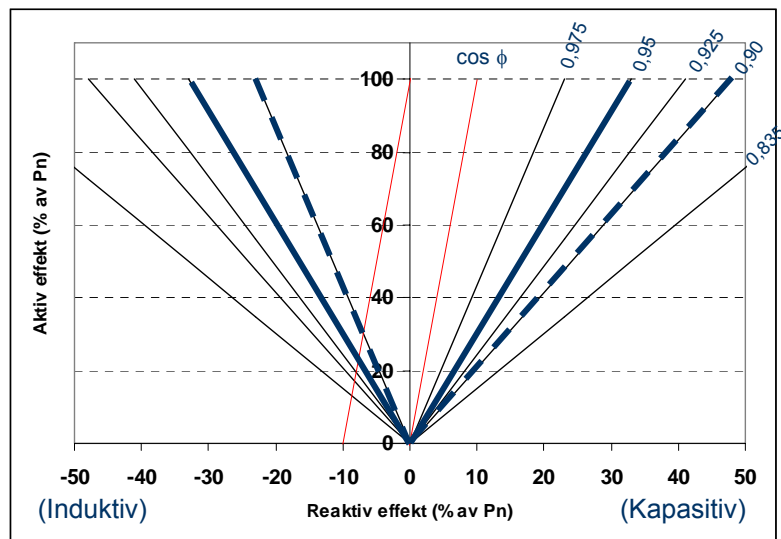
Reaktiv ytelse

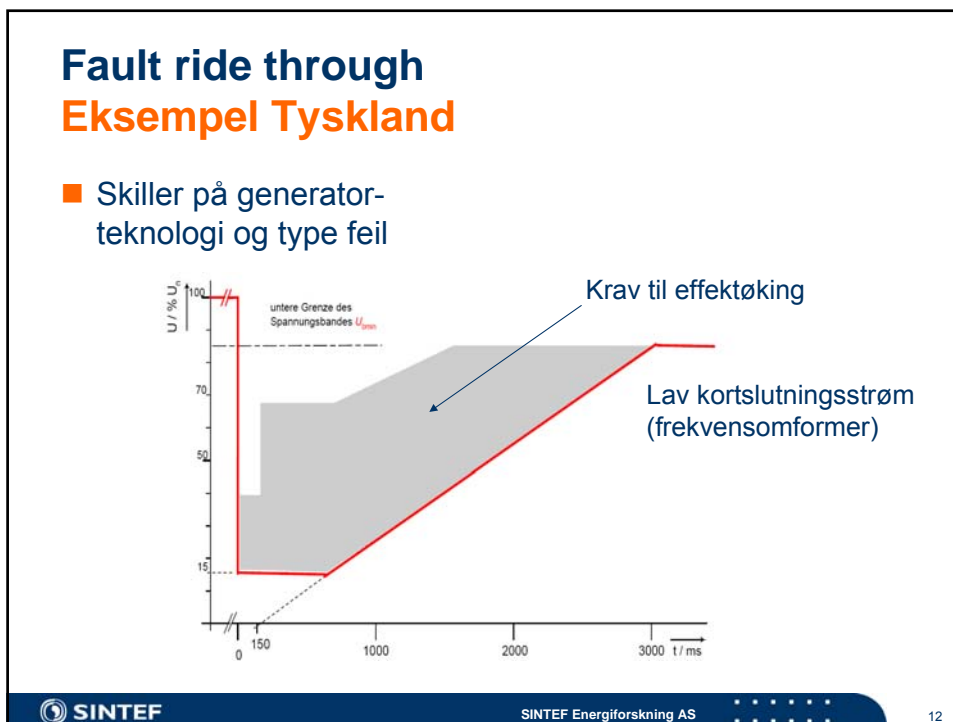
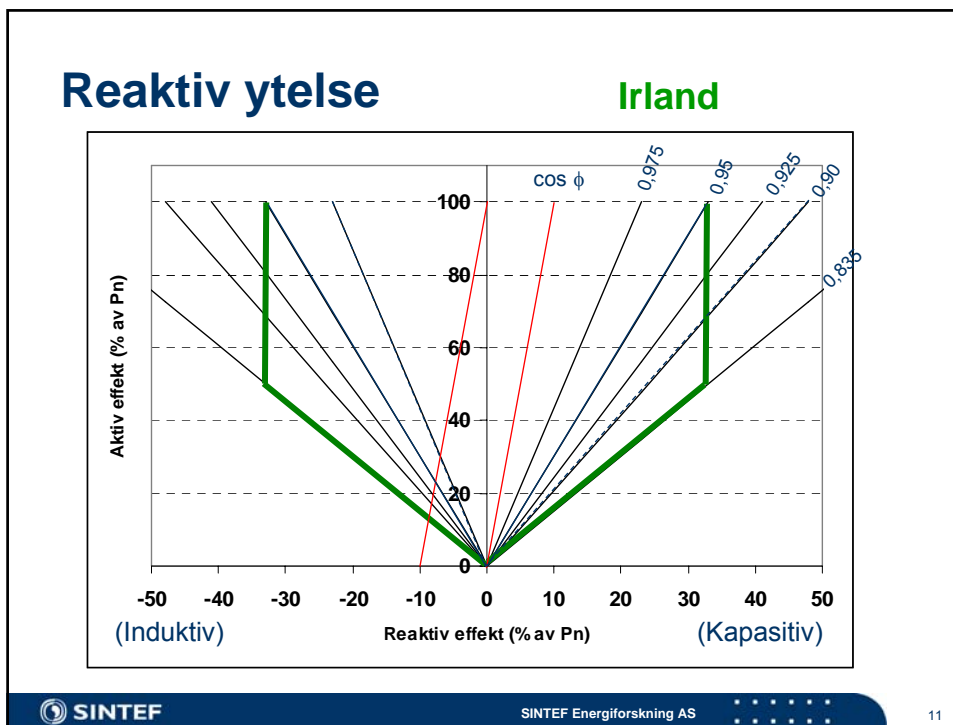
Tyskland (< 100 MW)



Reaktiv ytelse

Tyskland (> 100 MW)





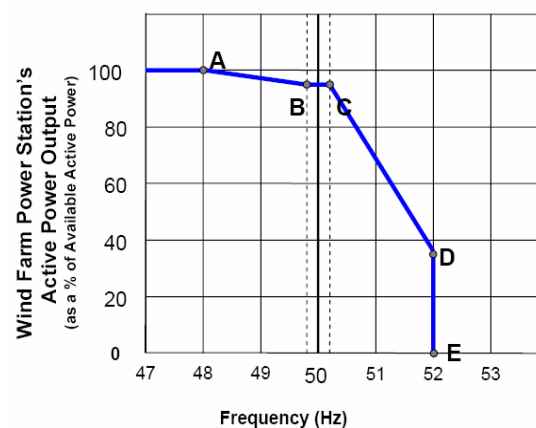
Fault ride through Eksempel Tyskland

- Skiller på generator-teknologi og type feil



Regulerstyrke og frekvensregulering Eksempel Irland

- Klare krav til funksjonalitet for å bidra med regulerstyrke
- Tallkravene kan variere



Oppsummering Systemkrav

- I praksis ikke så veldig store forskjeller mellom de ulike lands krav
- Liten grad av harmonisering
- Ulike forutsetninger – ulike krav
- Tyskland: Fokus på "fault ride through"
 - Viktig å unngå kaskadering og omfattende utfall av produksjon i tett masket nett
- Irland: Fokus på effektregulering
 - Regulérstyrke og balansehandtering viktig i et mindre isolert system

Nettanalyse

Analysebehov

Vanlig utgangspunkt for nettanalyse:

- Netteier: Hvor stor vindpark kan tillates etablert ?
- Utbygger: Hvor mye effekt (fra vind) kan mates inn i et gitt nett/område?
- Forutsetninger:
 - Gitt eksisterende nett, med mulige forsterkninger
 - Fordeling av last og annen lokal produksjon
 - Teknologi og systemkrav

Konsekvenser for nettanalyser

- Avhengig av eksisterende nett og størrelse på prosjektet er en eller flere av følgende analyser nødvendige:
 1. Analyse av termisk kapasitet og spenningsnivå (inkl. spenningskvalitet)
 2. Spenningsstabilitet
 3. Simulering av feil - Transient stabilitet ("Fault ride through")
 4. Effektregulering (settpunkt – systemvern)
 5. Regulérstyrke - frekvensregulering

- Hva er viktigst i forhold til systemkrav?
 - Spenningsregulering og Reaktiv effektytelse
 - Effektregulering

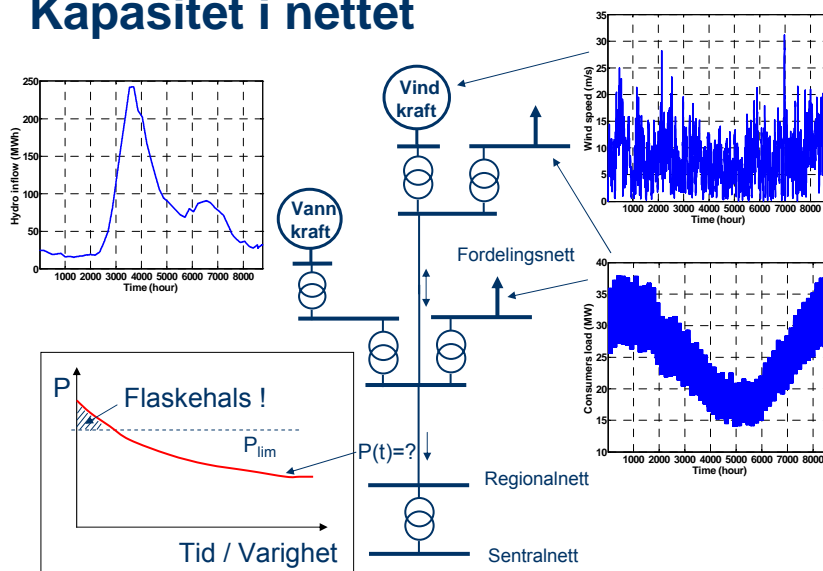
Eksempler på ulike typer analyser

- Termisk kapasitet og spenningsnivå
- Spenningsstabilitet
- Simulering av feil - Transient stabilitet ("Fault ride through")
- Effektregulering (settpunkt – systemvern)
- Regulérstyrke - frekvensregulering

Termisk kapasitet og spenningsnivå

- Stasjonær analyse (lastflyt)
- Kombinert med produksjons- og lastfordelinger
 - Viktig å få med variasjoner over året
 - Ikke lenger tilstrekkelig å analysere "worst case" tilfellet
- Aktuelle verktøy:
 - Kombinasjon av lastflyt og "markedsmodell"

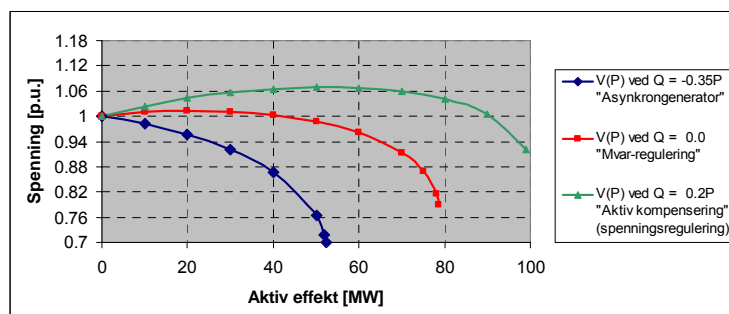
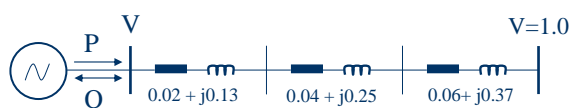
Kapasitet i nettet

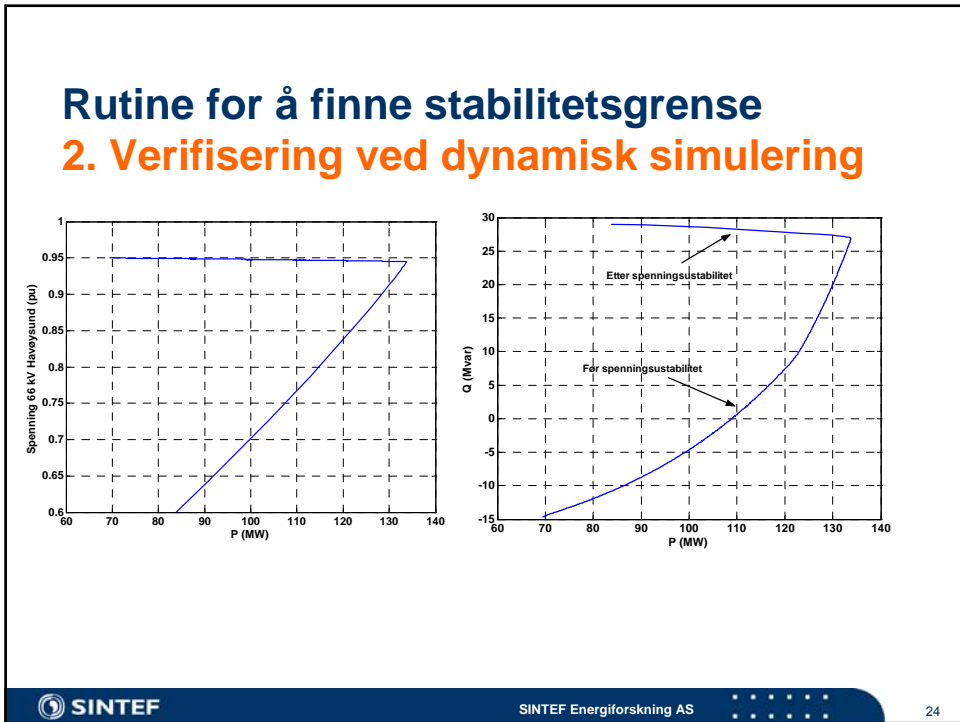
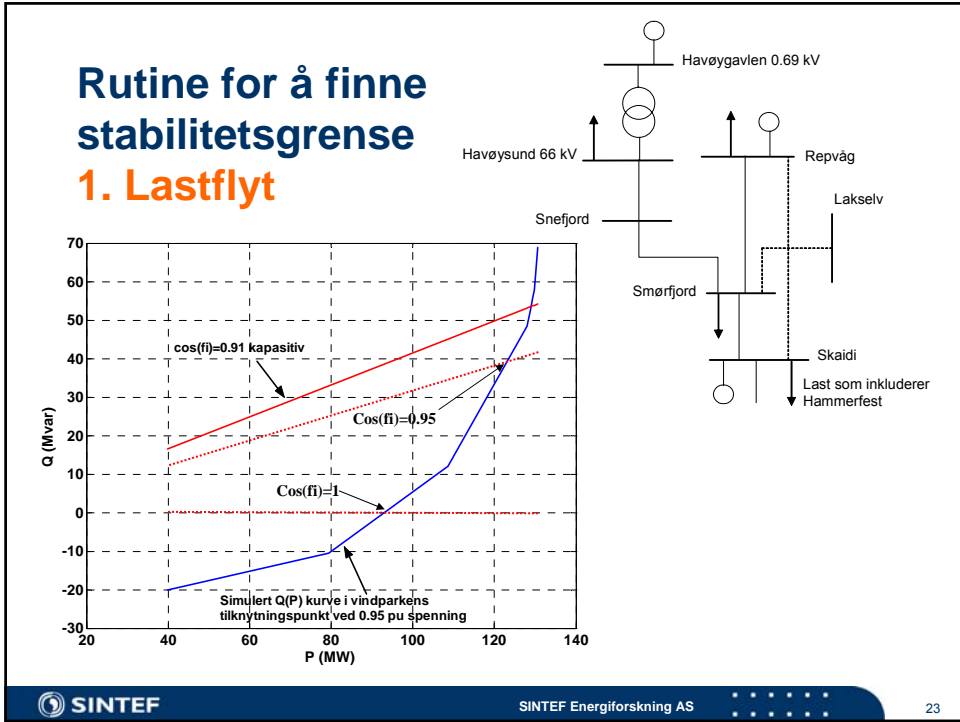


Spenningsstabilitet

- Viktig for å verifisere stasjonære analyser
 - Hva er mest begrensende (termisk, spenning eller stabilitet)?
- Etablerte rutiner for analyse av spenningsstabilitet
- Mest kritisk for vindturbiner med asynkrongenerator
- Eksempel:

Betydningen av reaktiv kompensering

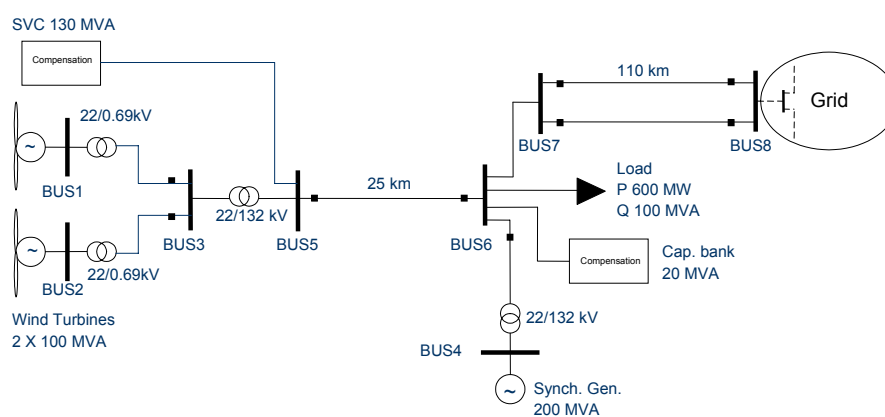




Simulering av feil - Transient stabilitet ("Fault ride through")

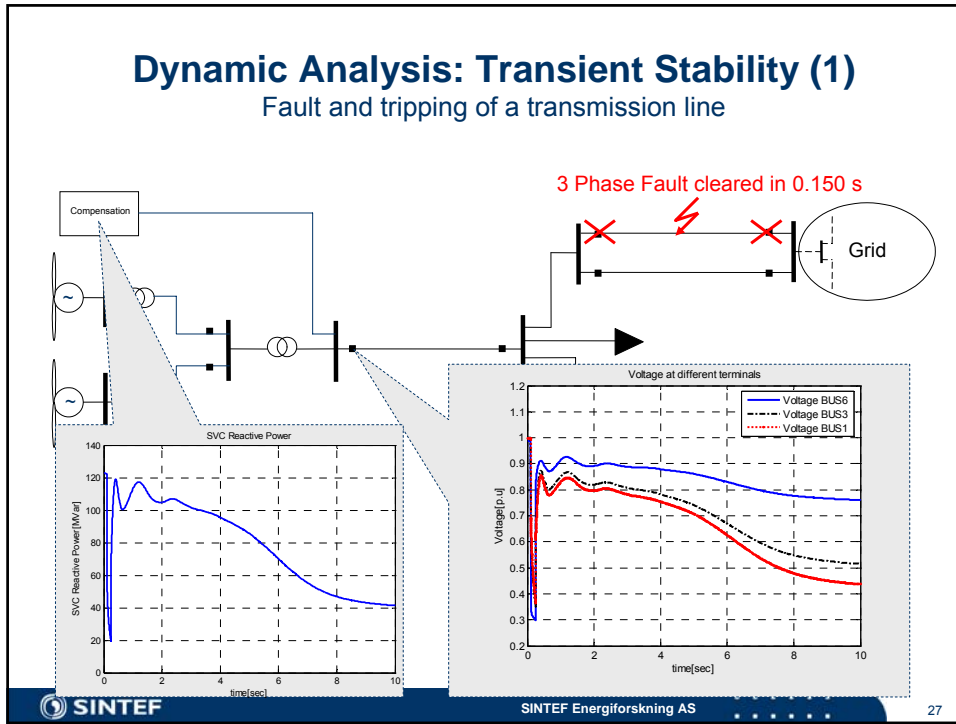
- Forutsetter at dimensjonerende/kritisk feil er bestemt
- Systemkrav gir retningslinjer
 - Ved hvilke feil skal vindparken forbli tilkoblet?
- Krever dynamisk analyse
- Hva kreves av regulering/kompensering for at vindparken skal oppfylle kravene?
 - Eksempel / problemstilling fra Giuseppe Di Marzio:

Test System and Parameters



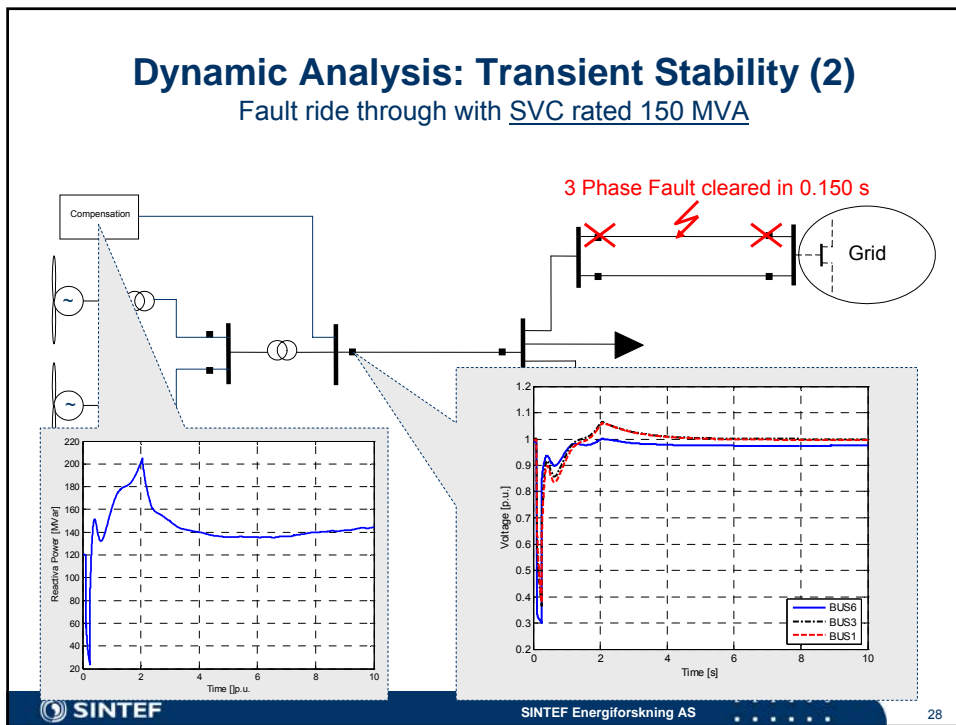
Dynamic Analysis: Transient Stability (1)

Fault and tripping of a transmission line



Dynamic Analysis: Transient Stability (2)

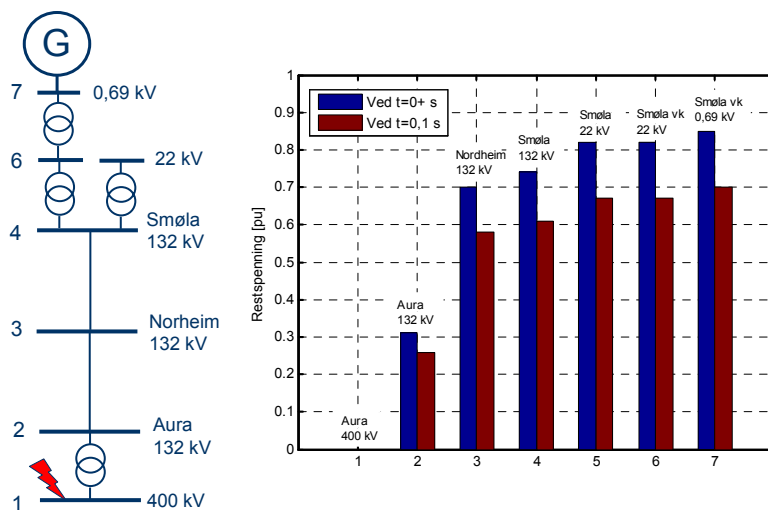
Fault ride through with SVC rated 150 MVA

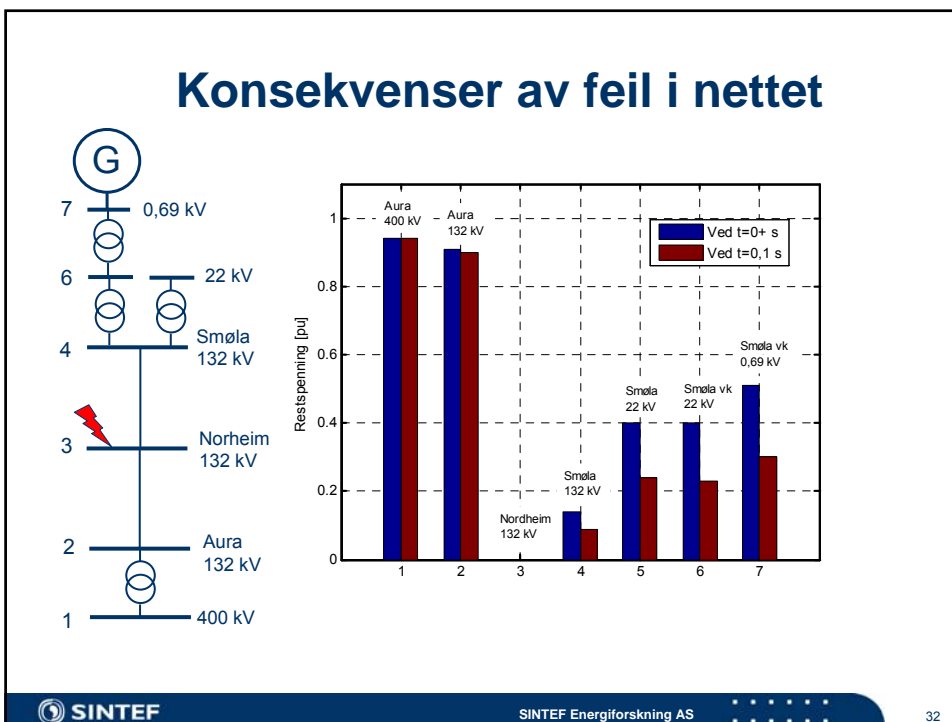
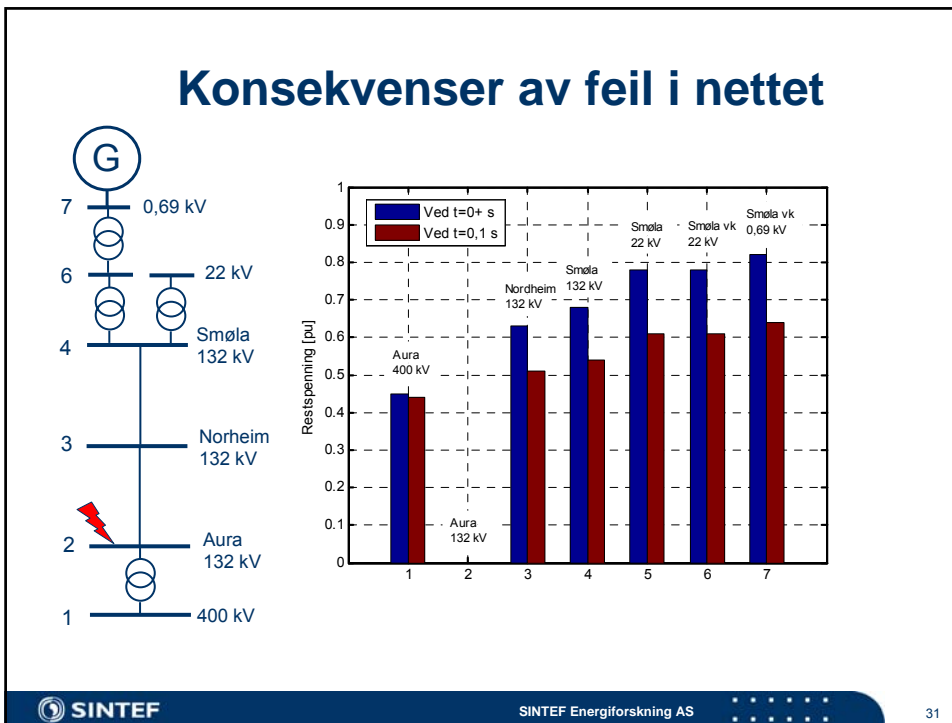


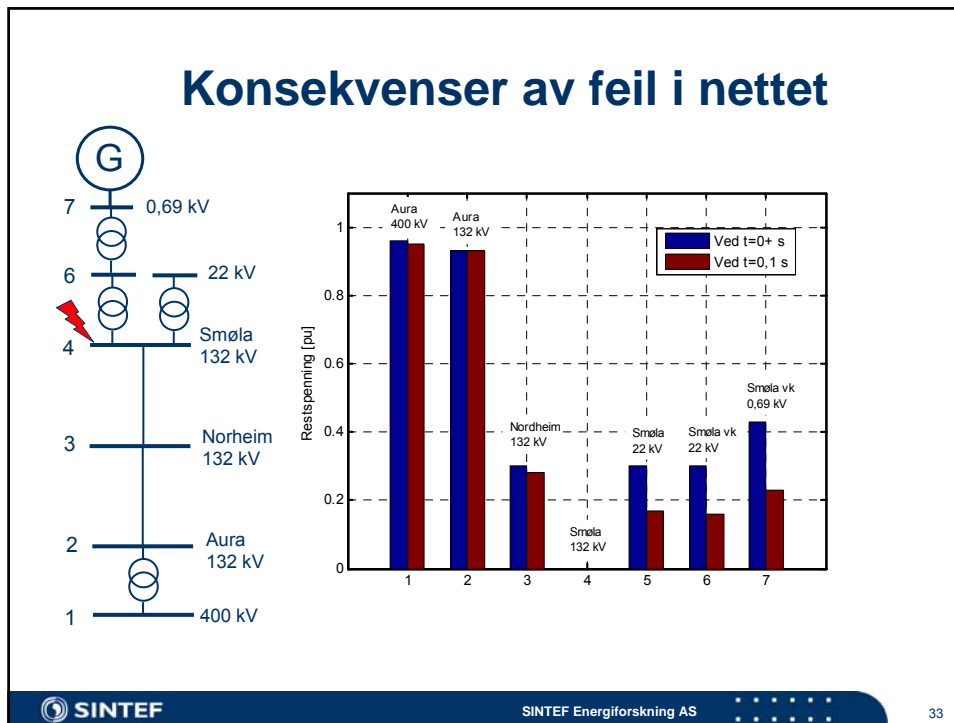
Diskusjon:

- Det er behov for "ride through" egenskaper for å unngå følgefeil og nettsammenbrudd
 - Ellers må overføringsgrensene reduseres deretter..
 - Det kan være avgjørende at vindparken bidrar med økt reaktiv kompensering etter feil (aktiv spenningsregulering)
- I noen tilfeller kan det også være ønskelig at hele eller deler av vindparken kobler fra.
 - For eksempel ved overlast i tilknyttet regionalnett. Konflikt?
- En kritisk feil i hovednettet vil ikke gi null spenning ved vindparken:
 - Hvor skal grensen for laveste spenningsdip settes?
 - I hvilken grad er det behov for at vindparken overlever feil nærmere tilknytningspunktet?

Konsekvenser av feil i nettet



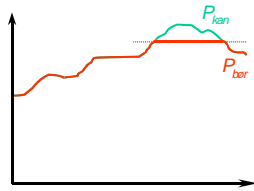




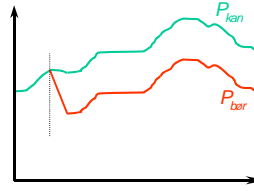
Effektregulering og regulérstyrke

- Effektregulering (settpunkt – systemvern)
 - Analyse og design av systemvern mest aktuelt
- Regulérstyrke - frekvensregulering
 - Aktuelt i spesielle situasjoner
 - Ved virkelig storskala utbygging
 - I nettområder der vindkraften blir dominerende

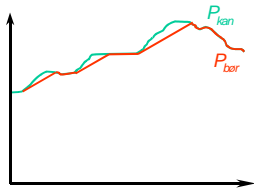
Effektregulering Wind Farm Controller



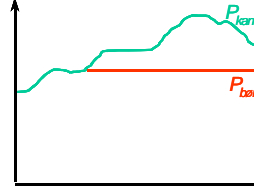
Absolute power limit



Delta power limit



Power gradient limit

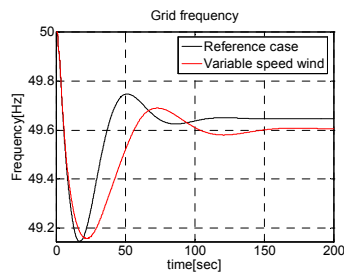


Block regulation

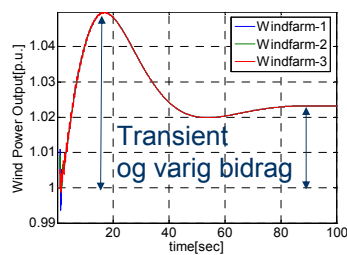
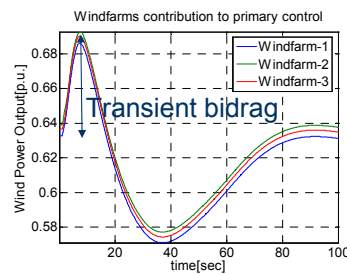
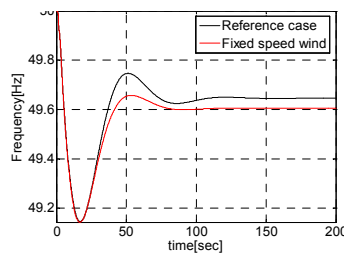
Source: Energinet.dk

Effektregulering Regulérstyrke

- Lav vind
- Variabel hastighet



- Høy vind
- Konstant hastighet



Oppsummering / Diskusjon

■ Systemkrav

- Ulike land har ulike problemstillinger
- Dette reflekteres i systemkravene
 - Tyskland: Transient stabilitet ("Fault ride-through")
 - Irland: Effektregulering, muligheter og koordinering
 - Norge: Behov for spenningsregulering og reaktiv kompensering

■ Nettanalyser

- Viktig for å finne grenser for hvor mye vindkraft nettet eller systemet kan tåle
 - For utbygger: Spørsmål om lønnsomhet
 - For netteier: Spørsmål om driftssikkerhet og elkvalitet
- Viktig at analysene reflekterer de nye kravene!

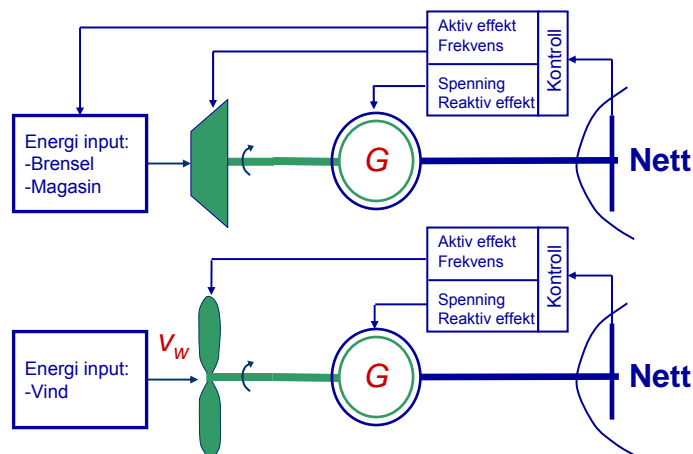
EXTRA SLIDES!

Oppsummering / Diskusjon

■ Min oppfatning:

- Jeg tror vi undervurderer systemets evne (og de som driver og jobber med dette) når det gjelder å tilpasse seg nye energiformer og driftssituasjoner.
- Stabilitet og problemstillinger knyttet til primærregulering kan løses (uten store ekstrakostnader for systemet)
- Balanseregulering, flaskehalshåndtering og effektproblematikk er hovedutfordringene på sikt.
- (Dette vil muligens være mer et økonomisk/politisk spørsmål enn et teknisk problem?)

Hva skiller vindkraftverk fra andre kraftverk?



- Vindkraftverk mangler energilager "bak" turbinen
- Vanskeliggjør produksjonsplanlegging

Systemkrav til vindkraftverk kan omfatte:

- Effekt og effekterregulering
 - Produksjonsregulering (tall krav)
 - Start og stopp, maksimale endringsrater,..
- Frekvensforhold
 - Øvre og nedre grenser for når vindparken skal være i drift og når den skal kobles ut
- Spenningsforhold
 - Reaktiv effektkompensering
 - Krav til reguleringsutrustning (Mvar-regulering, spenningsregulering, osv.)
 - Spenningskvalitet (Hurtige spenningsendringer, spenningsvariasjoner og flicker, telefonforstyrrelser, harmoniske, forstyrrelser av telekommunikasjon. Tall krav)
 - Temporære overspenninger
- Samspill mellom elsystem og vindpark ved feil i elsystemet
 - Krav til stabilitet (Trefase feil og tofase feil. Tallkrav)
 - Mer omfattende feil (Tallkrav)
- Beskyttelse av selve vindparken ved feil i nettet
 - Normalt anleggseiers ansvar.
 - Denne beskyttelse må ikke være i strid med de øvrige krav i tilknytningsbetingelsene.
- Kommunikasjon til/fra vindparken
 - Går på ansvaret for gjensidig informasjon, driftsdata, osv.
- Krav til dokumentasjon, nettanalyser og prøver.

Oversikt over retningslinjer ("grid codes")

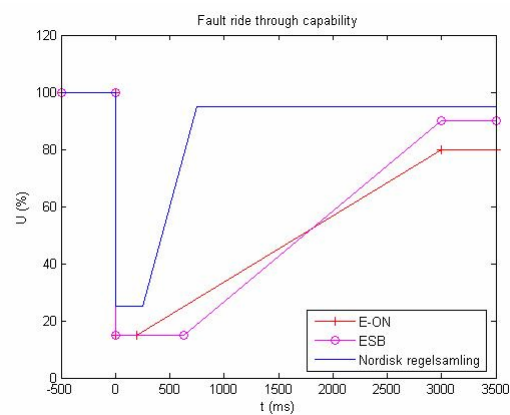
Land:	Hensyn til vindkraft:	Retningslinje:	Merknad:
Danmark	Ja	Eltra: Tilslutningsbetingelser for vindmølleparker tilsluttet transmissionsnettet	Eget dokument for vindkraft
Frankrike	?	1228/2003	EU-dokument som omhandler elførselning over grenser.
Irland	Ja	ESB National grid, Grid code: Beskrive karakteristika och driftsantagelser	
Italia	Nej	GRTN: regole tecniche di connessione	På italiensk
Latvia	Nej		
Litauen	Nej		Bare tekst
Norden	Nja	Nordisk Regelsamling 2004	Refererer til at det finnes spesielle krav i Danmark
Portugal	Nej		
Romania	Nej	NATIONAL ELECTRICITY COMPANY-CONEL	
Spania	Nej		Skriver om fornybar energi, men mener (nok) biomasse basert energiproduksjon
Tyrkia	Nej		Bare tekst
Tyskland	Ja	VDN TransmissionCode 2003	Krav til fornybare energikilder, deriblant vind
UCTE	Nej		Tekst
UK	Ja	NATIONAL GRID COMPANY	Kan komme å stille krav til vindprodusent
Østerrike	Nej		Delvis på tysk

Eksempler

på problemstillinger relatert til systemkrav (grid codes)

- 1) Eksempel for å illustrere behovet for og betydningen av "fault ride through" egenskaper.
 - Diskusjon..
- 2) Eksempler for å vise behovet for spenningsregulering og (aktiv og reaktiv) effektkontroll
 - Diskusjon
- 3) Eksempel for å illustrere problemstillinger knyttet til flaskehalshåndtering og balanseregulering (frekvensregulering)
 - Diskusjon..

1. Transient stabilitet (Fault ride-through capability)

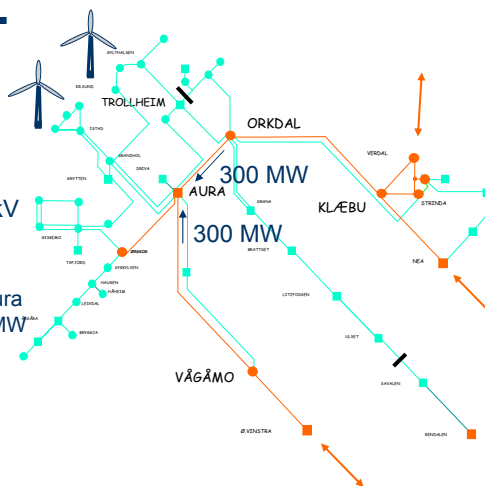


Eksempel: Feil og linjeutfall på nordvestlandet.

■ Driftssituasjon:

- Høy last og liten produksjon i Mørenettet (bortsett fra vindkraft).
- Sum belastning på: 300 kV Vågåmo-Aura og 300 kV Orkdal-Aura er 600 MW
- Lastgrensen på Vågåmo- Aura (mellom NO1-NO2) er 300 MW

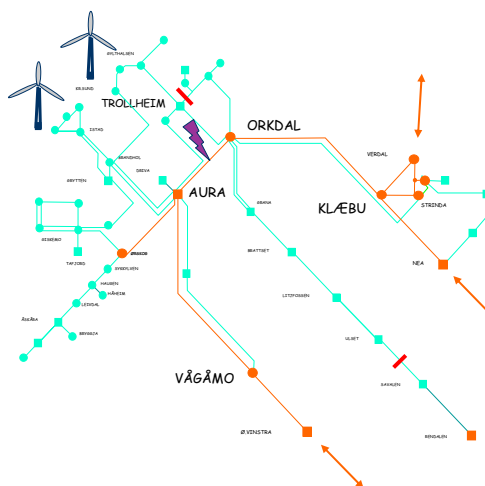
- Kritisk driftssituasjon med effektunderskudd og lite produksjon i "Mørenettet".



Feil: Kortslutning og utfall av 300 kV Orkdal - Aura

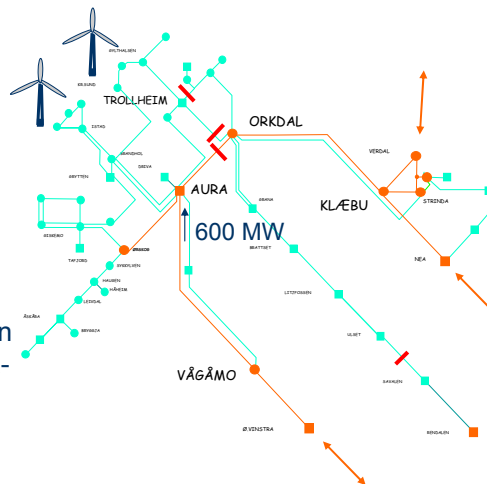
■ Driftssituasjon etter feil:

- 132 kV Orkdal-Trollheim kobles ut (systemvern)
- Hele importbehovet til Mørenettet (600 MW) overføres på 300 kV Vågåmo-Aura



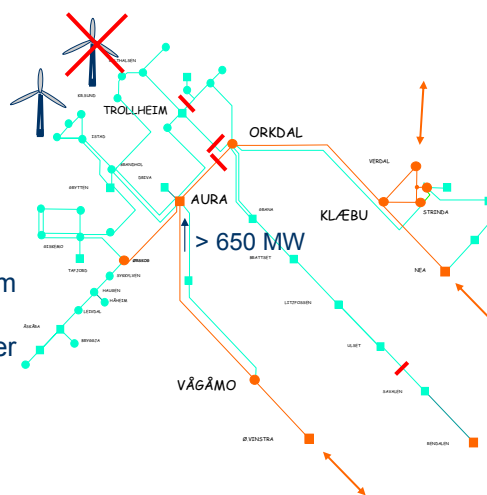
Feil: Kortslutning og utfall av 300 kV Orkdal - Aura

- Driftssituasjon etter feil:
 - 132 kV Orkdal-Trollheim kobles ut (systemvern)
 - Hele importbehovet til Mørenettet (600 MW) overføres på 300 kV Vågåmo-Aura
- Systemet er nå på grensen til spenningskollaps i Aura-området.

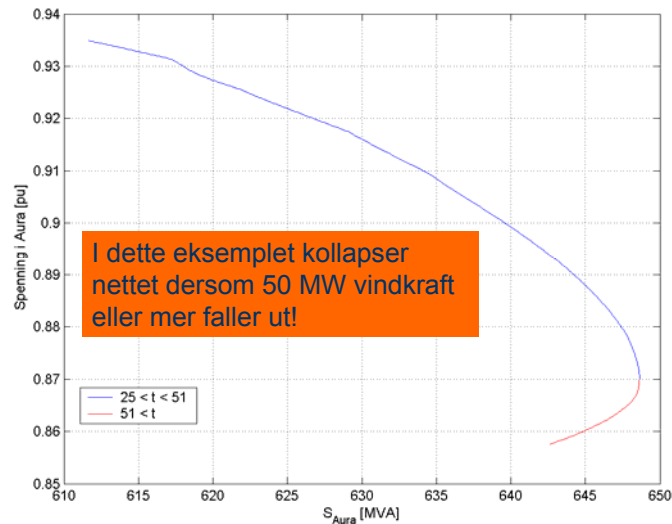


Konsekvens dersom vindparkene også faller ut :

- Driftssituasjon etter feil:
 - Hele importbehovet til Mørenettet overføres på 300 kV Vågåmo-Aura
- Nettet kan kollapse selv om bare deler av vindkraftproduksjonen faller ut!



Case # 1: Spenning som funksjon av snittflyt (P-V kurve)



2. Regulering av vindkraftverk

Spenningsregulering

- Mulighetene avhenger av systemkonfigurasjon (el-konverteringssystem og nettilkobling)
- Ikke alle gir mulighet for levering av reaktiv effekt til nettet. Dette kan påvirke valg av teknologi, i lys av de krav som stilles

Eksempel:

- Relevant for større vindkraftutbygginger (50 – 100 MW)
 - Nettkonfigurasjon representativ for norskekysten
 - Utstrakt regionalnett (lange avstander til hovednett)
- Valg av teknisk løsning helt avgjørende for størrelsen på utbyggingen

Diskusjon

(reaktiv effekt / spenningsregulering)

- Dansk forskrift krever at Vindkraftverk tilknyttet spenningsnivå > 100 kV skal kunne operere i ulike modi:
 - Konstant Mvar
 - Konstant cosFI
 - Spenningsregulering
- Det er ikke et absolutt krav til reaktiv ytelse
- Stasjonære og dynamiske analyser er viktige for valg av systemløsning og kontrolltiltak
- Hva bør kreves i Norge?
- Bør det være et absolutt krav til ytelse eller avhengig av tilknytningspunkt (basert på nettanalyser)?

3. Eksempel på problemstillinger knyttet til balansehåndtering og systemdrift

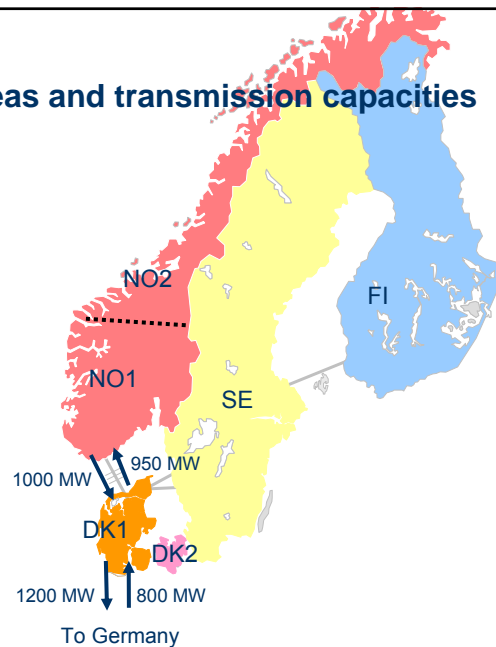
- Frekvensregulering
- Flaskehalsproblematikk
- Regulerstyrke
- Reserver
- Effektproblematikk
- Eksempel fra dagens virkelighet (8. januar)
 - Mer enn 1700 MW vindkraft kobles bort pga. sterk storm
 - Les mer: <http://www.eltra.dk/composite-15751.htm>

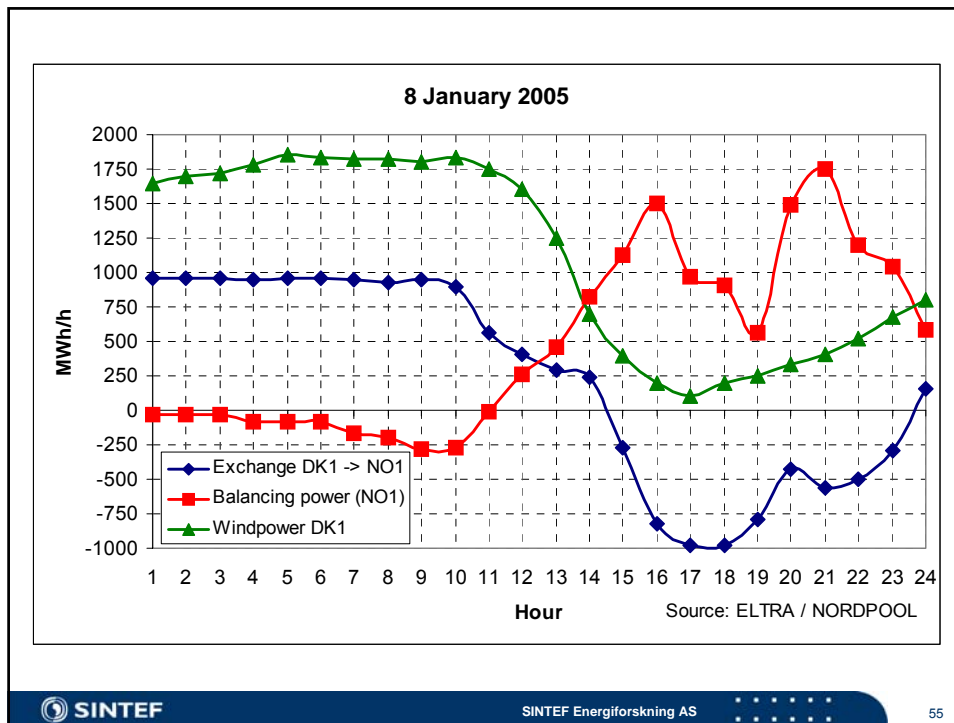
Nøkkeltall for Vest-Danmark (Eltra)

	MW	GWh
Central power plants	3,516	16,161
Decentralised CHP units	1,567	6,839
Decentralised wind turbines	2,374	4,363
Offshore wind farm Horns Rev A	160	
Consumption		21,043
Maximum load	3,780	
Minimum load	1,246	
Capacity export to UCTE	1,200	
Capacity import from UCTE	800	
Capacity export to Nordel	1,560	
Capacity import from Nordel	1,610	

Key counts of the power system of Eltra for the year 2003
(Source: Eltra)

Elsport areas and transmission capacities





Diskusjon (systemdrift / Balanseregulering)

- Det nordiske kraftsystemet og regulerkraftmarkedet håndterer bortfall av 1700 MW vindkraft
 - Eksempel på
 - Markedsbasert håndtering av et balanseproblem
 - Internasjonalt marked (Norge → Danmark)
 - To synkroner områder (Nordel → UCTE)
- Hvordan påvirkes regulerstyrke og krav til reserver?
- Hva er sannsynligheten for at tilsvarende kan skje når det er svært kaldt (topplast) i Norge/Sverige/Finland?
- Hva bør være minimumskrav til effekregulering fra vindkraftverk?
 - Av 1800 MW faller det ut max. 10 MW/minutt.

