

■ www.energy.sintef.no ■



Rapporten er utarbeidet i samarbeid med:





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

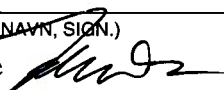

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Vindkraft FoU Seminar – vinn eller forsvinn?
25. – 26. januar 2007**

SAKSBEARBEIDER(E)

John Olav Tande 

OPPDRAKSGIVER(E)

TR NR. TR A6484	DATO 2007-02-06	OPPDRAKSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR. 12X27801
EL. ARKIVKODE 070206RHA943	RAPPORTTYPE	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.) John Olav Tande 	GRADERING Åpen
ISBN NR. 972-82-594-3201-8		FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.) Petter Støa 	OPPLAG SIDER 10 365
AVDELING SINTEF Energiforskning AS	BESØKSADRESSE Sem Sælands vei 11		LOKAL TELEFAKS 73 59 72 50

RESULTAT (sammendrag)

Denne rapporten gjengir presentasjoner fra Vindkraft FoU seminar 25-26 januar 2007 i Trondheim. Seminaret er en oppfølging på tilsvarende arrangert i 2004, 2005 og 2006, og er etablert som en viktig møteplass for alle norske vindkraftaktører. Følgende tema er presentert:

- Energi for fremtiden / Vindkraft i Norge
- Vindteknologi
- Nettintegrasjon
- Offshore
- Vind & Ising

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

STIKKORD

EGENVALGTE

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 PROGRAM	4
2 DELTAKERLISTE	6
 PRESENTASJONER	
Energi for fremtiden / Vindkraft i Norge	
Energipolitikk og vindkraft, Hans Magne Ådland, EBL.....	8
Lavslipputvalget – tiltak mot klimautslipp, Dir. Lasse Nord, Norsk Hydro ASA.....	14
Næringsutvikling knyttet til vindkraft, Adm.dir. Torbjørn Skjerve, NTE	24
Vindkraft – flopp eller realisme? John Olav Tande, SINTEF Energiforskning.....	30
EU Wind Technology Platform, John Olav Tande, SINTEF Energiforskning	40
Kan vindkraft bidra til å løse kraftkrisen? Magnus Korpås, SINTEF Energiforskning.....	43
Satsing på vindkraft – et sjansespill? Knut Mollestad, Statkraft	53
Internasjonalisering av norsk vindkraft, vinn-vinn eller forsvinn-forsvinn, Tor Muhlbradt, Innovasjon Norge.....	66
Vindkraft – en av klimaløsningene: Norge må satse nå! Ane Hansdatter Kismul, NORWEA	75
Vindteknologi	
Blader og driftstrategier for store vindturbiner, Andreas Knauer, IFE.....	85
Siemens Vindteknologi, Einar Røset, Siemens	97
Hydraulisk gir for vindkraftverk, Prof. Ole Gunnar Dahlhaug	114
Individuell pitch av vindturbinblader, Fredrik Sandquist, PhD student NTNU	125
SmartGenerator – utvikling av ny generatorteknologi for vindkraftverk, Prof. Robert Nilssen, NTNU	138
Drift og vedlikeholdsoppfølging av vindkraftverk, Arnt O. Eggen, SINTEF Energiforskning.....	154
Nettintegrasjon	
Nettutvikling for innfasing av ny produksjon – utfordringer ved integrasjon av vindkraft, Øyvind Bergvoll, Statnett	171
Modellering av vindkraftverk, John Olav Tande, SINTEF Energiforskning	180
Ny balanseavregning, Balanseansvar & Elbas, Jan Hystad, Statnett	188
Dobbeltmata asynkronmaskin under transiente spenningsforhold, Bjarne Næss, PhD Student NTNU	196
Demping av kraftsystemsvingninger ved aktiv bruk av vindparkkontroll, Jarle Eek, PhD Student NTNU..	203
Grid Codes and Wind Power Integration, Giuseppe Di Marzio, PhD student NTNU	213
Issues of Wind Power Integration into the Power Network, Post Doc Marta Molinas, NTNU	229
Offshore	
Design av flytende vindmøller, Eystein Borgen, SWAY	241
Bunnfaste turbiner på dypt vann, Per Haugsøen, OWEC Tower AS	252
Kabelteknologi for offshore vindkraft, Georg Balog, Nexans	259
Vindkraft for forsyning av oljeplattformer, Terje Lauvdal, Hydro	274
Modellering av flytende vindturbiner, Thomas Fuglseth, PhD student NTNU	280

A comparison of tubular and truss towers, Haiyan Long, Phd student NTNU	290
Vind og ising	
Beregning av vindkraftproduksjonen ved ising, Lars Tallhaug, Kjeller Vindteknikk	298
Bruk av tungregnemodeller for evaluering av vindforhold, Torbjørn Utnes, SINTEF IKT	305
Kartlegging av offshore vindforhold ved bruk av satelittobservasjoner, Charlotte Hasager, Forskningssenter Risø	316
Optimalisering av energiproduksjonen, Arne Reidar Gravdahl, WindSim AS	332
Vindkartlegging i komplekst terreng, Ove Undheim, Kjeller Vindteknikk Og Ivar Lie, Storm Weather Center	345