Krav til vindkraftanlegg

(Veiledende systemkrav til anlegg tilknyttet regional- og sentralnettet i Norge)



FOU-konferanse om vindkraft 26.01.2006

Inge Harald Vognild



Innhold

- Statnetts forvaltningsmyndighet
- Prosess ved idriftsettelse av nyanlegg
- Case Smøla
- VtA (Grid Code), generelt
- Reaktiv effekt
- Fault Ride-Through
- --
- Vedlegg (mer om faglig innhold)



Statnetts forvaltningsmyndighet (1) Generelt

- NVE utarbeider forskrifter, bl.a systemansvarsforskriften (FoS)
- Formål FoS: *"Denne forskriften skal legge til rette for et effektivt kraftmarked og en tilfredsstillende leveringskvalitet i kraftsystemet. Forskriften skal sikre at systemansvaret utøves på en samfunnsmessig rasjonell måte, herunder skal det tas hensyn til allmenne og private interesser som blir berørt"*
- Som systemansvarlig utøver Statnett myndighetsoppgaver
 - Statnett kan fatte **enkeltvedtak**
 - Eksempel: FoS §14 vedr. idriftsettelse av nye vindkraftverk



 Statnett

Statnetts forvaltningsmyndighet (2) FoS §14: idriftsettelse av nye anlegg

- *Konsesjonær skal informere systemansvarlig om planer for nye anlegg eller endring av egne anlegg som kan påvirke driften og utnyttelsen av regional- og sentralnettet, når andre konsesjonærer blir berørt av dette. Nye anlegg eller endringer kan ikke idriftsettes uten etter vedtak av systemansvarlig.*
- Formål: sikre **funksjonalitet** og **driftssikkerhet**
- Krav til saksbehandling er underlagt offentlighetsprinsippet
 - Systemansvarlig en plikt til å gi veiledning
 - Veilederne gir **føringer** for hvilke løsninger som kan forventes å bli godtatt i den enkelte sak
 - Veilederne skal bidra til effektiv saksbehandling



 Statnett

Statnetts forvaltningsmyndighet (3)

FoS §14: idriftsettelse av nye anlegg

- Systemansvarliges vedtak kan påklages til NVE
- NVE har i brev til Statnett påpekt at systemansvarlig både har en rett og en plikt til å nekte at nye anlegg, eller endringer i eksisterende anlegg, idriftsettes dersom forhold som omfattes av FoS §14, ikke er oppfylt



Statnetts forvaltningsmyndighet (4)

VtA (Veiledende systemkrav til anlegg tilknyttet regional- og sentralnettet i Norge)

- Status VtA
 - VtA er ikke forskrift eller regelverk
 - Selv om vi i VtA bruker uttrykk som "skal", "må", "bør" eller lignende, kan andre godt begrunnede løsninger bli godtatt i det konkrete tilfelle
- Merk forskjell fra "Connection Code" i naboland
 - Fingrid og SvK har myndighet til å utarbeide bindende forskrifter. Disse skal godkjennes av EU
 - Energinet.dk har myndighet til å stille bindende, tekniske krav. Oppdateringer må godkjennes av Regulator



Statnetts forvaltningsmyndighet (5) FoS §14, typiske problemstillinger

- Utforming av brytersystem og samleskinneløsninger
- Funksjonalitet for vern- og kontrollutstyr
- Cos(fi) ved fullast for generatorer
- Regulering aktiv effekt
- Produksjonsanleggets evne til å motstå kortslutninger

- Netteier kan ikke stille krav om forhold knyttet til FoS §14 (men kan/bør gi innspill til systemansvarlig)
- Netteier kan stille krav om forhold som reguleres av forskrift om leveringskvalitet (harmoniske, flimmer, spenningsprang etc.)



Prosess ved idriftsettelse av nyanlegg (1) Ta tidlig kontakt med systemansvarlig!

- I aktuelle prosjekter må det tas kontakt med Statnett i **god tid** før planlagt idriftsettelse
 - For å unngå utsettelse
 - For å unngå kostnader i ettertid
- Teknisk løsning for vindkraftverk **må** avklares med Statnett før bindende kontrakt med utstyrsleverandør
- Det er konsesjonærs ansvar å ta kontakt med Statnett



Prosess ved idriftsettelse av nyanlegg (2) Innhold i FoS §14 søknad

- Hvem er konsesjonær
- Når er anlegget planlagt satt i drift
- Kort begrunnelse for anlegget
- Teknisk utforming og nøkkeltall
- Dette kan være for eksempel enlinjeskjema, merkespenning, MVA ytelse/kapasitet, linetverrsnitt, dimensjonerende linetemperatur, termisk grenselast relatert omgivelsestemperatur(-er), ladeytelse etc.)
- **Dokumentasjon av eventuelle ønskede avvik fra VtA og andre veiledere, samt tilhørende begrunnelse**
- Berørte konsesjonærer (disse skal ha kopi av søknaden)



Statnetts forvaltningsmyndighet (3) Eksempel på FoS §14 søknad



Statkraft Development AS

*Oversendelse av formell søknad er avslutningen på
en god uformell prosess mot systemansvarlig*

Idato: / / Dato: / / Sign: /

Att.: Inge Vognild

Deres ref./dato:

Vår ref. (oppgis ved svar):

Sted/dato:
Oslo, 19.01.2006

Lilleakerveien 6
0283 OSLO
Tlf: 24 06 70 00
Faks: 24 06 70 01
www.statkraft.no
post@statkraft.com
Org.nr.: NO-980 426 261

Kjøllefjord Vindpark – Melding om idriftsettelse av ny 66 kV kraftkabel fra Kjøllefjord, intern 66/22 kV transformatorstasjon, internt 22 kV kabelanlegg samt 17 x 2.3 MW vindturbiner.

Det vises til §14 i Forskrift om Systemansvaret

Statkraft Development AS har under bygging en 39,1 MW vindpark på Gartefjellet i Lebesby kommune. Utbyggingen består av 17 stk 2,3 MW vindturbiner fra Siemens Wind Power i Danmark, ca 10 km interne veier med 22 kV kabling i veg/vegskulder, en 44 MVA 66/22 kV transformatorstasjon og en ca. 4,9 km 66 kV jordkabel fra vindparken til eksisterende transformatorstasjon i Kjøllefjord.



Case Smøla (1)

Generelt

- Investeringsbeslutning for Havøygavlen, Smøla 1 & 2, og Hitra var fattet
 - Før FoS begynte å gjelde
 - Før Statnett hadde begynt å stille eksplisitte krav til tekniske egenskaper ved vindkraftverk
- Driftsmessige forhold har ikke vært mye fokusert på i kraftsystemplanlegging og konsesjonsbehandling
- De første vindparkene har avdekket en del problemstillinger som viser nødvendigheten av:
 - God prosess mot systemansvarlig på et tidlig tidspunkt
 - Systemansvarliges krav til vindkraftverk



 Statnett

Case Smøla (2)

Erfarte problemstillinger

- Uheldige spenningsvariasjoner i 132 kV nettet ved raske endringer i vindkraftproduksjon
 - MVAR regulering i stedet for spenningsregulering
- Høye stasjonære spenninger i lettlast
 - 132 kV kabel må ligge inne pga forsyning av lokalsamfunn
- Økt ladeytelse pga 132 kV kabel



 Statnett

Case Smøla (3)

Aktuelle tiltak

- Etter en god prosess med konsesjonær, lokal netteier og regionalt planansvarlig, er følgende tiltak aktuelle:
 - (forsert) implementering av parkpilot-styring. Skal brukes sammen med spenningsstyrt kobling av kondensatorbatteri
 - Overgang fra MVAR til spenningsregulering
 - Fast tilkoblet reaktor
 - Produksjonsfrakobling ved utfall som forventes å gi pendlinger
 - Økt jordstrømskompensering



VtA – generelt (1)

Prosess ved oppdatering

- Innhold om vindkraft ("VtV") er en del av (Kapittel 7) i "Veiledende systemkrav til anlegg tilknyttet regional- og sentralnettet i Norge" (VtA)
- VtA angir ønskede systemtekniske spesifikasjoner som systemansvarlig har funnet hensiktsmessig for en rasjonell utvikling og utnyttelse av kraftsystemet
- VtA oppdateres etter behov. Fortløpende prosess som avhenger av driftserfaringer, innspill fra bransjen og utvikling av andre lands "Grid Code". Endringer av VtA har hittil blitt behandlet gjennom egne høringsrunder.
- Statnett deltar i Nordels arbeid med en "felles" teknisk anbefaling (Connection Code). Pågående aktivitet: "Connection Codes Windmills"



VtA – generelt (2)

Prosess frem til utarbeidelse av vindkraftkapittel

- 01.11.2004: Brev til alle konsesjonærer i regional- og sentralnett der systemansvarlig ba om innspill på høringsversjon av VtV, datert 21.10.2004
- 4 høringsuttalelser:
 - Statnett, EBL, SINTEF, Statkraft/Hydro/NTE
- 28.01.2005: Brev til "Potensielle konsesjonærer vindkraftanlegg" om godkjenningsprosessen av vindkraftanlegg etter FoS § 14



VtA – generelt (3)

Prosess frem til utarbeidelse av innhold om vindkraft

- Våren 2005: SINTEF engasjert for å bearbeide faglig innhold i VtV
- Sintef oversendte sitt forslag til faglig innhold i september 2005. Statnett bearbeidet innholdet videre, særlig mhp. reaktiv effekt og fault ride-through
- 26.10.2005: Brev til alle konsesjonærene om oppdatert VtA, datert 24.10.2005, med nytt kapittel om vindkraft. Oppfordring til innspill for videre oppdatering av VtA, særlig kapitlet om vindkraftverk
- Workshop om tekniske krav til vindkraft planlegges før sommeren



VtA – generelt (4)

se www.statnett.no for gjeldende versjon av veiledere



Statnett HOVEDSIDE | ENGLISH | KONTAKT OSS | SIDEKART

KRAFTMÅRKEDET | **KRAFTNETTET** | NYHETER OG PRESSE | PUBLIKASJONER | SAMFUNNSANSVAR | TJENESTER OG KURS | OM STATNETT

Du er her: Hovedside > Kraftnett > FOS - For konsesjonærer > **Veiledere for systemansvarforskriften**

 [skriv ut denne artikkelen >](#)

Veiledere for systemansvarforskriften

Når Statnett som systemansvarlig fatter enkeltvedtak, utøver Statnett offentlig myndighet. Denne virksomheten er underlagt forvaltningsloven. Når Statnett utøver offentlig myndighet, har Statnett en veiledningsplikt. Denne oppgaven ivaretas blant annet gjennom utarbeidelse av veiledere.

Statnetts Veiledere er ikke bindende, men anviser hvilke tekniske løsninger som er ønskelige eller nødvendige i kraftsystemet. De forteller også hvilke løsninger konsesjonærene kan regne med å få aksept for når Statnett fatter vedtak.

For å lese dokumenter i pdf-format trenger du Adobe Acrobat Reader. Det er gratis og kan hentes på www.adobe.com

FoS §14
 Veiledende systemkrav til anlegg tilknyttet regional- og sentralnettet i Norge (VtA) >
 Spesifikasjon for reguleringstekniske krav til magnetiseringsystemer og dempetilsatser (pdf) >
 Spesifikasjon for krav til turbinregulatorer i norske vannkraftaggregater (pdf) >
 Guide for the specification of turbine governors for Norwegian Hydro power plants (pdf) >

[Veileder til felleskriverfunksjonalitet og plassering \(VtF\) \(pdf\)>](#)

FoS §20.
 Veiledende Krav til Vern i sentralnettet (KtVs) (pdf)>
 Veiledende Krav til Vern i regionalnettet (KtVr) (pdf)>

- > Om kraftnettet
- > Kart
- > Grunn- og rettighetserverv
- > Prosjekter
- > Langsiktig nettutvikling
- > FOS - For konsesjonærer
 - > Veiledere for systemansvarforskriften
 - > Kriterier for bruk av produksjonstilpasning
 - > §14 - Idriftsettelse av nyanlegg
 - > Felleskrivere - krav og retningslinjer
 - > Felleskrivere - Spørsmål og svar
 - > Krav til vern
 - > Releplanlegging i regional- og sentralnett
 - > FOS

VtA – generelt (5)

Kapittel om vindkraft

7. Vindkraftverk	18
7.1. Terminologi	18
7.2. Veilederens virkeområde	18
7.3. Vindkraftverkets ytelse	19
7.4. Regulering av aktiv effekt fra vindparker	19
7.5. Regulering av reaktiv effekt fra vindparker	21
7.6. Drift av vindparker ved feil eller unormale spenninger i regional- og sentralnettet	22
7.7. Hjelpenlegg	24
7.8. Verifikasjon av vindparkens egenskaper	24

VtA – generelt (6)

Vindkraft

- Statnett stiller krav i **tilknytningspunktet**, ikke for enkeltmøller
- VtA dekker vindparker med merkeytelse ≥ 10 MVA tilknyttet regional- eller sentralnett.
- Ad påkrevd teknisk funksjonalitet
 - En del funksjonalitet som kreves implementert, vil normalt ikke bli utnyttet: **Effektregulering ved lav frekvens**
 - Enkelte krav er allmenne: **Evne til å tåle frekvensavvik**
 - Enkelte krav vil kunne nyanseres avhengig av lokale forhold: **Reaktiv effekt, fault ride-through**



VtA – generelt (7)

Prinsippspørsmål vedr. "nye" produksjonsteknologier

- Skal vi stille de samme funksjonskrav til vindkraft som til større vannkraftverk?
 - Nye produksjonsteknologier vil kunne stå for en stor andel av fremtidig kraftproduksjon
 - *Globalt: i lettlast, lokalt: hele året*
- Statnetts posisjon:
 - Strenge funksjonskrav bidrar til teknologiutvikling
 - **Jo bedre teknisk funksjonalitet, jo større andel vindkraft kan kraftsystemet absorbere**
 - Vindkraftverk skal kunne levere den samme funksjonalitet som vannkraft der dette er teknisk mulig / økonomisk rimelig, men
 - Denne funksjonaliteten vil ikke nødvendigvis måtte utnyttes i en normal driftssituasjon,
 - Må også ses i sammenheng med kjøp av systemtjenester



Reaktiv effekt (1) Utgangspunkt i VtA

- Vindparker skal ved merkeeffekt kunne operere med effektfaktor i området $\cos\varphi = + / - 0,91$ (induktiv / kapazitiv) referert vindparkens tilknytningspunkt og for nettspenning mellom 90 – 110 % av normal verdi
- Ved lavere nettspenning (< 90 % av normal verdi) tillates redusert reaktiv effekt (reduksjon proporsjonal med spenningen for kraftelektronikk og kvadratisk med spenningen for kondensatorbatteri).

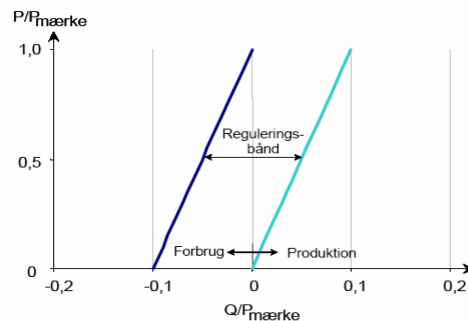


Statnett

Reaktiv effekt (2) Energinet.dk

6. Reaktiv effektregulering

Vindmølleparken skal have en reaktiv effektkompensation, så den reaktive effekt som middelværdi over 10 sekunder holdes inden for reguleringsbåndet, vist i **Figur 6.1**. Dette gælder i tilslutningspunktet ved alle produktioner i det angivne fuldlastområde for spændingen, jf. afsnit 7.



Figur 6.1 Krav vedrørende en vindmølleparks udveksling af reaktiv effekt i tilslutningspunktet (P: Aktiv effekt, Q: Reaktiv effekt).



Statnett

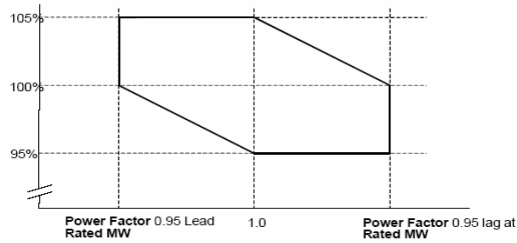
Reaktiv effekt (3) National Grid



CC.6.3.4

At the **Grid Entry Point** the **Active Power** output under steady state conditions of any **Generating Unit, DC Converter or Power Park Module** directly connected to the **GB Transmission System** should not be affected by voltage changes in the normal operating range specified in paragraph CC.6.1.4 by more than the change in **Active Power** losses at reduced or increased voltage. The **Reactive Power** output under steady state conditions should be fully available within the voltage range $\pm 5\%$ at 400kV, 275kV and 132kV and lower voltages, except for a **Power Park Module** or **Non-synchronous Generating Unit** if **Embedded** at 33kV and below (or directly connected to the **GB Transmission System** in England and Wales at 33kV and below) where the requirement shown in Figure 4 applies.

Voltage at **Grid Entry Point** in England and Wales or **User System Entry Point** if **Embedded** (% of Nominal) at 33 kV and below



net

Reaktiv effekt (4) EON Netz



3.2.4 Reactive power exchange

With active power output it must be possible for each generating unit with a rated power of < 100 MW to be operated with a power factor of $\cos \phi = 0.95$ (inductive) to $\cos \phi = 0.95$ (capacitive) as a **basic requirement** at the network connection point. According to the definitions in Appendix B this means operation in Quadrant II (underexcited) or III (overexcited). In justified cases ENE may agree expanded reactive power exchange as **additional requirement**.

With active power output, each generating unit with a rated power of ≥ 100 MW must meet the range of reactive power provision shown in Figure 4 as **basic requirement** at the network connection point. **Additional requirements** may have to be met in individual cases.

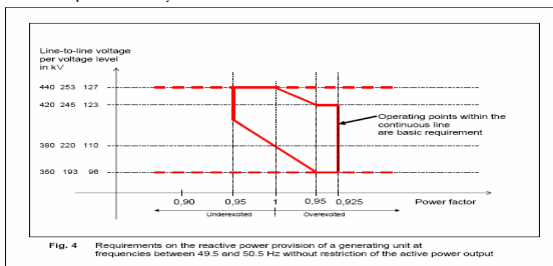


Fig. 4 Requirements on the reactive power provision of a generating unit at frequencies between 49.5 and 50.5 Hz without restriction of the active power output

Statnett

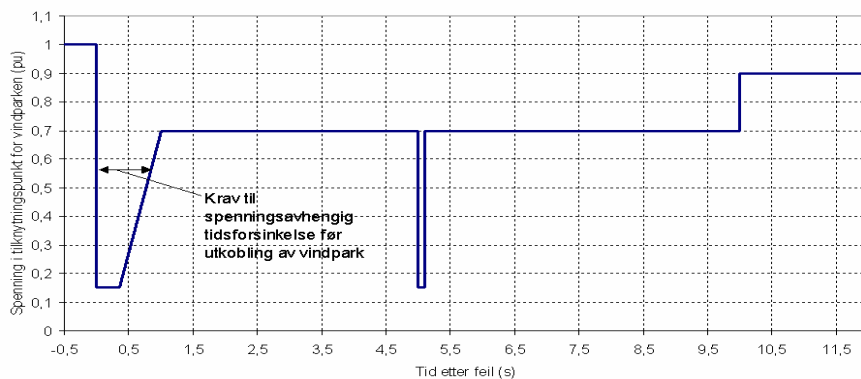
Reaktiv effekt (5) Aktuell praksis

- I konkrete prosjekter kan det tenkes at Statnett vil godta andre grenser enn $\cos(\phi) = \pm 0,91$
- Hvis imidlertid driftserfaringene tilsier det, kan følgende være aktuelt å endre FoS § 14 vedtak senere, ref. standardformulering i våre vedtaksbrev:
 - "Vi vil dessuten allerede nå fremheve at dersom det viser seg at den valgte tekniske løsning for xxx Vindpark påvirker driften eller utnyttelsen av regional- eller sentralnettet på en ugunstig måte, vil systemansvarlig vurdere å måtte endre det vedtaket som fattes i dette brevet. Dette vil kunne medføre ekstra kostnader, som i så fall vil måtte dekkes av anleggskonsesjonær"
- Det kan også være aktuelt å anvende FoS § 15:
 - "Systemansvarlig kan fastsette spenningsgrenser og grenser for utveksling av reaktiv effekt i regional- og sentralnettet..."
- Merk også at aktuell netteier kan tariffere reaktiv effekt
 - 25 000 kr/MVAR i sentralnettet



Fault Ride-Through (1) Utgangspunkt i VtA:

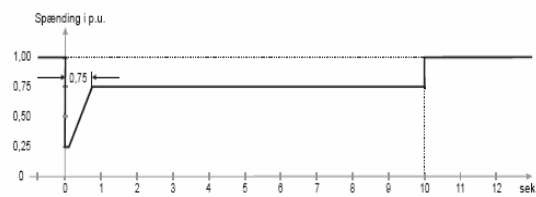
Vindparker tilknyttet nett med nominell spenning ≤ 132 kV skal forbli tilkoplede ved nettfeil som gir tilnærmet symmetriske spenningsendringer over grensekurven vist i figur 6. Spenningsendringene er referert tilknytningspunktet. Den viste spenningsdip ved $t = 5$ s tilsvarer en mislykket KONGIK-funksjon i nettet.



Fault Ride-Through (2) Energinet.dk: mølletester



Mølletesten skal udføres med den spændingsprofil som vist i **Figur 8.1** og skal vise vindmølleparkens opførsel ved en trefaset fejl med en langsomt tilbagevendende spænding



Figur 8.1 Spændingsprofil for simulering af symmetrisk trefaset fejl.



Fault Ride-Through (3) National Grid

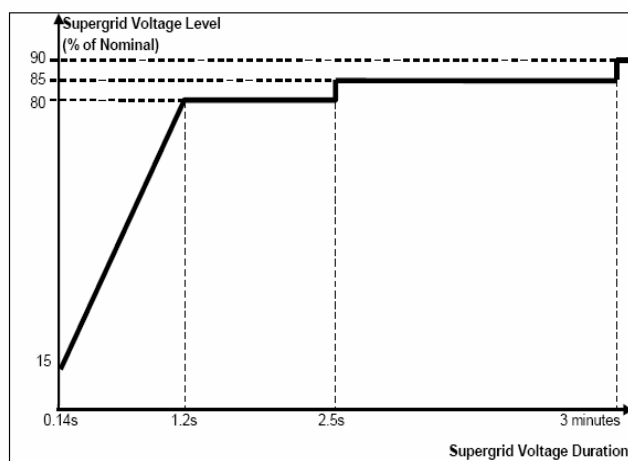


Figure 5



Fault Ride-Through (4) EirGrid



WFPS1.4.1 A Wind Farm Power Station shall remain connected to the **Transmission System** for **Transmission System Voltage** dips on any or all phases, where the **Transmission System Voltage** measured at the HV terminals of the **Grid Connected Transformer** remains above the heavy black line in *Figure WFPS1.1*.

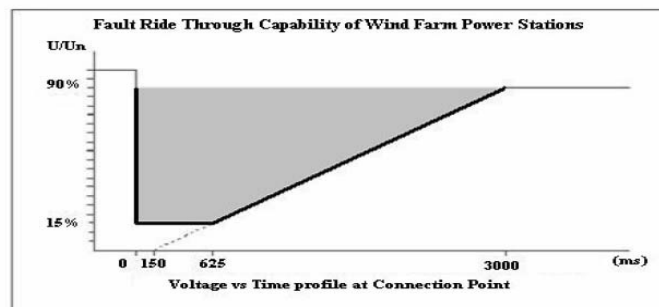



Figure WFPS1.1 - Fault Ride-Through Capability of Wind Farm Power Stations

Oppsummering




- God funksjonalitet for vindkraft øker kraftsystemets absorpsjonsevne
- Statnetts krav er å oppfatte som en veiledning om hvilken teknisk løsning som vil bli godtatt i det enkelte tilfelle
- Statnett mottar gjerne synspunkter på VtA, kontakt:
 - inge.vognild@statnett.no
- **Ta kontakt med systemansvarlig i god tid for å avklare teknisk løsning før utstyrskontrakt inngås!**




Vedlegg


Mer om faglig innhold



Vedlegg
VtA 7.4 - Regulering av aktiv effekt
Hovedfunksjoner parkregulator



Produksjonsbegrensning	Det skal være mulig å begrense produksjonen i en vindpark til en vilkårlig børverdi i området 20-100 % av merkeeffekten
Effektrampe	Reguleringshastigheten ved opp- og nedregulering skal kunne innstilles i området 10-100 % av merkeeffekten pr. minutt.
Systemvern	For bruk av vindpark i systemvern skal produksjonen kunne reguleres ned fra merkeeffekt til stopp på maksimalt 30 s.
Frekvensregulering	Vindparker skal være utstyrt med hurtigvirkende kontrollutstyr for frekvensregulering slik at parken ved systemmessige behov kan innstilles til å gi effektrespons ved avvik i nettfrekvensen.



Vedlegg

VtA 7.3 - Vindkraftverkets ytelse Ved avvik i nettfrekvens

- Kontinuerlig drift med merkeeffekt kreves mellom 49,0 – 50,5 Hz
- Kontinuerlig drift med tillatt redusert aktiv effekt (reduksjon proporsjonal med frekvensreduksjonen) kreves mellom 49,0 – 47,5 Hz.
- Kortvarig drift (i minst 20 s) med tillatt redusert aktiv effekt kreves mellom 47,5 – 47,0 Hz
- Kortvarig drift (i minst 30 min pr. gang) med merkeeffekt kreves mellom 50,5 – 51,0 Hz
- Kortvarig drift (i minst 3 min) med tillatt redusert aktiv effekt kreves ved frekvens over 51,0 Hz



 Statnett

Vedlegg

VtA 7.4 - Regulering av aktiv effekt Effektsettpunkt, frekvensstatikk og dødbånd

- Det vil i normale driftssituasjoner vanligvis ikke være aktuelt å begrense vindparkens aktive produksjon (effektsettpunkt) for at den skal kunne bidra med frekvensregulérreserve i tilfelle lav frekvens, **men**:
 - Effektsettpunkt skal kunne innstilles mellom 20 og 100 % av tilgjengelig vindeffekt
 - Frekvensstatikk skal kunne innstilles mellom 2 og 8 %
 - Funksjonsområdet skal kunne innstilles mellom 47,5 - 52,0 Hz
 - Nøyaktighet/oppløsning frekvensmåling (dødbånd) skal være minst +/- 0,01 % (0,005 Hz)

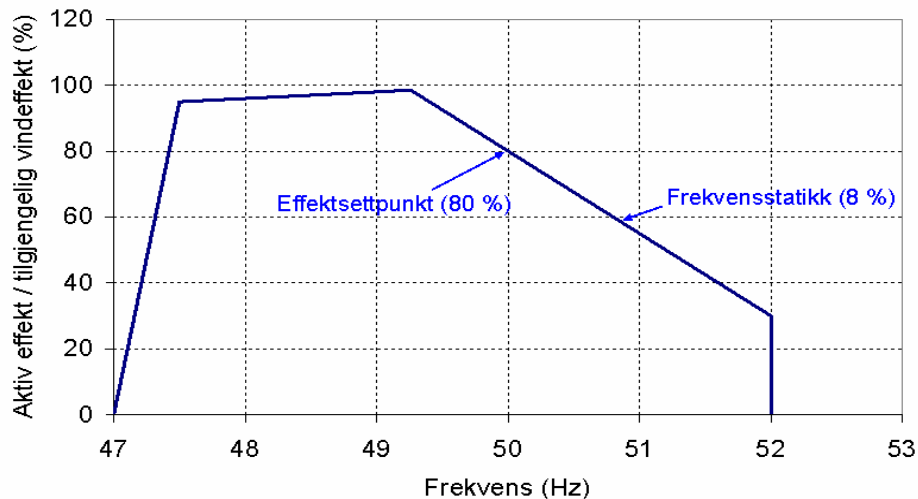


 Statnett

Vedlegg

VtA 7.4 - Regulering av aktiv effekt

Funksjonalitet for å kunne bidra med frekvensregulérreserve i tilfelle lav frekvens



VtA 7.5 - Regulering av reaktiv effekt



- Parkregulatoren skal ha funksjonalitet for å operere i to modi:
 - Settpunkt for effektfaktor eller reaktiv effekt (normalt $\cos\phi = 1$ eller reaktiv effekt $Q = 0$)
 - Spenningsregulering med innstillbart settpunkt for spenning og reaktiv statikk
- Spenningsregulering skal normalt benyttes. MVAR- og $\cos\phi$ -regulering skal ikke iverksettes uten at dette er avtalt med systemansvarlig

Vedlegg

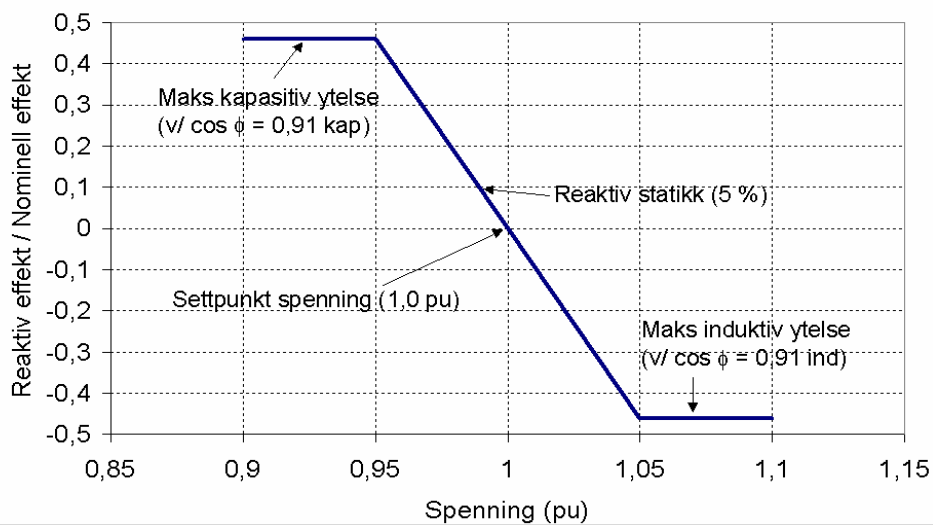
VtA 7.5 - Regulering av reaktiv effekt ad spenningsregulatorfunksjon

- Settpunkt for spenning skal kunne settes til +/- 10 % av normal spenning i vindparkens tilknytningspunkt.
- Spenningsregulatorfunksjonen skal ha en innstillbar reaktiv statikk i området 0 - 10 %.
- Selve reguleringen av reaktiv effekt / spenning kan være diskret (realisert ved trinnvis kobling av kondensatorbatteri) eller kontinuerlig (realisert for eksempel ved bruk av kraftelektronikk)



Vedlegg

VtA 7.5 - Regulering av reaktiv effekt ad spenningsregulatorfunksjon



Vedlegg

VtA 7.6 - Drift av vindparker ved feil eller unormale spenninger

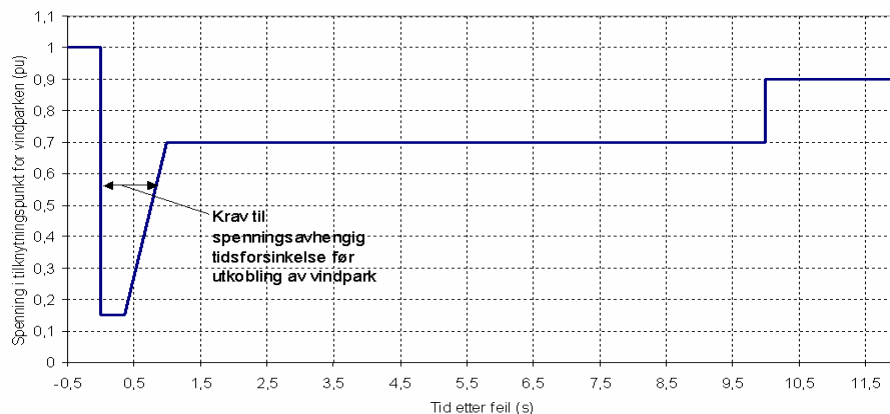
- Vindparker tilknyttet nett med direkte jordet nøytralspunkt skal holde inne ved:
 - Enfase nettfeil med mislykket gjeninnkobling som gir spenningsdip i berørt fase referert vindparkens tilknytningspunkt
 - Tofase nettfeil med mislykket gjeninnkobling som gir spenningsdip i to faser referert vindparkens tilknytningspunkt
 - Trefase nettfeil med mislykket gjeninnkobling som gir spenningsdip i tre faser referert vindparkens tilknytningspunkt



Vedlegg

VtA 7.6 - Drift av vindparker ved feil eller unormale spenninger

Ved nettfeil som gir tilnærmet symmetriske spenningsendringer referert tilknytningspunktet skal vindparker forbli innkoplest så lenge nettspenningen ligger over grensekurven i figur:



Wind Power FoU Seminar 26-27 January 2006

**INCREASED UTILISATION OF THE NORDIC POWER
TRANSMISSION SYSTEM**

**A Proposed Model For Stability Assessment Of
Electrical Power Systems With Large Scale Wind
Power Integration**

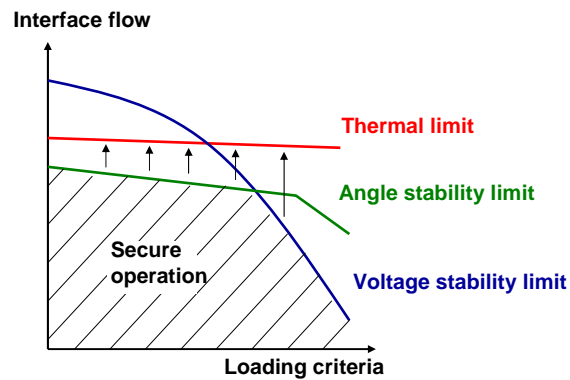
Paper Presented at World Wind Energy Conference 2005
WWECC05 Melbourne (Australia)

Giuseppe Di Marzio
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
giuseppe.di.marzio@elkraft.ntnu.no

Content

- **Rationale & Purpose**
- Procedure
- Model Description
- Dynamic Analysis Results
- Conclusions

Rationale



Assess the system's stability limits (voltage and angular) and raise these constraints towards (or beyond) the thermal limit

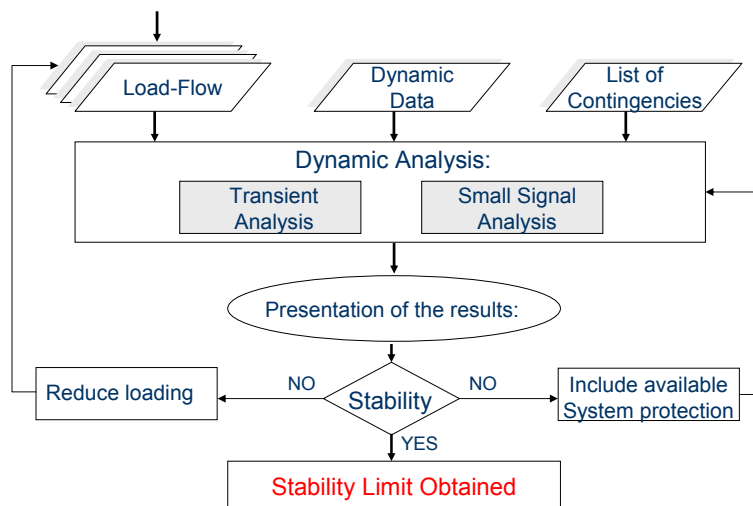
Purpose

- Develop a stepwise methodology which shows some guidelines needed to evaluate the impact of wind power generation on large scale.
- Use such methodology in a specific case with a wind farm modeled with asynchronous machines to show some of the issues related with wind power integration.

Content

- Rationale & Purpose
- **Procedure**
- Model Description
- Dynamic Analysis Results
- Conclusions

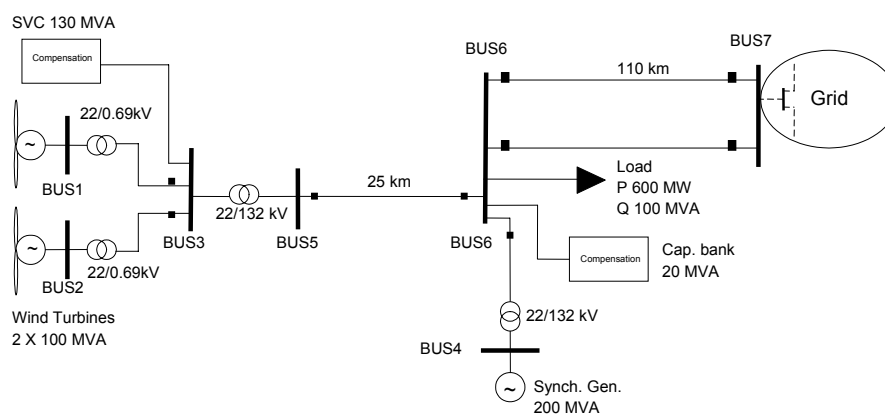
Computational Procedure for Determination of Stability Limits: Flow Chart



Content

- Rationale & Purpose
- Procedure
- **Model Description**
- Dynamic Analysis Results
- Conclusions

Test System and Parameters

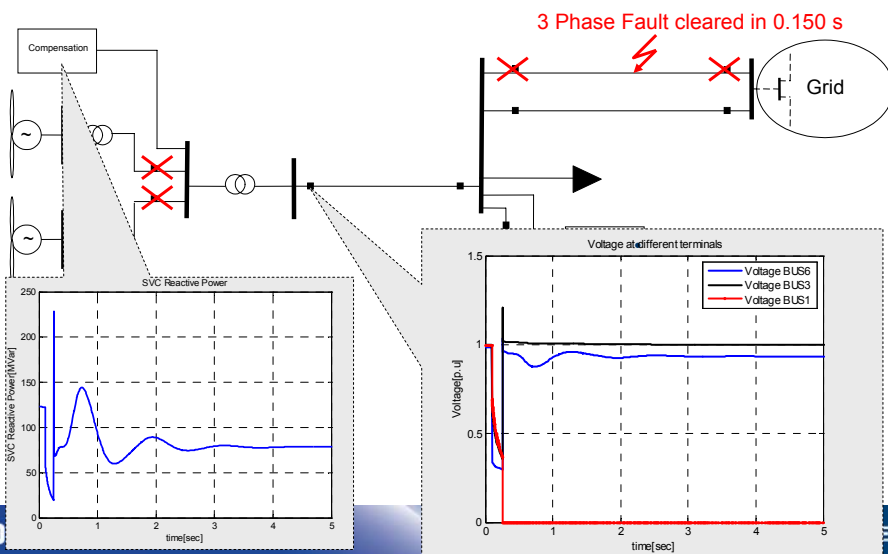


Content

- Rationale & Purpose
- Procedure
- Model Description
- **Dynamic Analysis Results**
- Conclusions

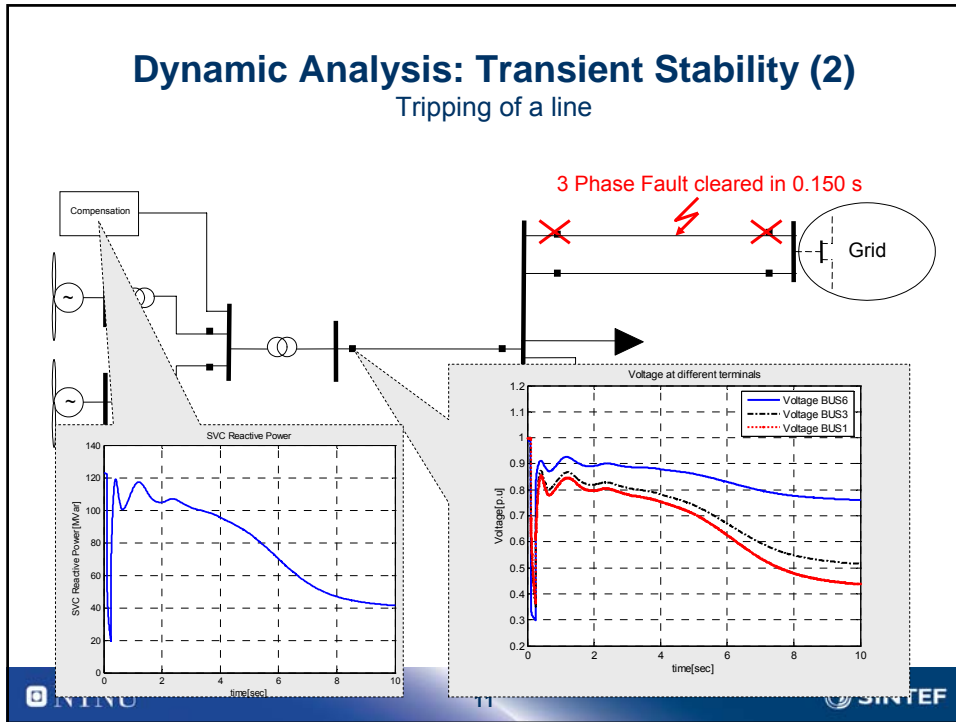
Dynamic Analysis: Transient Stability (1)

Tripping of a line and WF disconnection



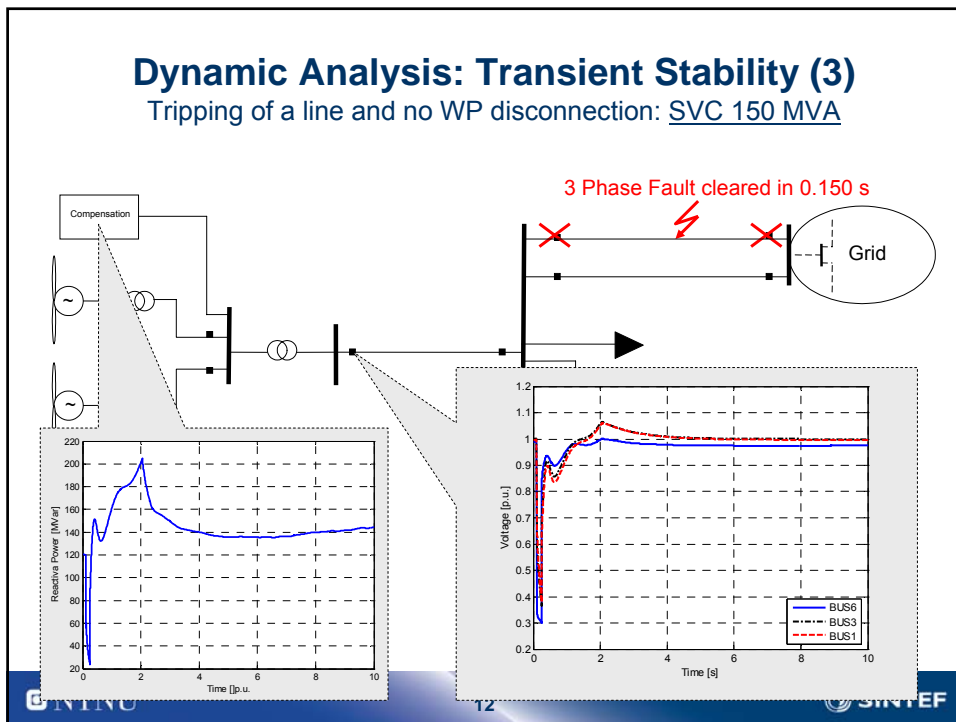
Dynamic Analysis: Transient Stability (2)

Tripping of a line



Dynamic Analysis: Transient Stability (3)

Tripping of a line and no WP disconnection: SVC 150 MVA



Dynamic Analysis: Small Signal Stability

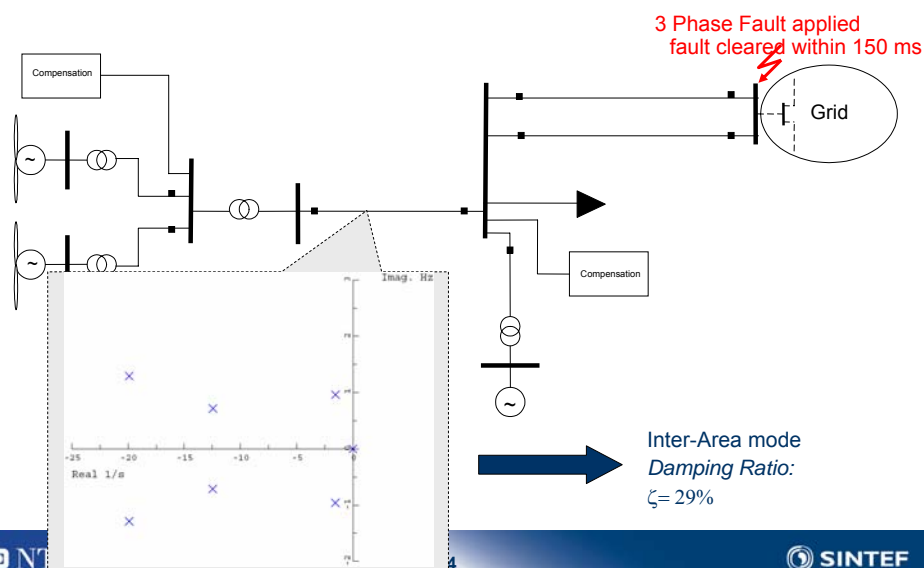
Definition and excitation

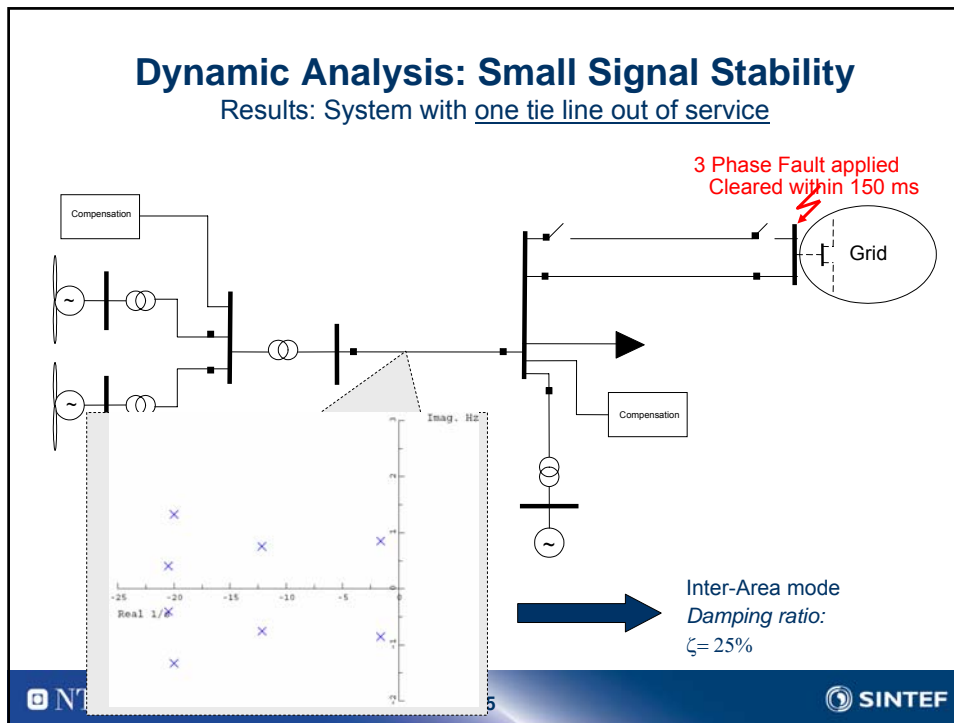
Small signal stability is defined as the ability of the power system to maintain synchronism under small disturbances, not involving changes in the network topology.

- Three phase fault applied at the swing bus to excite the inter-area mode of oscillation (1 Hz)
- Fault cleared in 150 ms
- 2 scenarios:
 - Full WP and system intact
 - Full WP with one transmission line outage

Dynamic Analysis: Small Signal Stability

Results: System intact





Content

- Rationale & Purpose
- Procedure
- Model Description
- Dynamic Analysis Results
- **Conclusions**

Conclusions:

- The methodology proposed and grid equivalent can be used to test the dynamic behavior of any generation technology and to identify the stability issues related with wind power integration.
- The analyses performed have shown, for the given grid topology, load level and generation technology, that disconnection might be preferable to FRT capability.
- System requirements must be accompanied by a detailed and systematic analyses to enhance the deepest penetration of wind power into the grid.

Extra Slides...

Determination of Stability Limits: Practical Procedure, Analysis and Criteria

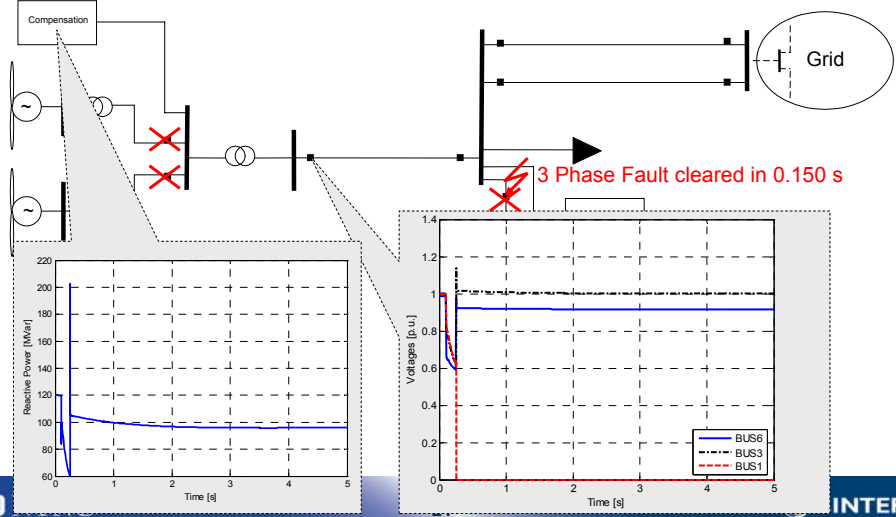
- Select the network area and the phenomenon (if possible) to be studied
- Choose a procedure for changing the power flow in a critical direction. This involves:
 - Choose which generators or loads to manipulate in order to influence the power flow.
 - Select which transmission paths (corridors) or nodes to monitor.
- Select critical contingencies (faults and outages) to be evaluated.
- Include available system protection schemes or alternative controls.
- Criteria for determination of limits, e.g:
 - What are acceptable voltage levels or damping of power oscillations?
 - What is the critical (dimensioning) fault sequence for transient stability?
- Easy interpretation of analysis requires a suitable way of presenting the results.

Extra slides (1): Steady State Voltage Variations

- Reference standard EN 50160: 10% limits for MV systems
 - w/o WP the system is (N-1) secure
 - What is the loadability level that makes the system with wp still (N-1 secure)?
- Introducing WP (and reactive power support as SVC), we can determine at steady state what is the max load supplied such that the system is still (N-1) secure.
- The steady state behavior must be verify under different contingencies (Dynamic analysis)

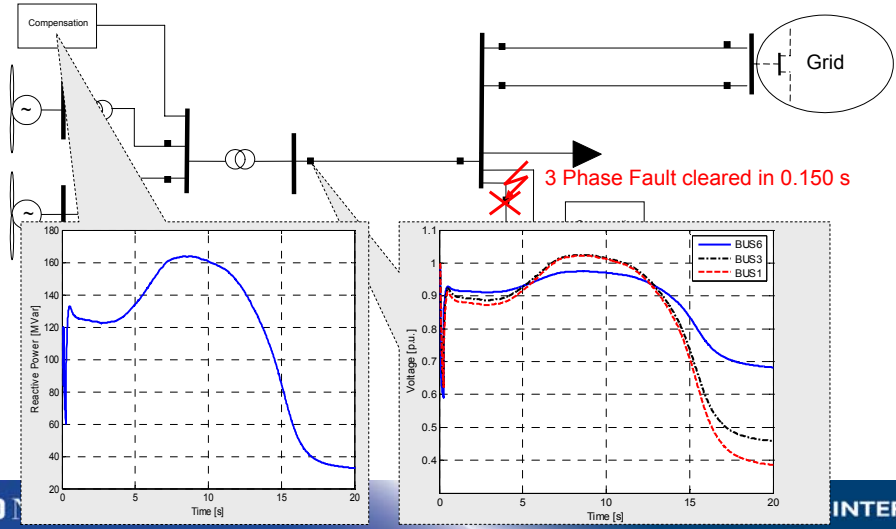
Dynamic Analysis: Transient Stability (4)

Tripping of a generator and disconnection of the WF



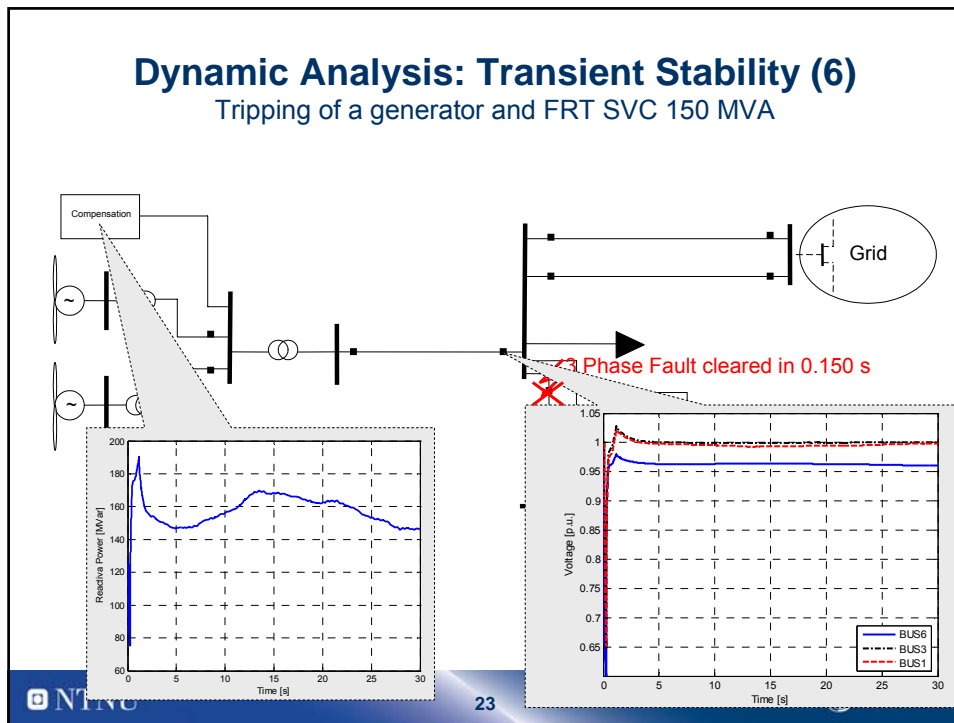
Dynamic Analysis: Transient Stability (5)

Tripping of a generator and FRT



Dynamic Analysis: Transient Stability (6)

Tripping of a generator and FRT SVC 150 MVA



Extra slides (2): Steady State Analysis

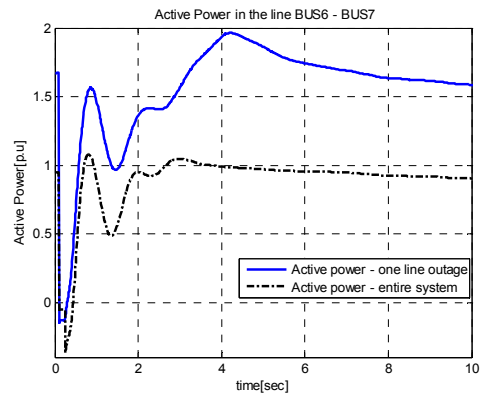
Table 1: load flow result for (N-1) contingency in the base case without WP

(N-1)	Max Load [MW]	Capacitor Bank [MVar]	Voltage BUS 6 [p.u.]
Line	480	100	0.9
Synch.	440	100	0.9

Table 2: Load flow results for (N-1) contingency with different WP and load level

(N-1)	200 MW Wind Power		No Wind Power	
	Load [MW]	SVC [MVar]	Load [MW]	SVC [MVar]
Line	750	200	600	100
Synch.	700	185	600	115

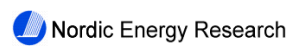
Extra slides (3):small signal stability active power




A study of Influence of high wind penetration on the Nordic grid primary response

*Part of the Nordic Energy Research project:
"Large Scale Integration of Windpower in the Nordic Power Grid"*


Jarle Eek



 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group


Purpose of study

- Investigate nordic grid primary control characteristics and influence by large wind power penetration
- Propose control strategies to make wind turbine generators contribute to primary frequency control.
- Determine the influence of wind-turbine technology on primary control response.

 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group


The Nordic Power System



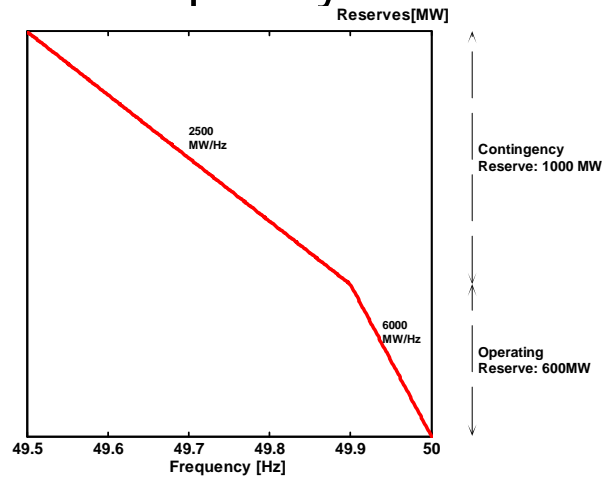
 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group

Relevant requirements to primary control response for the nordic power system

- The frequency in normal conditions must be within 49.9 and 50.1 Hz.
- The minimum frequency control reserve is 600 MW for normal operating conditions. 600 MW reserves activated for a frequency deviation of 0.1 Hz gives a minimum requirement on frequency bias of 6000 MW/Hz. This is the FCR(Frequency Control Reserves) requirement.
- The reserves activated for frequency deviations between 0.1 Hz and 0.5 Hz are Contingency Reserves(CR). These reserves are fully activated at $f_{grid}=49.5$ Hz. The size of this reserve is for the Nordic grid, PCR=1000 MW, giving a contingency reserve frequency bias of 2500 MW/Hz.
- The dimensioning fault in the Nordel system during normal operation is the loss of 1200 MW power production.

 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group

Minimum requirements to frequency bias

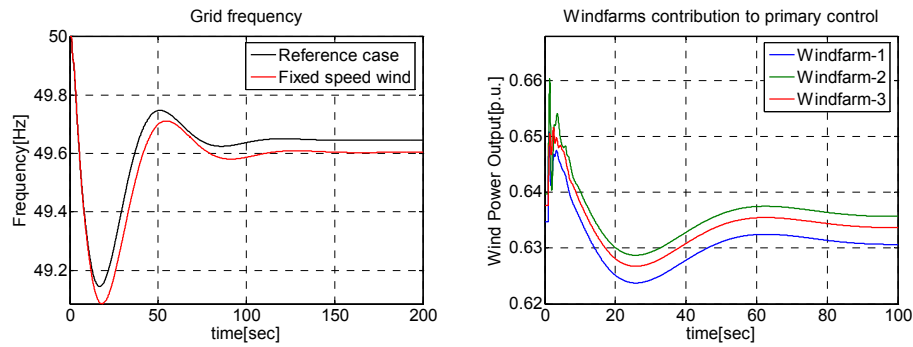



Windturbine technologies - Control strategies

- Fixed speed active stall controlled turbine
 - Low wind optimal controlled
 - No additional frequency control
 - High wind – short overload to support frequency
- Variable speed pitch controlled turbines
 - Low wind optimal controlled.
 - Dynamic frequency control – no increased stationary contribution
 - High wind – short overload to support frequency

Results

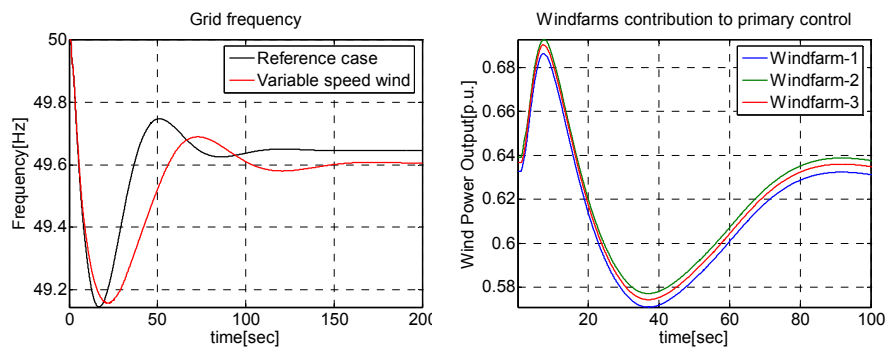
Windspeed 10m/s – Fixed speed




 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group

Results

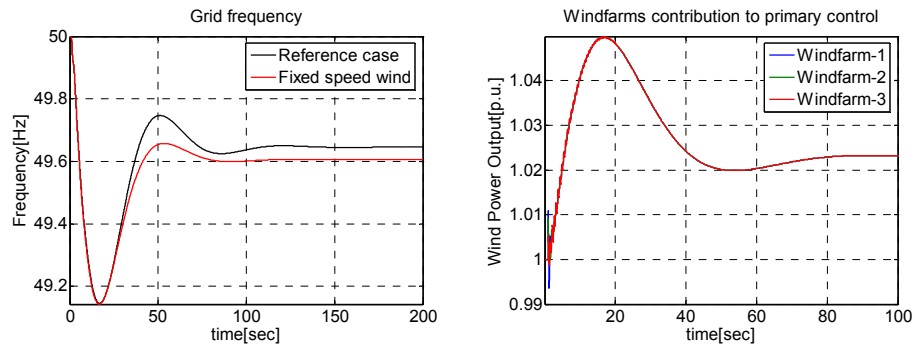
Windspeed 10 m/s – Variable speed




 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group

Results

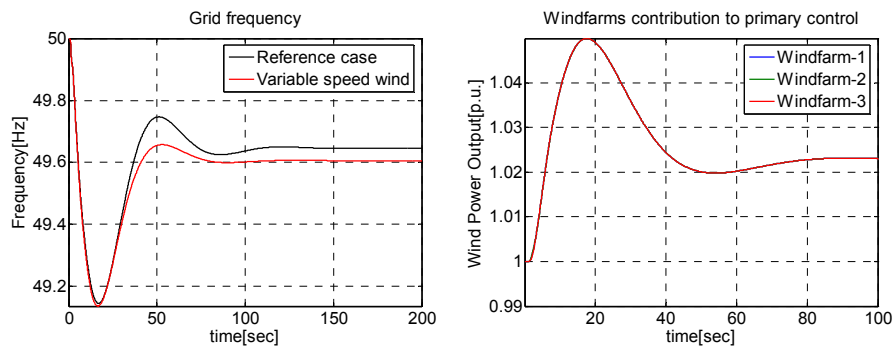
Windspeed 14m/s – Fixed speed




 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group

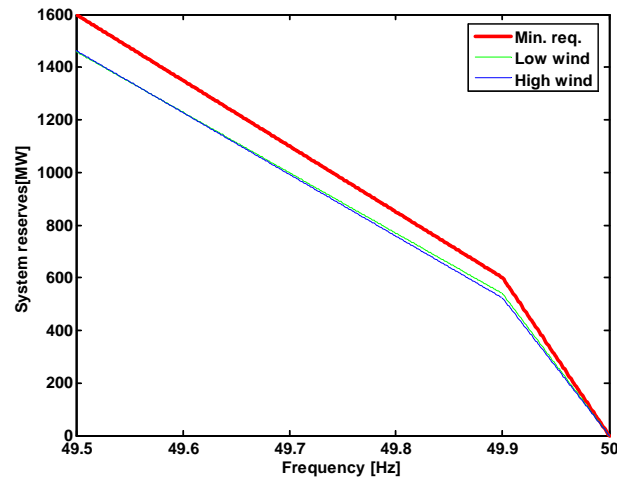
Results

Windspeed 14 m/s – Variable speed



 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group

Change in frequency bias



Conclusions

- High penetration of optimal controlled wind turbines replacing hydro power controlled synchronous generators set higher demands to the primary control reserves in the nordic power grid.
- This study indicates needed increase in reserves in the range of 100MW for normal operating reserves and 150 MW for contingency reserves when integrating 3000MW in the Norwegian part of the Nordic Power grid. (Additional reserves due to wind variation may also be needed)
- At medium wind and wind turbines operating in optimal power control mode, a contribution to the dynamic frequency response demands variable speed wind turbines.
- Wind turbines have no stationary contribution to primary frequency control when operated in medium wind optimal control mode.
- A short overload of the windturbines running in power limitation mode contribute both to a less the dynamic maximum frequency deviation and possibly to a smaller stationary frequency deviation compared to the case where windturbines have no primary control response.

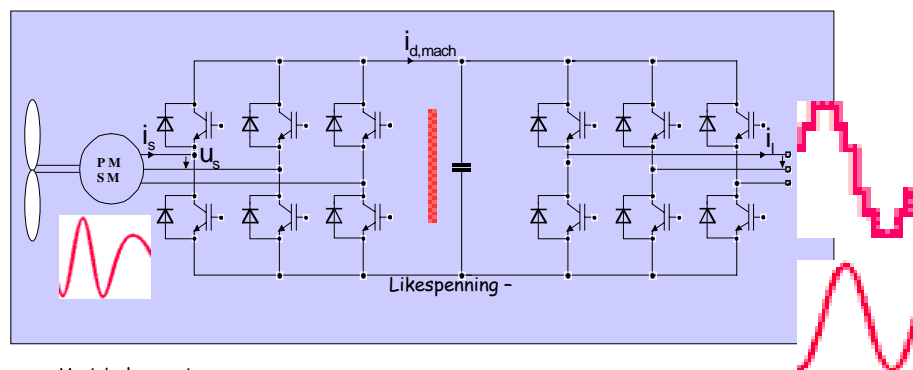
EBL-prosjektet: Vektreduserte vindgeneratorsystemer

Et prosjekt med fokus på fremtidens direkte-drevne
generatorsystem for vindkraft

Delfinansiert av Forskningsrådets
RENERGI-program

SmartGenerator

Direktedrevne Genereringssystem med varierende turtall

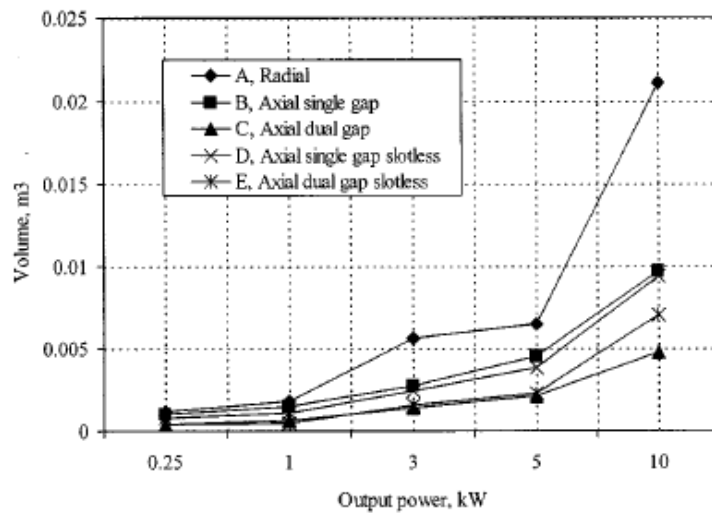


Variabel spenning
- på grunn av variabelt turtall

Vekselspenning mot nett
- med fast amplitude og frekvens

SmartGenerator

Forventinger til ny teknologi



Resultater

- Systemkompetanse basert på egen design og tester:
 - Spesifikasjon: Hvordan spesifisere et slikt PM Generatorsystem
 - Funksjonalitet: Optimal styring (også svake nett), aktiv demping av svingninger, styring ved feilsituasjoner
 - Turbinstyring, Generator/Motorstyring, Aktiv likeretter og nettkontroll
 - Personell tilgjengelig for industrien/kraftsektoren.
 - Dedikerte seminarer for deltagerne i prosjektet.

- Generatorkompetanse store maskiner :
 - Bygging av store radielle og aksielle PM maskiner: Personell som kan Mekaniske design og elektrisk design
 - Videreføring av kompetanse fra store vannkraftmaskiner
 - Aktivt maskindesign miljø i Norge

SmartGenerator

Prosjektmål

- Designe morgendagens direkte-drevne PM Generator System for Vindturbiner

Delmål:

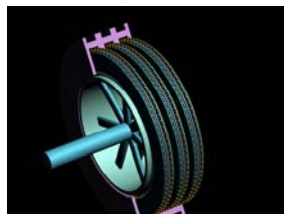
- Verifisere teoretisk oppnådde vekt-, volum av nye generator-konsepter; radial/aksial -jernløs
- Utvikle styrestrategier basert på de nye IEC-krav
- Realisere og teste nytt omformersystem for PM maskiner og Aktiv Likeretter; ytelse fra 50 kW til 5 MW
- Designe fullskala PM generator
- Utføre integrasjonstest av fullskala PM Generator System

SmartGenerator

Overordnet spesifisering

Generator		Omformer	
Type:	PMSM	Type:	IGBT basert; vannkjølt
Spenning:	690 V, 3-fase	Spenning:	690 V, 3-fase
Frekvens:	50 Hz	Ytelse:	800- 5000 kW
Hastighet:	17 rpm		
Effekt:	5 MW		

Vekt: < 50 tonn
 Diameter: < 6 m
 Aktiv lengde: < 45 cm
 Seksjonerbar: ja
 PM Drive System 'Strong point' i nettet



SmartGenerator

Aker Kværner



Leveranser i prosjektet

❖ Testrapporter og Programvare :

- Spesifikasjonsmanual, simuleringsmodeller
- Testrapport fra tester i Vindlab (50kW system)
- Testrapport fra Fullskala Integrasjonstest

❖ Testoppsett i vindlab på NTNU :

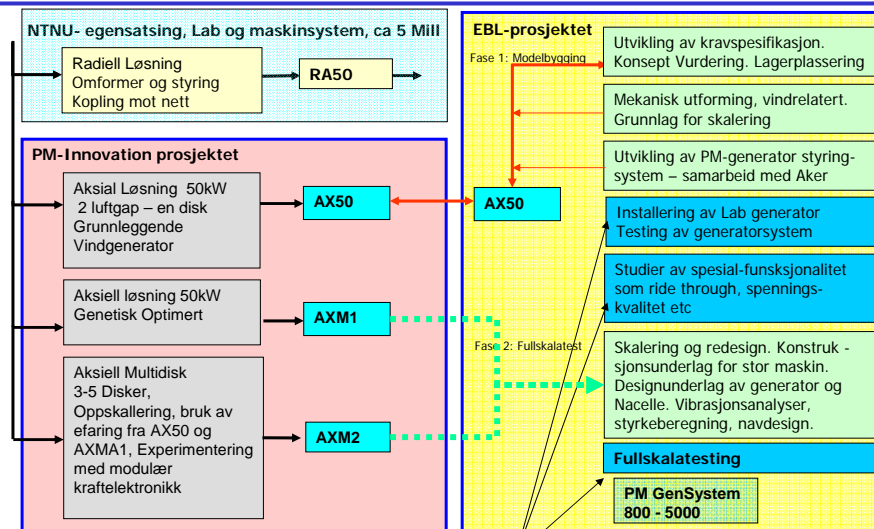
- Tilgjengelig PM Generator System

❖ Fullskala PM Vindgenerator System

- Ferdigtestet **nyutviklet** styresystem for 5 MW vindgeneratorsystem
- Produksjonsunderlag for jernløs **aksial magnetisert** 5 MW generator
 - 40 % vektreduksjon (Siemens 3MW PM som referanse), modulær oppbygget
 - Lavere levetidskostnader

SmartGenerator

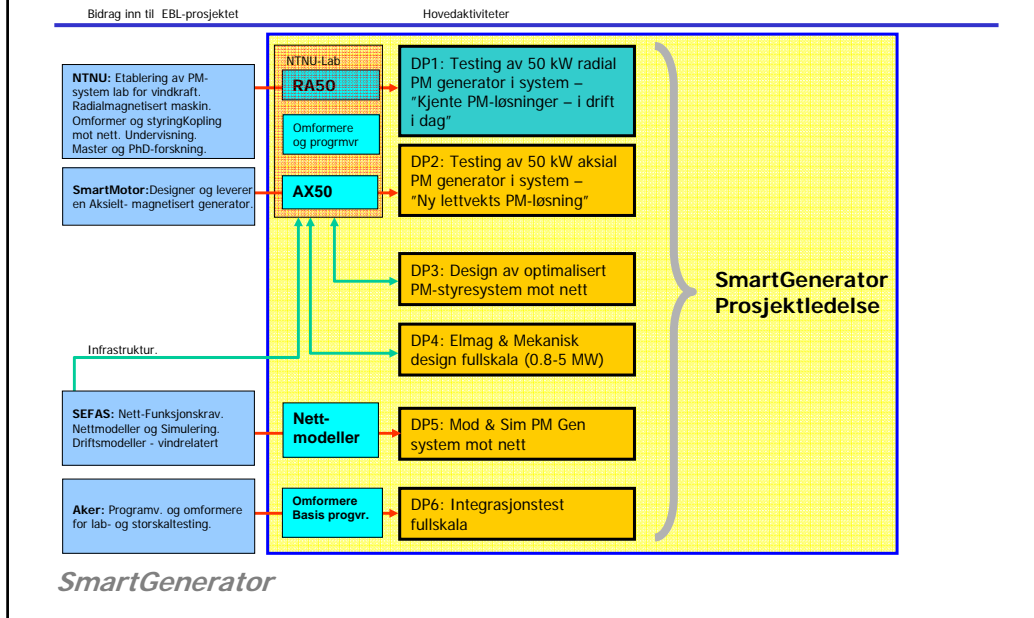
To sterkt koblede prosjekter – (ramme ca. 36. Mill)



SmartGenerator

Aktiv deltagelse fra energiselskaper

Hovedaktiviteter og resultater – EBL-prosjektet.



Deltager

- Smartgenerator (Prosjektleder Svein Hestevik)
- AkerKværner(Finansielt plus aktiv deltagelse)
- Rolles Royce (finansiell pluss aktiv deltagelse)
- NTNU (Dr. ing,I Vindkraftlab etc.)
- NFR(Finansiell støtte)
- EBL-bedrifter

SmartGenerator

Nye samarbeidsmuligheter!?

- Sway – offshore vindkraft, av stor interesse, P>10MW?!
- SCANWIND –
- Delleverandører (kan støtte oss ved produksjon og design)
 - ❖ Fiberarmering
 - ❖ Viklingsproduksjon
 - ❖ Mekaniske strukturanalyser
 - ❖ Termiske løsninger

SmartGenerator

NTNU

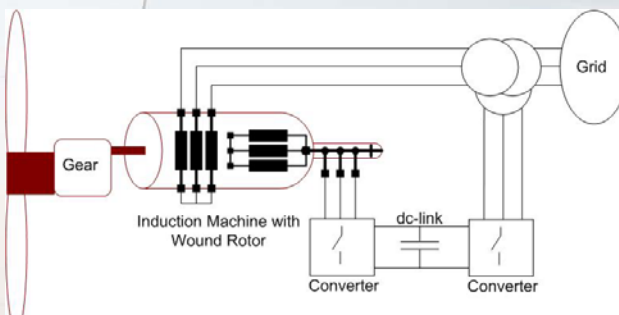
Drift av Dobbelmata Asynkrongenerator Gjennom Nettfeil

Student: Bjarne Idsøe Næss Veileder: Tore M. Undeland

1

NTNU

Dobbelmata Asynkrongenerator



$$P_r \approx s \cdot P_s$$

$$V_r \approx \frac{n_r}{n_s} \cdot s \cdot V_s$$

$$I_r \approx \frac{n_s}{n_r} \cdot I_s$$

- Omsetningsforholdet må passe med merkeverdiene til omformerene og turtallsområdet
- Magnetiseringen blir i hovedsak bestemt av nettspenningen

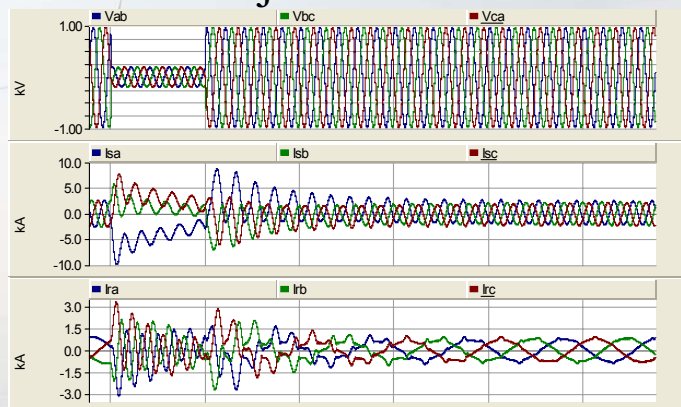
2

Metoder for å drifte generatoren gjennom en nettfeil

1. *Bruke omformere som er dimensjonerte for nettfeil*
2. *Kortslutte rotorklemmene*
3. *Koble inn ekstra motstand på statorklemmene*
4. *Koble fra rotorklemmene*

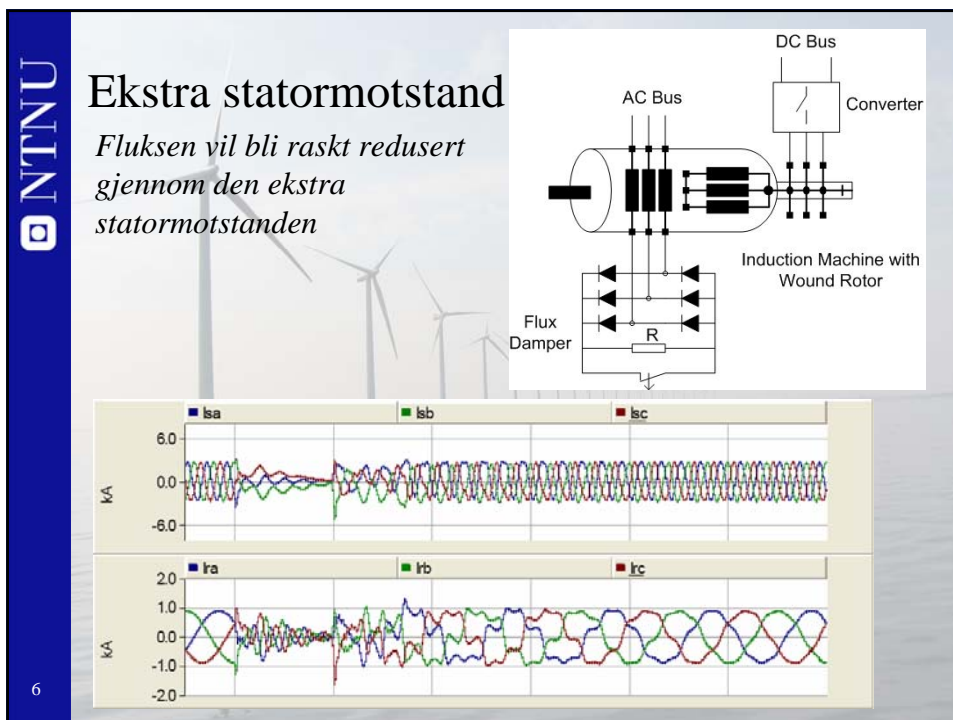
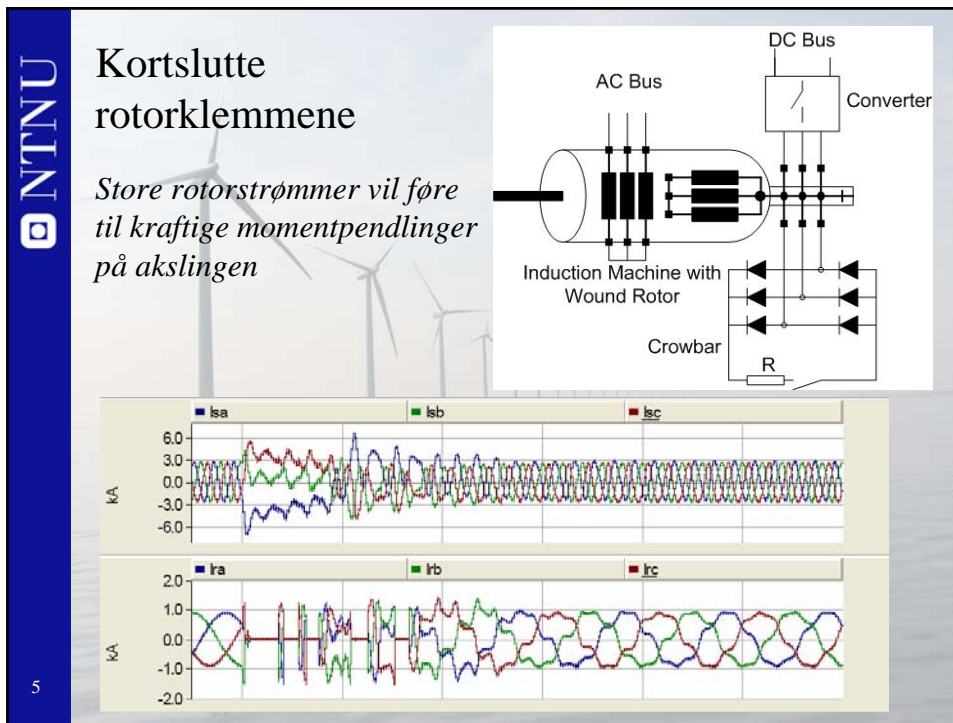
3

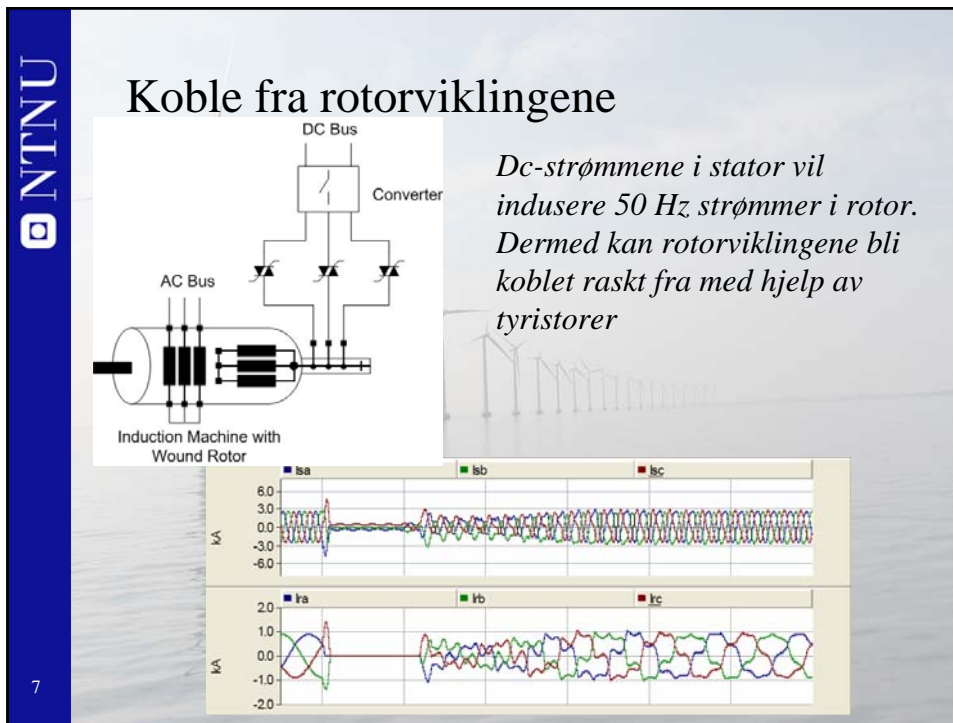
Overdimensjonerte omformere




Rotorspenningen overstiger spenningen fra omformeren slik at en ca 3pu strøm går gjennom omformeren

4







Modellering, simulering og regulering av flytende vindturbin

Thomas Fuglseth

NTNU – Inst. For Elkraftteknikk

feb. 2004 – feb 2008

Veileder: Tore Undeland



Ph. D.-prosjekt

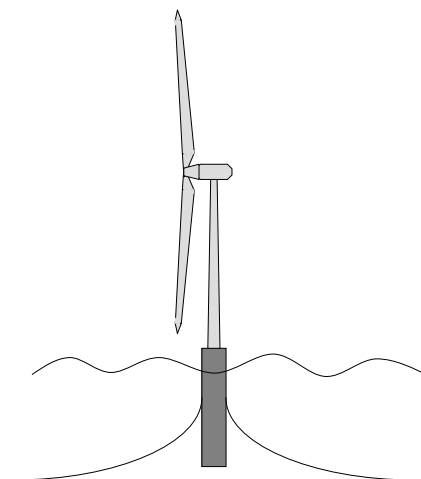
- Del av Strategisk vindkraftprogram
 - Samarbeid mellom NTNU, SINTEF og IFE
 - Finansiert av Norsk Forskningsråd og aktører i næringslivet
- Påbegynt i feb. 2004, forventet avsluttet i feb. 2008

Flytende vindkraft: konsepter

- Ballast-stabilisert
- Forankrings-stabilisert
- Oppdrifts-stabilisert

Ballast-stabilisert

- Tyngdepunkt lavere enn oppdriftssentrum
- Holdt på plass av fleksibel forankring
- Relativt stor grad av bølgepåvirkning



Forankrings-stabilisert

- Oppdriftssentrum ligger under tyngdepunkt
- Oppdrift strammer forankring
- Forankring sørger for stabilitet
- Kan gi en plattform som er tilnærmet like stabil som på land
- Er bare stabil så lenge forankringen holder

Forankrings-stabilisert (2)

Krefter på en forankringstabilisert struktur



Ulempe: vil raskt gå tilbake til sin stabile stilling hvis forankringen skulle ryke



Oppdriftsstabilisert

- Pram-lignende eller pontongdesign konstruksjon med påmontert vindturbin
- Fleksibel forankring
- Oppdrift sammen med forankring motvirker tippebevegelser
- Forankring kan være kritisk, som for forankringsstabilisert design over

Ballaststabilisert vindturbin

- Relativt enkel konstruksjon
- I stor grad velkjent teknologi
- Modellering kan baseres på kjent teori
- Naturlig stabil struktur
- Kan oppleve relativt store svingebevegelser

Gir og generator

■ Flere alternativer:

- Asynkronmaskin el. dobbelmatet asynkronmaskin med gir
- Direktdrevet synkronmaskin med fullomformer
 - Med feltviklinger eller permanentmagneter
- Asynkronmaskin med gir og fullomformer?

Tre kriterier for gir og generator

■ Masse

- Ønskelig med lavest mulig vekt i nasell

■ Pålitelighet

- Tar generelt lengre tid til reparasjoner kan gjennomføres offshore (høyere MTTR)
- Trenger høy pålitelighet for lønnsom kraftproduksjon

■ Regulerbarhet

Er disse kriteriene forenbare

- Direktedrevet synkrongenerator
 - Høy pålitelighet, god regulerbarhet
 - Tradisjonelt stor vekt, men har forbedringspotensiale
 - Maskiner med feltviklinger krever sleperinger
- Hurtigløpene generator med gir
 - Relativt lav masse
 - Girkasse tradisjonelt en kilde til mekaniske feil
 - Dobbeltmatede maskiner krever sleperinger

Andre utfordringer

- Kraftoverføring
 - Kabling innad i park
 - AC eller HVDC?
 - Avstand til land er som oftest hovedkriteriet
 - Hvordan designe transformator-/omformerstasjon

Ballaststabilisert turbin - regulering

- Krav til regulering:
 - Unngå negativ demping av bølgebevegelser
 - Helst forbedre demping av bølgebevegelser
 - Begrense slitasje på mekaniske komponenter
- Må antagelig ofre litt på produksjonssiden
 - Større effektfluktuasjoner enn for landbasert vind?
 - Store parker kan jevne ut dette

Modellering i Bladed

- Simuleringsprogram for vindturbiner fra Garrad Hassan
- Kan simulere en rekke typer vindturbiner og vindforhold
- Kan simulere vind med både horisontal- og vertikalkomponent

Modellering i Bladed (2)

- Har funksjonalitet for å programmere egne regulatorer og elektriske komponenter
- Har innebygget funksjonalitet for simulering av tårn, også offshore
 - Inkluderer bølgedynamikk
- Men: Ingen innebygde muligheter for simulering av flytende strukturer

Utfordring

- Lar det seg gjøre å skrive egen modul for tårn- og flyterdynamikk?
- Utvikle egne regulatorer
 - Bruke aksialkrefter på turbin til å motvirke/dempe bølgebevegelser
 - Regulere generator for å minimere belastning på drivverk
- Muligens egne modeller for generator og gir

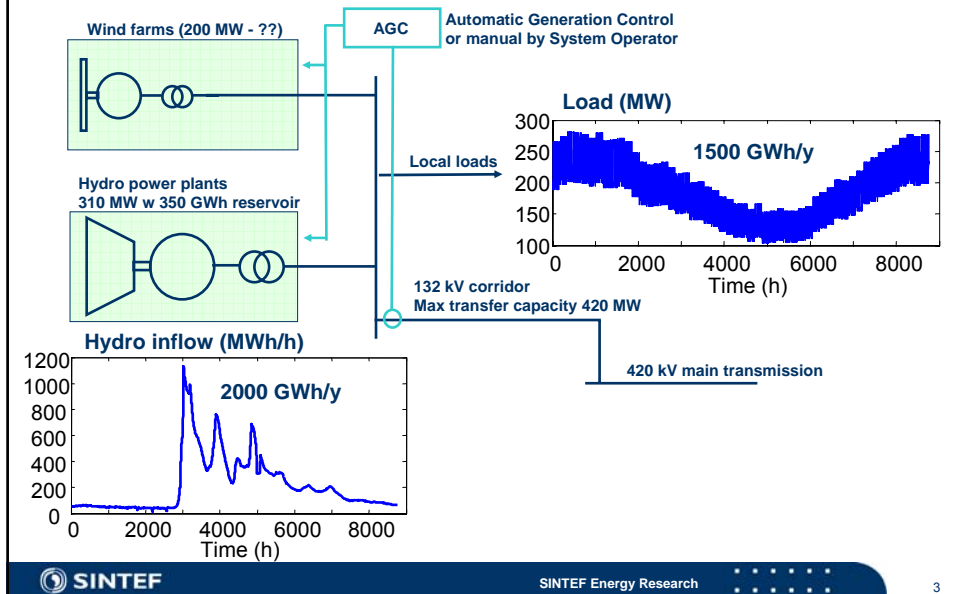
PLANNING AND OPERATION OF LARGE WIND FARMS IN AREAS WITH LIMITED POWER TRANSFER CAPACITY

(work is in progress – final results to be presented at EWEC'06
by M Korpås, John O Tande, Kjetil Uhlen, Terje Gjengedal)
magnusk@ntnu.no

INTRODUCTION

- At many locations with excellent wind conditions the development of wind farms are hindered by grid issues.
- The limit for how much wind power that can be operated within an area is however not easy to establish.
- Conservative assumptions are often applied that unnecessarily limits the wind power installation.
- This presentation shows that significantly more wind power can be allowed by taking account for the wind power characteristics and facilitating coordinated power system operation.
- The combination of wind and hydro (with storage) is of particular interest, and used as a case for this presentation.

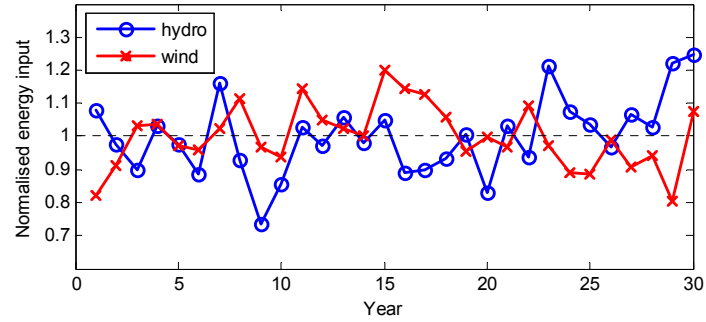
CASE STUDY SPECIFICATIONS



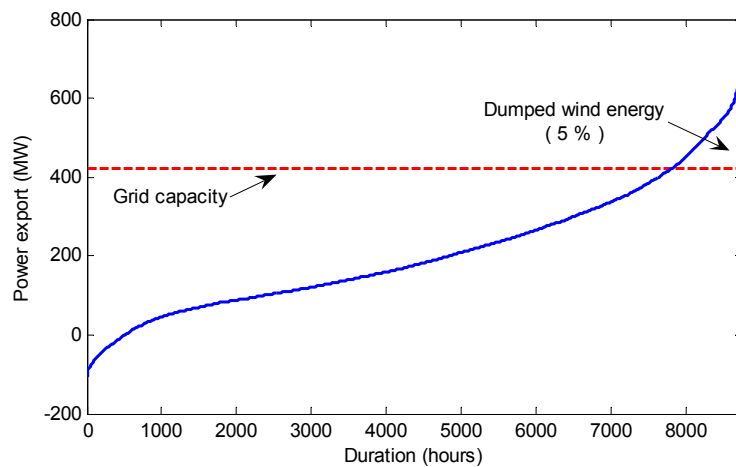
Simulation model

- Simulate 30 years operation on an hour-by-hour basis
- Model inputs includes:
 - 1-year time series with consumer load and market price of electricity
 - 30-year time series with inflow to hydro reservoir and wind power
 - specification of the power system components, like hydro storage capacity, rated power of hydropower plant and thermal limit of 132 kV transmission line
- Assumed AGC strategy:
 - The AGC operates to avoid line overloading
 - **Control hydro**: control the hydropower first and secondary the wind power (if needed)
 - **Control wind**: control the wind power only

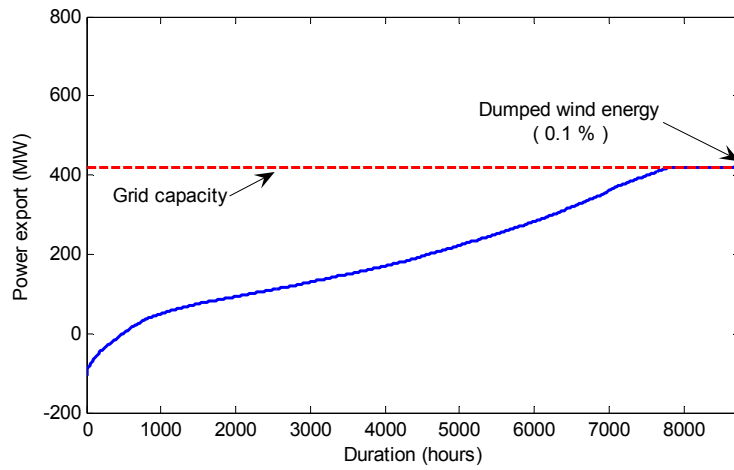
Long-term wind and inflow variations



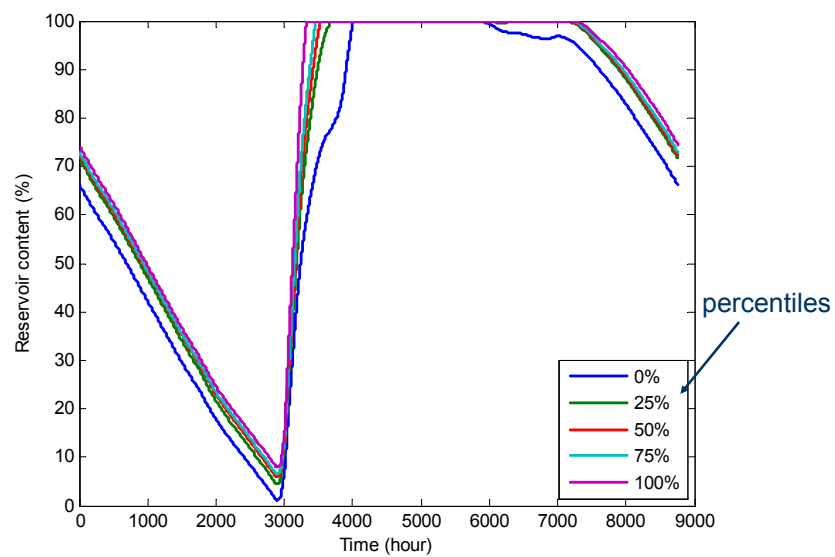
Simulation of 3x200 MW wind farm Control wind



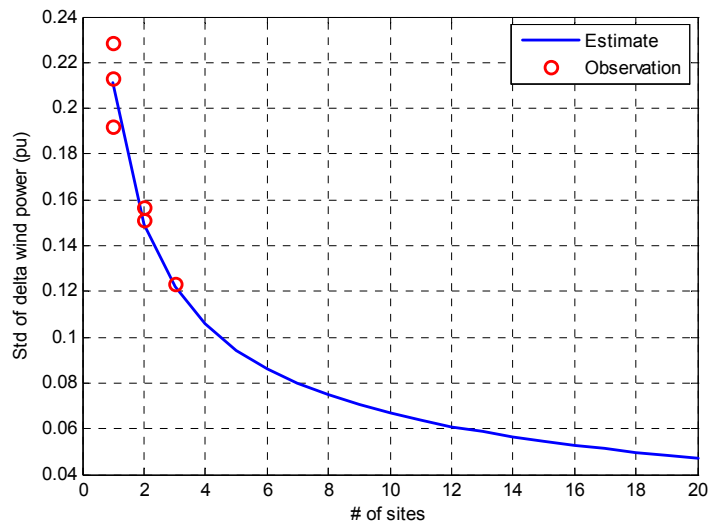
Simulation of 3x200 MW wind farm Control hydro



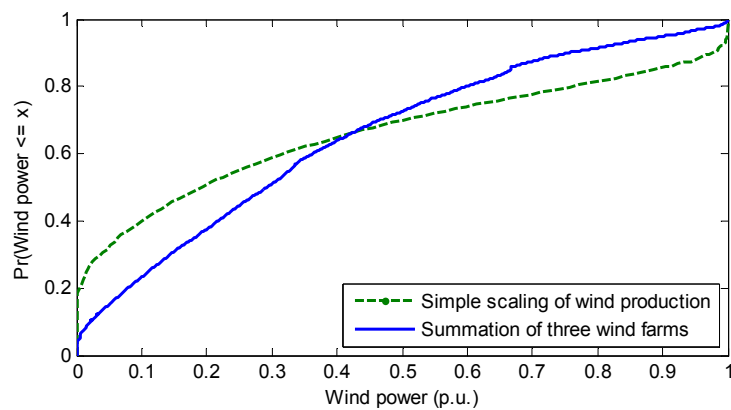
Simulation of 3x200 MW wind farm Control wind



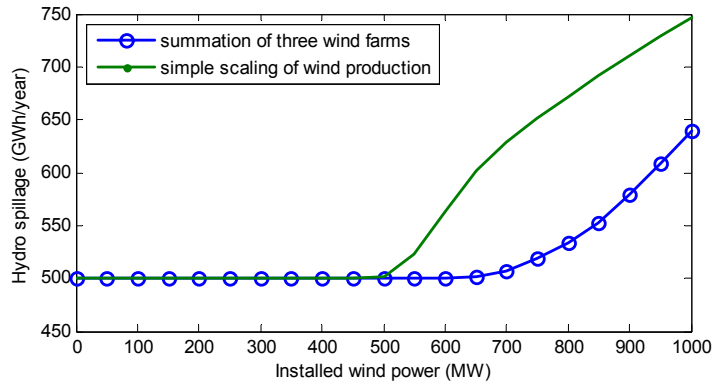
Hour by hour wind power variations



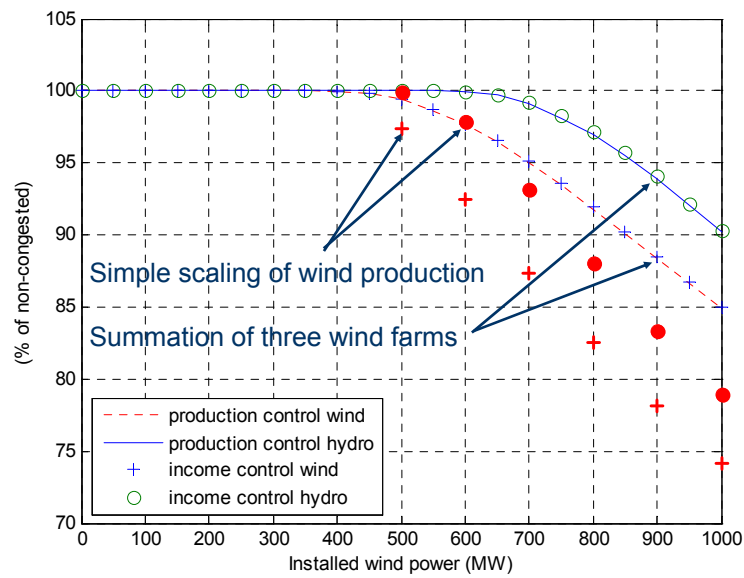
Hour by hour wind power variations



Hydro spillage vs. wind capacity



Sum production vs. wind capacity



SUMMARY RESULTS AND CONCLUSION

- At simplified and conservative assumptions about 200 MW of wind power would be allowed in the case study regional power system
- In contrast, assuming coordinated control and taking account for the geographical wind smoothing effect, the case study simulations demonstrate room for significantly more wind power capacity
- Installation of 600 MW of wind power results in no significant reduction in income from energy sales if adjusting hydro generation, or ~2 % reduction of income if dissipating wind power and leaving hydro according to schedule (all compared to the non-congested case)

- Power system coordination allows for surprisingly large amounts of wind power.
- It is essential to take account for the power system flexibility and the stochastic and dispersed nature of wind power.
- The presented methodology facilitates this and represents a rational approach for power system planning of wind farms.