Vindkraft FoU Seminar – vinn eller forsvinn?	
25-26 januar 2007, Royal Garden Hotell, Kjøpmannsgata 73, Trondheim	
	Torsdag 25 Januar
09.00	Registrering & kaffe/mineralvann
	Energi for Fremtiden - Ordstyrer: Prof. Terje Gjengedal, Statkraft/NTNU
10.00	Åpning og velkommen ved ordstyrer
10.10	<i>Energipolitikk og vindkraft</i> , Hans Magne Ådland, EBL
10.30	<i>Lavutslippsutvalget – tiltak mot klimautslipp</i> , Dir. Lasse Nord, Norsk Hydro ASA
10.50	<i>Næringsutvikling knyttet til vindkraft</i> , Adm. Dir. Torbjørn Skjerve, NTE
11.10	<i>Vindkraft – flopp eller realisme?</i> , John Olav Tande, SINTEF Energiforskning
11.40	Lunsj
	Parallelle sesjoner
	A) Vindteknologi Ordstyrer: Prof. Per Finden, IFE/NTNU
	B) Nettintegrasjon Ordstyrer: Prof. Olav Fosso, NTNU
13.00	Innledning ved ordstyrer
13.10	<i>Blader og driftstrategier for store vindturbiner</i> Andreas Knauer, IFE
13.40	<i>Siemens Vindteknologi</i> Einar Røset, Siemens
14.10	<i>Hydraulisk gir for vindkraftverk</i> Prof. Ole Gunnar Dalhaug, NTNU
14.40	<i>Test og utvikling av bladmaterialer</i> Jørg Høyland, PhD student NTNU
14.55	<i>Individuell pitch av vindturbinblader</i> Fredrik Sandquist, PhD student NTNU
15.10	Pause med lett servering
15.40	<i>SmartGenerator - utvikling av ny generatorteknologi for vindkraftverk</i> Prof. Robert Nielsen, NTNU
16.10	<i>Drift og vedlikeholdsoppfølging av vindkraftverk</i> Arnt O Eggen, SINTEF Energiforskning
16.40	Diskusjon og oppsummering
17.00	Pause // Møte vedr EU Wind Technology Platform
18.00	Middag



Vindkraft FoU Seminar – vinn eller forsvinn? 25-26 januar 2007, Royal Garden Hotell, Kjøpmannsgata 73, Trondheim		
Fredag 26 Januar		
Parallele sesjoner		
	C) Offshore Ordstyrer: Prof. Geir Moe, NTNU	D) Vind og ising Ordstyrer: Erik Berge, Kjeller Vindteknikk
09.00	Innledning ved ordstyrer	Innledning ved ordstyrer
09.05	<i>Design av flytende vindmøller</i> Eystein Borgen, SWAY	<i>Beregning av vindkraftproduksjonen ved ising</i> Lars Tallhaug, Kjeller Vindteknikk
09.25	<i>Bunnfaste turbiner på dypt vann</i> Per Haugsøen, OWEC Tower AS	<i>Bruk av tungregnemodeller for evaluering av vindforhold</i> Torbjørn Utnes, SINTEF IKT
09.45	<i>Kabelteknologi for offshore vindkraft</i> Georg Balog, Nexans	<i>Kartlegging av offshore vindforhold ved bruk av satellittobservasjoner</i> Charlotte Hasager, Forskningscenter Risø
10.15	<i>Vindkraft for forsyning oljeplattformer</i> Terje Lauvdal, Hydro	<i>Optimalisering av energiproduksjonen,</i> Arne Reidar Gravdahl, WindSim AS
10.35	<i>Modellering av flytende vindturbiner</i> Thomas Fuglseth, PhD student NTNU	<i>Vindkartlegging i komplekst terreng</i> Ove Undheim, Kjeller Vindteknikk, og Ivar Lie, Storm Weather Center
10.50	<i>A comparison of tubular and truss towers</i> Haiyan Long, PhD student NTNU	
11.00	Diskusjon og oppsummering	Diskusjon og oppsummering
11.10	Pause med lett servering	
Vindkraft i Norge – Ordstyrer: Prof. Terje Gjengedal, Statkraft/NTNU		
11.40	Innledning ved ordstyrer	
11.45	<i>Kan vindkraft bidra til å løse kraftkrisen?</i> , Magnus Korpås, SINTEF Energiforskning	
12.10	<i>Satsing på vindkraft – et sjansespill?</i> , Knut Mollestad, Statkraft	
12.30	<i>Internasjonalisering av norsk vindkraft, vinn-vinn eller forsvinn-forsvinn</i> Tor Muhlbradt, Innovasjon Norge	
12.50	<i>Vindkraft - en av klimaløsningene: Norge må satse nå!</i> Ane Hansdatter Kismul, NORWEA	
13.20	Oppsummering ved ordstyrer	
13.30	Lunsj / Slutt	



Vindkraft FoU Seminar – Vinn eller forsvinn!
Deltakerliste, Vindkraftseminar 25. – 26. januar 2007, Royal Garden Hotel

Navn:	Firma:	Email
Balog, Georg	Nexans	'georg.balog@nexans.com'
Bekkelund, Per Halvor	Rambøll Norge AS	per.halvor.bekkelund@ramboll.no
Berg, Jon Trygve	Sarsia Seed Management AS	jon@sarsia.com
Berge, Erik	Kjeller Vindteknikk	Erik.Berge@ife.no
Bergvoll, Øyvind	Statnett	'oyvind.bergvoll@statnett.no'
Bertling, Lina	KTH	lina.bertling@ee.kth.se
Birkeland, Jan Petter	Statkraft Development	jan.petter.birkeland@statkraft.com
Bjørge, Åge	Statkraft Energi AS	aage.bjorge@statkraft.com
Borgen, Eystein	SWAY AS	eb@sway.no
Bratland, Sjur	Norsk Hydro	sjur.bratland@hydro.com
Breton, Simon-Philippe	NTNU (student)	simon.breton@ntnu.no
Dahl, Pål Anders	NTE	paal.dahl@nte.no
Dahlhaug, Ole Gunnar	NTNU	ole.g.dahlhaug@ntnu.no
Dalbu, helge	NTE	helge.dalbu@nte.no
Di Marzio, Giuseppe	NTNU	giuseppe.di.marzio@elkraft.ntnu.no
Dirdal, Harald	Havgul AS	Harald.dirdal@havsul.no
Eek, Jarle	NTNU	jarle.eek@elkraft.ntnu.no
Eggen, Arnt O.	SINTEF Energiforskning AS	arnt.eggen@sintef.no
Eklund, Helge M.	Troms Kraft Produksjon AS	Helge.eklund@tromskraft.no
Finden, Per	IFE	per.finden@ife.no
Fosso, Olav	NTNU	olav.fosso@elkraft.ntnu.no
Frantzen, Erik	Såheim kraftverk	erik.frantzen@hydro.com
Fuchs, Ida	NTNU (student)	
Fuglseth, Thomas	NTNU	thomas.fuglseth@elkraft.ntnu.no
Furusest, Åsmund	Chapdrive AS	asmundfu@stud.ntnu.no
Gjengegdal, Terje	Statkraft / NTNU	terje.gjengedal@statkraft.com
Gravdahl, Arne Reidar	WindSim AS	arne@windsim.com
Greiner, Christopher Johan	NTNU Elkraftteknikk	christopher.greiner@elkraft.ntnu.no
Gulliksen, Christian	Hydro Oil & Energy	christian.gulliksen@hydro.com
Gärtner, Trond	Statkraft Development AS	trond.gaertner@statkraft.com
Hagstrøm, Espen	Statkraft Development	espen.hagstrom@statkraft.com
Hanson, Tor D.	Hydro Olje & Energi	tor.david.hanson@hydro.com
Hasager, Charlotte	Forskningssenter Risø	Charlotte.hasager@risoe.dk
Haugstøen, Per	OWEC Tower AS	per@owectower.no
Hestevik, Svein	SmartGenerator AS	svein@smartmotor.no
Heyden, Harald v.	EGL Nordic AS	Harald.vonHeyden@EGL-Nordic.com
Hjorth, Lars Erik	SWECO Grøner AS	lars-erik.hjorth@sweco.no
Holstad Astrid	Storm Weather Center	astholst@online.no
Hystad, Jan	Statnett	jan.hystad@statnett.no
Høiseth, Mette K.jelstad	SINTEF Energiforskning AS	mette.k.hoiseth@sintef.no
Høyland, Jørg	NTNU	jorg.hoyland@ntnu.no
Hågå, Jan C	Statkraft Development AS	jan.haga@statkraft.com
Haarberg, Per Olav	NTNU	trpoh@online.no
Håvik, Astrid	BKK Rådgiving AS	astrid.havik@bkk.no
Idland, Fredrik	SmartMotor AS	fredrik@smartmotor.no
Iversen, Viggo	ENOVA SF	
Karstad, Per Ivar	NTNU (student)	Per.ivar.karstad@sintef.no
Kismul, Ane Hansdatter	NORWEA	ane@norwea.no
Knauer, Andreas	IFE	andreas.knauer@ife.no
Kolstad, Ulf	Statnett SF	Ulf.kostad@statnett.no
Konsmo, Geir	Hydro Oil & Energy	geir.konsmo@hydro.com
Korpås, Magnus	SINTEF Energiforskning AS	Magnus.korpas@sintef.no
Krøvel, Øystein	NTNU (student)	oystein.krovel@elkraft.ntnu.no
Kvamsdal, Trond	SINTEF IKT	trond.kvamsdal@sintef.no
Kvittem, Marit Irene	NTNU (student)	

Lang, Andrea	KTH	Andrea.lang@ee.kth.se
Langeland, Tore	Statnett SF	tore.langeland@statnett.no
Larssen, Marit	NTNU (student)	maritlar@stud.ntnu.no
Lauvdal, Terje	Hydro Olje & Energi	terje.lauvdal@hydro.com
Leirbukt, Albert	ABB AS	albert.leirbukt@no.abb.com
Lie, Ivar	Storm Weather Center	'ivar.lie@storm.no'
Lohre, Lasse Henning	Norsk Hydro ASA	Lasse.Lohre@hydro.com
Long, Haiyan	NTNU	haiyan.long@ntnu.no
Lorås, Kåre	TrønderEnergi Kraft AS	kl@tronderenergi.no
Lund, Torkjell	Nordkraft AS	tl@narvik-energi.no
Lundseng, Oddvar	NTE	oddvar.lundseng@nte.no
Løvseth, Jørgen	NTNU	jorgen.lovseth@ntnu.no
Moe, Geir	NTNU Inst. for bygg, anlegg og transport	geir.moe@ntnu.no
Molinas, Marta	NTNU	marta.molinas@elkraft.ntnu.no
Mollestad, Knut	Statkraft Development AS	knut.andreas.mollestad@statkraft.com
Mork, Rune Kristian	Statnett SF	rune.mork@statnett.no
Mygland, Gunn Vigdis	NTE	vigdis.mygland@nte.no
Mühlbradt, Tor	Innovasjon Norge	tor.muhlbradt@innovasjon norge.no
Nielsen, Finn Gunnar	Hydro Olje & Energi	Finn.Gunnar.Nielsen@hydro.com
Nilssen, Robert	NTNU	robert.nilssen@elkraft.ntnu.no
Noddeland, Børge	NTNU (student)	noddelan@stud.ntnu.no
Nord, Lasse	Norsk Hydro ASA	Lasse.Nord@hydro.com
Nygaard, Tor Anders	UMB	tor.anders.nygard@umb.no
Næss, Bjarne Idsøe	Unitech Power Systems AS	bjarne@unitech.no
Ottersen, Øyvind	Agder Energi Produksjon	oyvind.ottersen@ae.no
Paulsen, Marianne K.	Hydro Olje & Energi	marianne.paulsen@hydro.com
Pedersen, Theis H.	Vestas Northern Europe AS	thpe@vestas.com
Reiersølmoen, Trond Arild	Agder Energi Produksjon	trondari@stud.ntnu.no
Reigstad, Tor Inge	NTNU (student)	toringr@stud.ntnu.no
Rikheim, Harald	Norges forskningsråd	hri@forskningsradet.no
Rypestøl, Ole-Martin	Agder Energi Produksjon	olemarr@stud.ntnu.no
Røkke, Astrid	NTNU (student)	astridr@stud.ntnu.no
Røset, Einar	Siemens	Einar.roset@sintef.no
Sandquist, Fredrik	NTNU	fredrik.sandquist@ntnu.no
Skauen, Nils Reidar	Transtech AS	nils.skauen@transtech.no
Skjerve, Torbjørn	NTE	Torbjorn.skjerve@nte.no
Skjølvsvik, Kjell Olav	Enova SF	kjell.olav.skjolvsvik@enova.no
Skorpen, Per Ove	Rambøll AS	per.ove.skorpen@ramboll.no
Skyberg, Berit	Statnett SF	Berit.skyberg@statnett.no
Stensby, Kjell Erik	NVE	kest@nve.no
Stormyr, Åse	Statkraft AS	ase.stormyr@statkraft.com
Stubbe, Bjørn Rune	NTE Nett AS	Bjorn.Rune.Stubbe@nte.no
Suul, Jon Are	SINTEF Energiforskning AS	Jon.A.Suul@sintef.no
Svalheim, Stig Magne	Lyse Produksjon AS	stig.svalheim@lyse.no
Tallhaug, Lars	Kjeller Vindteknikk	lars.tallhaug@vindteknikk.no
Tande, John Olav	SINTEF Energiforskning AS	john.o.tande@sintef.no
Thiringer, Torbjørn	Chalmers Tekniska Högskola	torbjorn.thiringer@chalmers.se
Toftevaag, Trond	SINTEF Energiforskning AS	trond.toftevaag@sintef.no
Trollnes, Sverre	Norsk Hydro	
Undeland, Tore	NTNU Elkraftteknikk	Tore.Undeland@elkraft.ntnu.no
Undheim, Ove	Kjeller Vindteknikk	ove.undheim@vindteknikk.no
Vinje, Jan-Erik	NTNU (student)	janerivi@stud.ntnu.no
Vogstad, Klaus-Ole	Agder Energi Produksjon	klaus-ole.vogstad@ae.no
Vårlid, Jostein	Lyse Produksjon AS	jostein.varlid@lyse.no
Wøien, Anne Tingelstad	OED	
Øvrebø, Sigurd	SmartMotor AS	sigurd@smartmotor.no
Ådland, Hans Magne	EBL	HansMagne.Adland@ebl.no
Aase, Perry	Tafjord Kraftproduksjon AS	Perry.aase@tafjord-kraft.no