- (work is in progress – final results to be presented at EWEC'06 by Magnus Korpås, John Olav Tande, Kjetil Uhlen, Terje Gjengedal)

BLADER




Rotor blade experiences
*With special focus on reliable
 high performance lightning protection*

Steen Broust Nielsen, Group Marketing Manager





LM Glasfiber



LM Glasfiber

- The world's leading producer of rotor blades
- Total production since 1978: More than 80,000 blades
- Blades for more than every third wind turbine worldwide

Well positioned with manufacturing
in main growth markets

Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
 Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 2

How did we achieve this position?

- Annual R&D investment 5% of revenue
- More than 100 highly skilled experts in our R&D Division
- Global organisation with local presence in major markets

Initiative, responsibility and forward thinking



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 3

On or close to main markets



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 4

Some basic facts

- Number of employees 2,600
- Sales in 2004 € 304 million
- MW sales in 2004 2,599 MW
- Total MW sales to date 17,840 MW



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 5

Customer portfolio

- 14 global or national wind turbine manufacturers
- 8 of the top-10 wind turbine manufacturers
- Long term customer relationships
- Integrated product development



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 6



Design drivers for rotor blades

- Increase blade efficiency
- Reduce the weight and loads
- Reduce requirements for the dimensions and cost of the turbine
- Increase operational reliability
- Reduce operation & maintenance cost

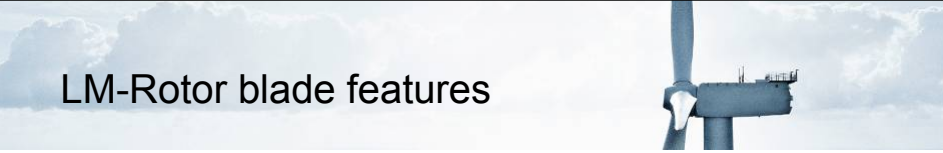



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 8

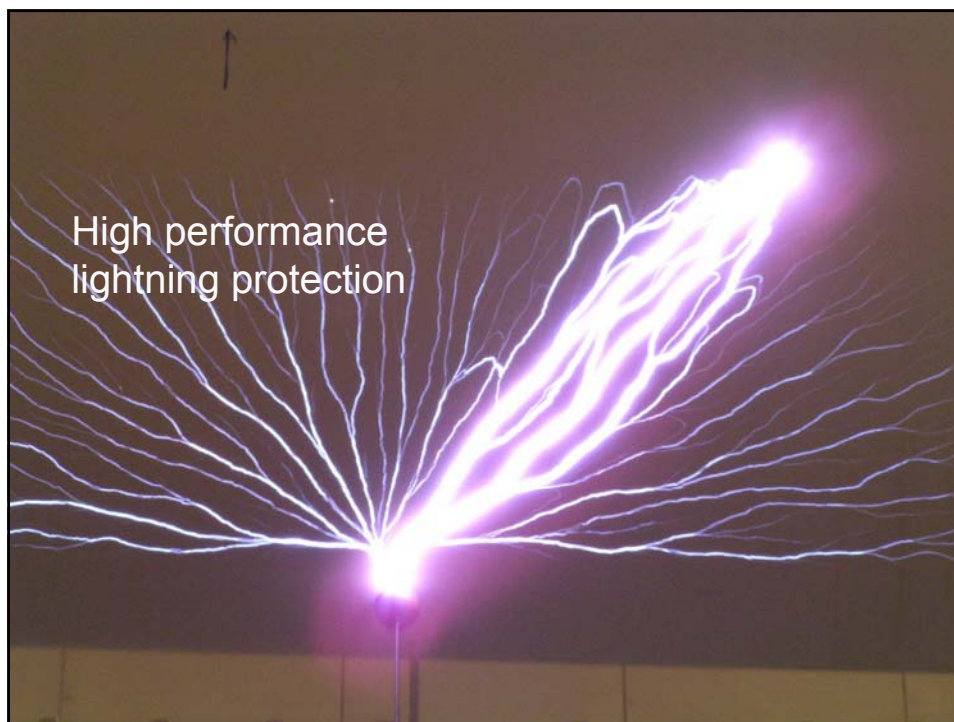
LM-Rotor blade features

- Low Noise Tip
- Vortex generators
- Pre-bending
- Super Root
- Lightning protection
- Condition monitoring

Innovative features add value to the blade



LM Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 9



Lightning protection – 24 x 7 x 365

- 2000 thunder storms are active through out the world at any given moment producing approx. 100 flashes of lightning per second.
- In DK the average number of thunder storms is 10 per year
- Lightning releases currents of up to 200.000 amps released in a extremely short period of time.
- “Ordinary lightning” usually has a maximum stroke of approx. 30 kA



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 11

Lightning damage to blades

- Non-conducting blades without any conducting components are often struck by lightning and suffer major damage
- Statistics show that lightning causes 4 - 8 faults per 100 turbine years in northern Europe and up to 14 faults in southern Germany
- One third of the faults were caused by lightning strikes to turbines, the rest were due to fall-out of power and telecommunications systems
- 7-10% of all lightning events involve wind turbine blades, which are the most expensive component to repair
- The above statistics cover a nine-year period from 1990 – 1998, mostly non lightning protected blades

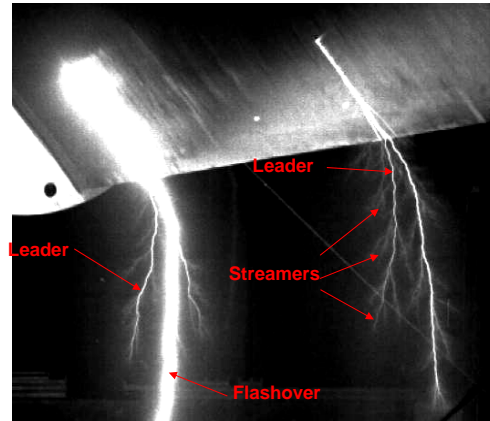


Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 12

Stages of a lightning event

Lightning events consist of a series of consecutive stages:

1. Initial corona forms
2. Streamers develop out of this initial corona
3. Leaders subsequently grow
4. Final jump occurs visible as the lightning flashover

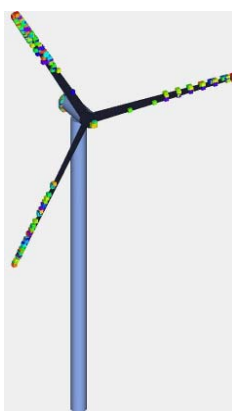


Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 13

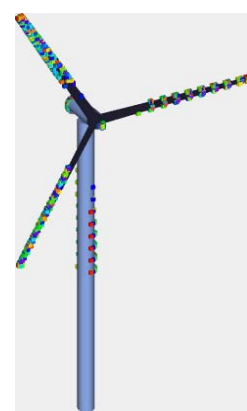
Increased risk of inboard puncture for lightning strike of lower current



Lightning attachment points for the highest 2000 strikes <math><100\text{kA}</math>



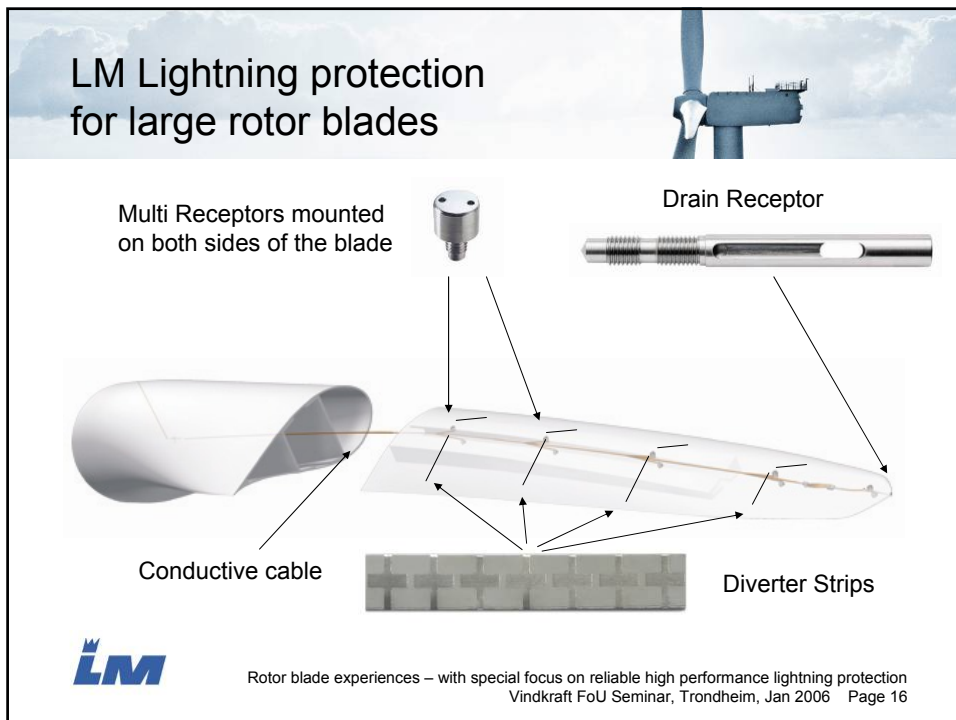
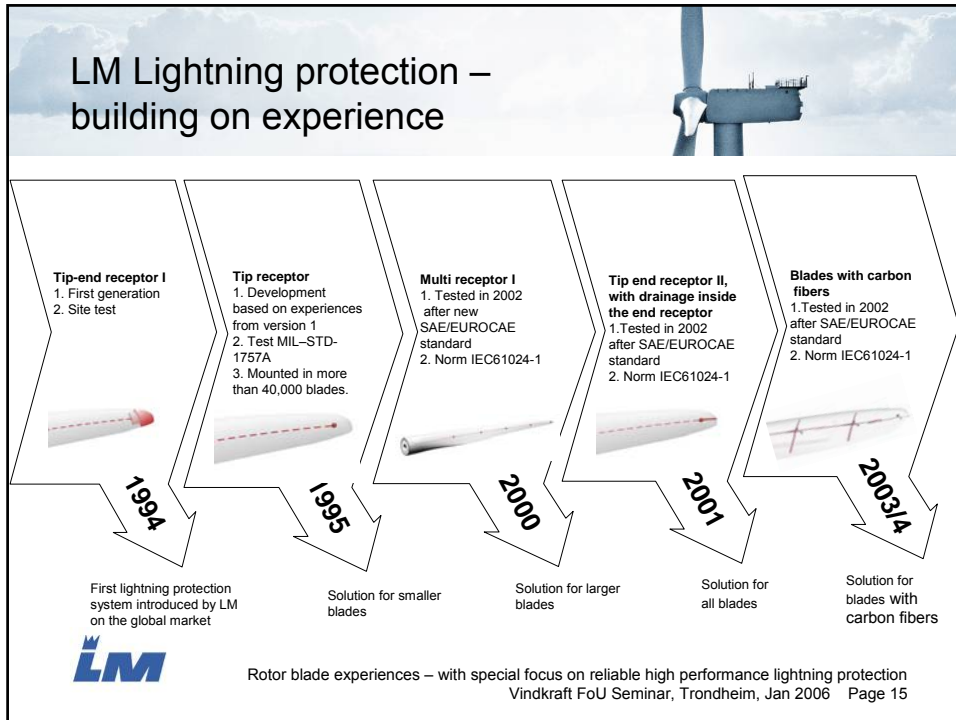
Lightning attachment points for the highest 2000 strikes <math><50\text{kA}</math>



Lightning attachment points for the highest 2000 strikes <math><20\text{kA}</math>

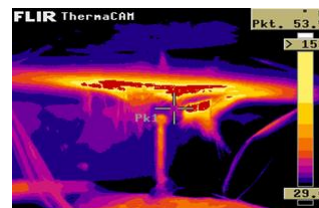


Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 14



Lightning strike into an unprotected carbon laminate causes disastrous blade damage

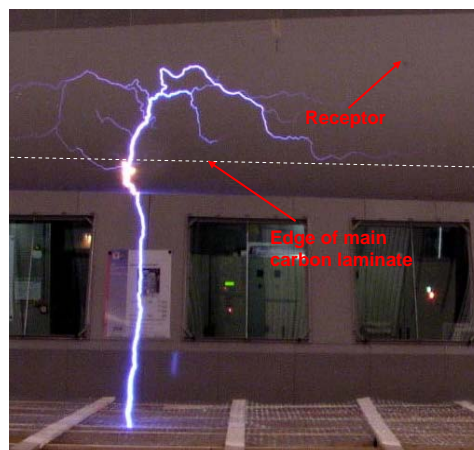
- High Current impact tests (217 kA) show it is not sufficient to use carbon laminate lightning as down conductor
- Carbon fibre laminate is incapable of bearing the specific energy from a level 1 lightning strike (current = 200 kA, specific energy = 10 MJ/ohm) without resulting damage
- The inability of the carbon fibre laminate to distribute the lightning energy can lead to fire in the carbon fibre and subsequent deterioration of the carbon fibre laminate's strength



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 17

Unprotected carbon fibre leads to faulty strikes

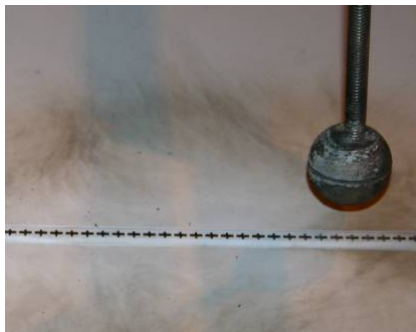
- Extensive high-voltage impact tests show that the semi-conductive carbon fibre is struck by lightning just as frequently as the actual lightning receptors
- The challenge is to ensure rapid streamer and leader spread from those places on the blade where lightning strikes are intended to occur
- Even a medium-strength lightning strike that directly hits the carbon fibre laminate will result in extensive damage



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 18

LM designed a special diverter strip for use on rotor blades

- Low maintenance. Designed to last for 20 years
- Low weight
- Easy to mount on the blade. Require no drilling holes
- Can be retrofitted
- Minimal influence on the air flow
- Current travelling in an ionised path above the segments of the LM DiverterStrip makes a smooth transfer to the receptor
- LM DiverterStrip withstands more lightning impacts compared with commercially available segmented diverters

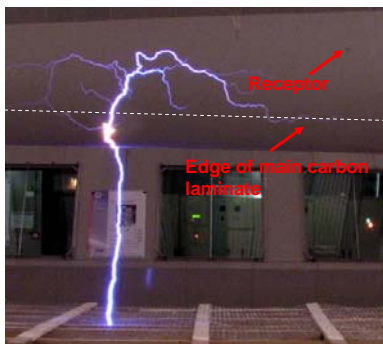


LM DiverterStrip following high current test at 248 kA, 3.2MJ/ohm.



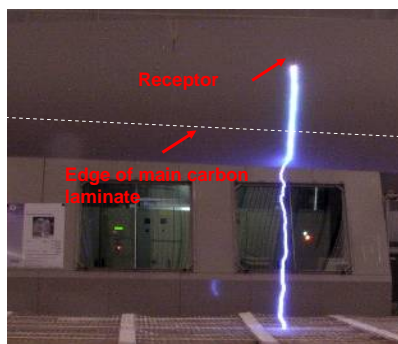
Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 19

The LM DiverterStrip increases the ability to capture lightning strikes



No Diverters

Faulty strike to the edge of the carbon fibre laminate



LM DiverterStrip mounted

The DiverterStrip captures the lightning strike and leads the way to the receptor



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 20

Field experience also shows good results

- The LM DiverterStrip is tested in the field on the LM 61.5 P in Brunsbüttel
- One year field experience shows good results, without any wear or damage to the DiverterStrips.



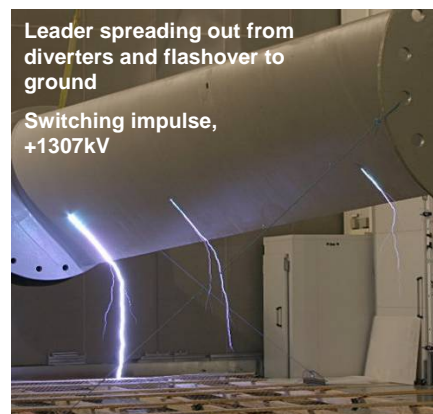
LM 61.5 P at Repower 5M in Brunsbüttel



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 21

Conclusion

- Lightning protection of carbon fibres is a complex, but manageable challenge
- The semi-conductive carbon fibres impose higher risk of faulty strikes, internal flashovers
- Standard lightning protection system used for fibre glass blades does not provide sufficient lightning protection to carbon fibre blades
- The LM DiverterStrip increases the receptors' ability to capture the lightning strikes
- The lightning protection system has been tested according to IEC 61312-1 annex C level 1 and EUROCAE ED 105



Rotor blade experiences – with special focus on reliable high performance lightning protection
Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, Jan 2006 Page 22



Q&A

The presentation can be downloaded at www.lmglassfiber.com

LM

LM Glasfiber

Metodikk for estimering av aerodynamiske effekter for rotorblader

Andreas Knauer
Institutt for energiteknikk

2006-01-30



Utvikling av rotorblader

Store rotorblader er i dag avanserte konstruksjoner med høy virkningsgrad, C_p 's er i nærheten av det teoretiske maximum. Et utviklingspotensial eksisterer fortsatt for:

- 3D aerodynamisk design (tip, root)
- Demping av støy
- Reduksjon av laster

I dette foredrag presenteres metoder og utvalgte resultater fra designprosesser i KMB og SUP-prosjekter. Fokus er på estimering av ulike operasjonelle tilstander.

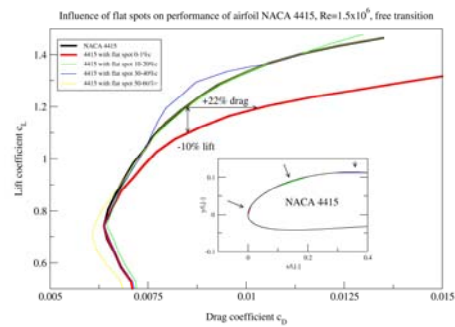
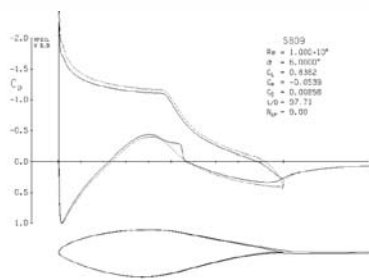
2006-01-30



XFOIL: 2D Panel/Grensesjikt metode

Blad-design:

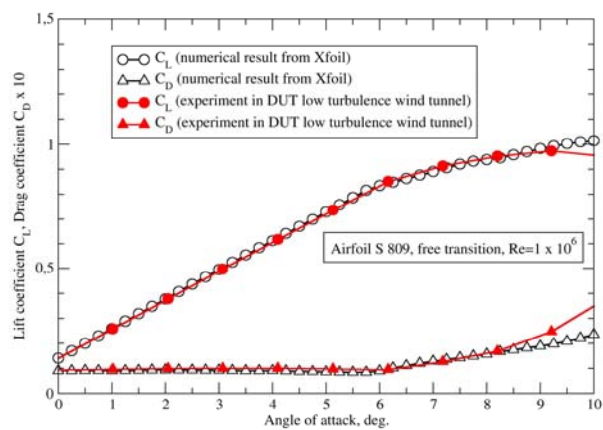
- Direkt eller 'inverse' design
- Estimering av aerodynamisk ytelse
- Identifikasjon av typiske effekter (transisjon, stall)



2006-01-30



XFOIL: Verifikasjon av S-809 resultater



2006-01-30



Aeroelastisk modell FLEX 5

Utviklet av Stig Øye, DTU. FLEX5 benyttes og modifiseres på IFE i SUP 'Vindenergi' og tidligere i KMB-prosjekt 'Utvikling av norsk vindkraftteknologi'.

- Matematisk modell med strukturdata, plassering av alle masser i strukturen og eksterne laster.
- Del-modeller for simulering av vind, aerodynamikk (BEM) og strukturdynamikk (fundament, tårn, nacelle, rotor).
- Reguleringsalgoritmer (f.eks for pitching af rotorblader, yaw).
- Modellering av systemkomponenter (generator, bremses).

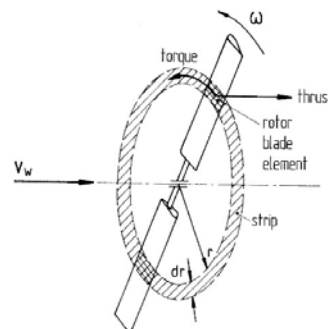
Modellen beskriver momentan strukturgeometri med hastigheter og akselerasjoner, videre er beregning av egenfrekvenser mulig.

2006-01-30



Bladelement metode (BEM)

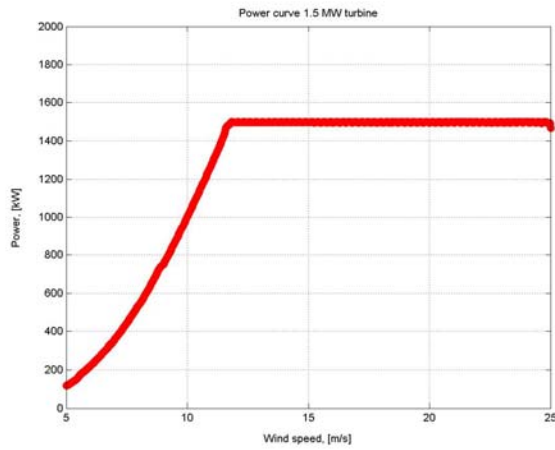
- Indusert hastighet på seksjoner blir estimert med impulsbalansen for en ringformet kontrollvolum.
- Beregning av uavhengige seksjoner på rotorblad.
- Aerodynamiske koeffisienter fra vindtunnel test data.
- Korreksjoner for tipp-virvler og kaskade-effekter.



2006-01-30



Effektkurve



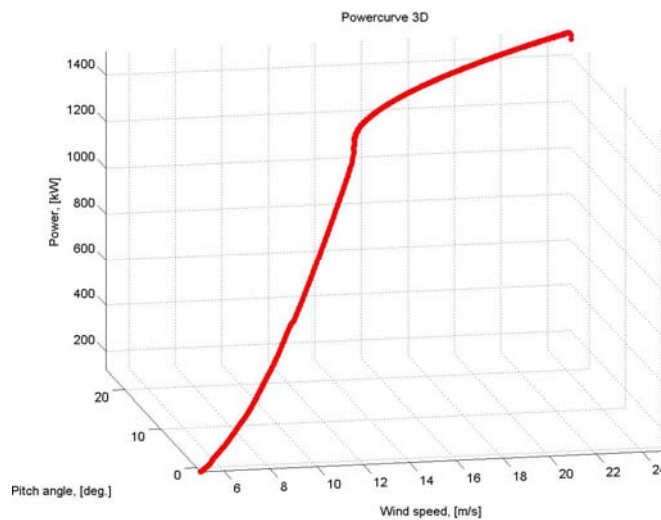
Effektkurve

- Start ved 5 m/s
- 1.5 MW ved 12 m/s
- Pitching for vind > 12 m/s
- Stopp ved 25 m/s

2006-01-30

IFE

Effektkurve – 3D



2006-01-30

IFE

Teoretisk potensial av rotorer

Simuleringer med modifisert FLEX5 modell (BEM):

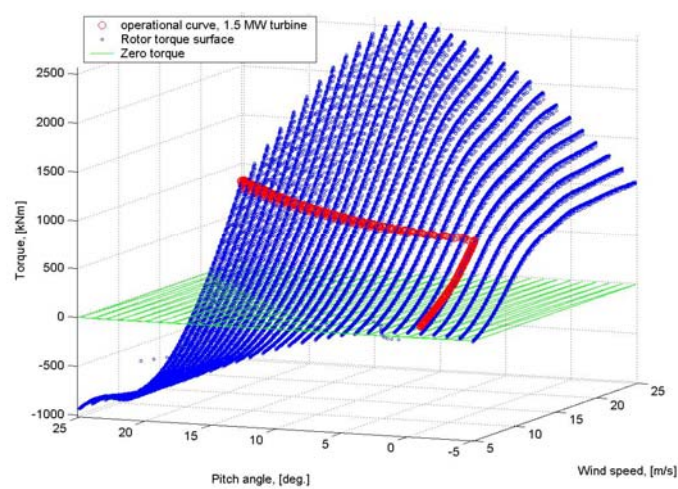
- Variasjon av vindhastighet
- Konstant pitch-vinkel
- Konstant turtall

Resultat: aerodynamiske krefter fra BEM-delmodul.

2006-01-30



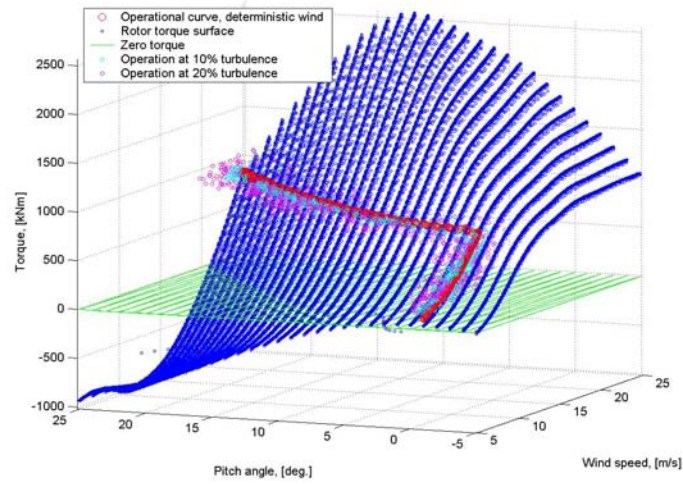
Rotoraerodynamisk effekt



2006-01-30

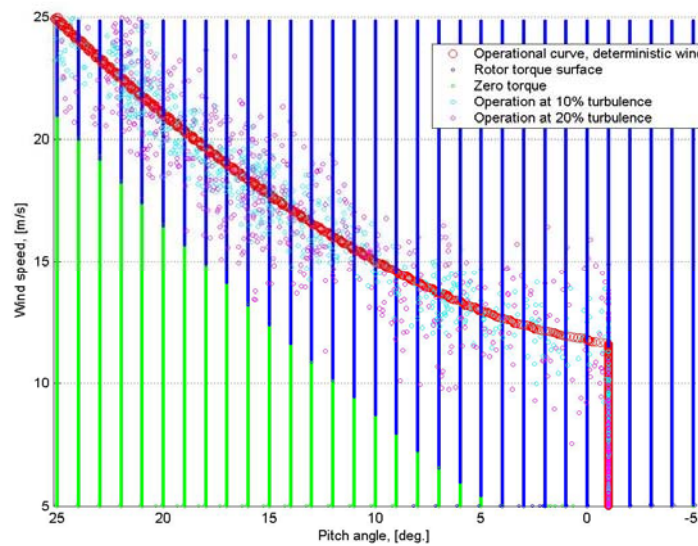


Rotoraerodynamisk effekt



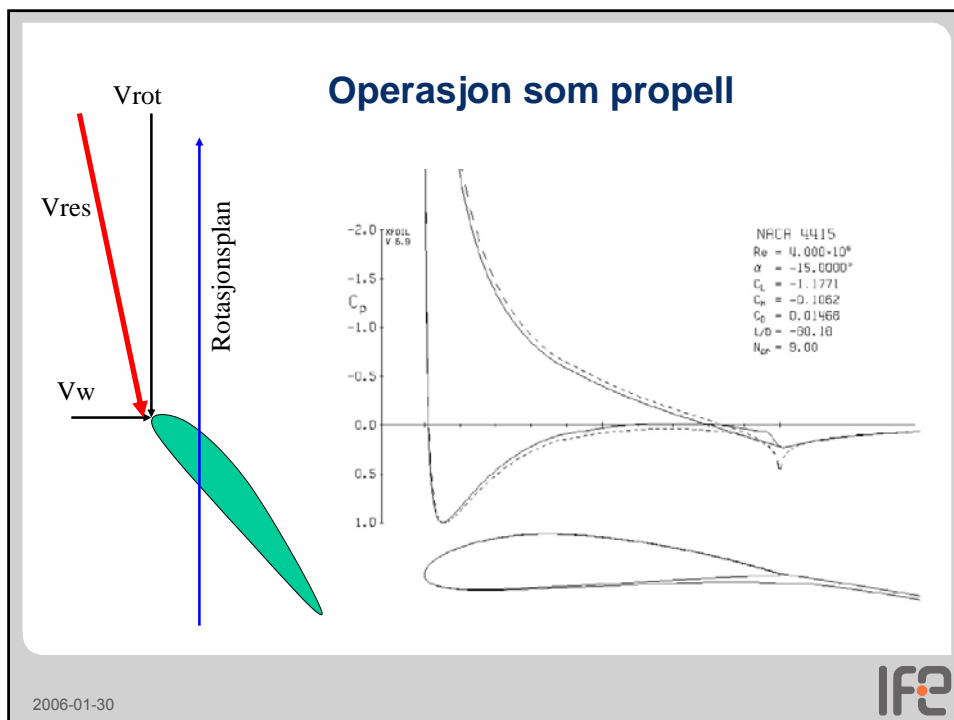
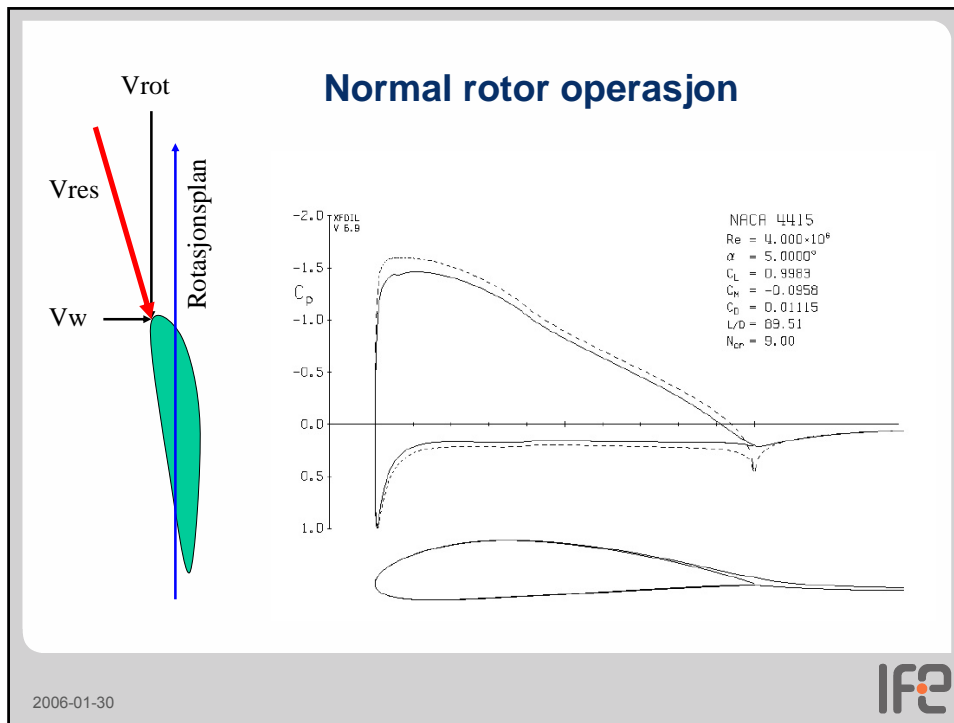
2006-01-30

IFE

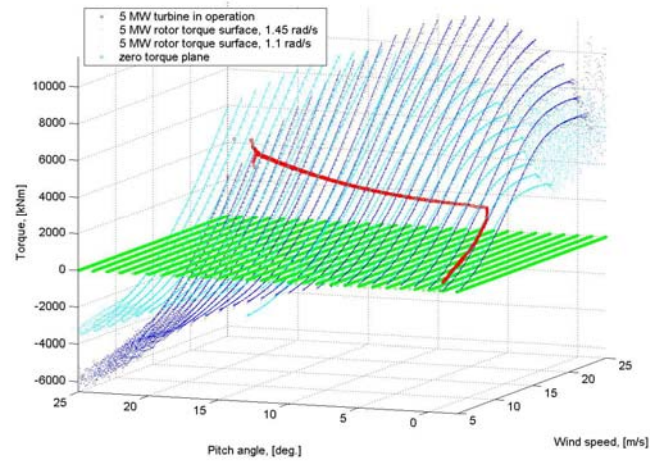


2006-01-30

IFE



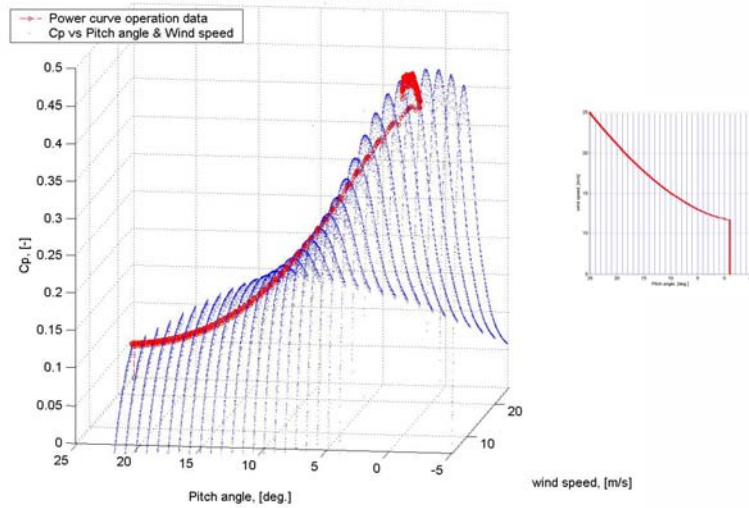
Rotoraerodynamisk effekt



2006-01-30

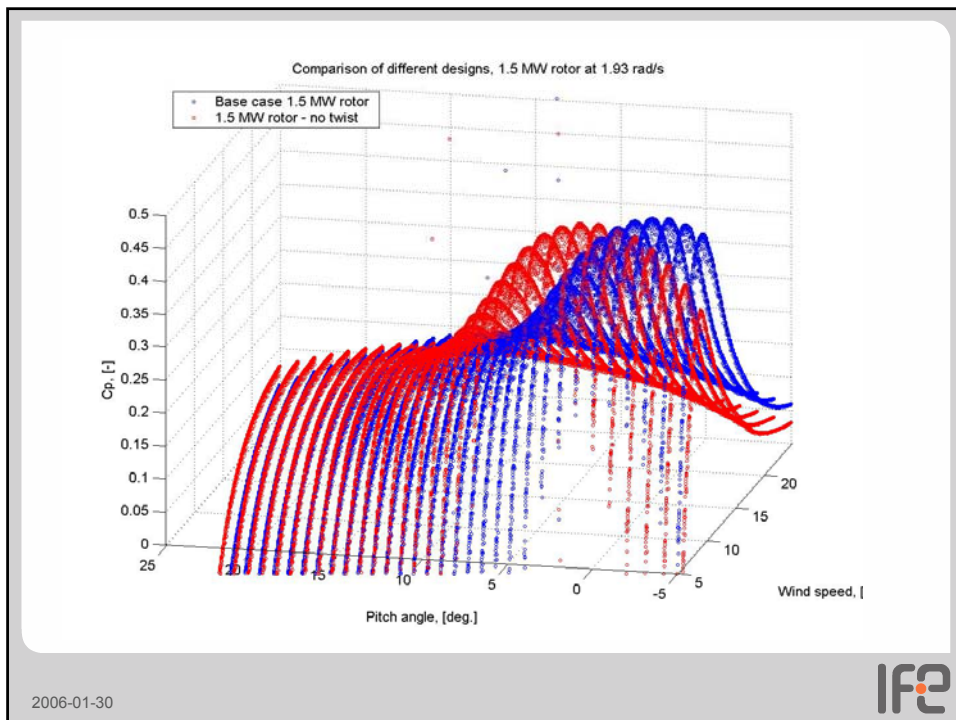
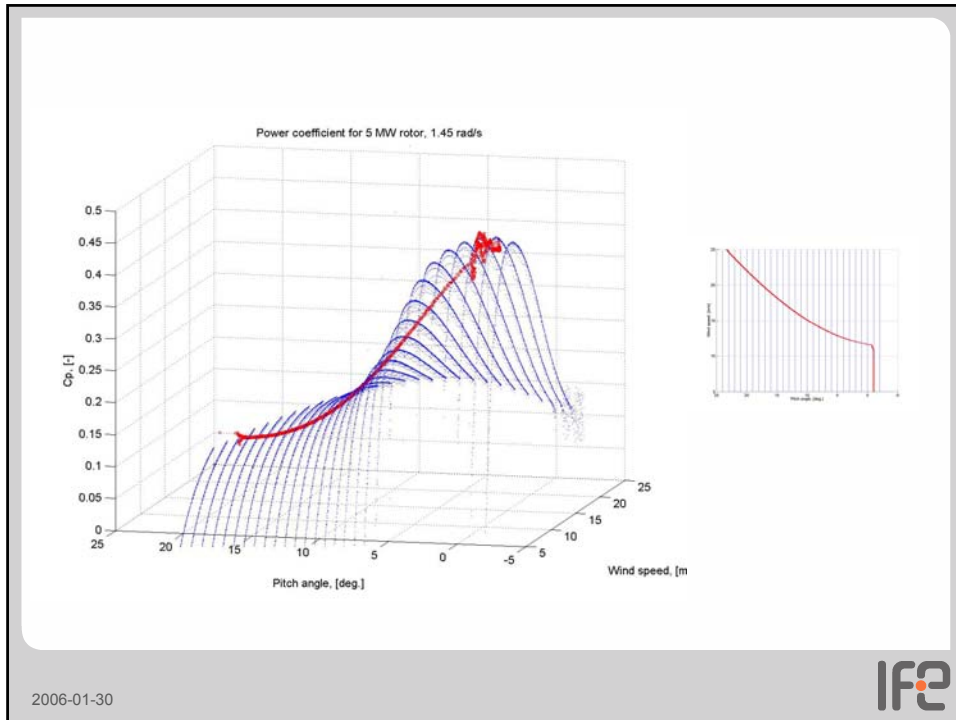
IFE

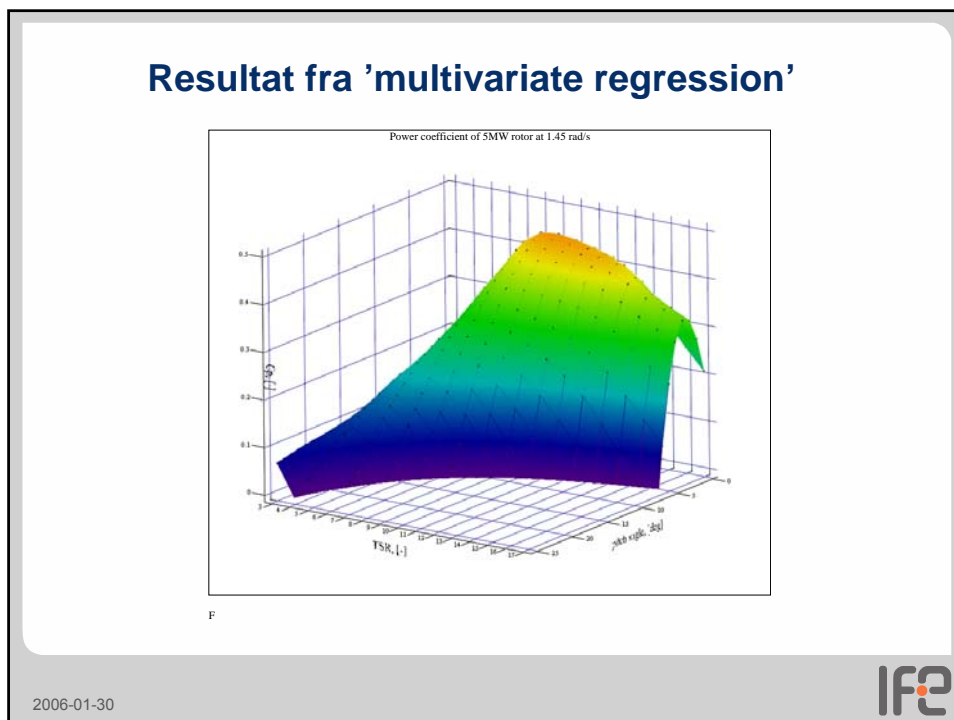
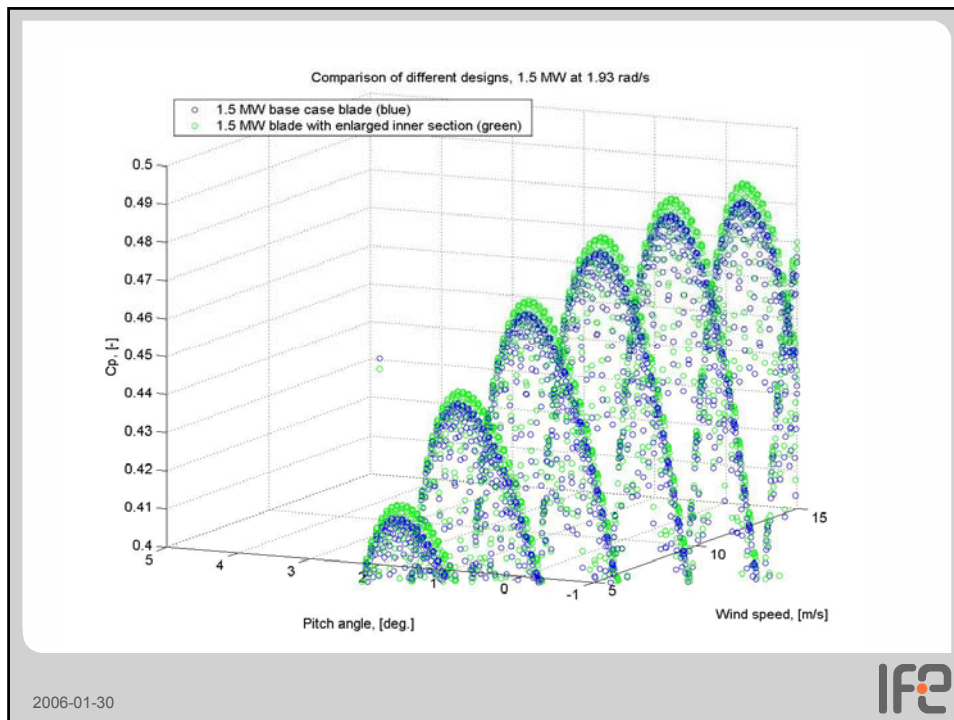
Power coefficient for 1.5 MW rotor, 1.93 rad/s



2006-01-30

IFE





Konklusjoner

I simuleringer med modifisert FLEX5 modell ble ytelsen av to rotordesign estimert i avhengighet av flere parameter med fokus på 'rated wind speed'.

Resultatene gir en kvalitativ oversikt ang. aerodynamiske fenomener f. eks. funksjon som rotor/propell og informasjon for design av kontrollstrategi.

Modellen vil bli videreutviklet og planlagt bruk er i design av et nytt rotor-blad i SFI-forskningsarbeid.

2006-01-30





..... keeps pushing the limits /

Fibermatter for blader, hvor går utviklingen

Baard Røsvik, Devold AMT

25/1 2006



..... keeps pushing the limits /

Hovedtrekk

- Større møller
- Mer industrialiserte prosesser
- Optimalisering
- Nye materialer
- End of Life



..... keeps pushing the limits /

Større møller

- Nye toleranser
 - Design
 - Stivhet
 - Håndtering
 - Robot håndtering av materialer
 - REPETERBARHET



..... keeps pushing the limits /

Mer industrialiserte prosesser

- Færre, større produsenter
- Stordriftsfordeler
 - Former/Verktøy
 - Vakumstøping
- Kundetilpasning
 - Fiber
 - Armeringer
 - Resiner

keeps pushing the limits

Devold AMT Permeability Program

Vision

- Providing permeability data for reinforcements
- Data for flow calculations
- Optimising lay up permeability
- Product benchmarking

Test program

- Permeability of reinforcements
- Permeability of lay ups
- Viscosity measurements

Permeability Datasheet

Test: Permeability test DB6000100F208
Test: Laminated and Layup Specifications

Layer	Thickness	Permeability
1	0.125	0.0001
2	0.125	0.0001
3	0.125	0.0001
4	0.125	0.0001
5	0.125	0.0001

Test Results

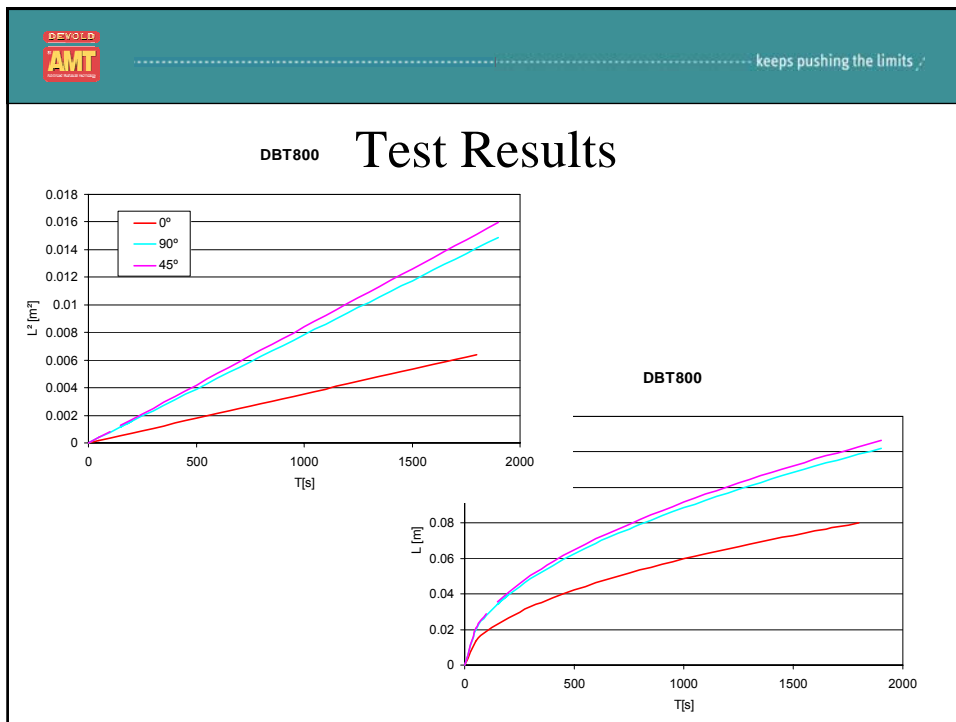
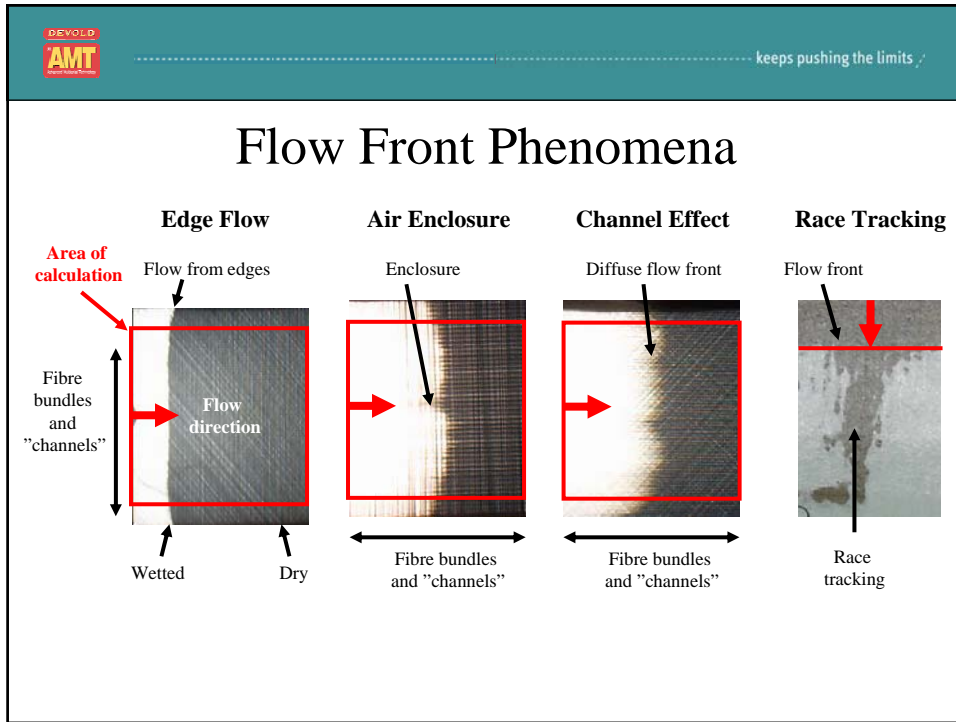
Permeability test	Q ¹ permeation	Q ² permeation	Q ³ permeation	Q ⁴ permeation	Q ⁵ permeation	Notes
Average 15 Sec	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
Average 30 Sec	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
Average 45 Sec	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
Average 60 Sec	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
Average 75 Sec	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
Average 90 Sec	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	

keeps pushing the limits

Test System

Viscosity measurements

Test bench





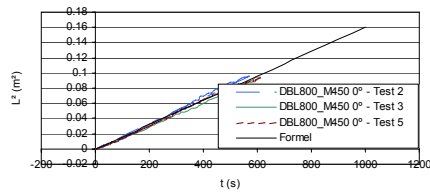
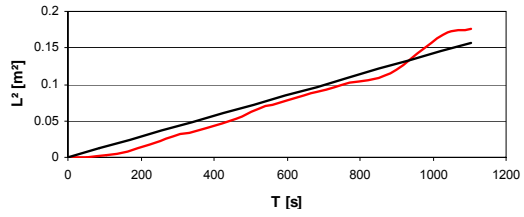
keeps pushing the limits

Case - Analysis of results

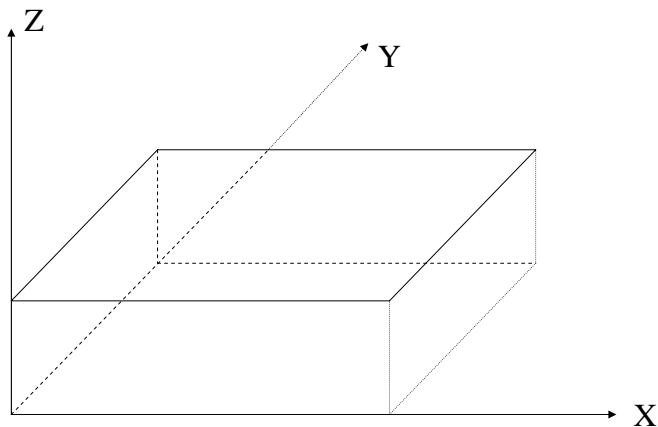
Control image	Time [s]	Length [m]
	0	0
	50	0.02
	107	0.05
	164	0.09
	223	0.13
	287	0.17
	376	0.2
...