Energipolitikk og vindkraft

Hans Magne Ådland – hma@ebl.no / 480 95 884

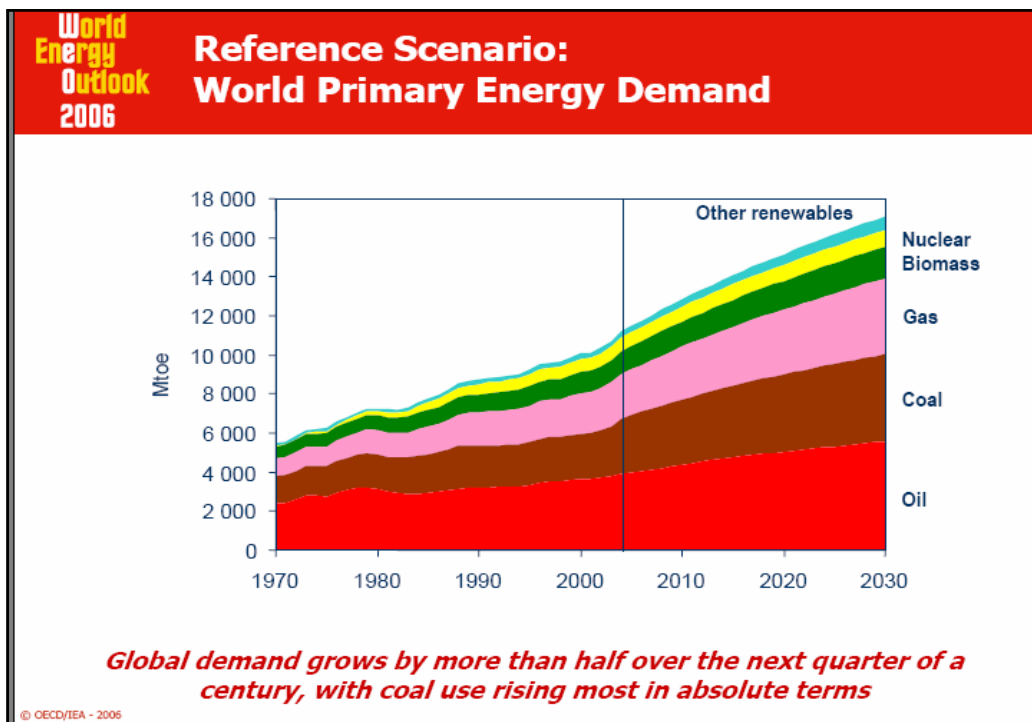
EBL – drivkraft i utviklingen av Norge som energinasjon



Oversikt

- Det store biletet – forholdet mellom energi og miljø
 - Aukende energiforbruk
 - Større krav til sikker forsyning
 - Strengere miljøkrav
- Utfordringar i Norge
- Utfordringar for vindkraft i Norge





Klimautfordringa: Stern-rapporten

Konsentrasjon i atmosfæren

- I dag: 430 ppm CO₂ i atmosfæren
- Må truleg stabiliserast på 450 – 550ppm
- CO₂ -nivået aukar meir for kvart år. Vi kan nå 550 ppm allereie i 2035.

Utslipp

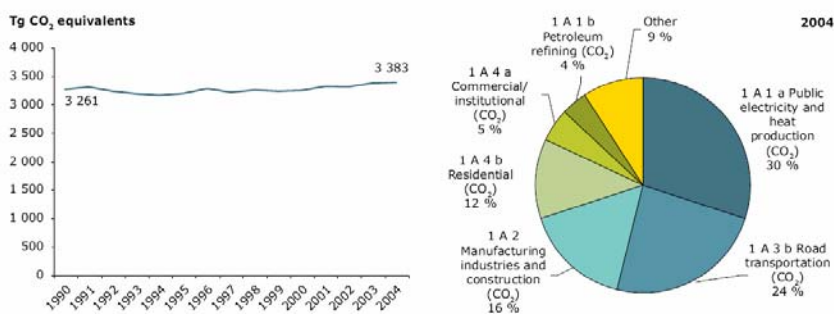
- Må reduseres med 25 % i forhold til dagens nivå – eller vesentleg meir for å få lågare risiko for store problem

Kostnader

- Uten tiltak: 5-20 % av det globale BNP
- Med tiltak: 1 % av globalt BNP

Energi er nøkkelen

Figure 3.1 EU-15 GHG emissions for 1990–2004 from CRF Sector 1: 'Energy' in CO₂ equivalents (Tg) and share of largest key source categories in 2004



Nok energi – låge utslepp

Utfordringane er store. Tiltaka vil kosta enorme beløp. Effektiviteten blir difor svært viktig. Tiltaka må ikkje koma i vegen for kvarandre

Tiltak

- Auka bevissthet om energibruk – meir effektiv bruk
- Kvotesystem for klimagassar
- Meir fornybar energi
 - Teknologinøytralitet
- Teknologeutvikling
 - nye produksjonsformer m.m.
 - meir effektiv energibruk
 - CO₂-handtering

Korleis skal vi nå denne utviklinga?

- Vi treng investeringar i ny energiforsyning no – men usikkerhet rundt rammevilkår påvirkar investor
 - Eksempel: Kraftmarknaden fall etter at CO₂-marknaden kollapsa i april 2006 – på grunn av handtering av utsløppsinformasjon
 - Eksempel: Korleis blir EUs klimapolitikk etter 2012 – og kva betyr det for energimarknadene?
 - Produksjons- overføringsanlegg har lange ledetider – og det har også forbrukarsida (hus, industrianlegg, etc)
- Miljøpolitiske utfordringar er initiert av politiske mål – samspelet mellom politikk og industri vert svært viktig
 - Nasjonalt – for å nå nasjonale mål
 - Europeisk – fordi marknadene heng saman
 - Globalt – fordi rettferdig byrdefordeling er nødvendig på lang sikt
- Vil vi ha omlegging i dag, treng vi både effektive energimarknader og insentivordningar

Løysinga er samansett

- Vi leiter ikkje etter ei løysing, men mange – energipolitikken må legga til rette for det
 - Ny fornybar teknologi
 - Samspel mellom elektrisitet og ulike varmeløysingar
 - Meir bruk av moden fornybar teknologi – vatn, vind, biomasse
 - Meir effektiv energibruk
 - CO₂-deponering
 - Kjernekraft (...)
- Ny teknologi og høgare energiprisar vil gje større fokus på effektiv systemdrift
- Vi treng velfungerande marknader
 - Utnytta ulike nasjonale fortrinn – og for å få effektiv systemdrift
 - Størst mogleg økonomisk effektivitet – for å gje lågast mogleg kostnader
- Meir fornybar energi gjev auka press på naturressursar – vi må handtera det på ein god måte
- Energipolitikken må ikkje plukka enkelte løysingar, men legga til rette for effektivt samspel

Vindkraft

- Vindkraft er ein del av løysinga
- Potensialet i Norge er stort – store areal og god vind
- Det norske kraftsystemet kan handtera betydelege mengder vindkraft – og er allereie viktig for dansk og tysk vindkraft
- Dagens sterke globale vekst innan vindkraft skapar interesse for teknologisk utvikling
 - Nye materiale, nye elektrotekniske og mekaniske løysingar
 - Meir effektiv systemintegrasjon
 - Offshore-anlegg
 - Reduserte negative konsekvensar

Dagens situasjon for vind i Norge

- Stor fokus på støtteordningar – viktig på kort sikt for å skapa investeringar
 - Andre land har vesentleg betre ordningar – og får investeringar
 - Utbygging av betydning i Norge krev høgare støtte – eller endra forventningar til kraftpris og utbyggingspris
 - Finansieringa som er foreslått i Norge, er ei utfordring – både ramma og forhold til statsstøtteregeleverk
- Stort fokus på lokale konsekvensar – konfliktnivået varierer sterkt
- Grensa for vind er på lengre sikt ikkje gitt av støttenivå el.l., men av kor mykje det er mogleg å få lov til å bygga
 - Naturvernomsyn
 - Popularitet hjå folk flest
- Kommunikasjon og informasjon er på lang sikt like viktig som teknikk og økonomi

Oppsummering

- Vi har eit problem – og mange løysingar
- Vindkraft er ei av løysingane
- Vi treng ein politikk som legg til rette for at vi finn dei gode løysingane – og tek dei i bruk
 - Effektive energimarknader
 - Politiske rammevilkår som skapar rom for omstilling
 - Vilje til omstilling hjå energiindustri, anna næringsliv, folk flest
 - Forsking – meir effektiv bruk av energi, meir effektiv drift av energisystem, nye energikjelder, rensing av utslipp frå konvensjonelle kjelder
- Kostnadseffektivitet er avgjerande viktig for å nå miljøpolitiske mål – og for å skapa langsiktig industriell utvikling



Vind, vann, sol, varme, bølge, bio, gass
– fremtiden blir mangfoldig

EBL organiserer bedriftene som produserer, transporterer og selger energi. Fremtidens energi

EBL – drivkraft i utviklingen av Norge som energinasjon



EBL
Energibriftenes landsforening



NOU 2006:18 Et klimavennlig Norge –

Lavutslippsutvalgets rapport

Jørgen Randers
4. oktober 2006

Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no

Lavutslippsutvalgets mandat

Utvalget ble bedt om å:

- Utrede hvordan Norge kan redusere de nasjonale utslippene av klimagasser med 50 - 80 % på lengre sikt.
- Skissere scenarier hvor de nasjonale utslippene reduseres med 50 - 80 % innen 2050.
- Vurdere potensialet for utslippsreduksjoner i alle relevante sektorer.
- Ha bred kontakt og dialog med det sivile samfunn.
- Inkludere relevante fagmiljøer aktivt i prosessen.
- Presentere resultatet i en NOU innen 18 måneder.

Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no

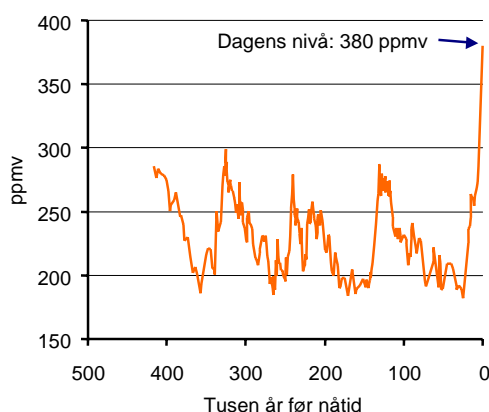
Mandat-tolkning

- **Utvalget valgte å studere:**

- alle **de seks Kyoto-gassene** (karbondioksid, metan, lystgass og tre fluorforbindelser)
- i forhold til **Norges Kyoto-forpliktelse** (utslippet i 1990 pluss 1 prosent, altså 50,3 MtCO₂-ekv/år)
- utslippet **fra norsk territorium**
- med utgangspunkt i at dagens utslipp er 54 MtCO₂-ekv/år (ca 10 % over Kyoto-forpliktelsen)

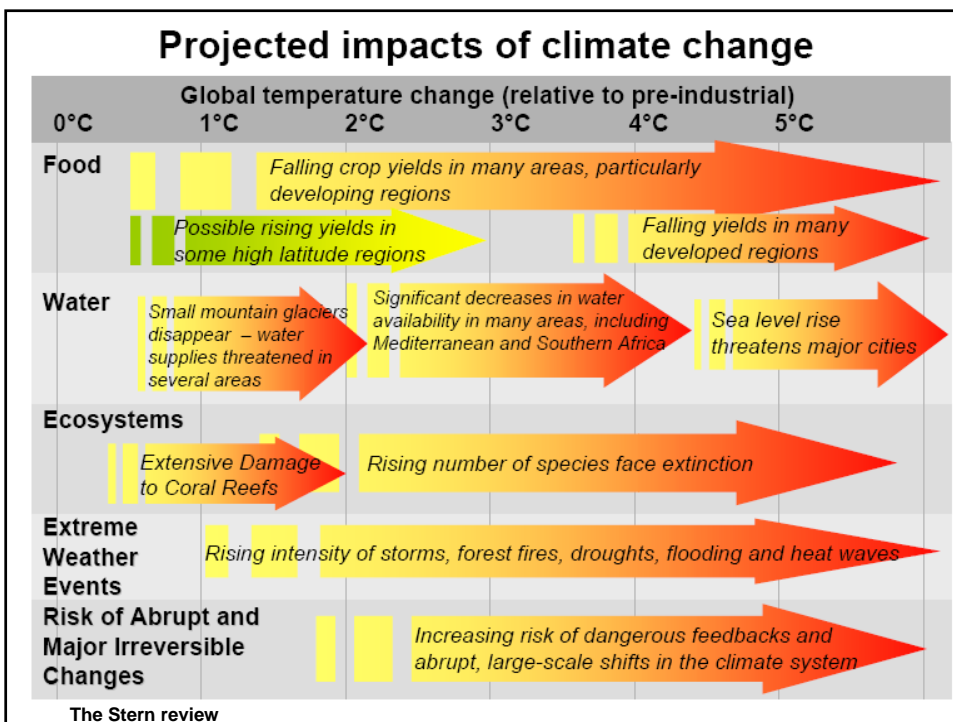
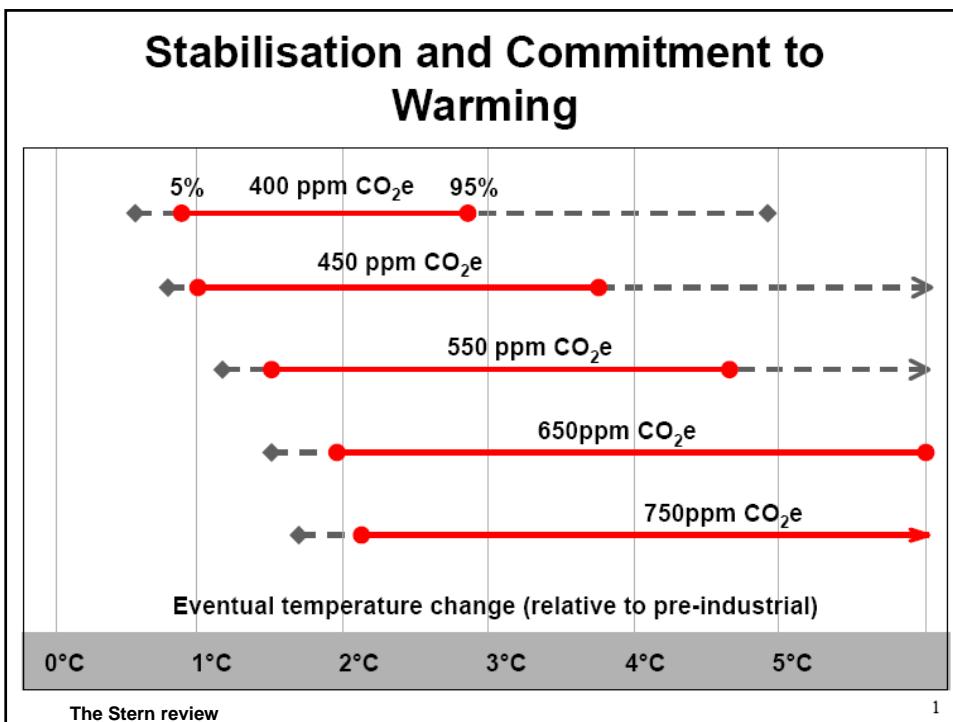
Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no