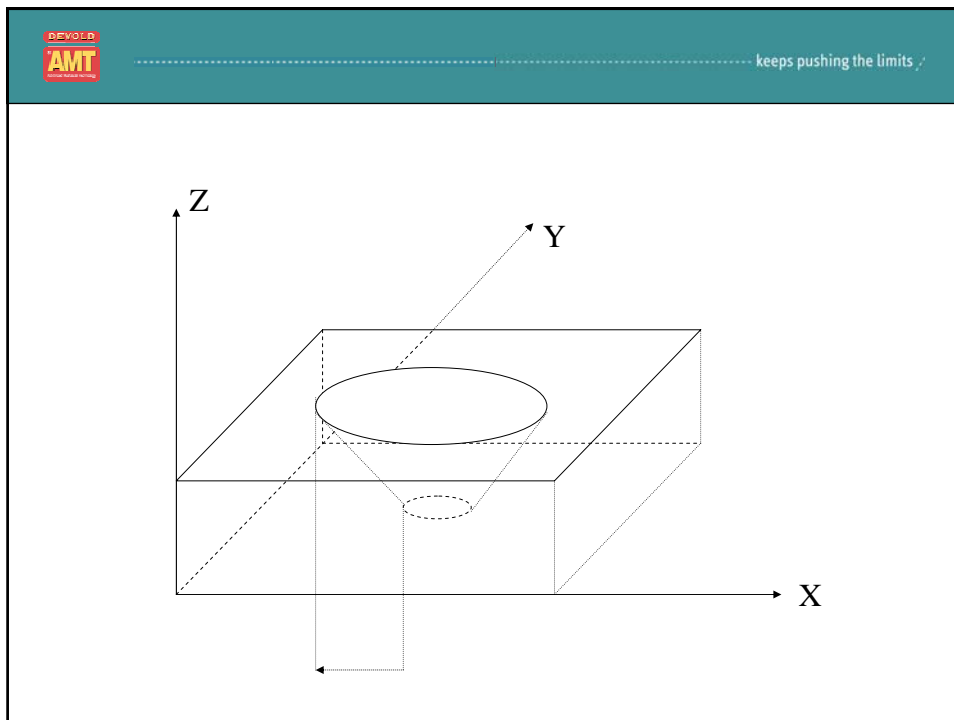
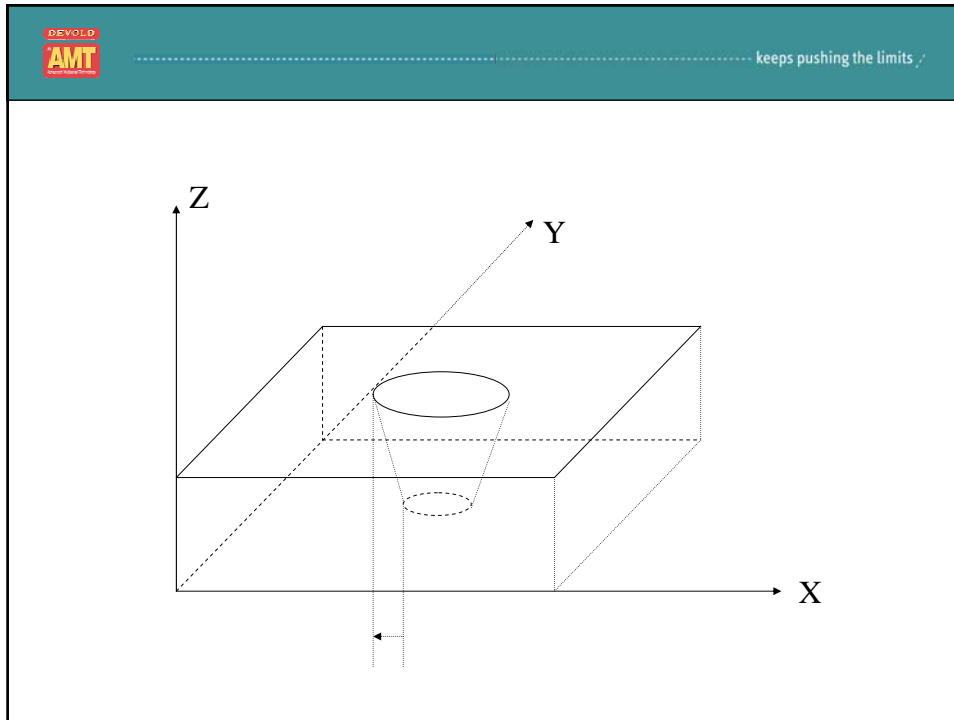
Malö "40 hull section 2, upward direction

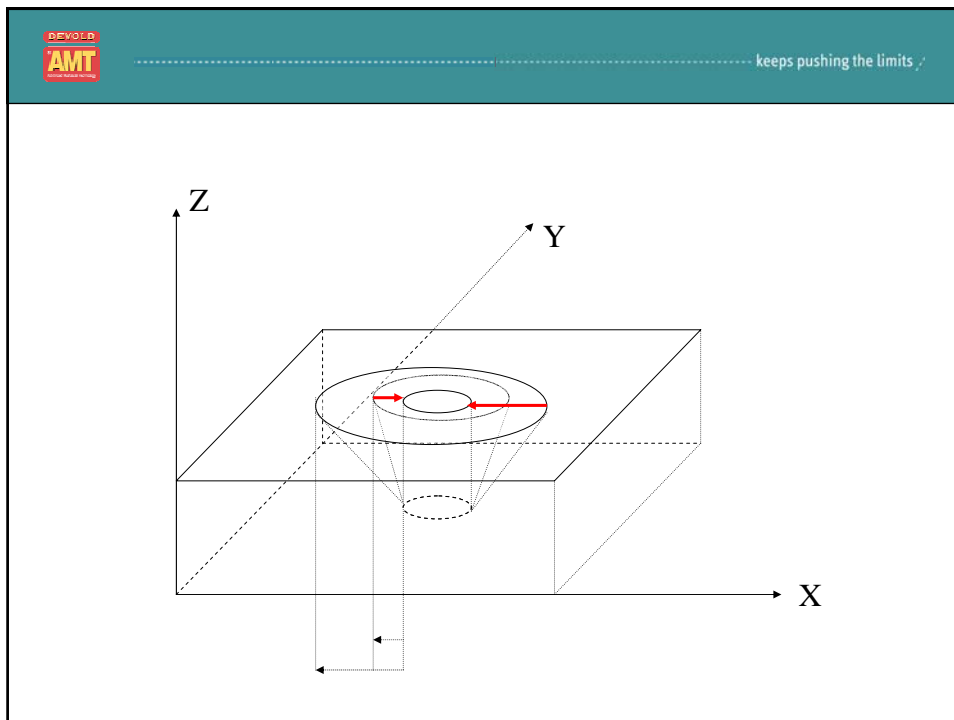
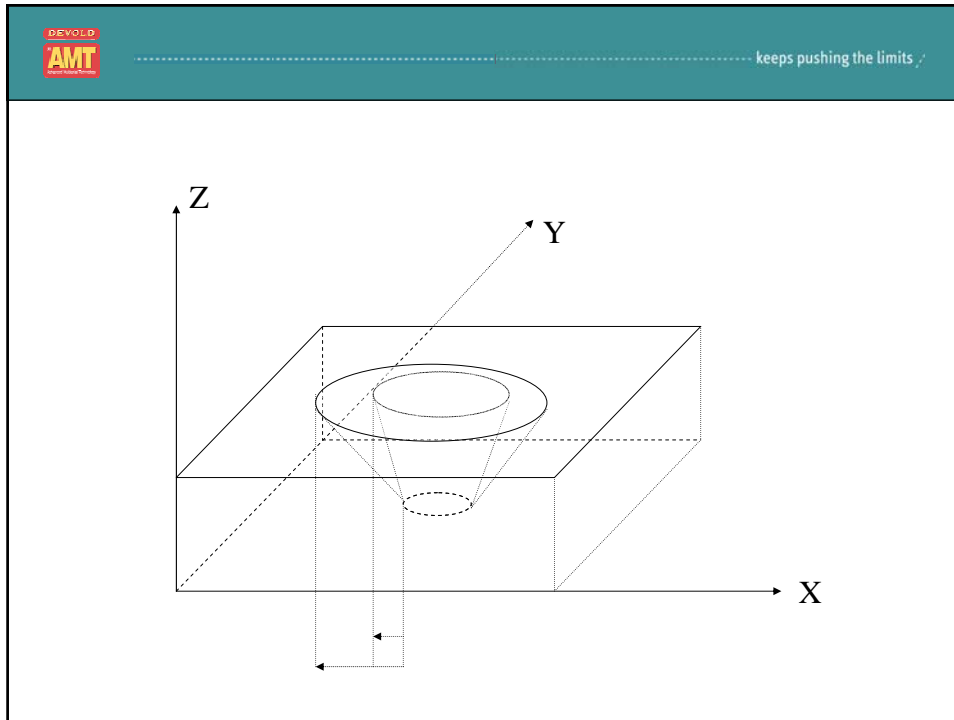
$$L^2 = 0.0001421 \cdot T$$

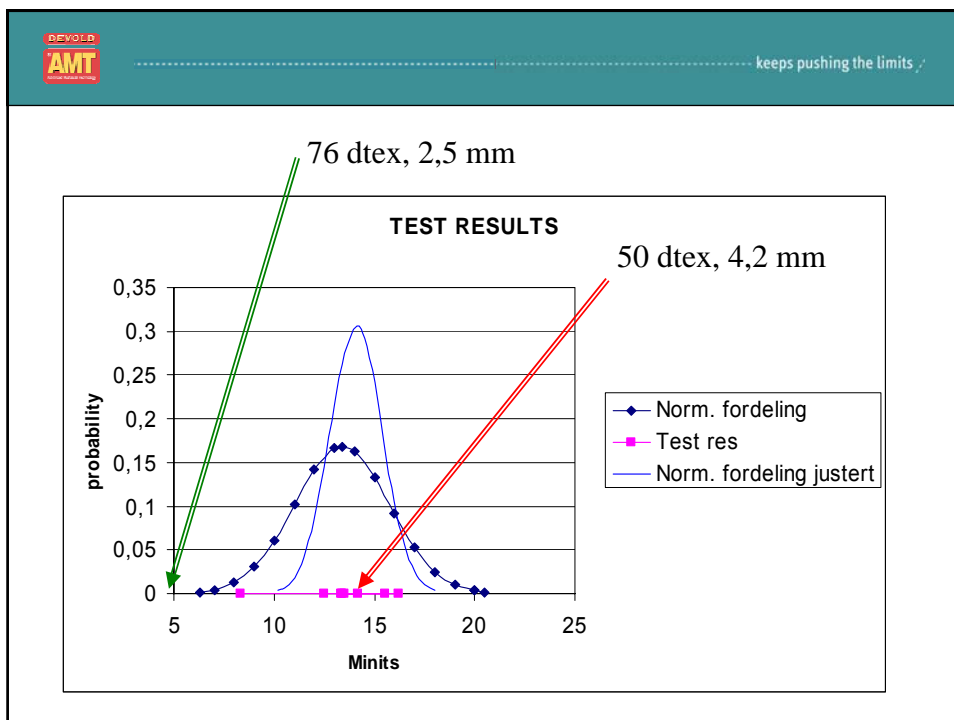
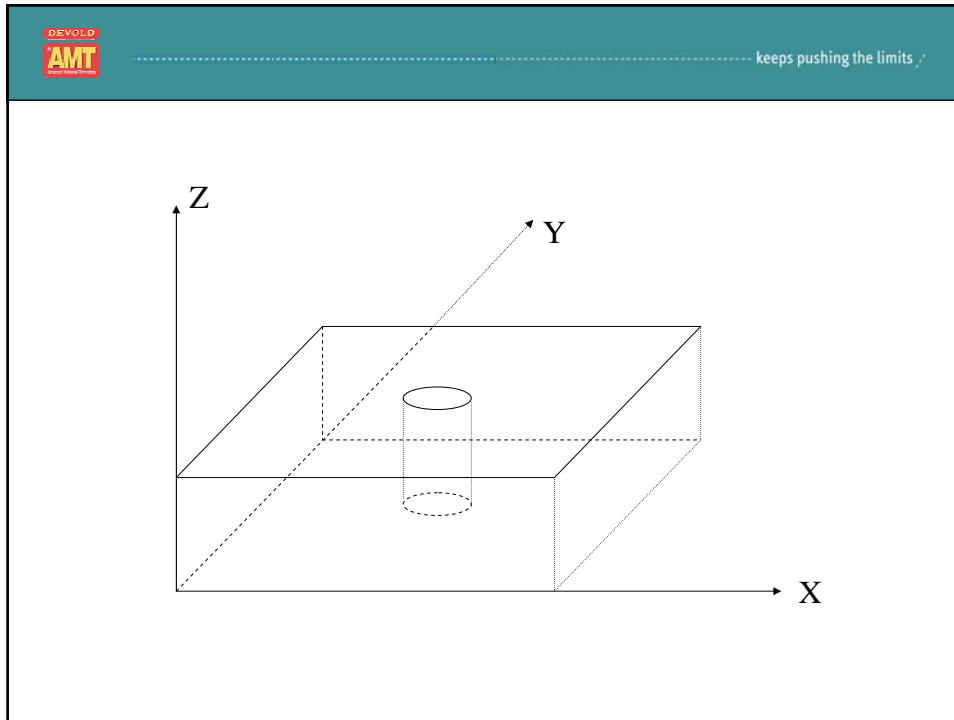


keeps pushing the limits









1

Evaluering av testmetoder for karbonkompositter

PhD Student Jörg Höyland

Institutt for Produktutvikling og Materialer, NTNU

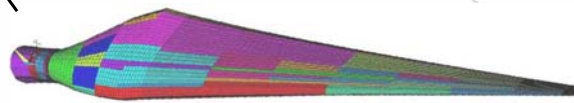


www.ntnu.no

2



Produkt



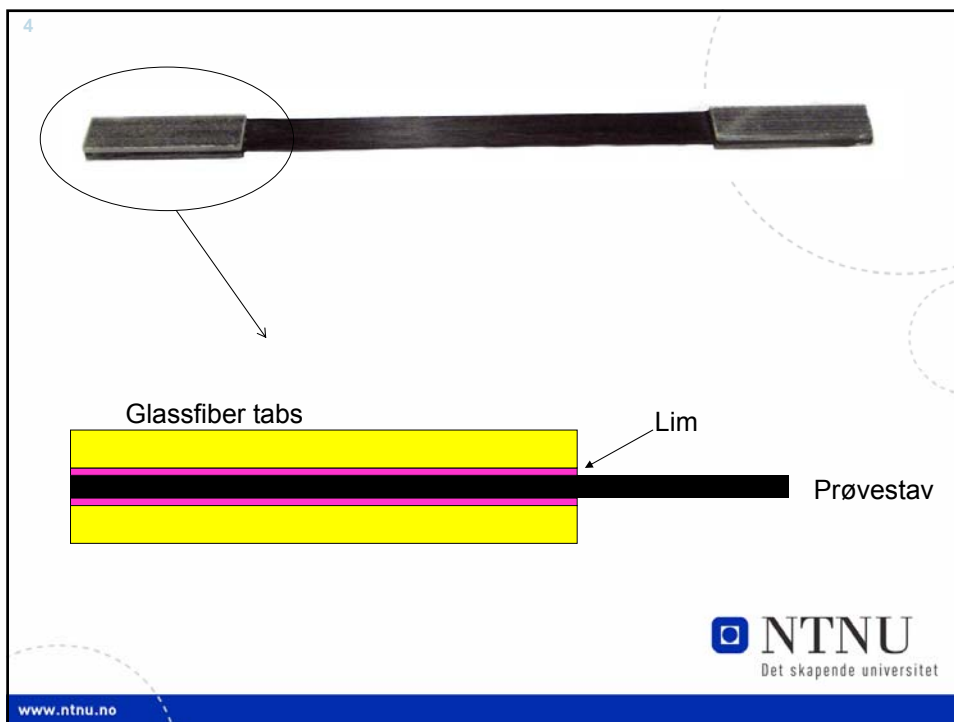
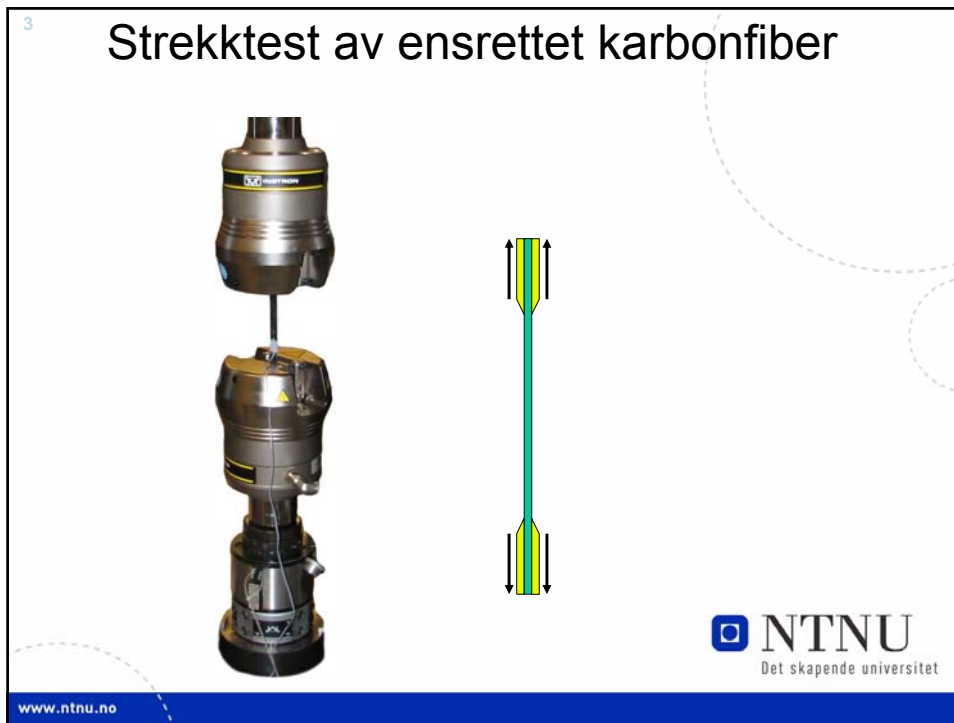
FEM analyse



Materialdata / verifikasjon



www.ntnu.no



5

Standarder for strekktest av ensrettet kompositt

- ISO 527-5 (Europa)
- ASTM 3039 (USA)

6

Arbeid våren 2006

Effekten av tabs tykkelse



vs.



7

Arbeid våren 2006

Effekten av skrå på tabs

vs.

www.ntnu.no

8

Arbeid våren 2006

Evaluering av tabs lim

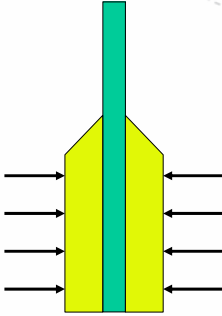
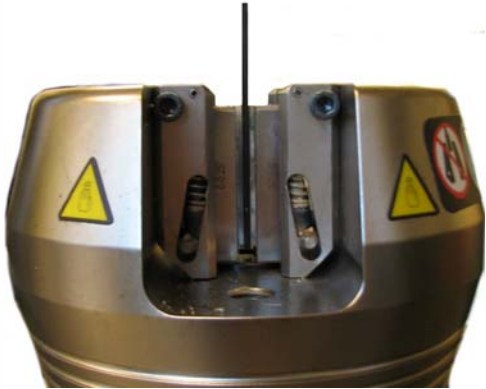
Lim


www.ntnu.no

9

Arbeid våren 2006

Evaluering av trykk mot tabs



 **NTNU**
Det skapende universitet

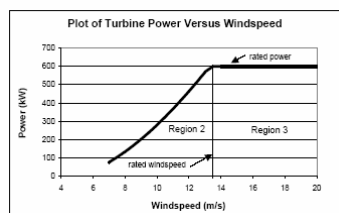
www.ntnu.no

Individual Pitch Control of Wind turbines

Fredrik Sandquist
PhD student, NTNU

Variable Speed Pitch Controlled Wind Turbines

- Control inputs
 - Blade pitch angles
 - Turbine torque
- Operation regions
 - Region 1, 2 and 3

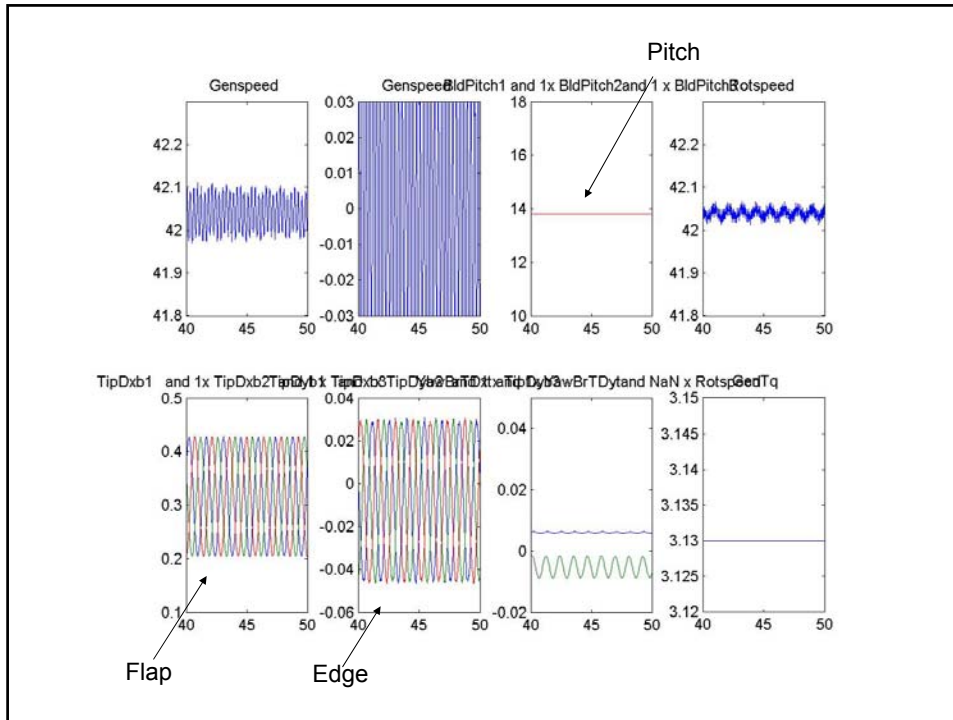


Control Strategies

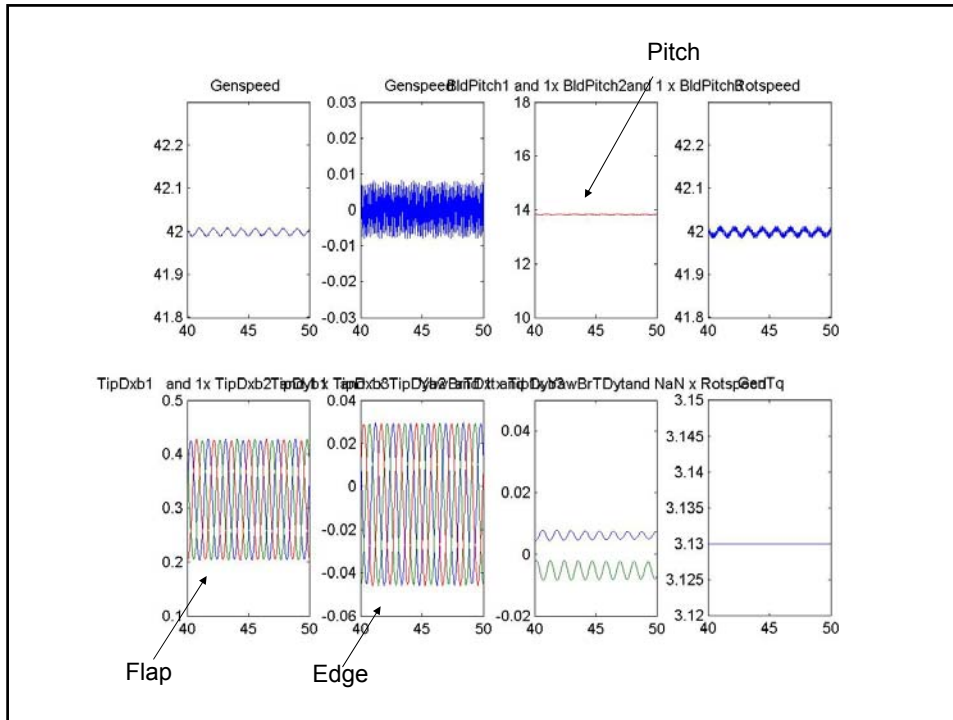
- Region 2: Maximum power
 - Constant tip speed ratio
 - Fixed pitch
 - Variable torque
- Region 3: Constant speed and power
 - Variable pitch
 - “Constant” torque

Load Reduction in Region 3

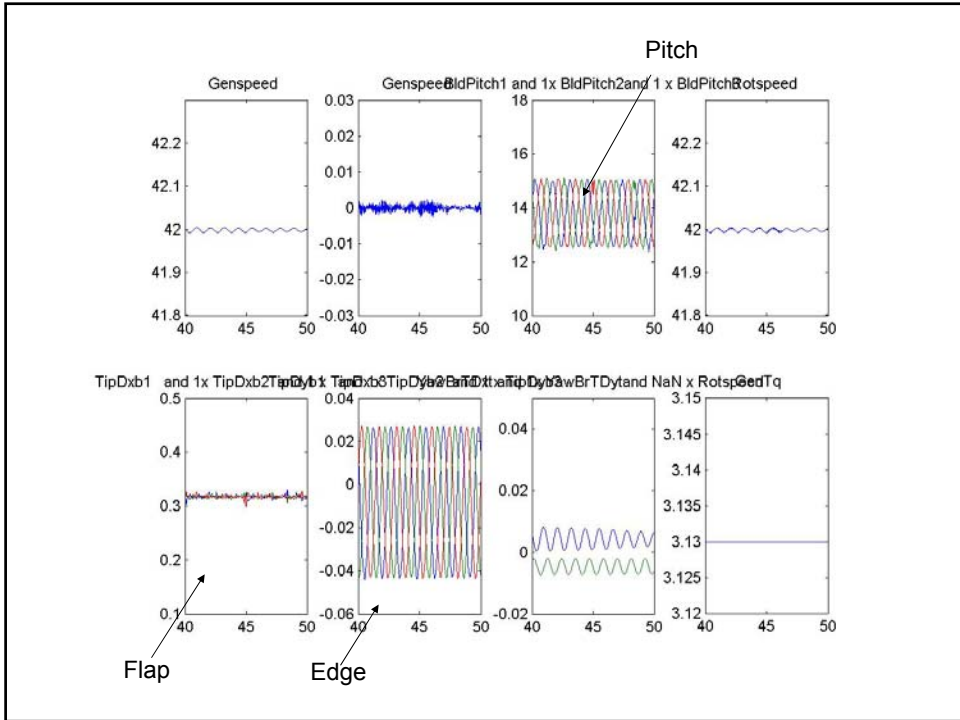
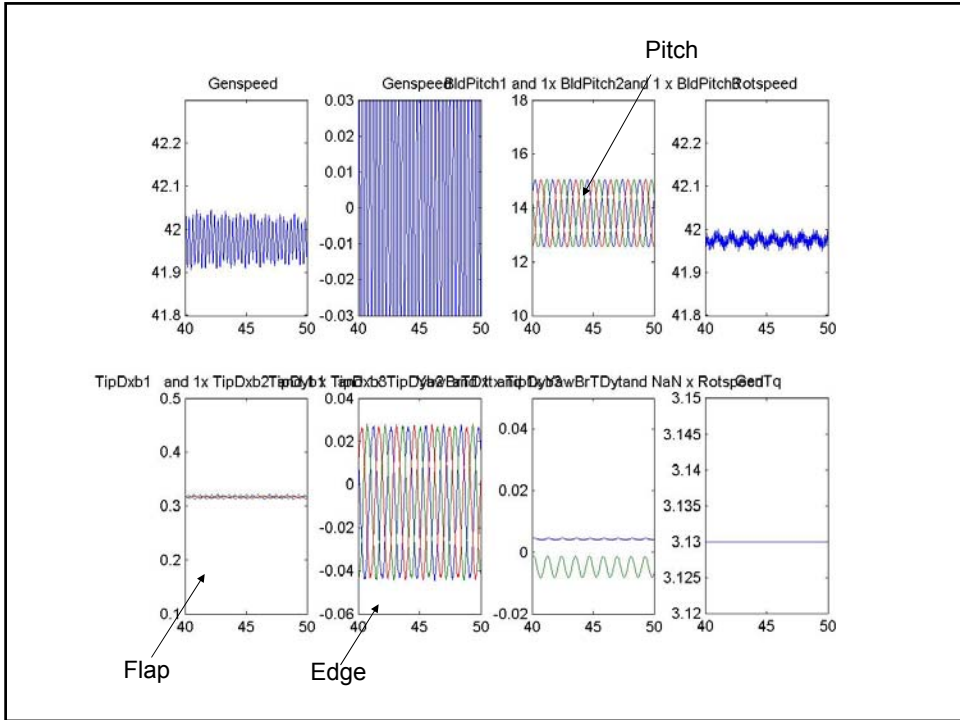
- Load reduction
 - Drive train
 - Blade load, mostly flap
- Loading
 - Gravity
 - Wind
- Periodic loading
 - Gravity
 - Wind shear, gusts

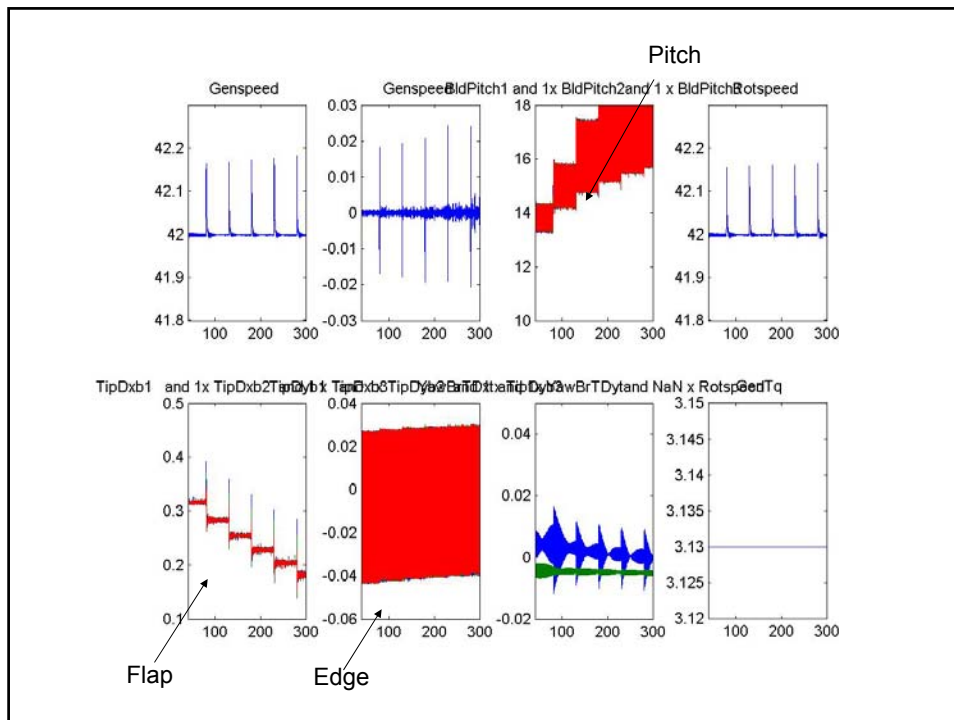


Collective pitch cannot get rid of the periodic loading



- Individual pitch has better possibilities





Method

- Nonlinear aero elastic dynamic model of the entire turbine
- Linearize the model around an operation point
 - Azimuth varying linear model
- Apply the Coleman transformation on the linear model
 - (Almost) time invariant linear model
- Apply multivariable control theory on the linear model

Tools

- FAST
- Matlab/Simulink

Research Problems

- Best model for control analysis?
- Which signals can and should be measured?
- Limitations?
- Make and analyze controllers

Smart Coatings for Wind Turbine Blades

Christian Simon

SINTEF Materials and Chemistry
Oslo Norway

Our objective: Offer a tool that will contribute to increase blade efficiency

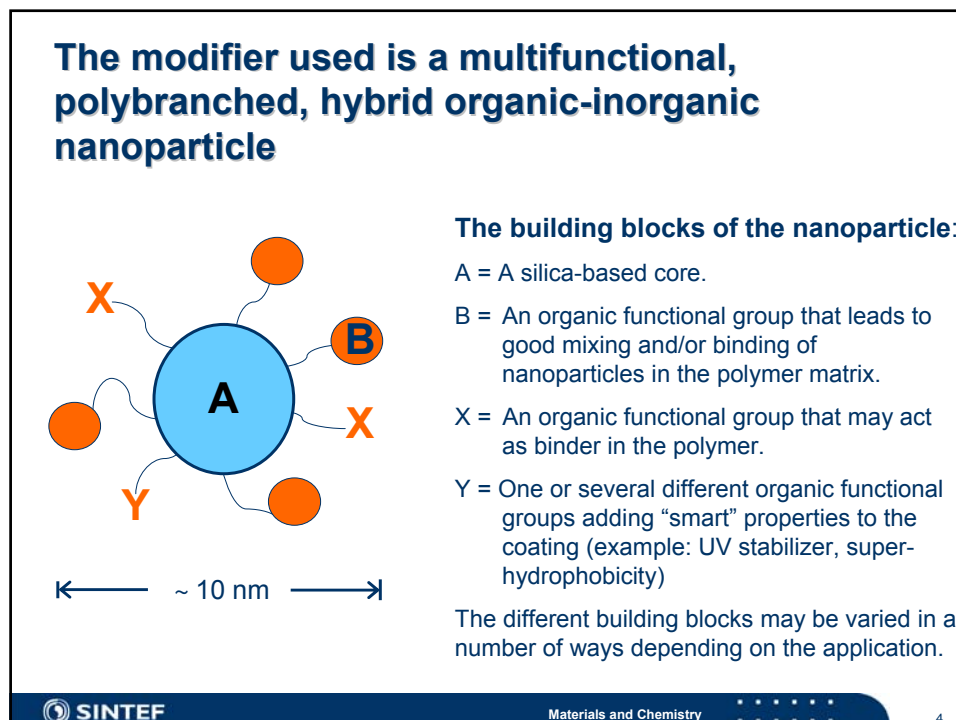
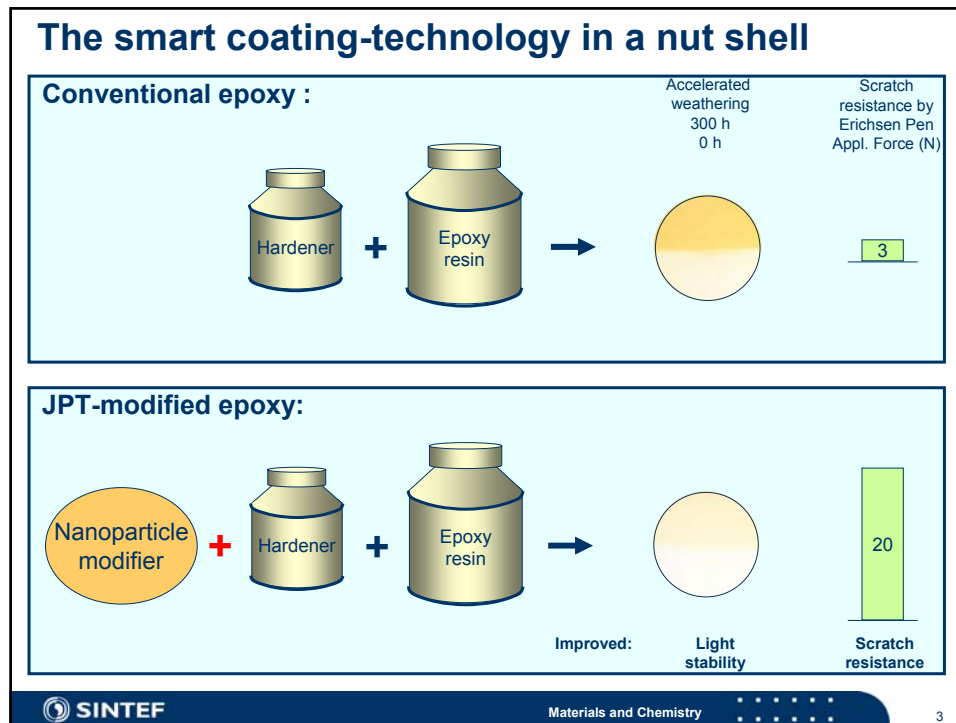


Smart Coatings

■ Outline

- **Introduction** - Nanobuilding blocks based on organic-inorganic hybrid polymers
- Coatings with improved **scratch resistance** and **light stability**
- New applications as **cross linkers** and **binders** for coatings with **new functions**
- Coatings based on **nanosized capsules** for controlled delivery of chemicals
- **Illustrations**
- **Conclusions**





Same principles – many industrial applications

By adjusting the building blocks of the nanoparticle, it can be tailor-made to many different applications, such as:

- Coatings, paints and lacquers with improved light stability and wear resistance for flooring, wood, metal, paper, etc.
 - Solvent-based
 - Water-based
- Coatings with improved adhesion to problematic substrates, such as thermoplastics.
- Wear resistant and hydrophobic coatings for information and communication technology (infocom)
- Nanocomposites with selective barrier properties for gases (for instance in packaging)
- Nanofillers with specific properties

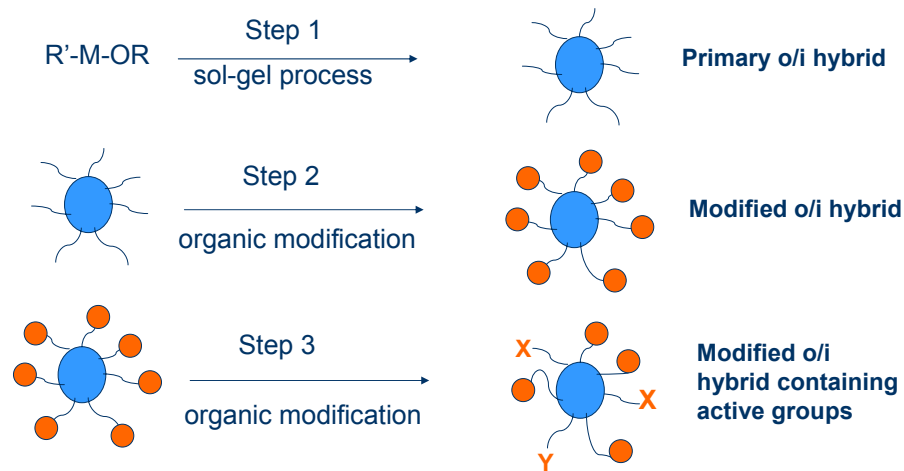
Production requirements

Conventional reactors equipped with

- Distillation facilities
- Vacuum facilities
- Temperature control
- Stirring units



The nanoparticle modifier is made by hydrolysis and condensation of silanes, followed by organic modifications



Nanoparticle synthesis (sol – gel)

Hydrolysis:



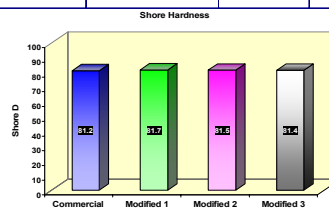
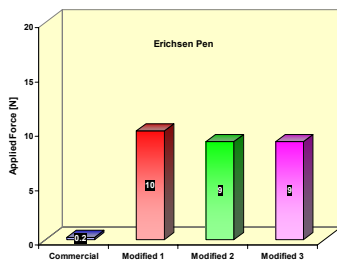
Condensation:



Example 1: Epoxy coatings

Sample no.	wt% nanoparticles in the hardener	wt% of Aradur 2965 in the hardener	wt% nanoparticles in cured epoxy material
Commercial	0	100	0
Modified 1	37	63	12
Modified 2	28	72	9
Modified 3	18	82	6

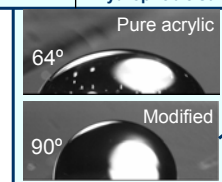
Sample	Initial yellowing (Δb / ASTM 2244)	Final yellowing	Initial Gloss (ISO 2813)	Final Gloss (ISO 2813)
Commercial	2.97	52.85	83.0	25.6
Modified 1	2.24	33.42	99.4	93.5
Modified 2	3.01	44.37	98.9	88.8
Modified 3	-	38.81	96.9	80.0



Example 2: Acrylic paints for various substrates

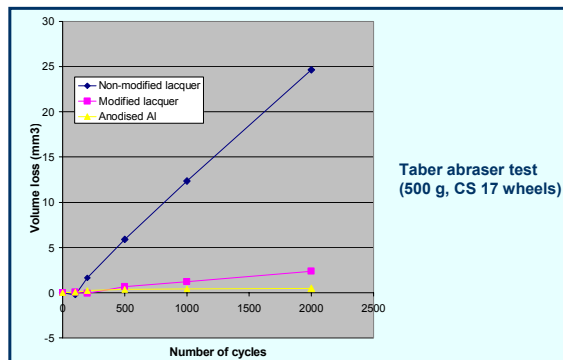
Purpose	Functional groups on nanoparticle	Used as	Substrate	Results
Acrylic paint for polypropylene*	Hydroxyl / acrylic X	Solvent based binder	Injection moulded polypropylene	• Good adhesion (tape test)
- " -	Hydroxyl / acrylic X	Water based binder	O ₂ -plasma treated injection moulded polypropylene	• Good adhesion (tape test)
Acrylic paint for glass	Hydroxyl / acrylic X	Solvent based binder	Borosilicate glass	• Scratch resistance improved from 0.5 N to 12 N (Erichsen pen)
Acrylic paint for silicon wafer	Hydroxyl / acrylic X' (with hydrophobic functions)	Solvent based binder	Silicon wafer	• Scratch resistance improved from 0.5 N to 4 N (Erichsen pen) • Hydrophobic surface

* Other thermoplastics investigated: Polycarbonate, poly(methylmethacrylate).



Example 3: Lacquer for aluminium

Purpose	Functional groups	Used as	Substrate	Results
Lacquer for aluminium	Hydroxyl	Cross-linker in isocyanate / HMMM-lacquer	Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> • Shelf-life improved • Scratch resistance improved from 0,2 N to 2 N (Erichsen pen) • Improved abrasion resistance



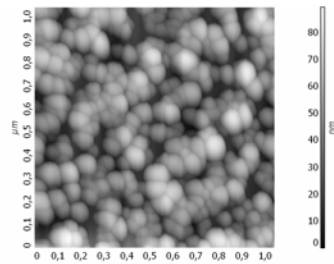
Summary

- A nanoparticle modifier applicable in a number of different polymer coating systems
- Straight forward production, low investments
- Incorporated in existing coating systems (added to hardeners, added to or replacing binders), or tailor-made for new systems
- Low VOC, solvent based or water-based
- Reasonable cost
- Improved scratch and wear resistance and light stability demonstrated in many coating systems and for different applications:
 - Epoxy coatings
 - Acrylic paints and lacquers
 - Etc.
- “Smart” properties like super hydrophobicity, super hydrophilicity
- Other properties of the coating are retained (viscosity, shelf life, transparency, flexibility, corrosion resistance, etc)
- Technology protected by several patents
- Commercial production of nanoparticles started

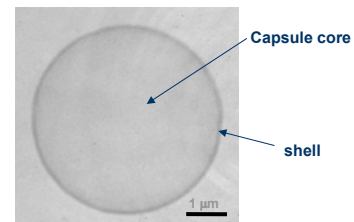
Coatings Based on Nanosized Capsules

■ From Nanosized Particles to Nanosized Capsules

- Nanoparticles: High surface to volume ratio, surface plays an active role. Functionalisation
- Nanocapsules keep the surface properties of a particle and permit in addition the controlled delivery of chemicals through a shell



EA Nanoparticles \varnothing 49 nm

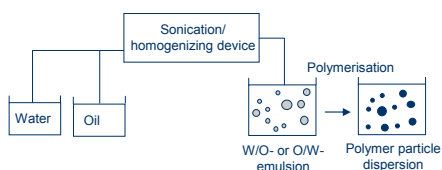


Soft X-ray Microscopy

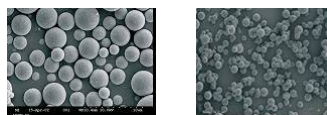
A versatile technology platform for encapsulation and surface functionalisation

Miniemulsion polymerisation

Principle



Examples



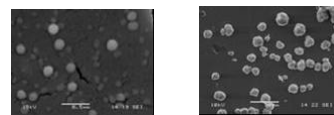
Superparamagnetic silica particles (ferrofluid encapsulated in tetra methoxy silane) (left) and hydrophilic acrylate particles from HEMA/N,N-methylene bis-acrylamide (right)

Membrane emulsification

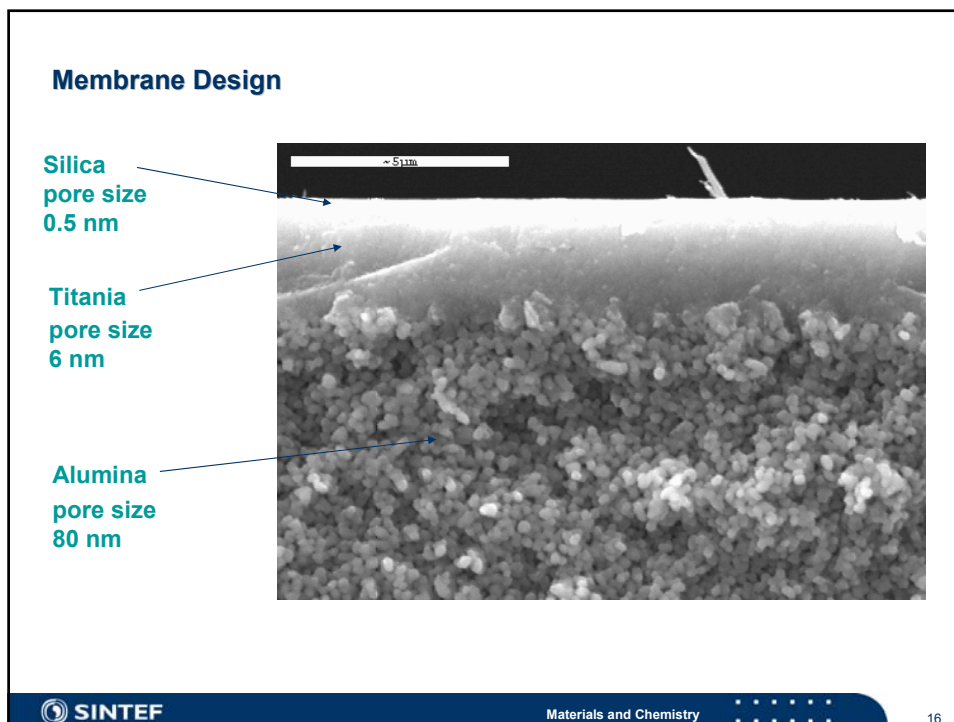
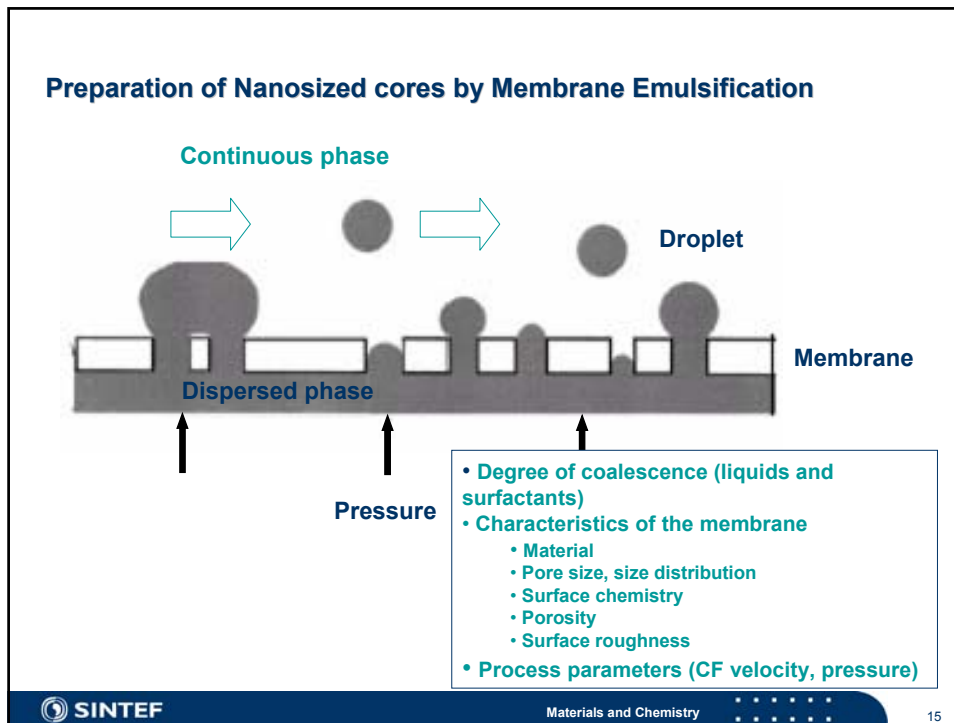
Principle



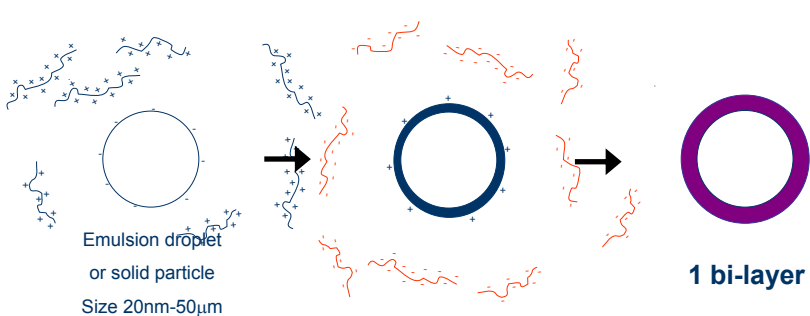
Examples



Paraffin oil in gelatine-arabic gum (left) and PAH/PSS/Silica composite nanosized hollow capsules (right)



Encapsulation Methods



Emulsion droplet
or solid particle
Size 20nm-50µm

1 bi-layer

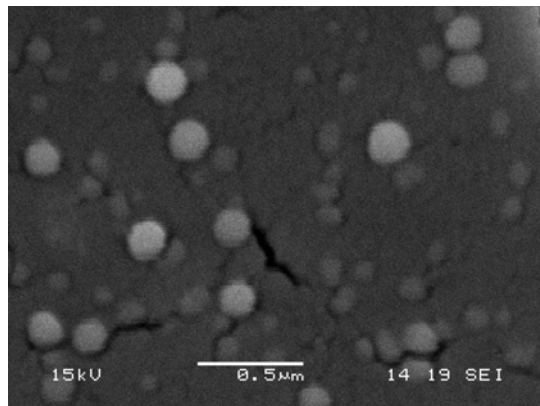
Operation repeated many times with washing steps in between

Layer-by-Layer Deposition

SINTEF Materials and Chemistry 17

Nanocapsules Prepared by Membrane Emulsification

- Paraffin Oil in Gelatin-Arabic Gum ca. 200 nm



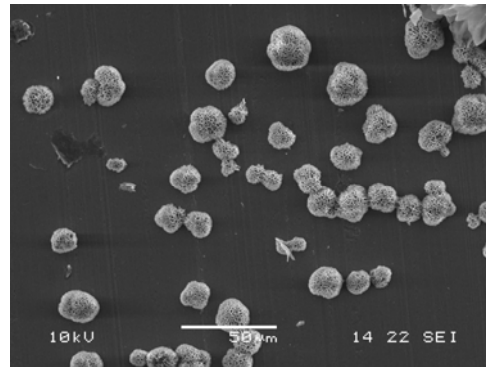
Al₂O₃ 80 nm
ΔP = 4 bars

15 kV 0.5 µm 14 19 SEI

- Coating of ca. 30 nm CHCl₃ droplets in water as nanocores

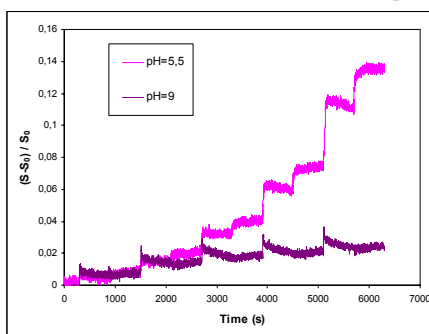
SINTEF Materials and Chemistry 18

Preparation of Composite PAH/PSS/Silica Microcapsules by Membrane Emulsification

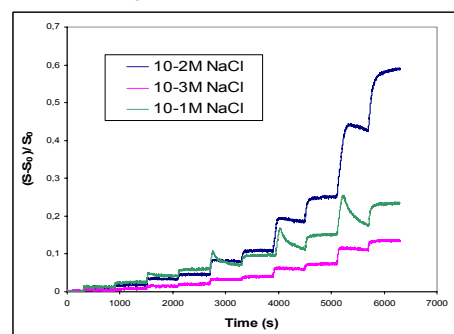


Characterisation of Polyelectrolyte Multilayers

Fixed Angle Reflectometry



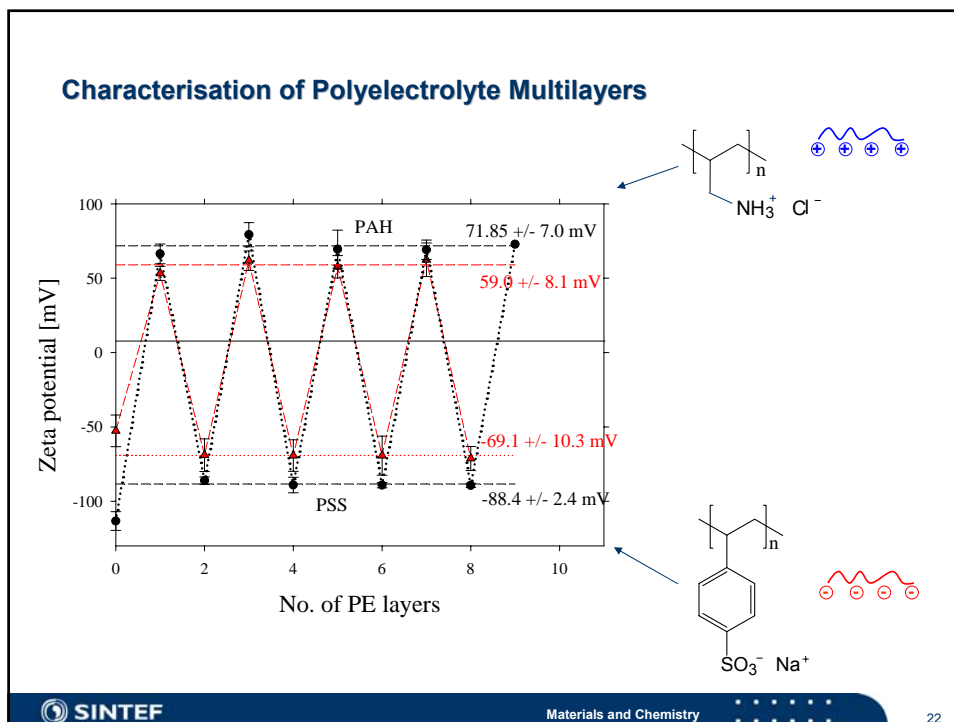
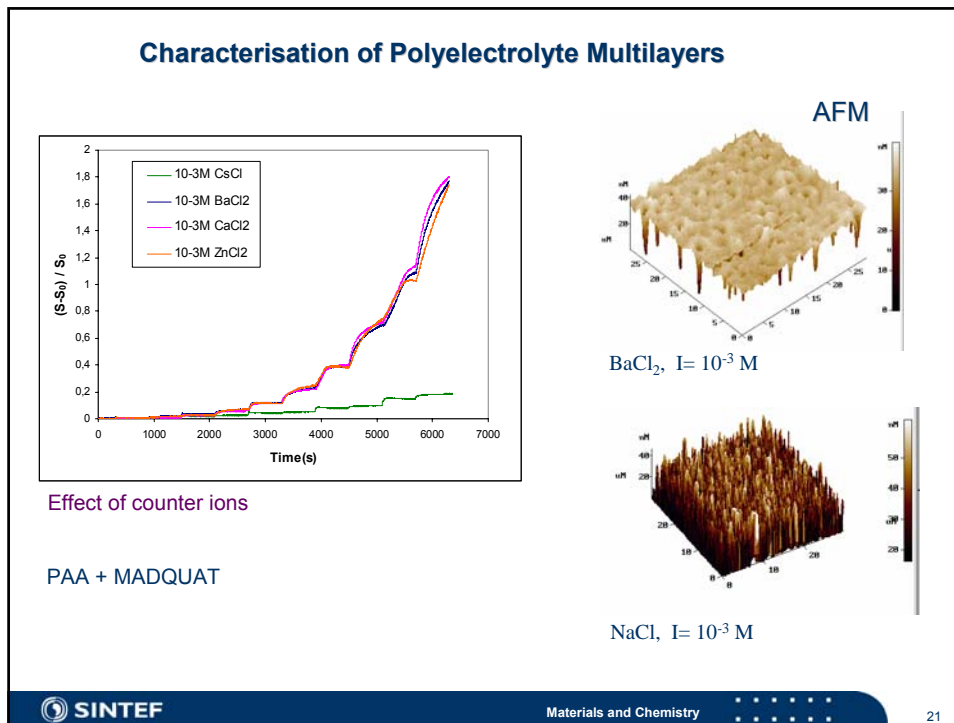
Effect of pH

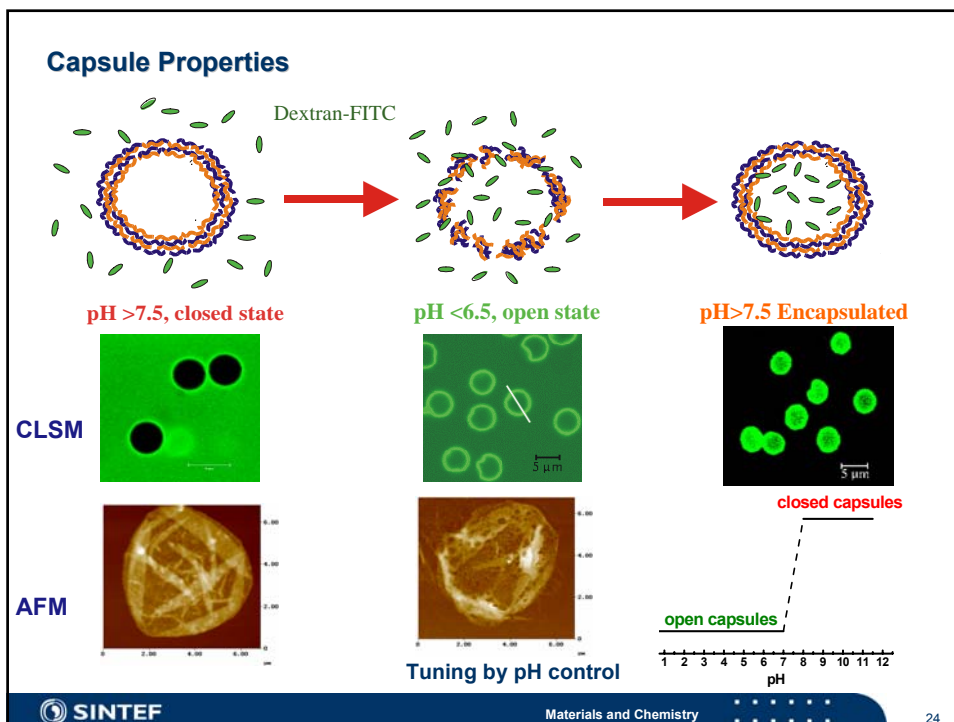
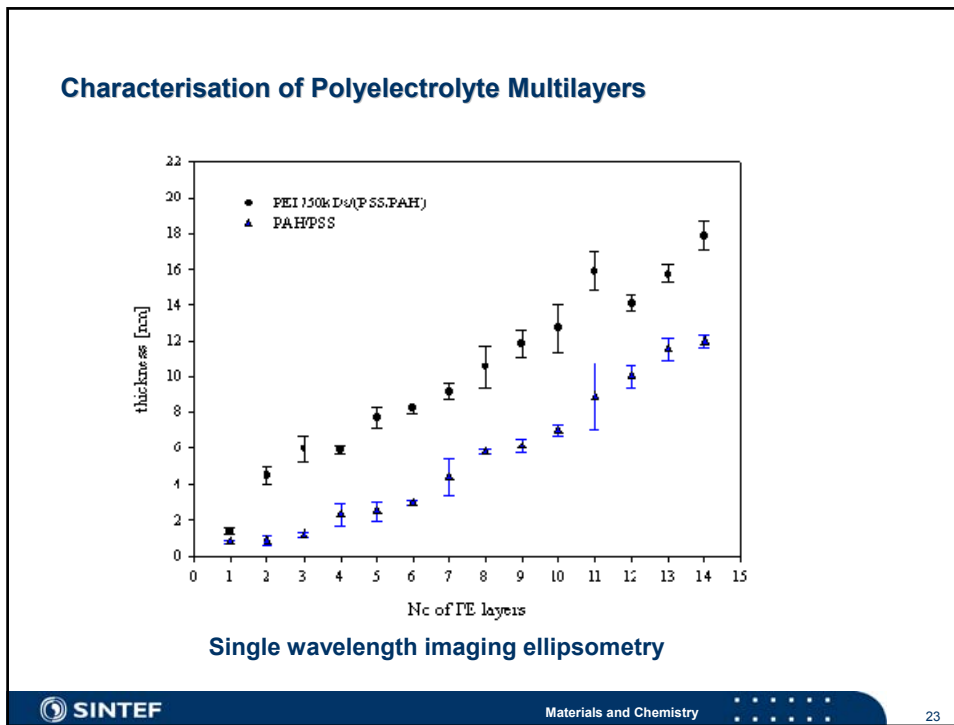


Effect of ionic strength



Polymers: Anionic Polyacrylic salt + cationic Madquat onto silica substrate





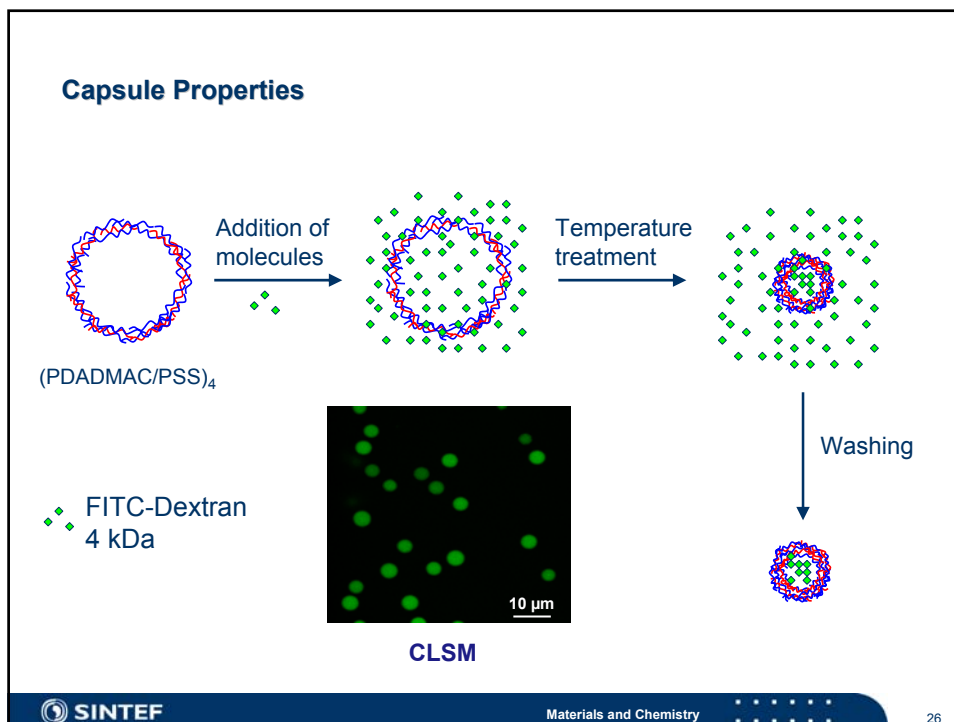
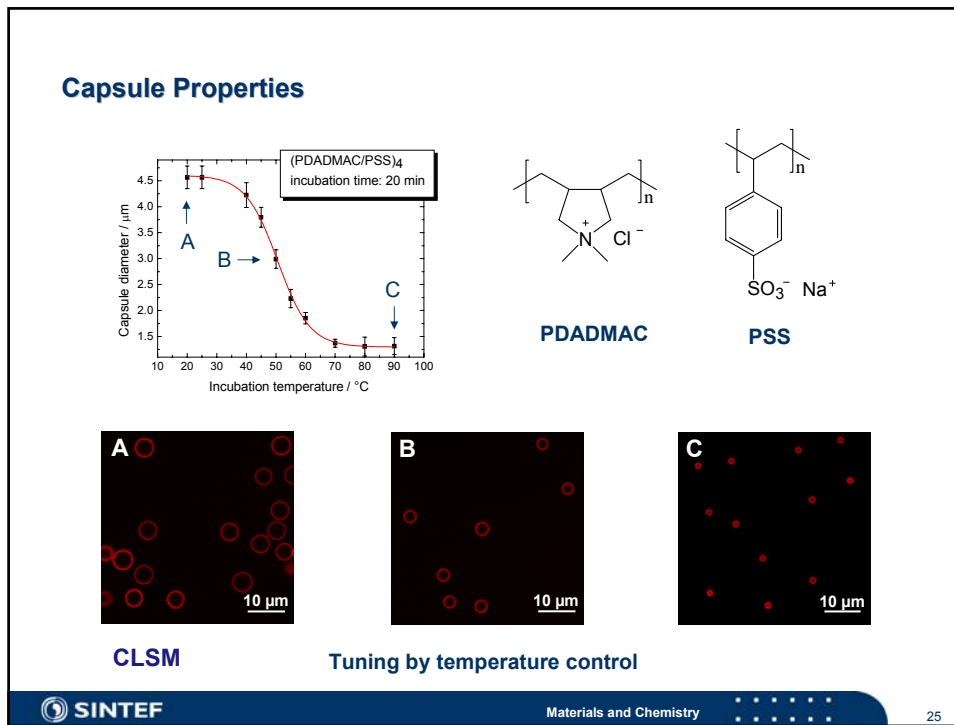


Illustration of Delivery by Remote Control

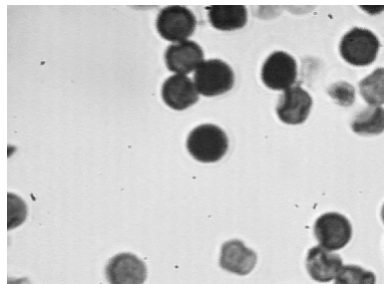


Incorporation of metal nanoparticles (Ag, Au) within the capsule shell

Tuning by light control

Illustration of Delivery by Remote Control

PEM containing Ag nanoparticles or IR-dye



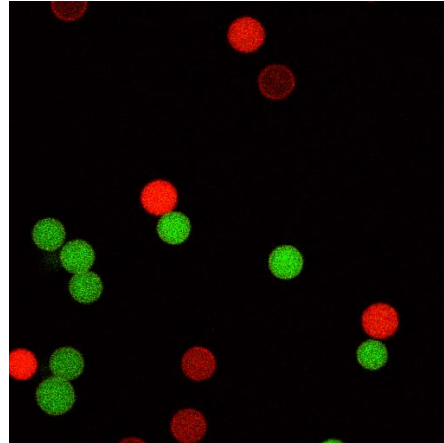
Remote release by light illumination

Tuning by light control

Nanocapsules in Coatings

- Micro- and nanocapsules are prepared from various core materials
- Shell formation may be controlled at nanoscale
- Encapsulation and release may be tuned by various external conditions like pH, ionic strength, temperature or light

- Potential applications
 - Controlled delivery of chemicals
 - Immobilization of catalysts or substances
 - Microsensors
 - Microreactors
 - Self-healing



umoe *umoe ryving*


Turbinblader - utfordringer og muligheter

Umoe Ryving AS
Nere G Skomedal

umoe *umoe ryving*

Innhold


- Innledning
 - Litt om Umoe Ryving
 - Marked og markedsmekanismer
 - Teknologistatus
- Utfordringer
 - Pålitelighet
 - Kostnader
- Muligheter
 - Nye materialer?
 - Automatisert produksjon
 - Offshore
- Konklusjoner



umoe *umoe ryving*

Innledning

- Bladene er den dyreste og viktigste enkeltkomponent
 - Ca 15% av prisen en komplett turbin
- Hovedsakelig egenproduksjon
 - Fritt marked: GE/REpower + mange små
- Økt grad av spesialisering
 - Turbin ↔ blad optimalisert

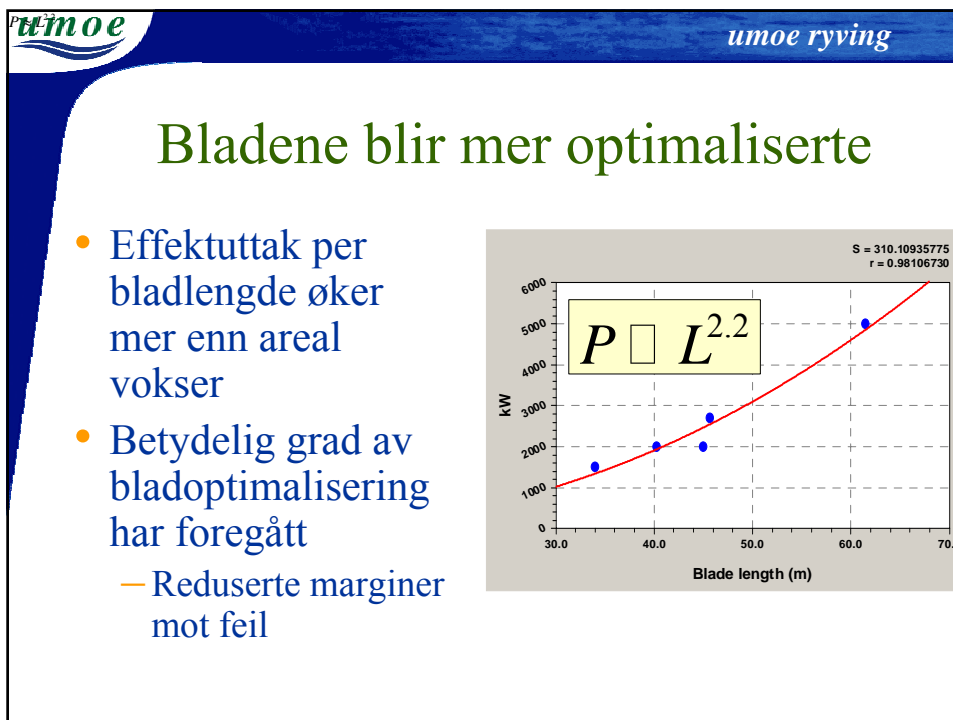
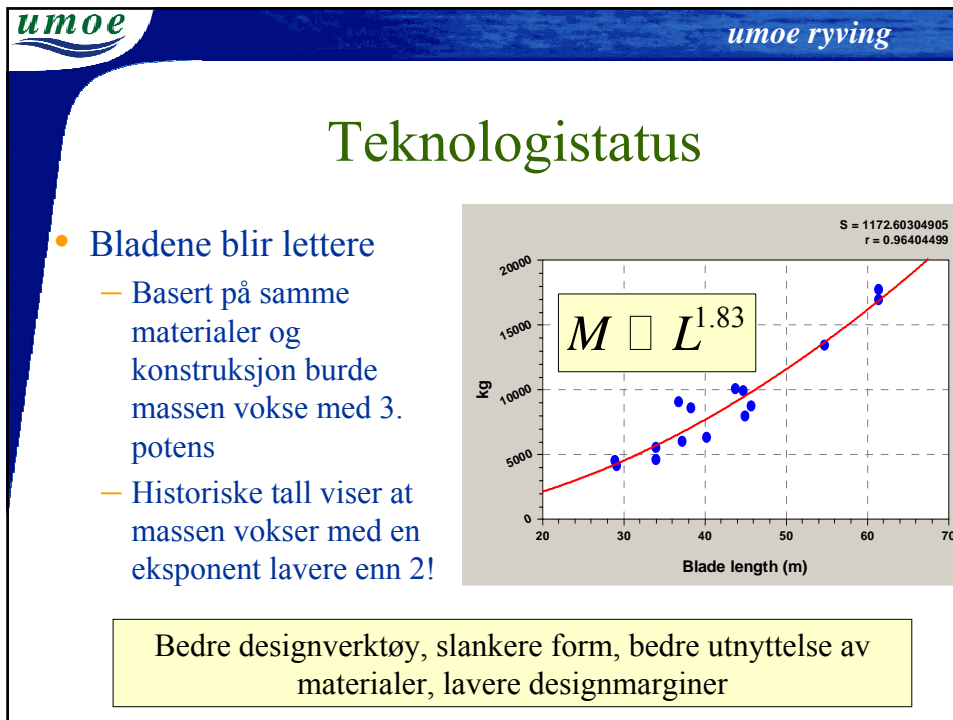
 Allianser er nødvendig

umoe *umoe ryving*

Umoe Ryving

- Etablert som spin-off fra Umoe Mandal
 - For å utnytte avansert komposittkompetanse i det voksende vindkraftmarkedet
 - Produserte i Mandal 2003-2005
 - Flyttet produksjon til Tyskland i 2005





umoe *umoe ryving*

Feil oppstår



umoe *umoe ryving*

Feil oppstår heller ikke bare under drift

- Transport av store blad stadig en utfordring

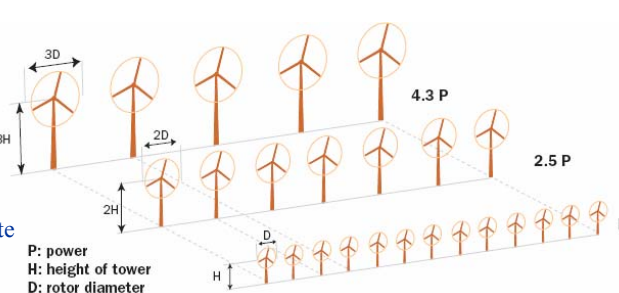


Mangelfull surring av last

umoe umoe rying

Større turbiner, fordi

- Reduction in visual impacts.
 - a small number of larger turbines can replace a larger number of small turbines
 - Larger turbines rotate slower.
- Generating capacity per kilometre is more than proportional to the rotor diameter,
 - wind turbine as large as possible,
- High foundation costs offshore
 - Largest possible capacity to be installed on each foundation unit.
 - The same applies to the grid transporting the power from offshore to the shore.

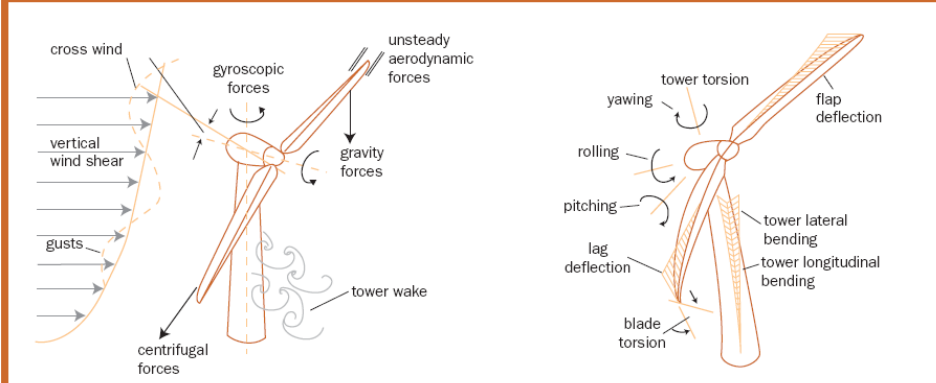


P: power
H: height of tower
D: rotor diameter

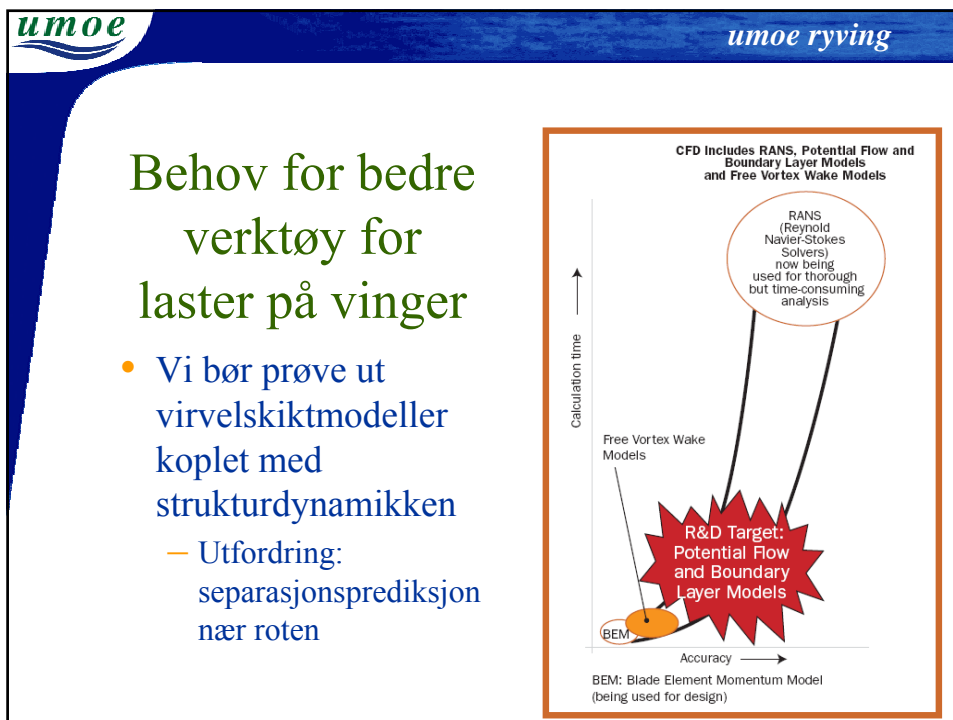
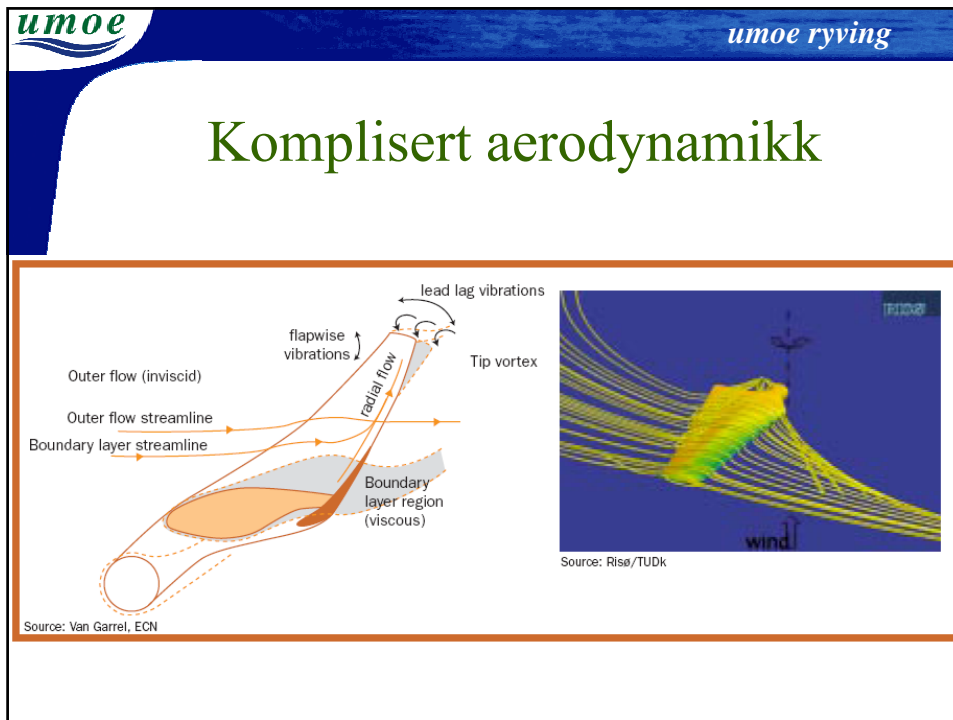
Source: EWEA: Strategic research agenda 2005

umoe umoe rying

Aeroelastiske utfordringer øker med størrelsen



Source: Kießling, F. Modellierung des aeroelastischen Gesamtsystems einer Windturbinen mit Hilfe symbolischer Programmierung. DFVLR-Report, DFVLR-FB 84-10, 1984.



umoe *umoe ryving*

Redusert bladvekt krever mottiltak

- Detaljerte beregninger av tøyninger/spenninger
 - Bjelketeorier ikke godt nok
- Bedre kunnskap om materialelegenskapene
 - Omfattende materialtesting
- Færre produksjonsfeil
 - Opplæring
 - Materialer
 - Prosesser
 - Kontroll/QA/QC
- Hva med 3.parts verifikasjon?



umoe *umoe ryving*

Utfordringer

- Bladdesign og produksjon er krevende
 - Reduserte marginer mot feil
 - Reduserte priser
- Krever betydelig kompetanse i alle ledd
 - Design
 - Hva med belastningene?
 - Produksjon
 - Ufaglært arbeidskraft – opplæring?
 - Materialer
 - Mangel på standardiserte materialkvaliteter (ref stål)
 - Kontroll
 - Hvor effektiv er denne?
- Tendens til for stor fokus mot utvendig kvalitet
 - Leverandørene blir tvunget til å bruke økte ressurser på overflatebehandling
 - Bærende struktur får ikke den oppmerksomhet som kreves?

umoe *umoe ryving*

Er nye materialer løsningen?

- Karbonfiber
 - 2005: Lang leveringstid – stigende priser
 - Vanskelig å oppnå god kompresjonstyrke
 - Pre-bending har redusert behov for karbonfiber
- S-glass kan bli interessant
 - Glassfiber vil være konkurransedyktig lenge

umoe *umoe ryving*

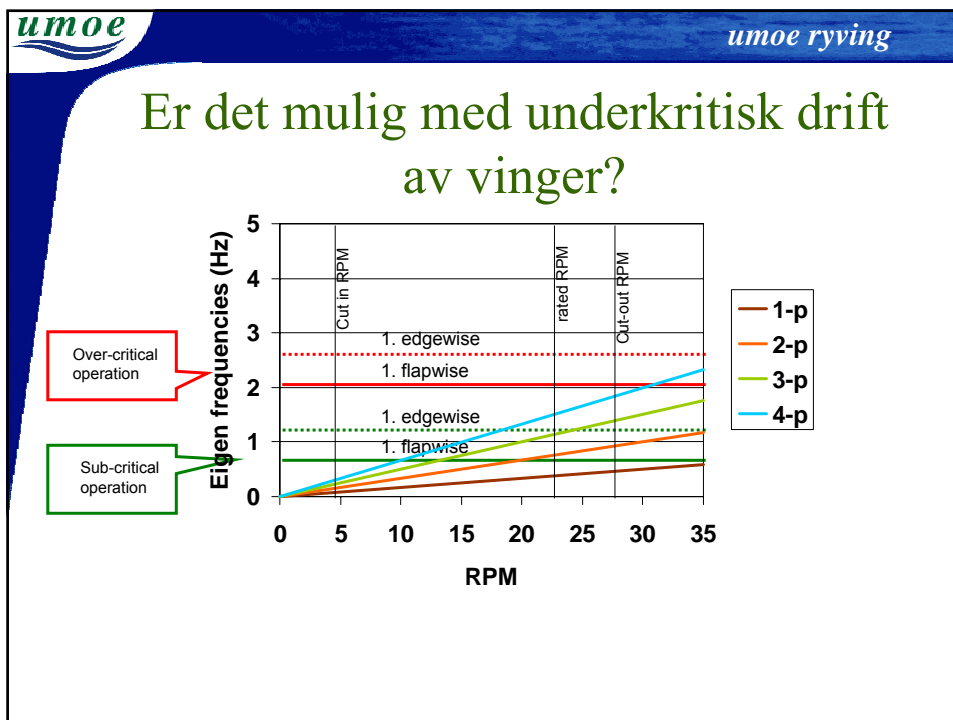
Hvorfor automatiserte prosesser?

- Redusere timekostnader (i høykostland)
- Jevn og dokumenterbar kvalitet
 - Økt kontroll av prosessparametre
- Bedre repeterbarhet
- Redusert fare for operatørfeil
- Umoe satser tungt på utvikling av automatiserte prosesser

umoe umoe ryving

Offshore – nye utfordringer

- Større turbiner – større blader
 - Produksjon
 - Interntransport
 - Transport
- Høyere tip-hastighet
- Lavere turbulensnivå offshore, men.....
- Flytende turbiner
 - Bølgeinduserte bevegelser gir varierende krefter på bladene
 - VIV på flytende fundament = giring
- Mer fleksible blader
 - Subkritiske turtall
 - Nedstrøms blader



umoe *umoe ryving*

Konklusjoner

Utover bedre kvalitetskontroll bør vi ta i bruk

- Bedre verktøy for lastprediksjon
 - Flytende turbiner krever nye verktøy, også for lastprediksjon på blader
- Automatiserte prosesser
 - Reduserer fare for operatørfeil
- Standardiserte materialer
 - Underleverandørene skifter resepter kontinuerlig
 - Behov for materialstandarder
- Sette krav til 3. parts sertifisering
 - Ingen krav i Norge i dag

umoe *umoe ryving*

Umoe Ryving AS

Ta kontakt med
nere.skomedal@umoe.no

VIND OG ISING

Kartlegging av vindressurser og ising med ulike metoder

Erik Berge
Kjeller Vindteknikk AS

Vindkraft FOU Seminar 26-27 Januar
2006 Trondheim

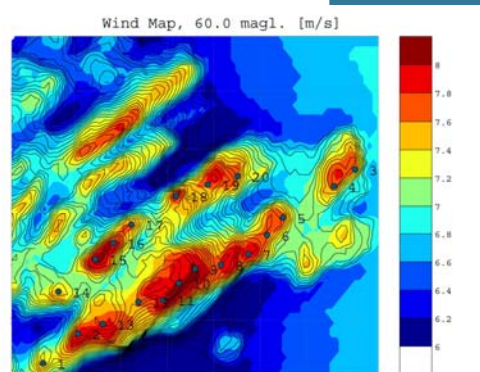
2006-01-30

1



Innhold:

- **Vindressurser:**
 - Vindmålinger
 - Analysemetoder
 - Vindmodeller
- **Ising:**
 - Måling og beregning av ising.
 - Praktiske utfordringer ved vindmålinger i kaldt klima.

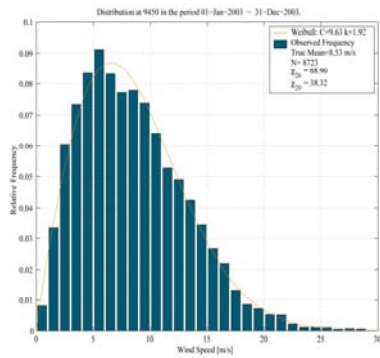


2006-01-30

2



Vindmålinger: Hva ser vi etter?



- Årsmiddelvind
- Retningsfordeling
- Turbulens
- Ekstremvind
- Hastighetsfordelinger
- Vindskjær

2006-01-30

3



Årsmiddelvind - Koppanemometer (IEC-standard for effektkurve)

- Mastkonfigurasjon
- Sensorvalg
- Kalibrering
- Dokumentasjon



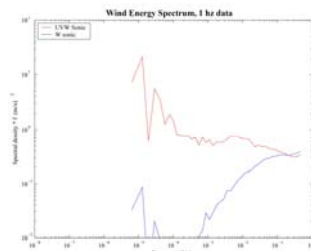
2006-01-30

4



Turbulens og vertikalvind – Sonisk anemometer

- Karakterisere energien i de turbulente bevegelsene
- Midlere og maks. vertikal vind

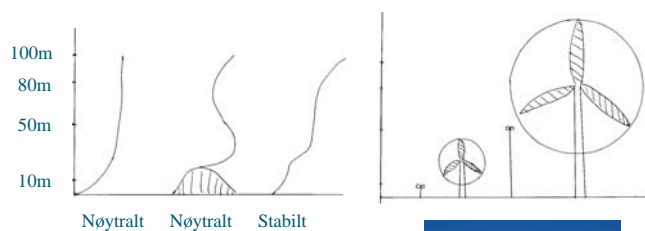


2006-01-30

5



Vertikal vindvariasjon – Sodar & høye master



2006-01-30

Sodar



6



Ulike måleteknikker vind: + og -

	<i>Årsmiddelvind i navhøyde</i>	<i>Turbulens i navhøyde</i>	<i>Kostnader måleprogram</i>
1 stk. 10 m mast m/koppanemometer	1	1	5
1 stk. 50 m mast m/koppanemometer	3	3	4
1 stk. flyttbar SODAR	2	4	3
1 stk. flyttbar SODAR og 1 stk. 50 m mast	5	5	2
1 stk. 80-120 m mast	4	4	1

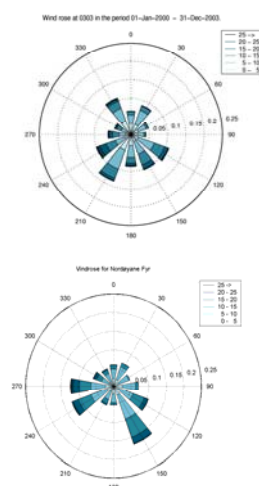
2006-01-30

7



Analyse av data

- Kvalitetskontroll av observasjoner (mastekonfigurasjon), filtrering av ising med mer.
- ~ 1 år med lokale data, korreleres mot referansestasjoner (met.no sine stasjoner)
- Beregner vindstatistikk: Langtidsmiddel, vindrose, Weibullparametre, ekstremvind, osv.

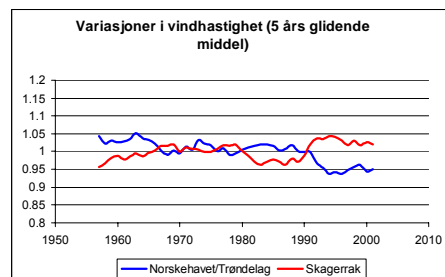
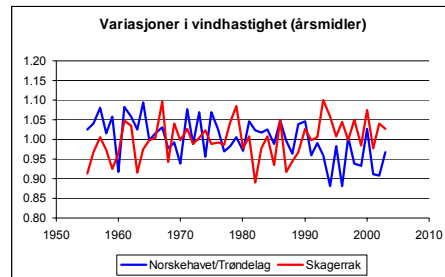


2006-01-30

8

KJELLER VINDTEKNIKK AS

Langtidsvariasjoner (data fra hindcastarkivet)



2006-01-30

9



Hvilken nytte har vi av modeller?

Kommersiell bruk:

- Beregning av:
 - Vindkart
 - Energiproduksjon
 - Vaketao
 - Vindskjær
 - Turbulens
 - Ekstremvind
 - Støy

2006-01-30

10



Forskning og utvikling:

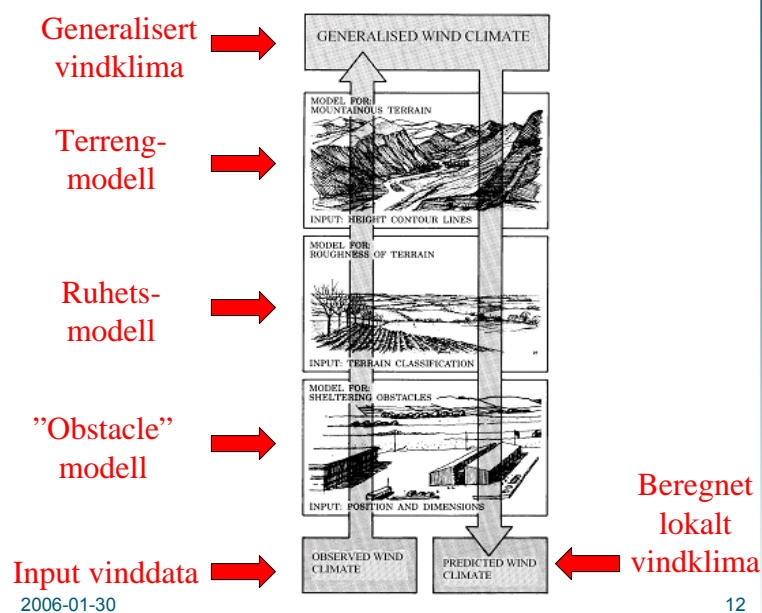
- Utvikle mer nøyaktige beregningsteknikker i for eksempel komplekst terreng.
- Øke beregningshastigheten for de "avanserte" modellene.
- Forbedre forståelsen av vind og turbulensforhold i vindpark-områder

2006-01-30

11



WASP modellen



Mikroskala/CFD-modeller

- WindSIM - Phoenics modifisert og tilpasset vindkraft av Vector AS
- 3DWind – Utviklet av IFE, tilpasset vindkraft
- SAFRA (SINTEF), SAM (STORM) prognosemodeller, eks. turbulens på flyplasser (Mehamn ulykken).

2006-01-30

13



Wind in complex terrain. A comparison of WASP and two CFD-models

by
Erik Berge, Arne Reidar Gravdahl, Jan Schelling, Lars Tallhaug and Ove Undheim

Artikkel som skal presenteres på EWEC 2006

- Vindanalyse for Gurskøy – Møre og Romsdal utført for Hydro Oil & Energy



Site 1: 10m mast

Site 2: 50m mast

Site 3: 50m mast

2006-01-30

14



Resultater

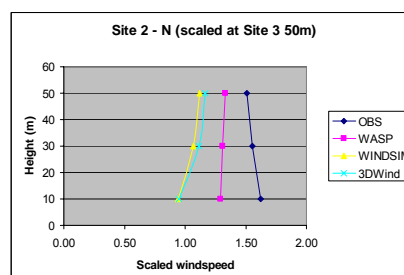
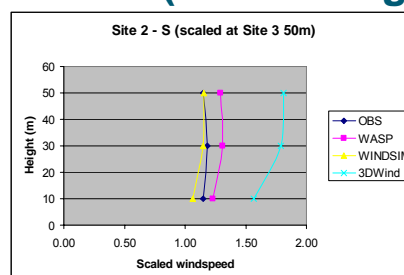
- Sammenligninger med observerte vindhastigheter
- Skalerer CFD-vind felt vhja. av observerte vindhastigheter
- Fokuserer på midlere vindhastigheter

2006-01-30

15



Vertikalprofiler av årlig middelvind (sektor S og N)



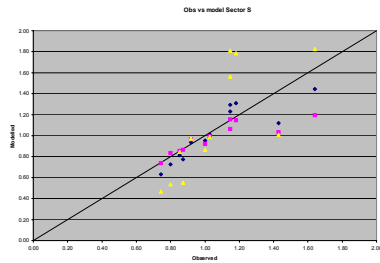
2006-01-30

16

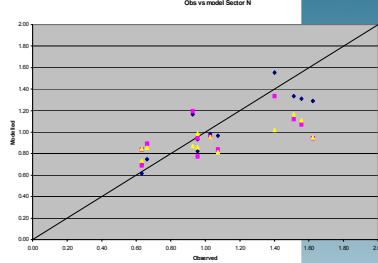


Sammenligning med alle målingene

Sektor S



Sektor N



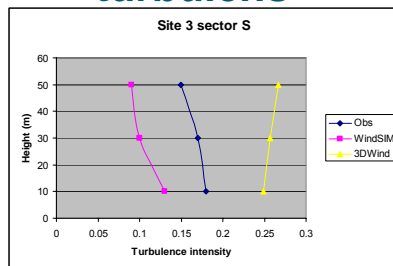
	WAsP-S	WindSim-S	3DWind-S	WAsP-N	WindSim-N	3DWind-N
MAE	0.11	0.10	0.28	0.14	0.24	0.24
COR	0.88	0.84	0.74	0.89	0.58	0.79

2006-01-30

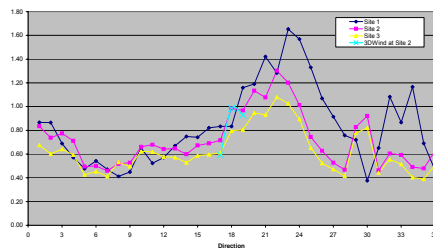
17



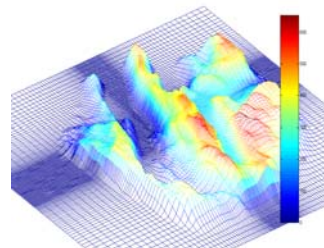
Retningsavhengighet og turbulens



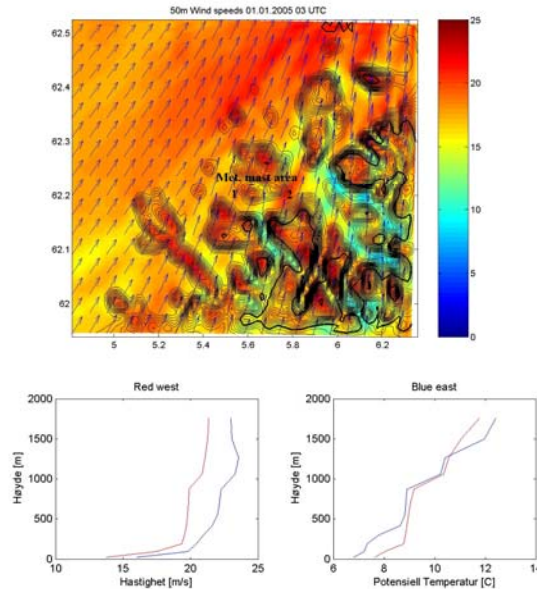
Wind speed during the period April 2002 to May 2003



2006-01-30



Mesoskala variasjon i vind



19



Oppsummering av modellstudie

- Ingen forbedret årsmiddelvindberegning vha. CFD-modell sammenlignet med WAsP.
- Store forskjeller i CFD-modellene (RMS-forskjell på 1.5 m/s for det aktuelle vindkraftområdet).
- CFD-modellene gir nyttig informasjon om turbulens og økt forståelse av fysiske prosesser.
- Beregninger indikerer store meso-skala forskjeller i vind
- Videreutvikling av modeller og måleteknikker (BIP Hydro, KVT og STORM).

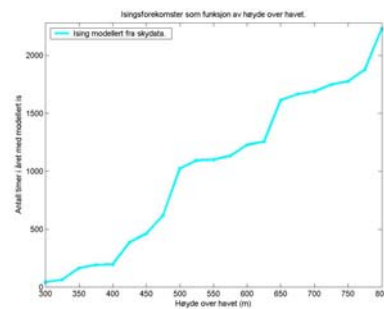
2006-01-30

20



Ising

- Ising er når underkjølte skydråper fryser ved at de treffer et legeme
- 0-30% tap i energiproduksjon
- Store utfordringer innen måle- og modellteknikker
- Norge kan bli ledende i Europa hvis det satses på FOU (Vindkraft SFI).



2006-01-30

Vindmålinger (når det iser)

- Isfrie sensorer
- Web-kamera
- Strømforsyning



2006-01-30

Måling av ising (hyppighet og avsetning)

- Retningssensoren gir god indikasjon på start av ising
- Ice-monitor måler raten av ising direkte
- KVT prøver også ut andre måleteknikker



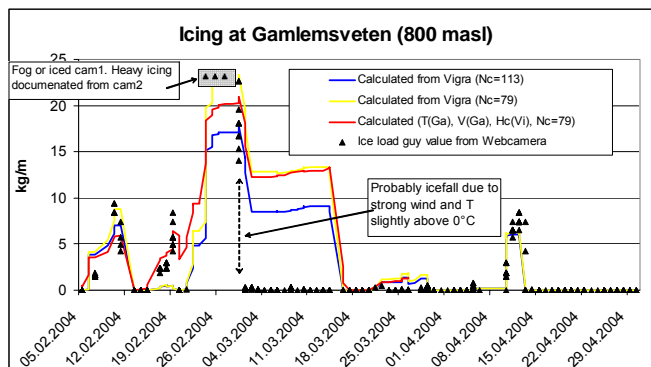
2006-01-30

23



Isingsmodeller:

- Mikrofysisk modellering
- Empiriske modeller
- Værvarslingsmodeller
- Samarbeid: KVT, met.no, UiO



24



Oppsummering

- Vindmålinger: Økte krav til nøyaktighet og dokumentasjon, samt målinger av turbulens, vindskjær.
- Modeller kan i større grad utnyttes i kombinasjon med målinger, spesielt viktig i kompleks terreng.
- Usikkerhet knyttet til nøyaktighet av modellene (årsmiddelvind, turbulens, fordelinger av hastighet og retning)
- Store FOU utfordringer innen måling og beregning av ising
- Det norske miljøet har gode forutsetninger for å få en viktig rolle innen ising i Europa.