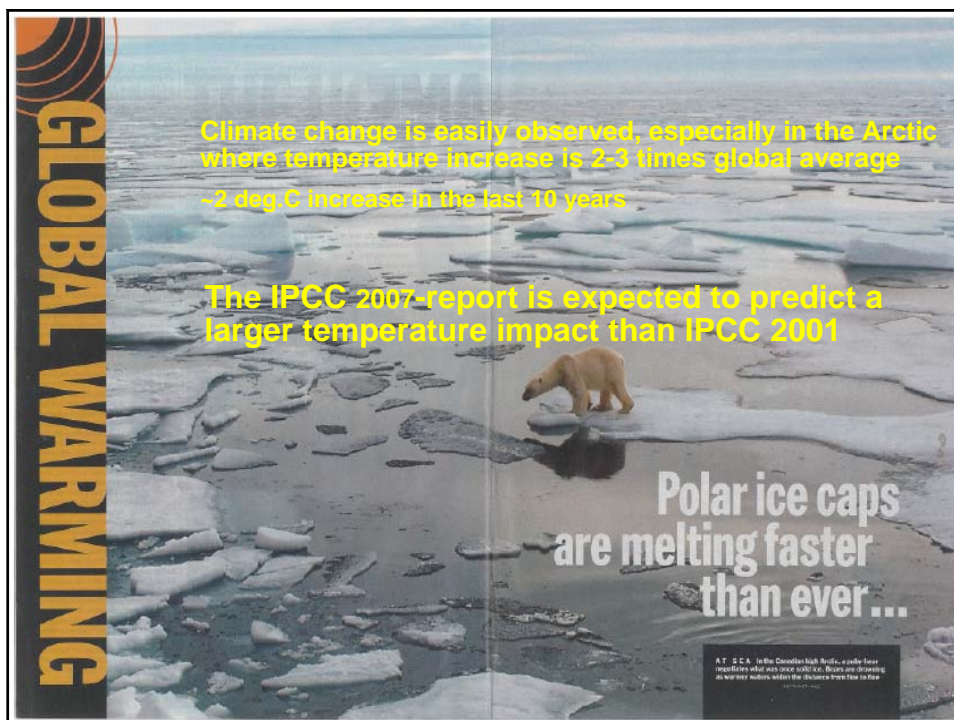
Konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren



- Høyere enn på 450.000 år
- Sannsynligvis høyest på mer enn 1 million år!
- Gryende enighet i progressive land om behovet for å redusere klimagassutslippet med 50 - 80 prosent

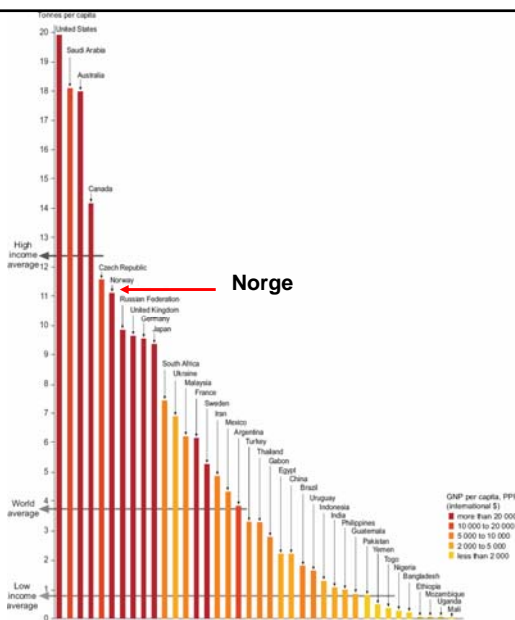
Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no





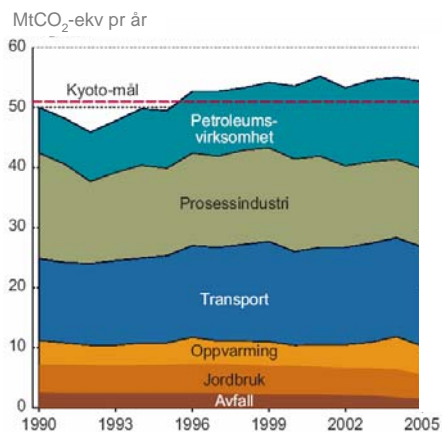
Hvorfor...Norge?

- De rike land har mye av ansvaret for dagens situasjon.
- Det er rimelig at de rike land går foran.
- Hvis ikke stenrike Norge, hvem?
- Andre progressive land er i gang.
- Det kan være fremtidsrettet næringspolitikk å være tidlig ute.
- "Alle" land er små.



Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no

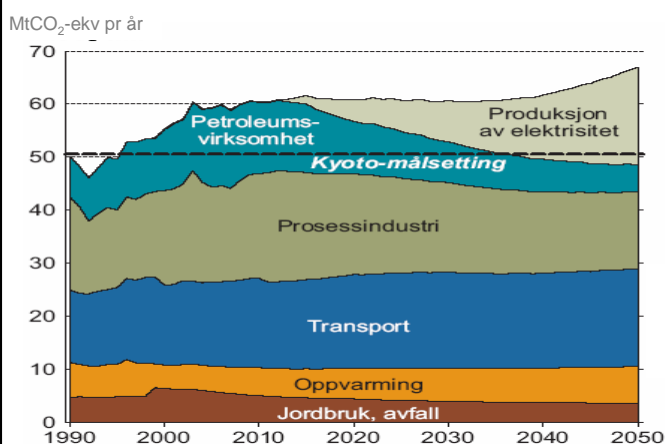
Norges historiske utslipp av klimagasser



- De 6 Kyoto-gassene, fra norsk territorium. Ca 80 % er CO₂, 10 % metan og 10 % lystgass
- Utslippene fra petroleumssektoren og transport har vokst mest
- Utslippene fra prosessindustrien og avfallsdeponiene er redusert