2006-01-30

25



PREDICTION OF LOCAL FLOW IN MOUNTAINOUS TERRAIN.

Karl J. Eidsvik

Cooperation LV-SINTEF-DNMI since 1990.
First quantitative analysis and understanding
of flows over hills and buildings,
then prediction.

PREDICT FLOW TO AVOID THE MOST HAZARDOUS FLYING CONDITIONS

TURBULENCE-WINDSHEAR A MOST IMPORTANT ACCIDENT CAUSE.(Lars Furusetth):

- Mehamn-11.03.82-DHC-6
- Hammerfest-20.11.87—DHC-7
- Fornebu-27.01.89-DC-9
- Værøy-12.04.90-DHC-6
- Honningsvåg-29.10.90-DHC-6
- Sørkjosen-07.12.90-BE-100
- Hammerfest-04.09.91-C-500
- Vigra-05.01.95-F-27
- Hammerfest-12.02.99- DHC-8
- Hammerfest-11.02.00- DHC-8
- Vadsø-06.01.03- DHC-8

OUR SYSTEM BEEING IMPLEMENTED AT HAMMERFEST; STOKKA; MOLDE

ESTIMATE FLOW FOR OPTIMAL SITING AND OPERATION OF WIND ENERGY SYSTEMS

1): Over mountainous terrain the wind energy gain factor vary by about $E/E_0 = O(5)$ from one location to another, while over flat land it is only: $E/E_0 = O(1)$. Turbulence intense in mountainous terrain. **Wind energy siting most important in mountainous terrain.**

2): However: “ **A flow model that works in terrain steeper than 14 degrees is extraordinary difficult to make**”. (Mann J., Ott S., Jørgensen B.H., Frank H.P. 2002; **WASP** Engineering 2000, Risø-R-1356 EN)

3): **Our system** can estimate the wind energy rationally from available data.

IDEA: APPLY THE BEST DATA AND MODELS FOR ESTIMATION

Best data where flow is most nearly horizontally homogeneous, with small turbulence, ie above mountains.

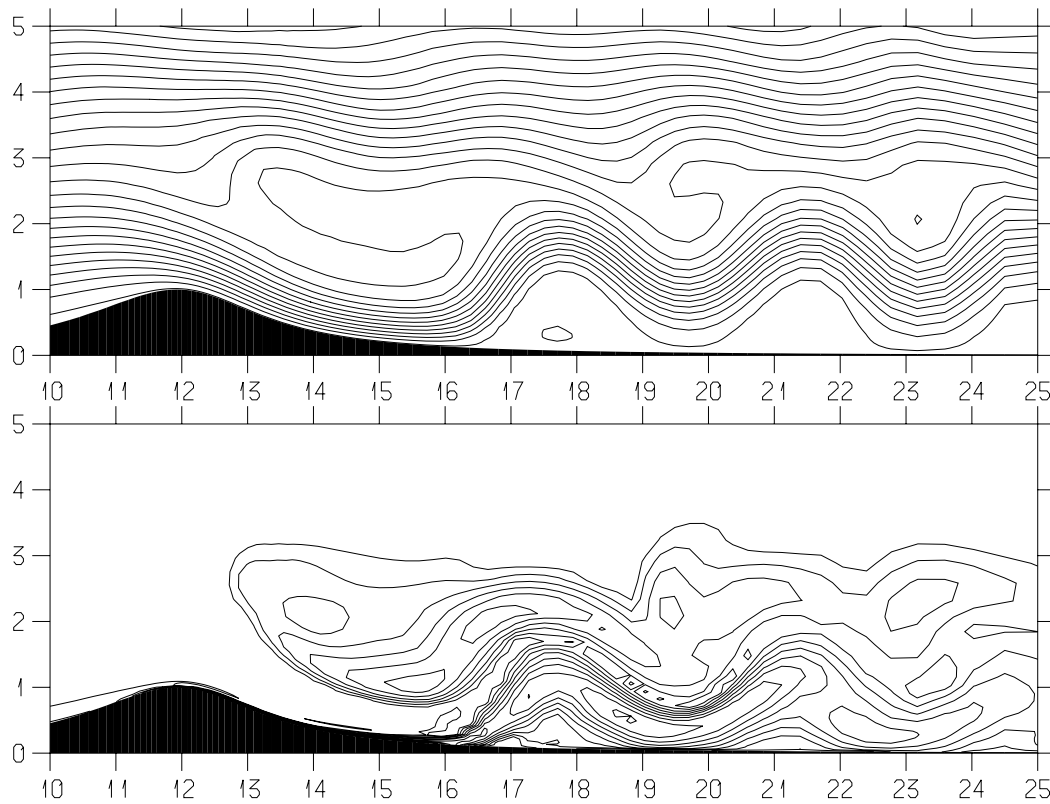


Figure 1: Streamlines and turbulent intensity for stratification : $Nh_m/U = 2$ $\text{Max } \sqrt{K}/U \approx 0.5$. A FEW LOCAL NEAR GROUND MEASUREMENTS CANNOT ESTIMATE FLOWS LIKE THIS

BEST MODELS BASED UPON FIRST PRINCIPLES:

conservation of:

momentum, mass, energy, water components:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho u_i u_j + \epsilon_{ijk} f_j \rho u_k \\ & = -\frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g \delta_{i3} - \frac{\partial}{\partial x_j} \langle \rho u'_i u'_j \rangle \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \theta u_j = S_\theta - \frac{\partial}{\partial x_j} \langle \theta' u'_j \rangle \quad (3)$$

$$\frac{\partial W_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} W_i u_j = S_{W_i} - \frac{\partial}{\partial x_j} \langle W'_i u'_j \rangle, \quad (4)$$

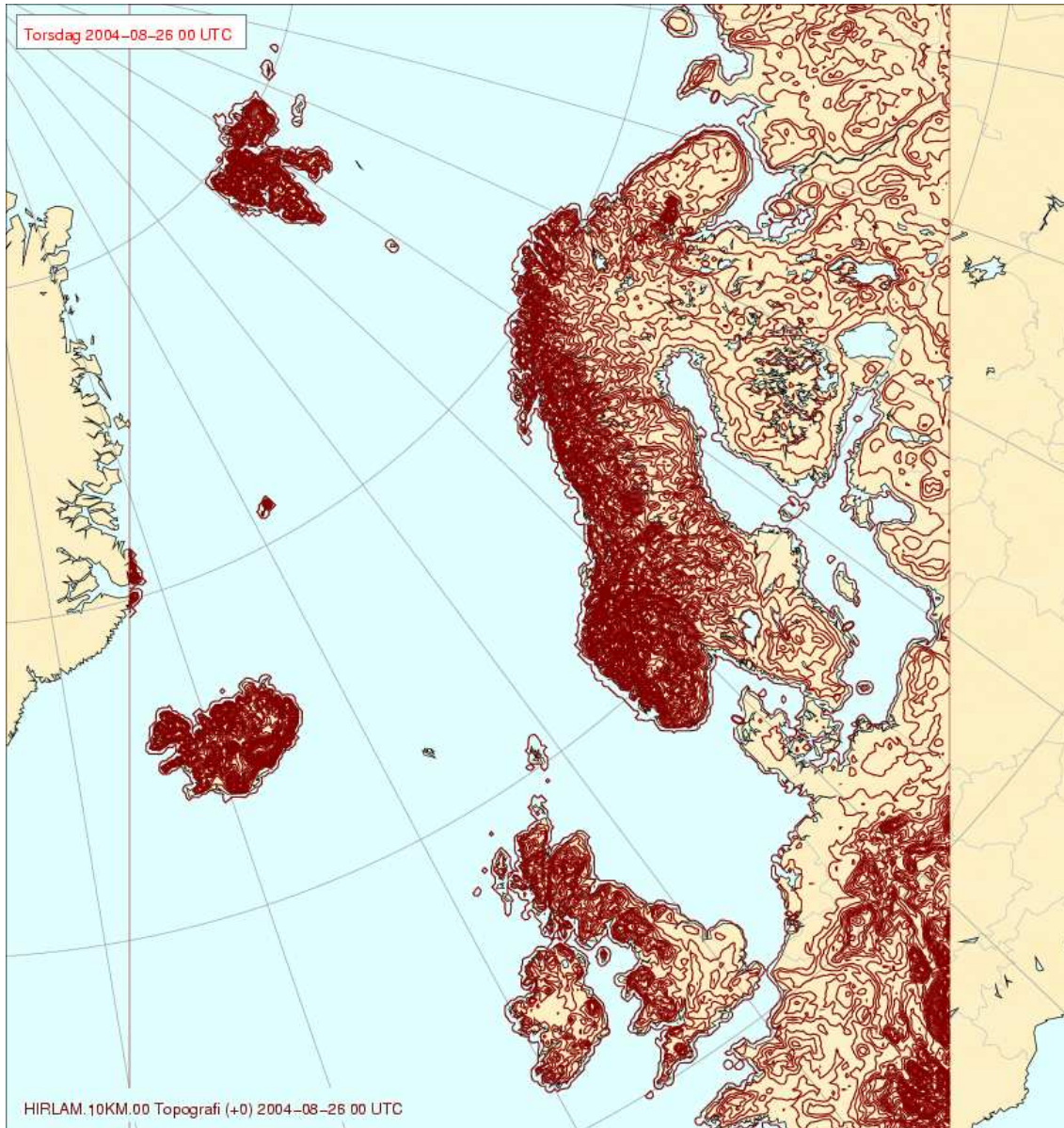
and generally validated turbulence closures.

FOR TRANSFORMING TO LOCAL FLOW BEHIND HILLS AND PREDICTION

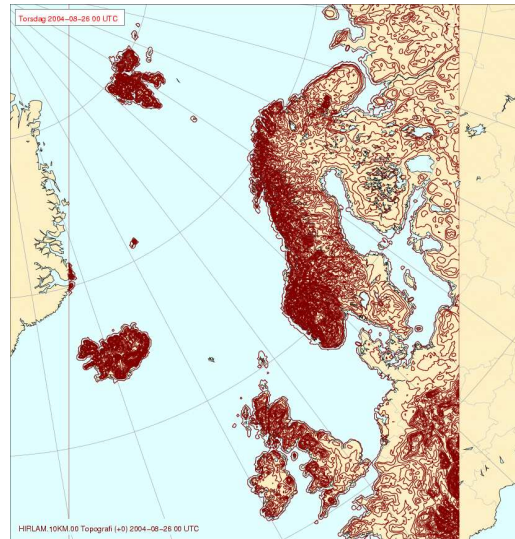
DATA ON LARGE SCALE FLOW FROM WEATHER PREDICTION SYSTEM

GLOBAL → HIRLAM10 with horizontal resolution:

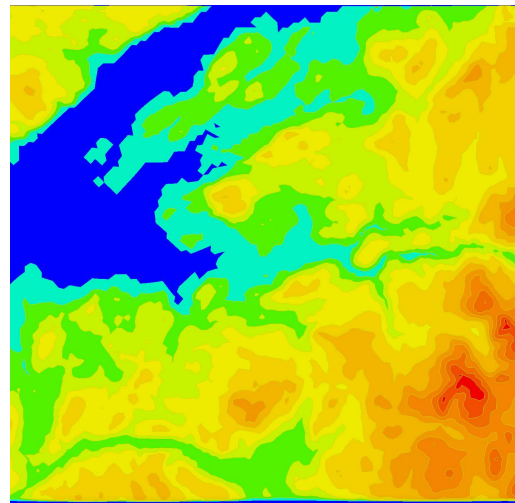
$\Delta x_1 = 10 \text{ Km}$



Large scale flow estimated by **HIRLAM10** ($\Delta x \sim 10$ km). Started with initial conditions from 00 UMC and 12 UMC and boundary conditions obtained from global model and synoptic data, via **HIRLAM20**. Maximum prediction interval: 48 hr.



Regional scale flow estimated by **UM1** ($\Delta x \sim 1$ km). Started with initial conditions from 00 UMC and 12 UMC and boundary conditions obtained from **HIRLAM10**, via **UM4**. Applied over the region Trndelag, Norway



Local scale flow estimated by **SIMRA** ($\Delta x \sim 0.1$ km) Started with initial and boundary conditions from **UM1**. Applied over Værnes airport, Trøndelag

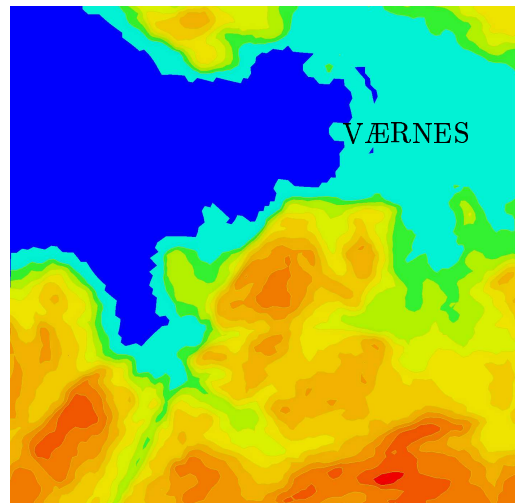


Figure 2: Prediction system for local flow in complicated terrain, as illustrated with the terrain representation in different models.

LARGE COMPUTATIONAL TASK .

DISCRETE SPATIAL REPRESENTATION

$$\mathbf{u}(t) = [u_i(\mathbf{x}_p, t), p(\mathbf{x}_p, t), \Theta(\mathbf{x}_p, t), W_j(\mathbf{x}_p, t), \dots]^T$$

$$p=1,2,\dots,(N_1 \times N_2 \times N_3)$$

$$n = M \times N_1 \times N_2 \times N_3 \sim O(10^7)$$

TIME INTEGRATION OVER $\Delta t = O(12hr)$

$$N_t = O\left[\frac{U \Delta t}{\Delta x}\right] \sim O(10^2)$$

NUMBER OF EQUATIONS TO SOLVE pr MODEL:

$$N_t \times M \times N_1 \times N_2 \times N_3 \sim O(10^9)$$

HIRLAM20+HIRLAM10+UM4+UM1+SIMRA
 $\sim O(5 \times 10^9)$

MODELS EFFICIENTLY PARALELL

INITIAL CONDITIONS for HIRLAM20

at: 00Z, 06Z, 12Z, 18Z

Obtained by means of best **dynamic estimation (assimilation) methods**, applying regular radiosonde data and the best irregular data from satellites, airliners, radars and other sensors.

TIME LAGS FROM LAST OBSERVATIONS TO PREDICTIONS .

Time (hr)	1	2	3	4	5	6	7
DATA	1.0	1.0					
HIRLAM20			0.3				
HIRLAM10			0.3				
UM4			0.4	1.0	0.5		
UM1					0.5	1.0	
SIMRA							0.3

EXAMPLE FLOW PREDICTIONS

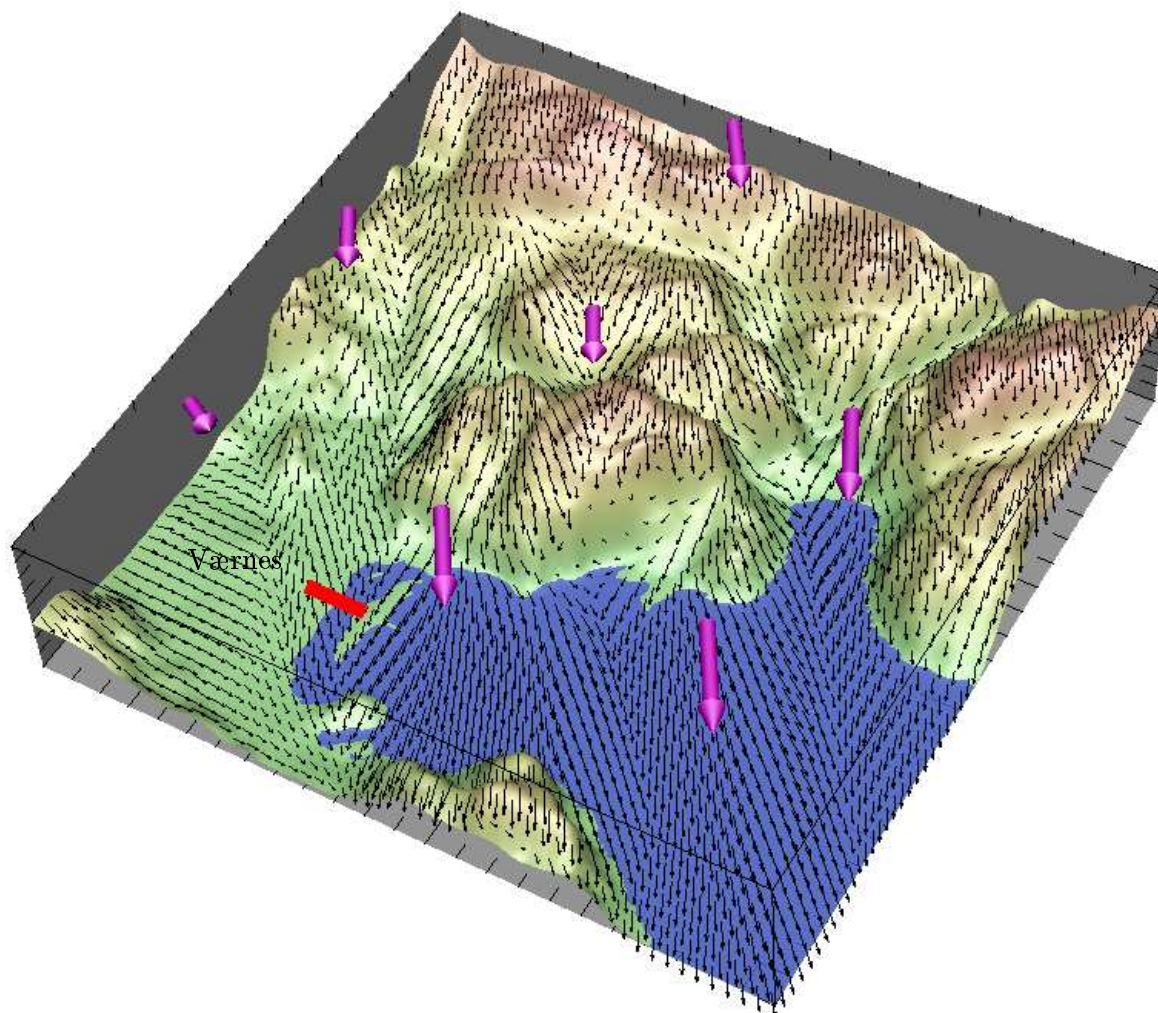


Figure 3: Estimated actual flow over mountains near Værnes airport 18.11.00 at 12 o'clock, as estimated with the system illustrated in Figure 2. Flow at approximately 10m above the ground and at 300m above the sea.

VÆRNES DURING EXTREME FLYING CONDITIONS

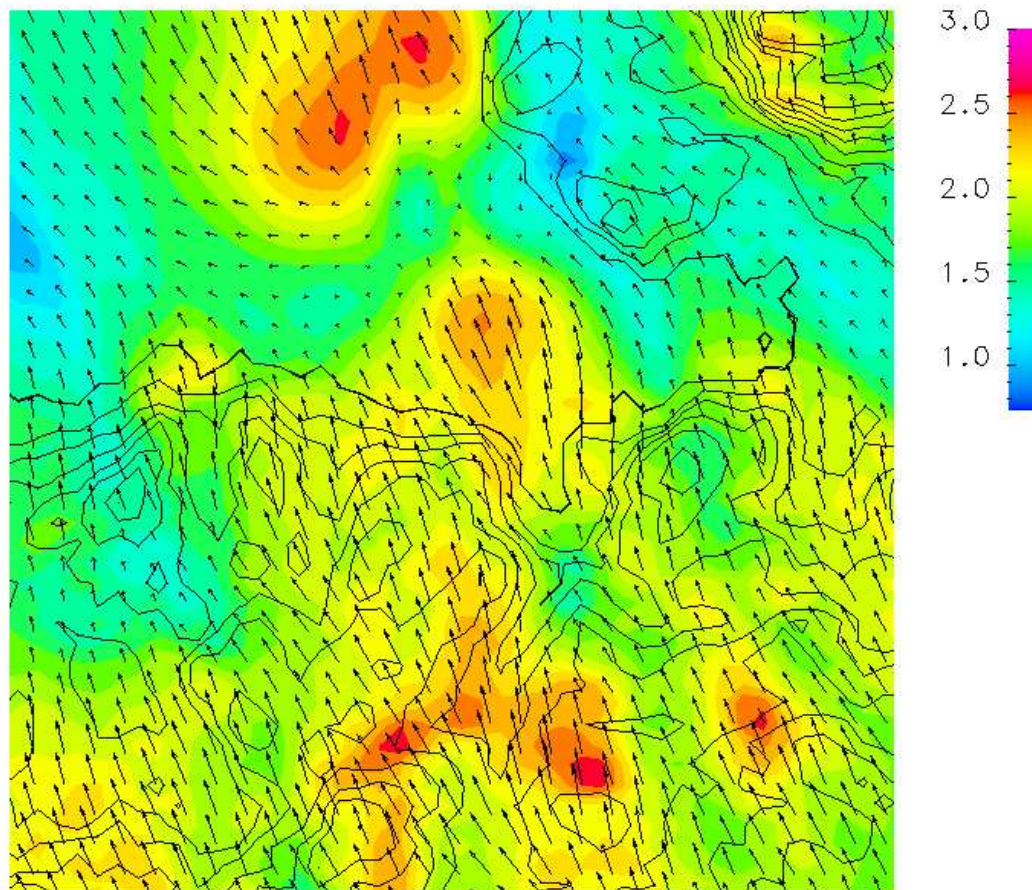


Figure 4: Predictions of mean wind vector and turbulent intensity, \sqrt{K} at 50 m above the ground 28-11-01 at 12Z. Medium grid

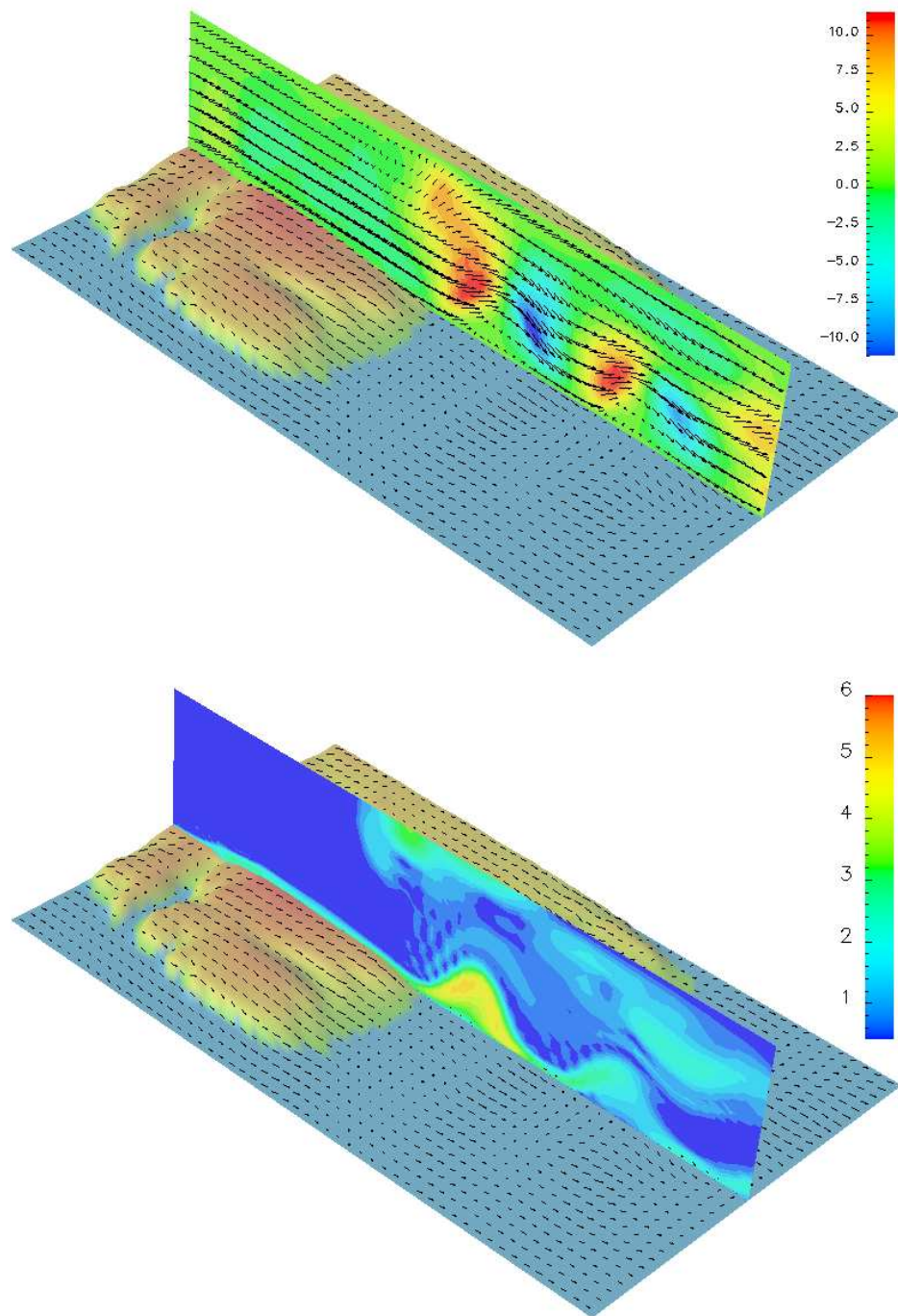
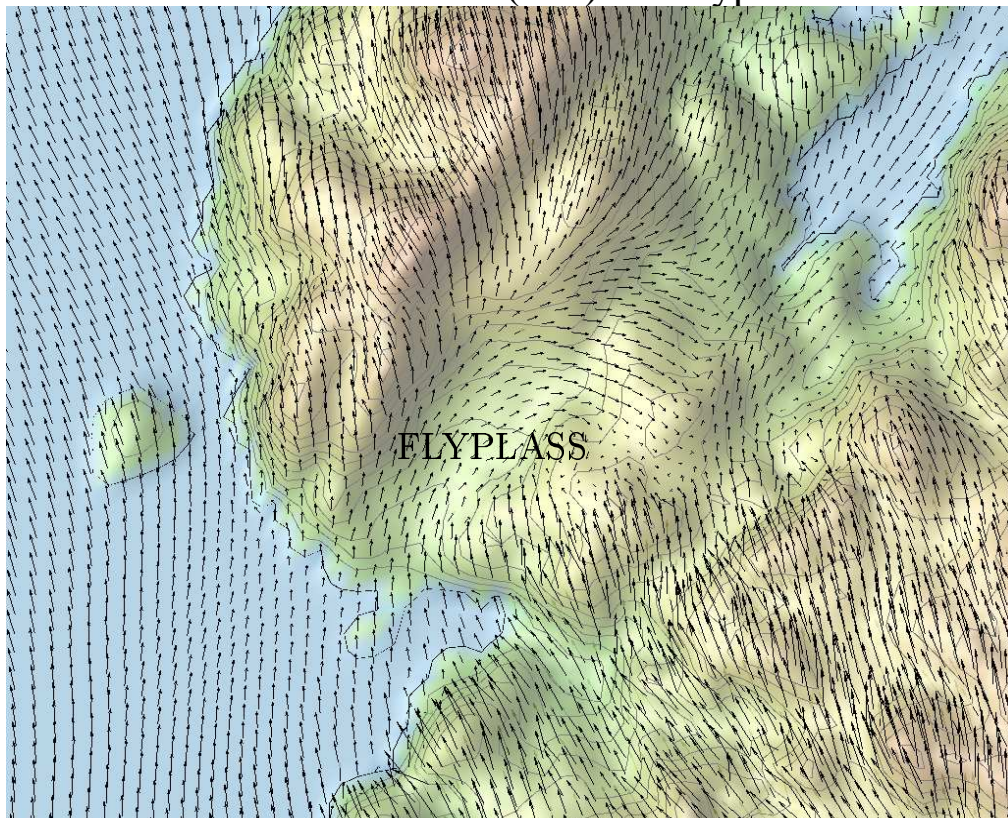
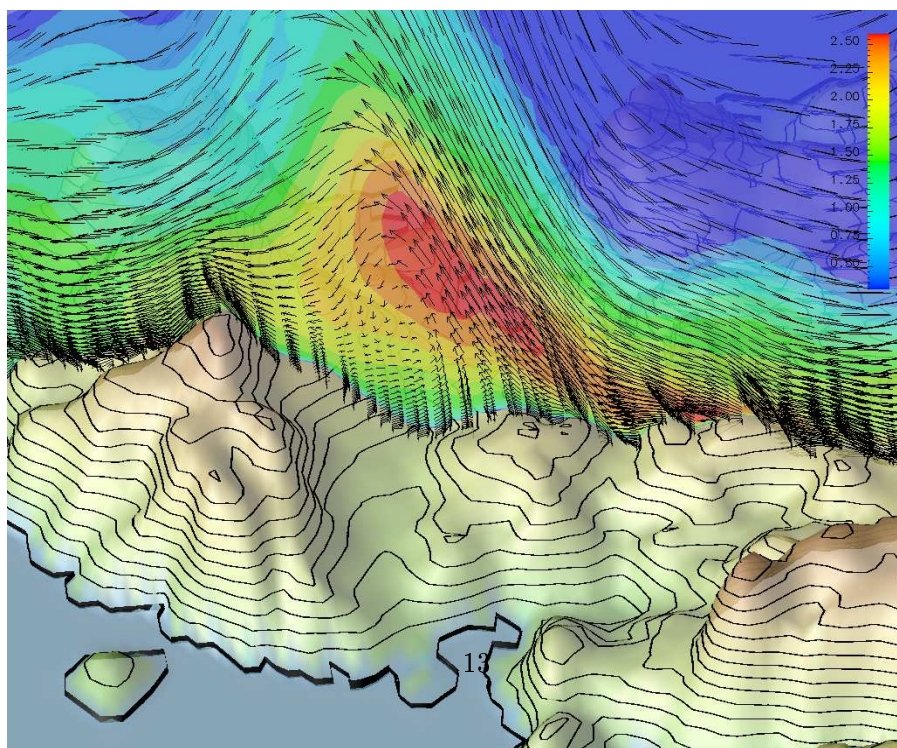


Figure 5: Estimert stratifisert strømnig ved Mehamn ved Widerø-uhell kl 13, 11-03-82

HAMMERFEST 01.05.05 at 14:00

Vindfelt i bakkenivå (6m) nær flyplassen

Vindfelt og turbulens i snitt langs hovedvindretningen
(merk antydning til rotor)

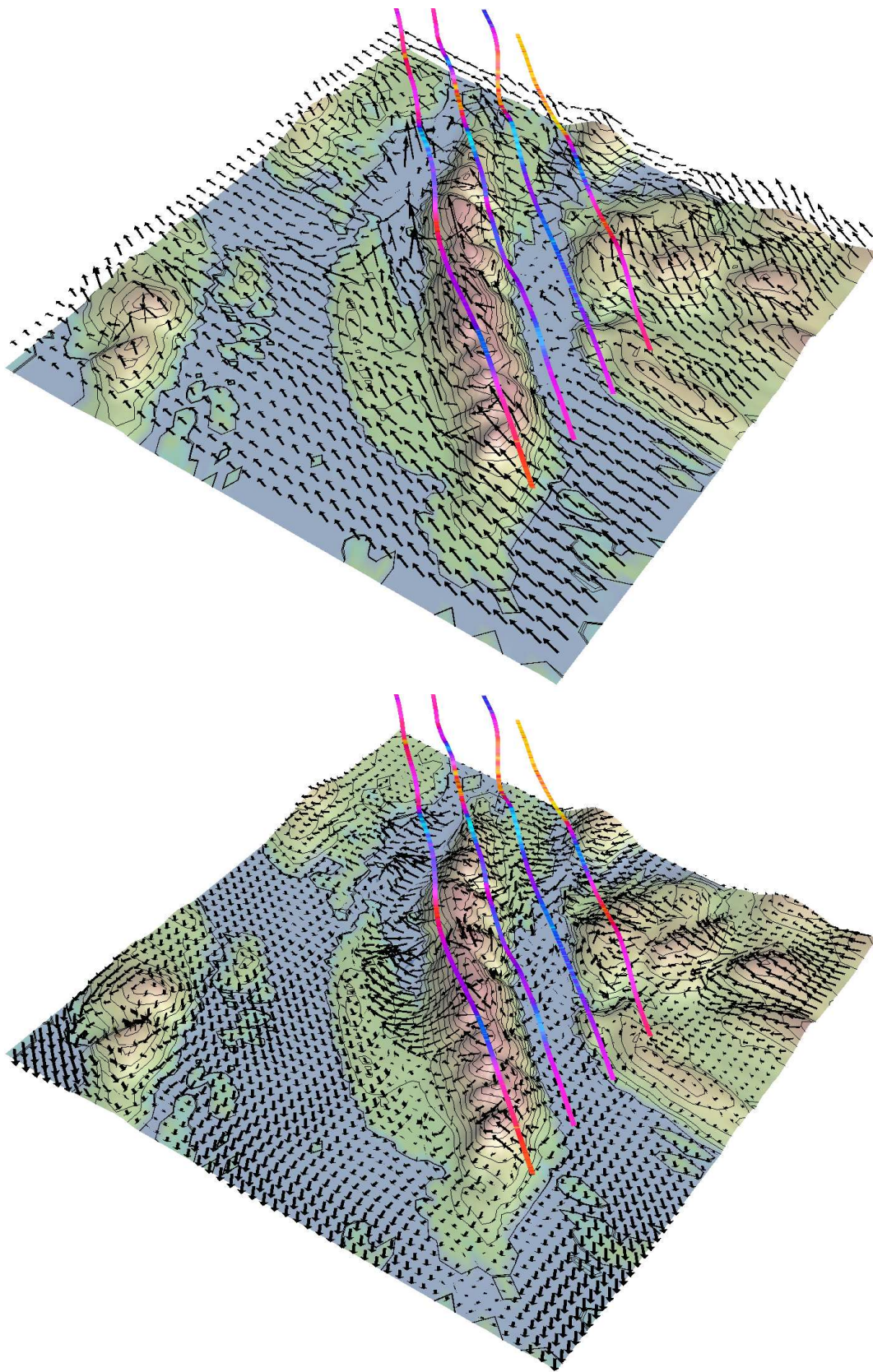


Figure 7: Estimert stratifisert strømming over De syv søstre i 10m, 500m og 2000m høyde

MODELS HAVE BEEN ASSIGNED CONFIDENCE:

- 1): Models based upon first principles, generally validated turbulence closures and statistical methods.
- 2): Weather prediction models HIRLAM and UM have been tested extensively.
- 3): Local model SIMRA have been compared favourably with the best and most relevant laboratory scale data and full scale data from flows over mountains.

**GEOPHYSICAL TURBULENCE IS DIFFICULT,
BUT NO OTHER SYSTEM CAN BE
SIGNIFICANTLY BETTER.**

EXAMPLE: Askervein Hill

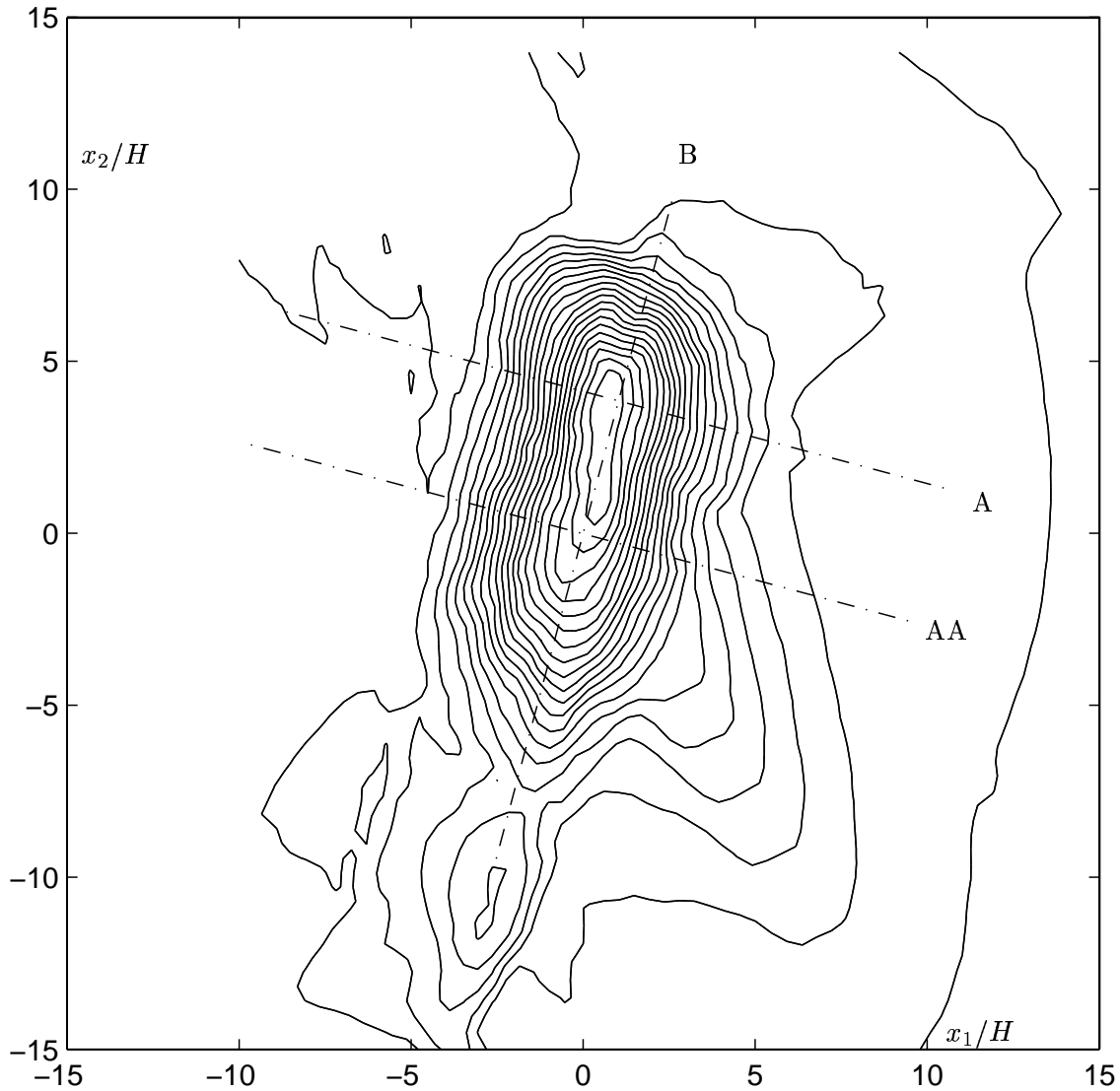


Figure 8: Askervein hill in $(x_1, x_2)/H$ -coordinates, aligned with the x_1 -axis along the in-coming mean wind (from 210 deg). $H \approx 116\text{m}$. Height isolines each 6m. Measurements along the lines AA, A and B.

$$\begin{aligned}
 & \textit{TerrainInducedFlow} : \\
 & \frac{\Delta u(x_3)}{u_0(x_3)} = \frac{u(x_3) - u_0(x_3)}{u_0(x_3)} \quad (5)
 \end{aligned}$$

EXAMPLE: Askervein Hill

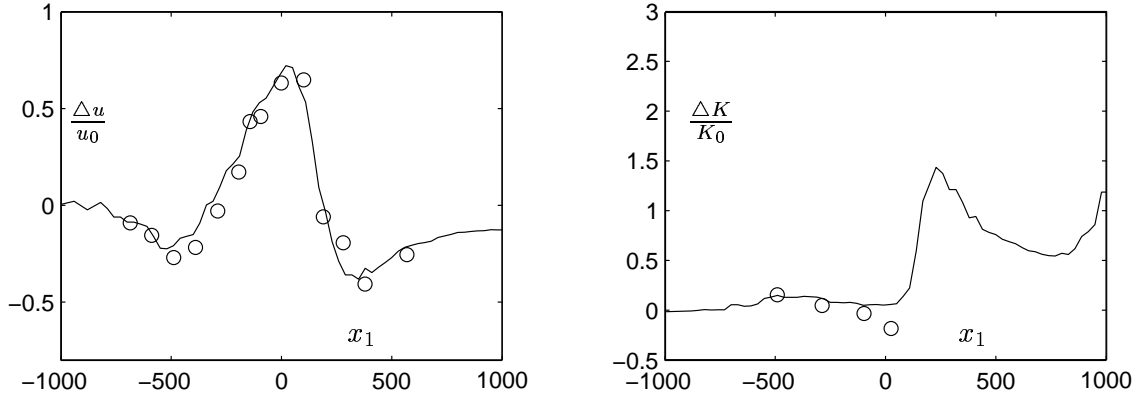


Figure 9: Estimated and measured profiles along AA at 10 m height. $D/H \approx 13$. a): Mean wind speed defect, $\Delta|u|/u_0$ b): Turbulent kinetic energy defect $\Delta K/K_0$, $u_0(10m) = 10m/s$. Turbulence data normalized with predicted inflow value $K_0(10m) \approx C_\mu^{-1/2} u_{*0}^2 \approx 1.73(m/s)^2$. Data from Castro et al (2003)

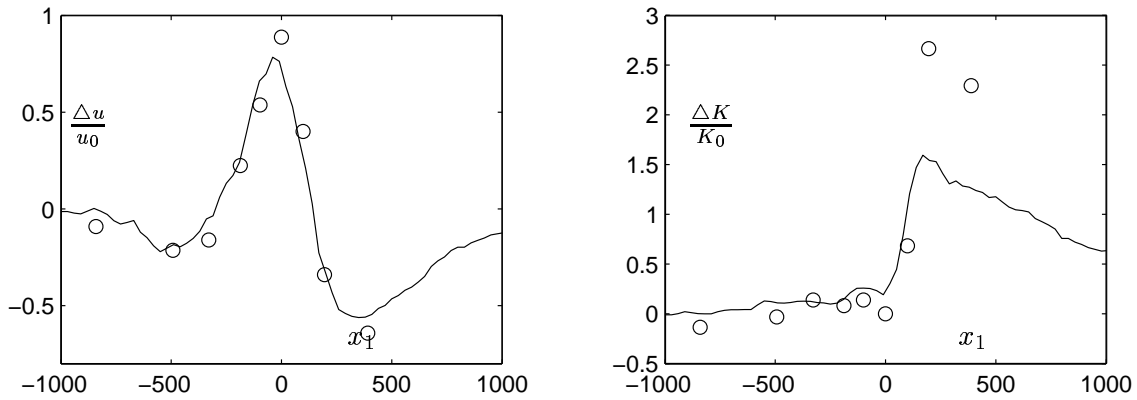


Figure 10: As in Figure 9. Profiles along A at 10 m height.

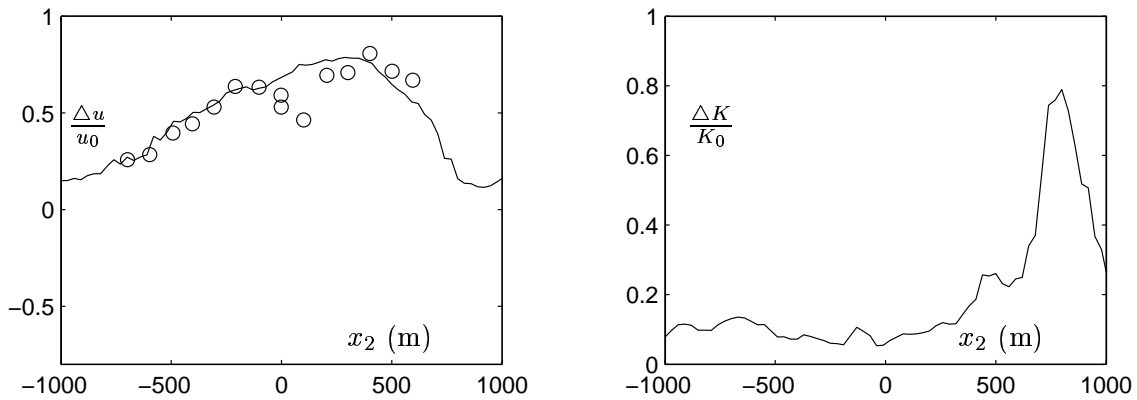


Figure 11: As in Figure 9. Profiles along B at 10 m height.

**SYSTEM *POSSIBLY* SOMETIMES
INACCURATE, BUT *CERTAINLY*
A RATIONAL BASIS FOR
SYSTEMATIC IMPROVEMENTS**

Optimal gridding and boundary conditions.
Reduction of minimum lead time
Assimilation of local data.
Modelling of stratified geophysical turbulence.

***MOSTPROBABLY: IN FEW YEARS,
ESTIMATION OF LOCAL FLOWS
WILL NORMALLY BE BASED UPON
SYSTEMS LIKE THIS, REGARDLESS
OF WHAT KIND OF NEW DATA
THAT MAY BECOME AVAILABLE***



Meteorologisk
institutt
met.no

Vindbergninger og nesting av værvarslingsmodeller

Vindkraft FoU Seminar, 27/1-06, Dag Bjørge




Utfordringer

- Ekstremvind
- Vindstille
- Vindskift
- Ising

- Klimatologi, lokalisering
- Varsling, drift

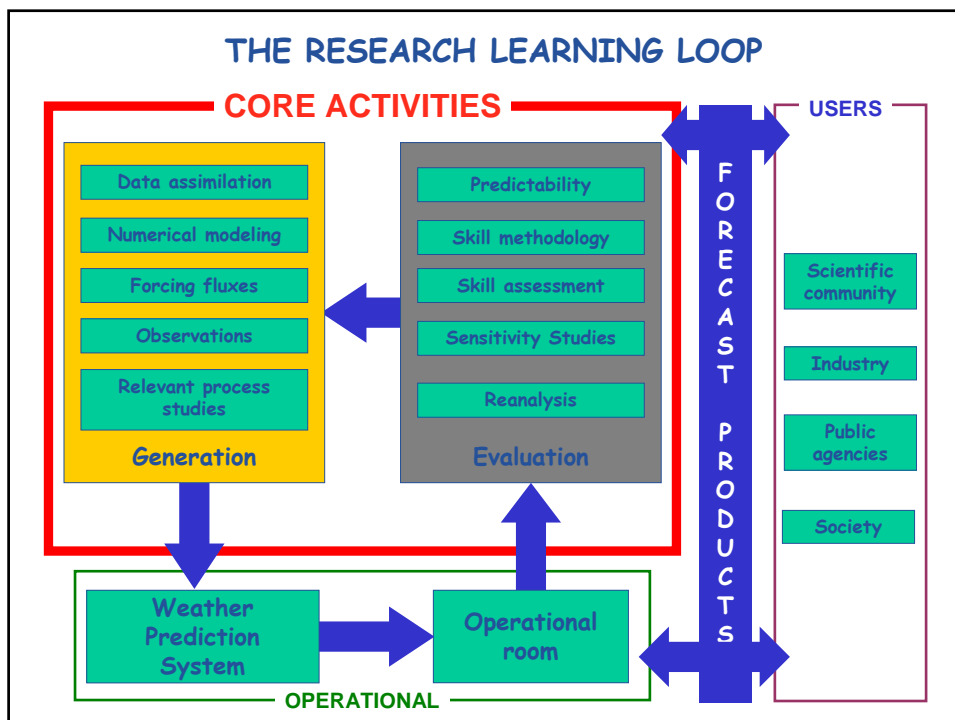
Meteorologisk institutt met.no




met.no kompetanseområder

- Kvalitetskontrollerte observasjonsserier
- Statistisk nedskalering
- Dynamisk nedskalering
- Numerisk vær- og havvarsling

Meteorologisk institutt met.no

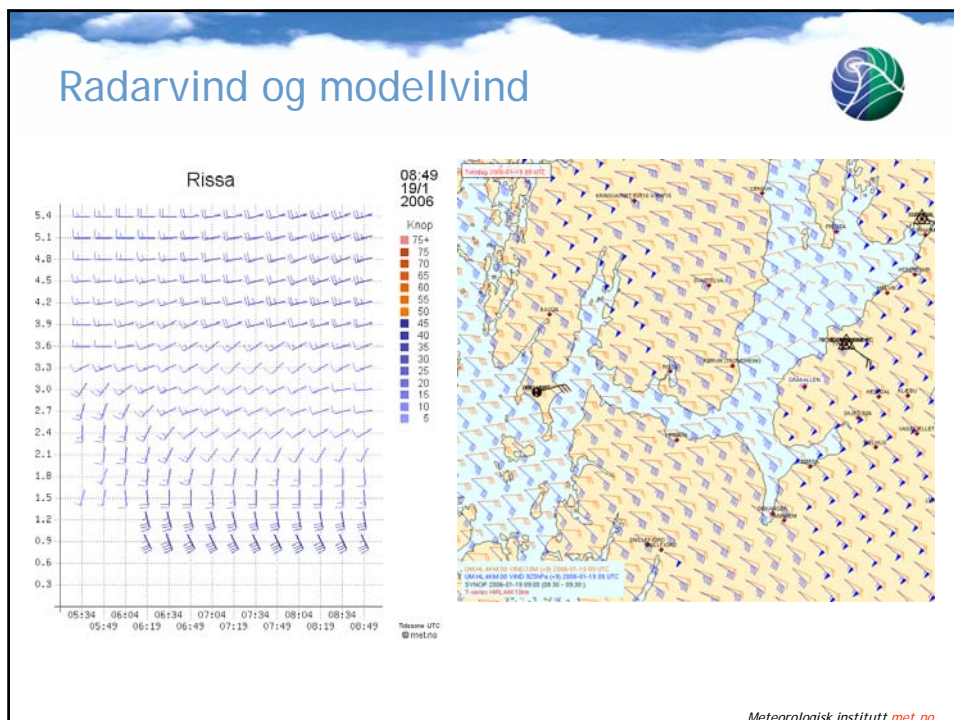


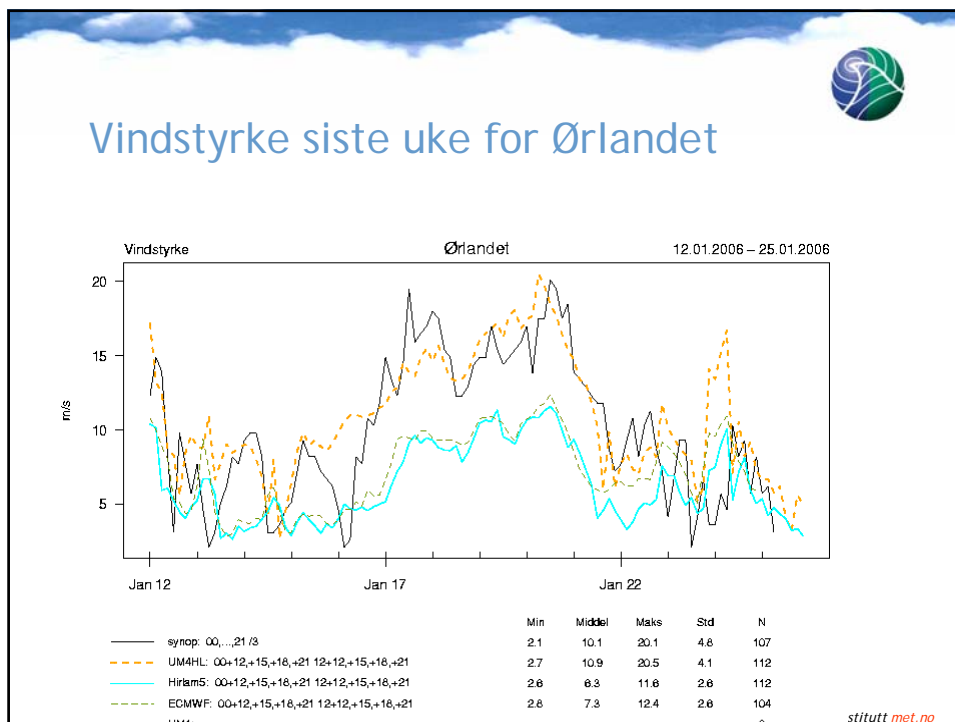
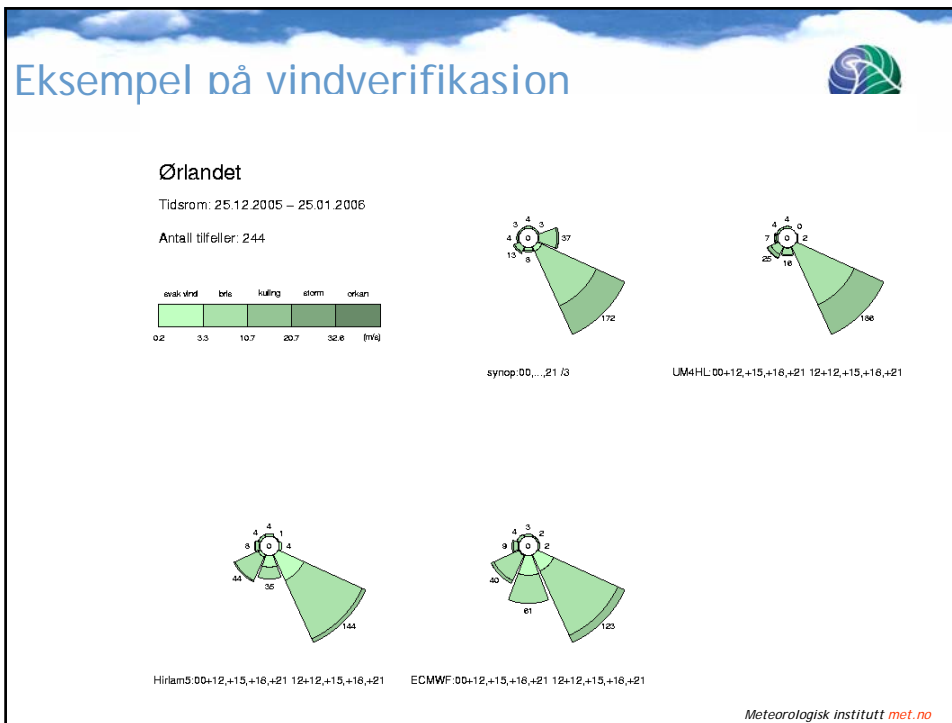
Observasjonstyper



- Mastemålinger
- Radiosonder / oppstigninger
- Flyvind / AMDAR
- Satellitt / scatterometer-vind
- Radarvind
-
- Bruk av nær sanntids vindobservasjoner er et av målene i Sintef/met.no's turbulensprosjekt

Meteorologisk institutt met.no





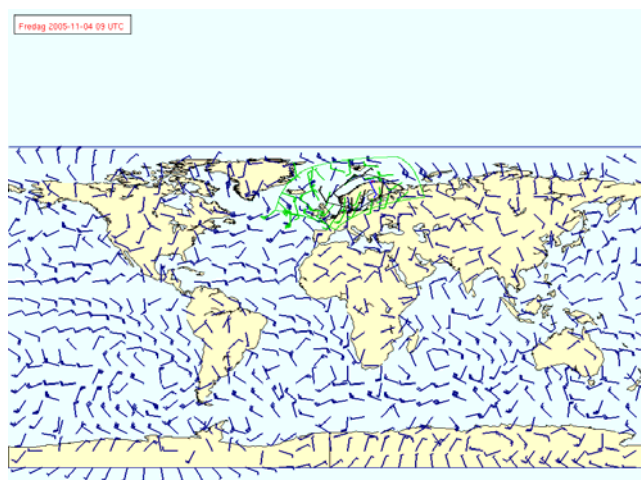
Nesting av modeller ved met.no, global til lokal skala



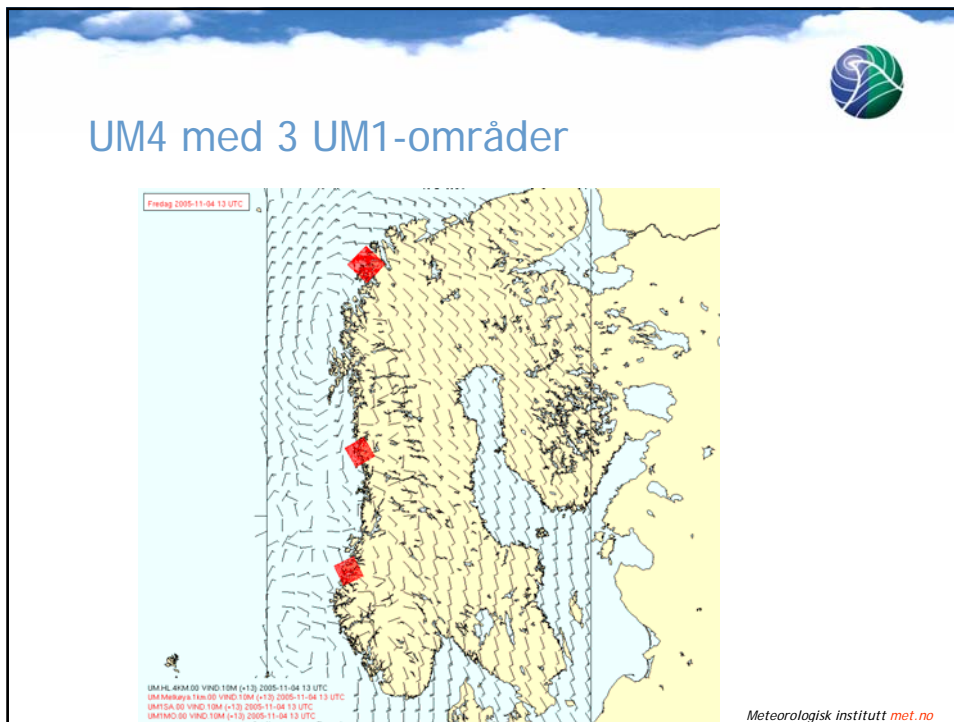
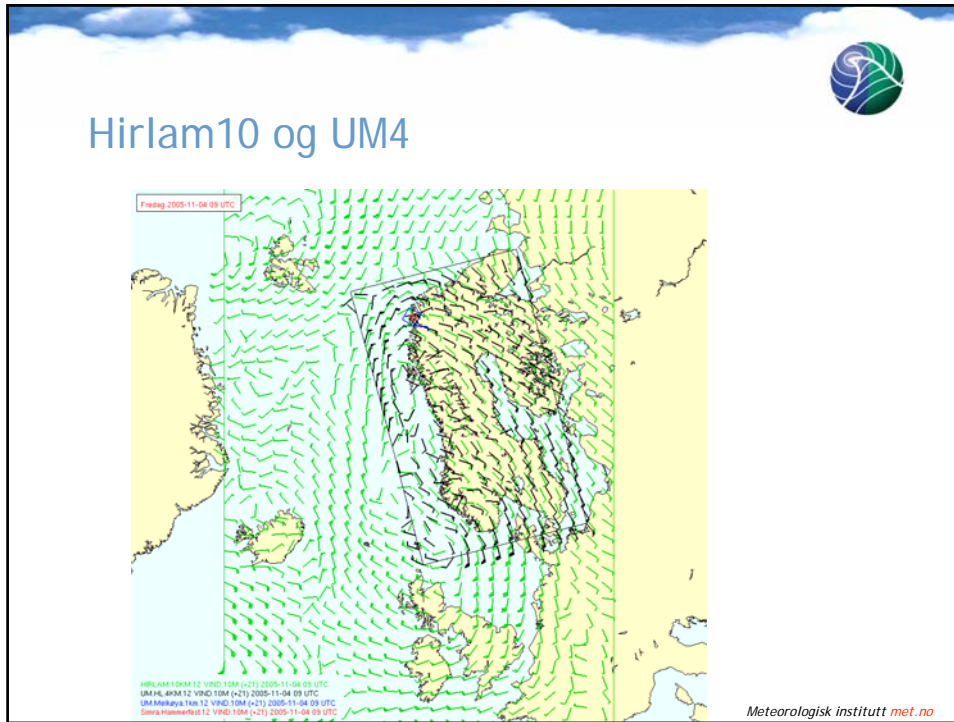
- ECMWF global modell, ~25km oppløsning f.o.m. 1. februar 2006
- HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) ~10km gitter over norske områder
- UK Met Office Unified Model (UM) 4km gitter som dekker Norge og Sverige
- UM 1km for enkeltområder
- Simra turbulensmodell for utvalgte flyplasser

Meteorologisk institutt met.no

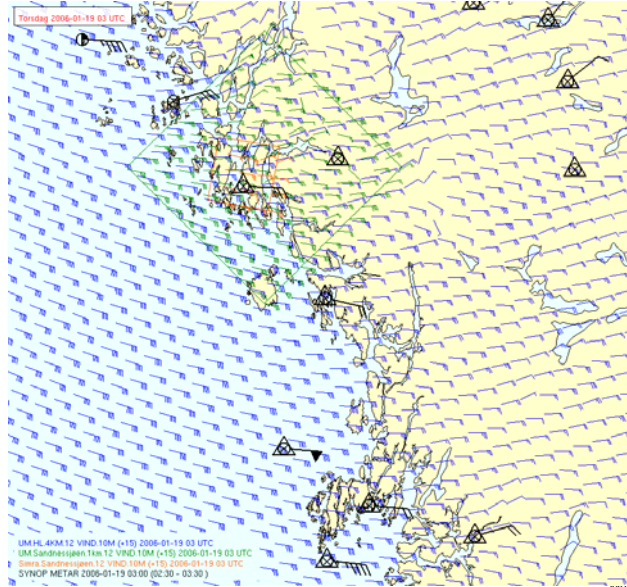
ECMWF global modell



Meteorologisk institutt met.no

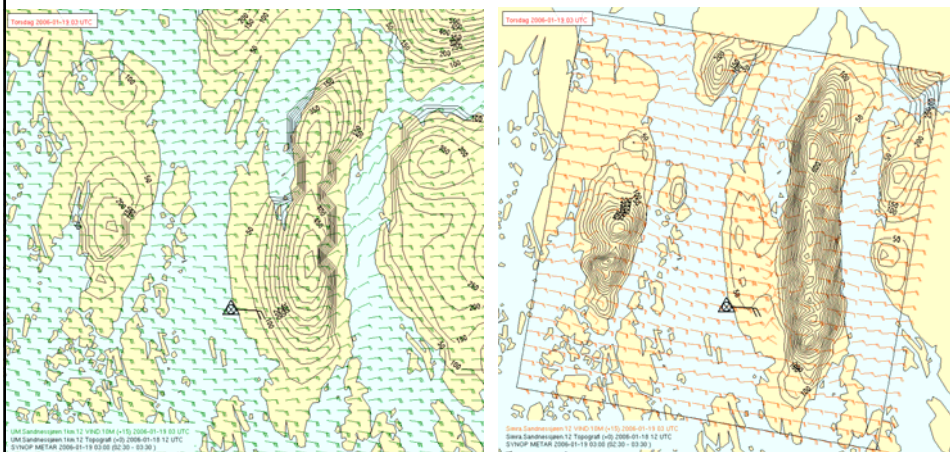


UM 4km og 1km ved Sandnessjøen , Narve nærmer seg



Meteorologisk institutt met.no

UM 1km og Simra, Sandnessjøen. Legg merke til oppløsningen av topografien.



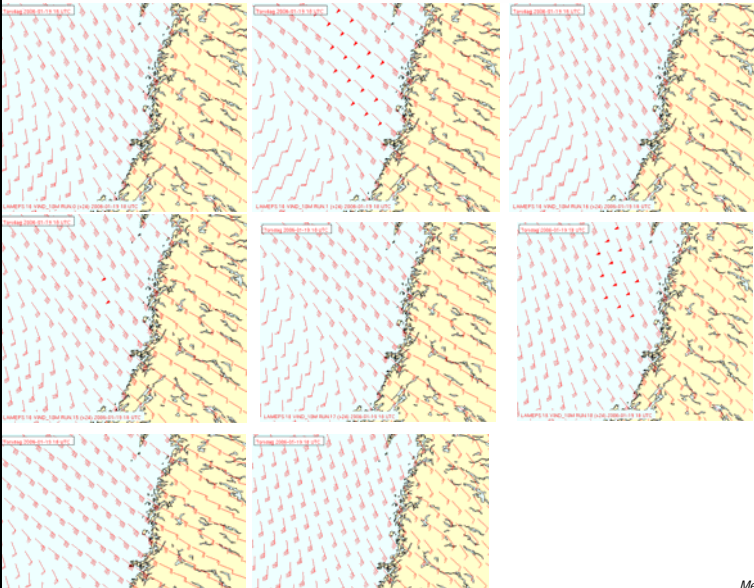
Meteorologisk institutt met.no

LAMEPS, et nytt produkt ved met.no

- EPS = Ensemble Prediction System
- ECMWF lager 20 forskjellige startfelt og 20 sett med perturberte randverdier
- met.no kjører 20 realiseringer av Hirlam 20km for et område som dekker Norge
- Statistiske produkter er under utvikling
- Målet er å gi et anslag av sikkerheten i prognosen. (f.eks. 70% sannsynlighet for vind over 20m/s i et gitt punkt)

Meteorologisk institutt met.no

LAMEPS, eksempel fra Narve



Meteorologisk institutt met.no



**Meteorologisk
institutt**
met.no



Innsamling og analyse av vinddata fra met.no's stasjoner

Av Knut Harstveit

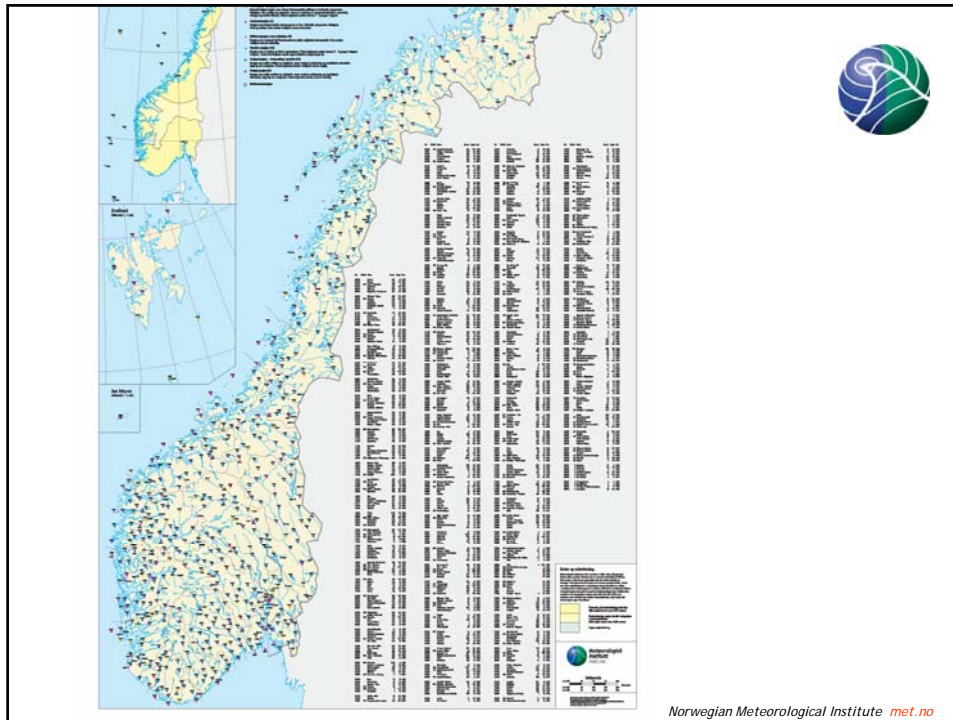
Norwegian Meteorological Institute met.no

Vinddata

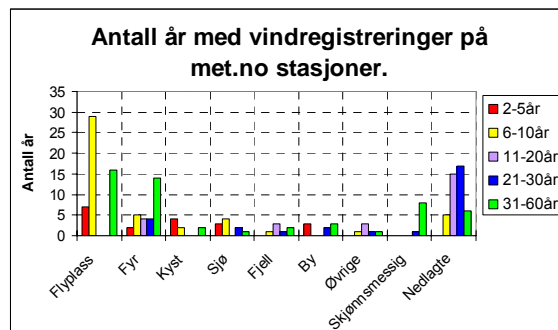


1. MÅLING AV VIND I VINDMASTER
 - Fyr, flyplasser etc. i 10 m høyde (met.no har stort nettverk)
 - Skip og borerigger
 - Data fra høye master. Typisk 30-100m, avgrenset periode
2. FJERNMÅLINGER OG IN-SITU MÅLINGER
 - Radar, satellitt
 - Sodar
 - Radiosonde
 - Data fra fly
3. MODELLER KJØRT SEKTORVIS FOR Å ETABLERE VINDHASTIGHET BASERT PÅ REFERANSESTASJONER
 - NVE Vindatlas, winsim, CFD, WasP
4. HINDCASTDATA FRA MODELLER
 - Hindcast vinddata til havs, 75x75 km fra trykkgradienter
 - Hindcast vinddata fra modeller. 20 km - prosjekt ved met.no. Finskala kan nestes. Mål: Nasjonalt sett på 100x100 m?

Norwegian Meteorological Institute met.no



Bakkestasjoner med vindobservasjoner



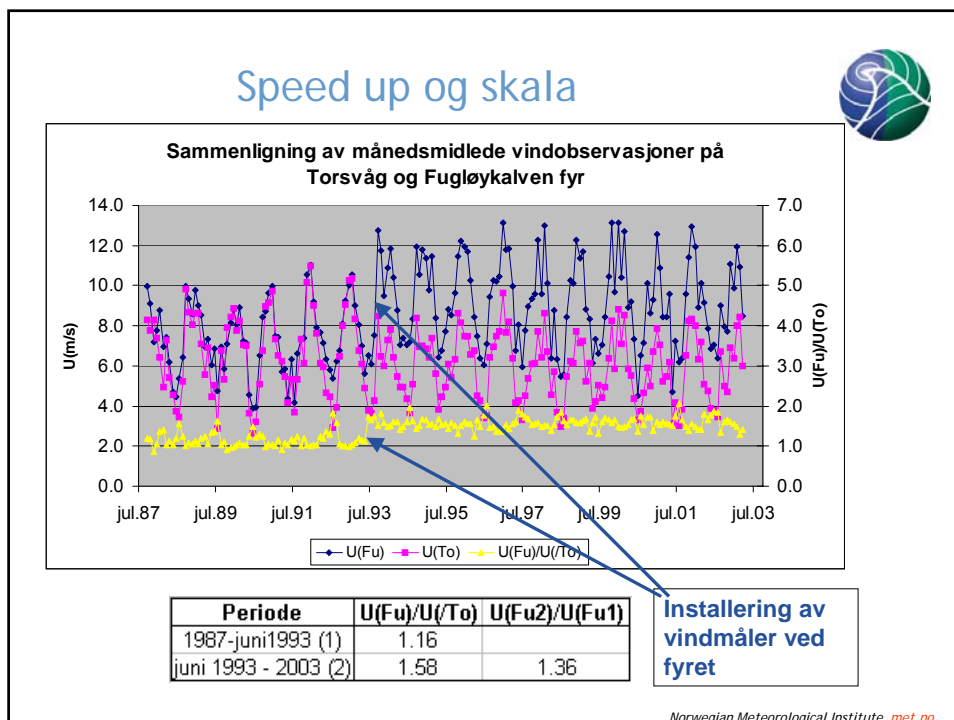
Lite representative stasjoner er utelatt. Gjelder ikke kategoriene flyplass og fyr

Alle vindstasjonene med vindmålere er nå automatisert med ens måleutstyr og digitale timeverdier. Typisk gjort i 1998 (spredt i 1991-2004). Kan ha en del mindre brudd.

Tradisjonell datafrekvens i databasen er 3 til 4 ganger pr døgn

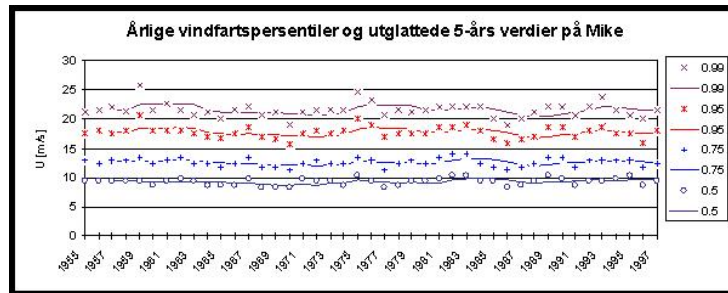
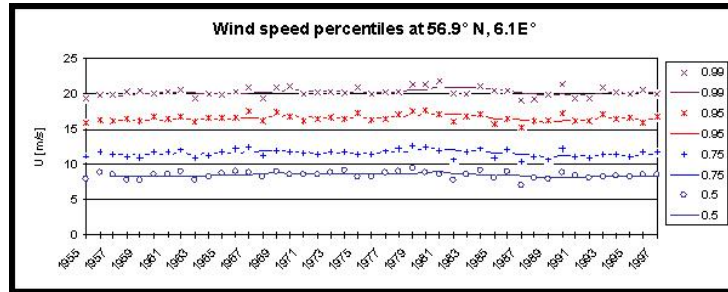
Kommentarer	Fly	Fyr	Kyst	Sjø	Fjell	By	Øvr	Skjønn	Nedl	Totalt
Store homogenitetsbrudd		5							5	5
Mindre homogenitetsbrudd	8	3							3	14
Ikke brukbare data før 1979		2							1	3
En del mangler					2		2			4
Tidligere skjønsmessig stasjon		4	1		1	2	3		3	14
Estimert vind								9	32	41
Borerigg, ned fra ca. 100 m				9						9
Skip				1						1
Totalt	52	29	8	10	7	8	6	9	43	172

Norwegian Meteorological Institute met.no





Langtidstrend/homogenitet

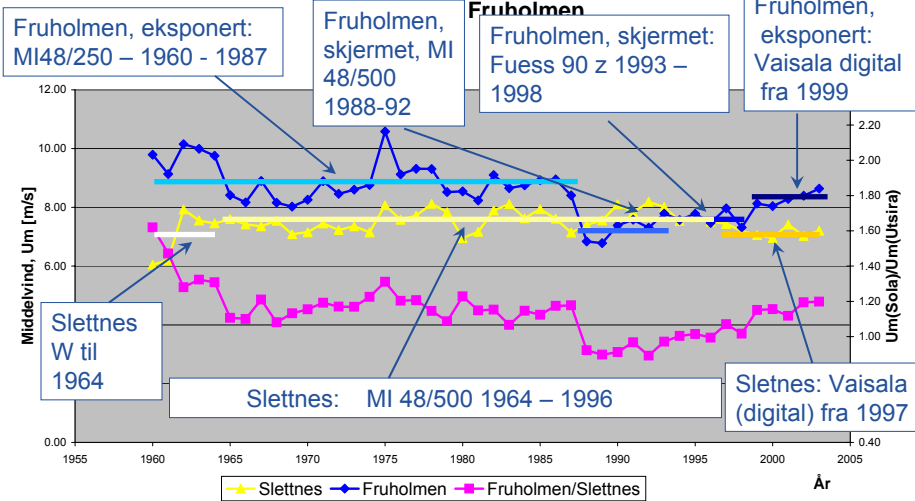


Norwegian Meteorological Institute met.no

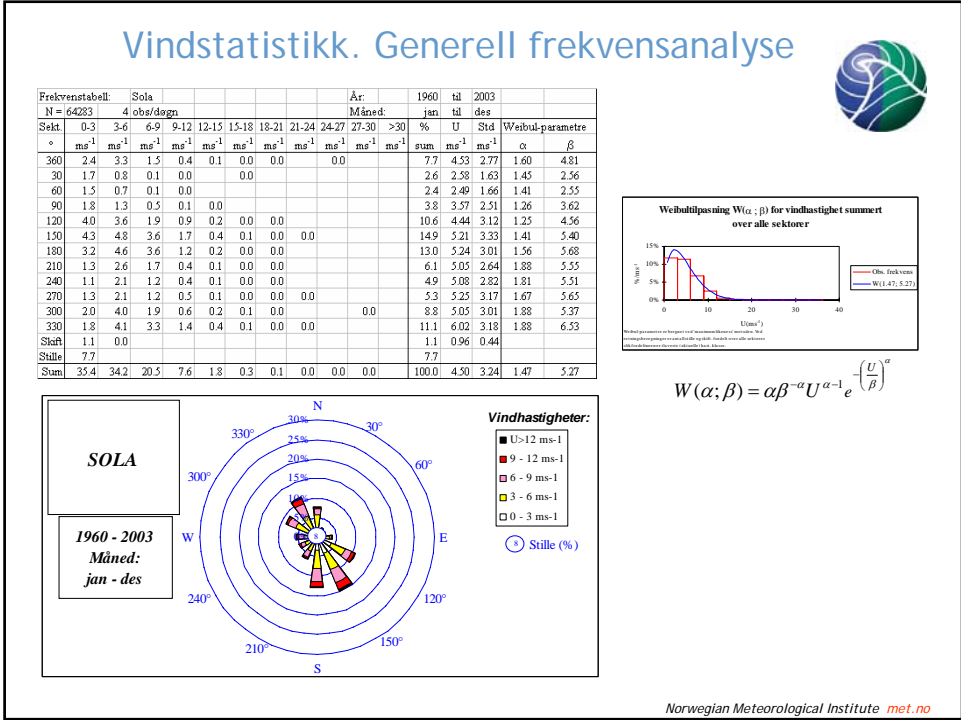
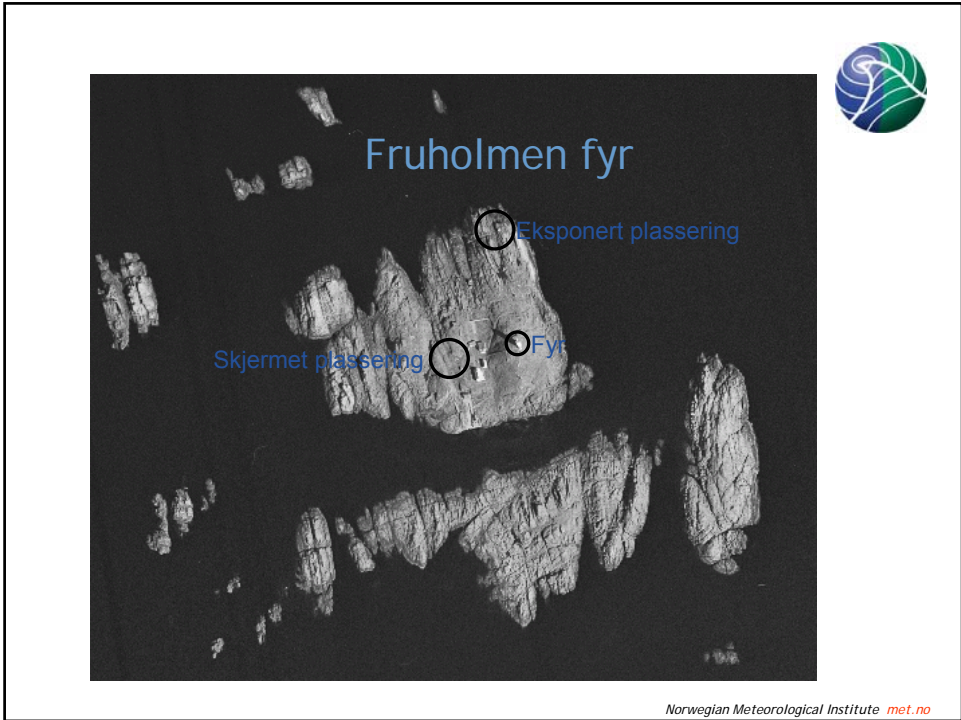
Datakvalitet



Sammenligning av årlig middelvind fra innsamlet dataserie på Fruholmen



Norwegian Meteorological Institute met.no



Vindstatistikk



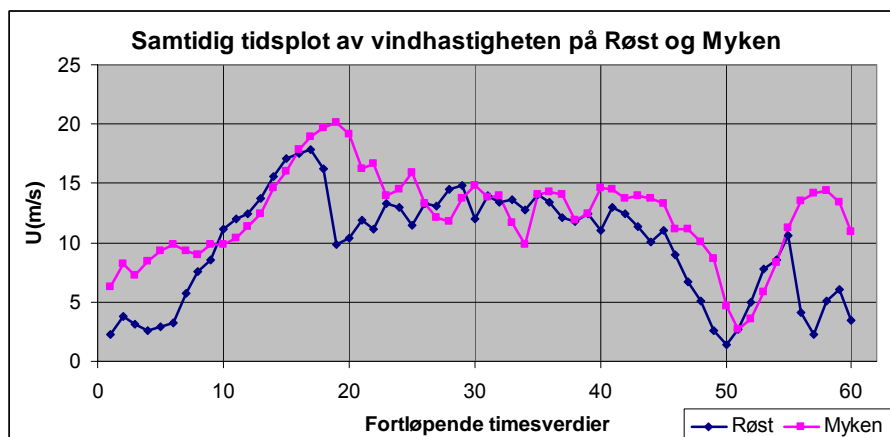
- Utvidelse fra kort til lang rekke

$$\left(\frac{\bar{U}_{proj}}{\bar{U}_{ref}}\right)_{kort} = \left(\frac{\bar{U}_{proj}}{\bar{U}_{ref}}\right)_{lang}$$

- Passer når den korte perioden dekker omtrent samme type vær-situasjoner som den lange.

Norwegian Meteorological Institute met.no

Vindstatistikk, sammenligning av tidsserier



Norwegian Meteorological Institute met.no

Fordeling av data i en sektormatrise



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Røst
0	0	1	2	2	0	0	0	0	2	1	0	0	0	8
1	1	144	120	15	6	1	3	4	5	6	22	18	49	394
2	1	57	305	94	10	8	3	2	12	4	8	3	12	519
3	0	9	76	133	34	20	9	7	10	7	3	1	4	313
4	0	2	15	59	71	134	68	21	16	2	1	1	4	394
5	1	3	3	14	17	60	55	29	25	1	1	0	1	210
6	0	2	3	9	4	16	75	34	16	6	1	2	3	171
7	0	0	3	2	3	10	104	226	44	9	5	0	1	407
8	0	1	1	4	2	3	35	170	288	32	5	0	3	544
9	0	5	9	5	2	1	2	39	147	250	45	7	5	517
10	0	6	7	1	2	3	6	11	22	61	147	37	12	315
11	0	12	7	4	2	1	5	6	5	11	27	92	57	229
12	0	52	22	5	3	7	3	3	6	8	14	51	132	306
MykeI	3	294	573	347	156	264	368	552	598	398	279	212	283	4327

Norwegian Meteorological Institute met.no

Fordeling av data i en sektormatrise



Hver linje i tabellen er Myken-data som er fordelt i kolonner etter vindretning på Røst. Så er det laget omregningskoeffisienter og middelvind i hver celle som er vektet etter forekomst

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Um
0	.01	.01	.02	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
1	4.55	1.72	.16	.13	.00	.03	.03	.07	.06	.34	.33	1.53	
2	1.19	4.23	1.64	.19	.10	.02	.02	.09	.04	.08	.03	.13	
3	.13	1.12	2.96	1.30	.53	.15	.06	.10	.08	.08	.04	.05	
4	.03	.17	.96	2.59	3.88	1.26	.25	.16	.02	.02	.03	.04	
5	.03	.03	.20	.46	2.17	1.12	.28	.22	.03	.02	.00	.01	
6	.03	.02	.11	.10	.43	2.25	.56	.28	.04	.01	.02	.04	
7	.00	.01	.03	.04	.27	2.62	3.32	.46	.08	.02	.00	.01	
8	.01	.01	.03	.03	.03	.85	2.86	4.62	.44	.07	.00	.02	
9	.05	.06	.03	.10	.05	.05	.57	2.11	5.32	1.14	.15	.05	
10	.05	.03	.01	.04	.04	.05	.13	.27	1.30	5.40	1.56	.13	
11	.22	.04	.03	.04	.01	.04	.07	.07	.22	.86	3.97	1.38	
12	1.46	.22	.04	.06	.06	.02	.06	.07	.12	.26	1.86	4.34	
Myken	7.76	7.68	6.21	5.07	7.57	8.46	8.21	8.53	7.77	8.30	7.98	7.72	7.77

Norwegian Meteorological Institute met.no

Vindstatistikk

Betydningen av å måle lenge



- Korte serier gir lite representative data
- Representativiteten øker med datalengden
- Korreksjon kan gjøres ved å utvide rekken ved hjelp av en referansestasjon. Medfører 2 usikkerheter:
 - Usikkerhet ved kombinasjonsmetoden
 - Inhomogen langtidsserie pga. flytting, endret utstyr, endret miljø. Mulighet for lav kvalitet på eldre data, men vær oppmerksom på at også nyere data må vurderes kritisk

Det er da klart at selvstendige serier får en "kritisk" datalengde som avhenger av representativiteten og kvaliteten av referansestasjonen.

Bestemmelser av "kritisk" datalengde er ikke utforsket ennå

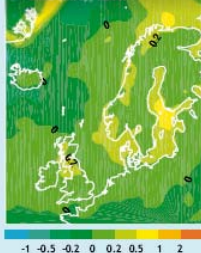
Norwegian Meteorological Institute met.no

Klimaendringer

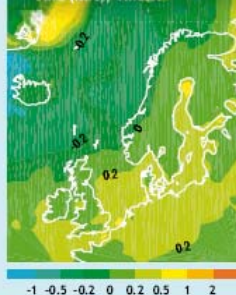


Vind [Figur 13]

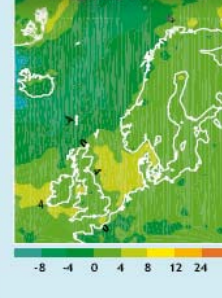
F Økning i døgnetts sterkeste vind (m/s), høst.



G Økning i døgnetts sterkeste vind (m/s), vinter.



H Økt antall døgn per år med vind sterkere enn 15 m/s.



Regclims analyse av vinden i 2071-2100 i relasjon til 1961-90 - normalen

Norwegian Meteorological Institute met.no

Norsk standard NS 3491-4

EKSTREMVINDAANLYSE. GUMBELFORDELING

RETURPERIODE, T OG T-ÅRS VERDI, U_T
 I en lang tidsrekke overskrides en verdi av u, dvs U_T , i gjennomsnitt en gang pr. T år. Da er $P(u > U_T) = 1/T$

$$P(u > U_T) = 1 - p(u \leq U_T) = 1 - F(u) = 1 - e^{-e^{-\alpha(u^a - \mu)}}$$

F(u) med a=1 kalles Gumbelfordeling
 a=2 er nå mest brukt for utsatte stasjoner, a=1-1.5 for mindre utsatte stasjoner. a kan bestemmes fra Weibulfordelingen, der formparameteren kan brukes, for eksempel avrundet til nærmeste 0.5 - verdi

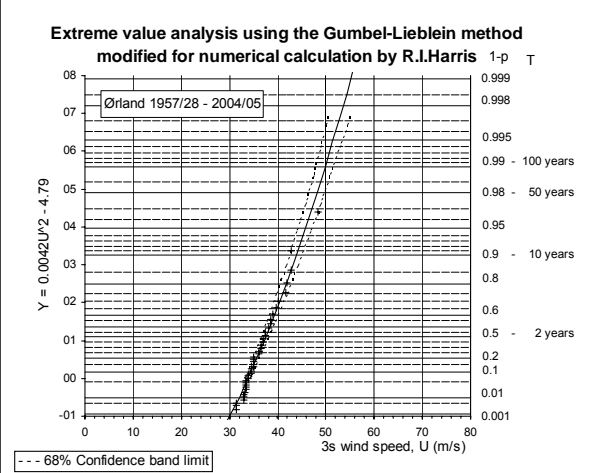
α og μ bestemmes mot en måleserie av årsmaksima, for eksempel ved minste kvadraters metode, sannsynlighetsmaksimering eller Liebleins metode

Norwegian Meteorological Institute met.no

Ekstremvindanalyse, Ørland

År	Max Ug	No	Sortert
1957/58	38.0	1	48.4
1958/59	42.0	2	42.7
1959/60	36.5	3	42.7
1960/61	39.0	4	42.0
1961/62	37.5	5	41.7
1962/63	32.9	6	40.1
1963/64	41.7	7	39.6
1964/65	26.2	8	39.0
1965/66	33.4	9	38.6
1966/67	34.5	10	38.6
1967/68	35.0	11	38.0
1968/69	35.0	12	37.5
1969/70	35.0	13	37.4
1970/71	33.4	14	37.0
1971/72	38.6	15	37.0
1972/73	38.6	16	36.5
1973/74	34.0	17	36.5
1974/75	33.4	18	36.0
1975/76	36.0	19	36.0
1976/77	28.3	20	35.0
1977/78	40.1	21	35.0
1978/79	34.0	22	35.0
1979/80	42.7	23	35.0
1980/81	42.7	24	35.0
1981/82	37.0	25	34.6
1982/83	33.4	26	34.5
1983/84	37.0	27	34.5
1985/86	31.4	28	34.0
1988/89	36.5	29	34.0
1989/90	31.4	30	33.5
1990/91	31.4	31	33.4
1991/92	48.4	32	33.4
1992/93	39.6	33	33.4
1993/94	36.0	34	33.4
1994/95	30.9	35	33.3
1995/96	32.9	36	32.9
1996/97	35.0	37	32.9
1997/98	28.3	38	32.9
1998/99	34.6	39	31.4
1999/00	33.5	40	31.4
2000/01	33.3	41	31.4
2001/02	37.4	42	30.9
2002/03	35.0	43	28.8
2003/04	32.9	44	28.3
2004/05	34.5	45	26.2

Extreme value analysis using the Gumbel-Lieblein method modified for numerical calculation by R.I.Harris



p	0.5	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01
T	2	5	10	20	25	50	100 years
U	35.1	38.8	41.1	43.1	43.7	45.6	47.4 m/s

Norwegian Meteorological Institute met.no



- met.no's hovedrolle i vindkraftsammenheng:

- Skaffe til veie og stille til rådighet gode observasjoner
- Kombinere numeriske varslingsmodellberegninger med observasjoner for Norge og tilgrensende havområder
- Derved kartlegge vindklimatologien for Norge på en regelmessig måte og med høy kvalitet,
- egnet for anvendelse i spesialstudier.
- met.no kan utføre F&U-prosjekter som bidrar til å heve kvaliteten eller omfanget på datagrunnlaget for vindkraftvurderinger i Norge.

Norwegian Meteorological Institute met.no



- met.no kan levere tjenester i vindkraftsammenheng:

- Dataleverandør
- Prevurdering av områder
- Kobling mot referansestasjoner
- Ekstremvindanalyse
- Isingsvurdering - kjøring av skyismodeller
- Finskalamodellering
- Klimaendringer

Norwegian Meteorological Institute met.no

Vindtunnelstudie av terrengmodell

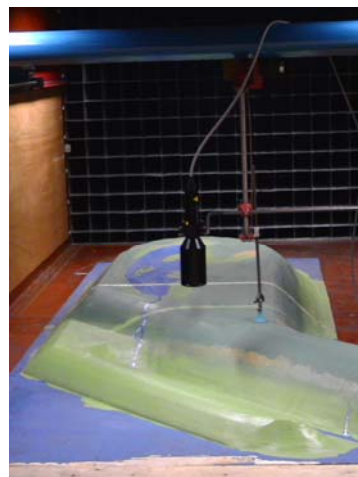
Kjersti Røkenes
PhD student, Strategisk Vindkraftprogram 2003-2007

Institutt for energi- og prosesseteknikk
Veileder: Per-Åge Krogstad

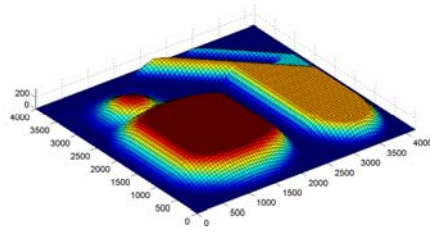
Vindkraft FoU Seminar, 27. januar 2006

Innhold

- Terrengmodellen
- Hva er målt?
 - Terrengvarianter
 - Måleteknikk
 - Tilgjengelige størrelser
- Eksempler på resultater
- Status og konklusjon



Terrengmodell



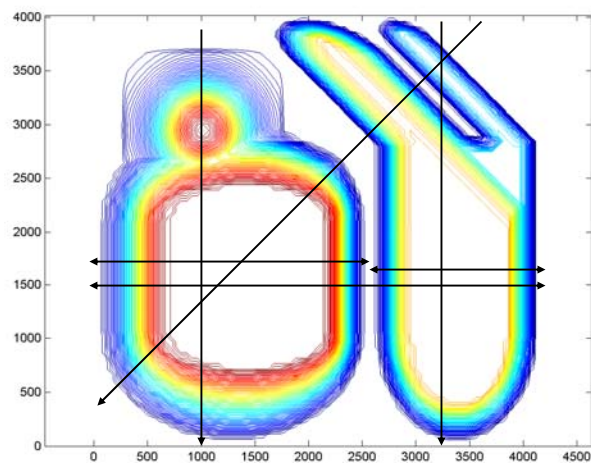
- Generisk
 - Trekk fra aktuelle steder for vindparker
- 4m x 4m x 0.35m
- Skala 1:1000
- Moduler
 - Tilnærmet 2D
 - 3D

2006-01-30

Kjersti Røkenes - Vindtunnelstudie av terrengmodell

3

Måleretninger - totalt 9 varianter

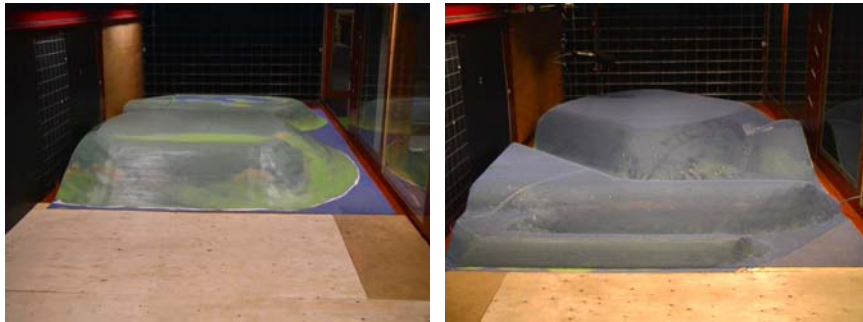


2006-01-30

Kjersti Røkenes - Vindtunnelstudie av terrengmodell

4

Bilder - 2 måleretninger



2006-01-30

Kjersti Røkenes - Vindtunnelstudie av terrengmodell

5

Målte størrelser

- Laser Doppler Anemometry (LDA)
 - Røykpartikler
 - 2 hastighetskomponenter
- Instantanverdier
 - 50-60000 per målepunkt
 - 40 punkter per profil
- Noen beregnede størrelser i hvert punkt
 - Middelhastigheter (U og V)
 - Standardavvik (σ_u og σ_v)
 - Reynoldsspenninger

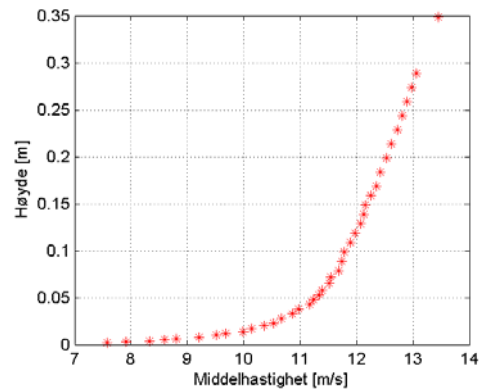
2006-01-30

Kjersti Røkenes - Vindtunnelstudie av terrengmodell

6

Innkommende hastighetsfelt

- Vind over hav
- Generert av spir
- Power-law
 - $\alpha \sim 0.10$
- Log-law
 - $z_0 \sim 0.003\text{m}$
 - $u_* \sim 0.5\text{m/s}$



2006-01-30

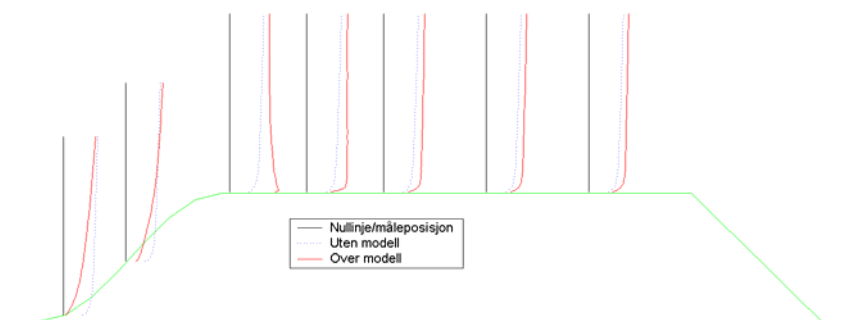
Kjersti Rokenes - Vindtunnelstudie av terrengmodell

7

Resultater I

- -2D fjell
- avrundet kant
- middelhastighet

U - middelverdi horisontal hastighetskomponent



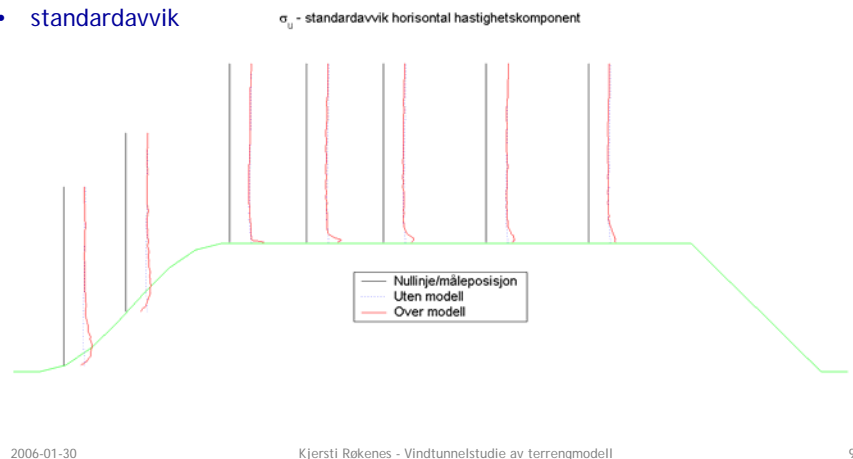
2006-01-30

Kjersti Rokenes - Vindtunnelstudie av terrengmodell

8

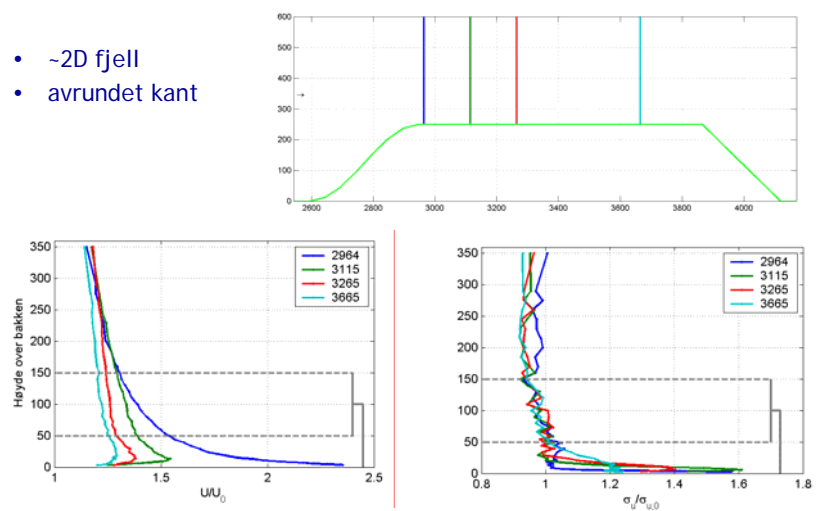
Resultater II

- ~2D fjell
- avrundet kant
- standardavvik



Resultater III

- ~2D fjell
- avrundet kant



Resultater IV

- ~2D fjell
- avrundete kanter
- middelhastighet



2006-01-30

Kjersti Rokenes - Vindtunnelstudie av terrengmodell

11

Resultater V

- ~2D fjell
- avrundete kanter
- standardavvik



2006-01-30

Kjersti Rokenes - Vindtunnelstudie av terrengmodell

12

Status og konklusjon

- Eksperimenter ferdige
 - 9 terrengvarianter grundig målt
 - 1 av terrengvariantene også studert med
 - Ruhet på modellen
 - Ruhet på modell og i innløp
- ➔ Store mengder data for strømning over komplekst terreng foreligger!

SINTEF Energiforskning AS
Adresse: 7465 Trondheim
Telefon: 73 59 72 00

SINTEF Energy Research
Address: NO 7465 Trondheim
Phone: + 47 73 59 72 00