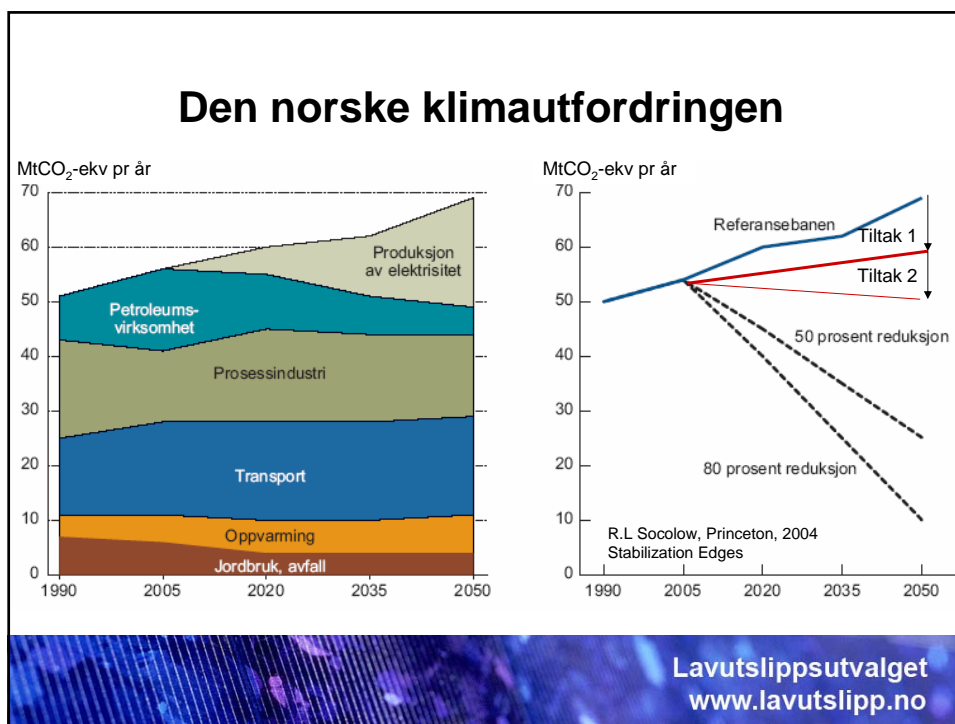
Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no

”Referansebanen” til 2050



- Resultatet om Norge ikke foretar seg noe spesielt
- Utslippene øker med cirka 40 prosent til 2050

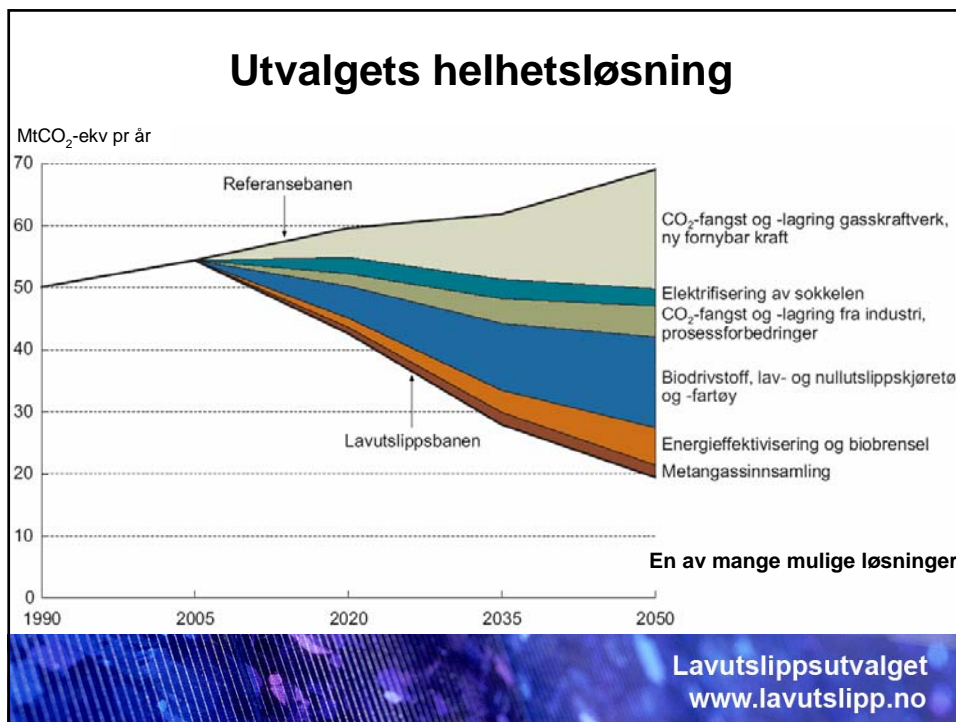
Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no



Valg av helhets- løsningen

- **Basert på utvalgets ønske om:**
 - Få og store tiltak
 - Basert på relativt kjent teknologi
 - Noenlunde politisk realiserbare
 - Med bidrag til internasjonal teknolog utvikling
 - Noenlunde kostnadseffektive
 - Robuste
- **Billigere jo raskere man starter**

Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no



Helhets- løsningen (del 1)

– To generelle tiltak

- **Klimavettkampanjen**

- Iverksetting av en langsiktig nasjonal innsats for klimainformasjon

- **Lavutslippsutvalgets teknologipakke**

- Langvarig og stabil satsing på klimavennlige teknologier:
 - CO₂-fangst og -lagring,
 - vindkraft (spesielt offshore),
 - pellets- og rentbrennende ovner,
 - biodrivstoff,
 - solceller,
 - hydrogen teknologier,
 - varmepumper og
 - lavutslippsfartøy.

Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no

Helhets- løsningen (del 2)

– 13 tiltak rettet mot spesifikke utslippskilder, hovedsakelig basert på kjent teknologi

- **Transport**
 - Lav- og nullutslipps-kjøretøy
 - CO₂-nøytralt drivstoff
 - Transportreduksjoner
 - Lavutslippsfartøy
- **Oppvarming**
 - Energieffektivisering i bygg
 - CO₂-nøytral oppvarming
- **Jordbruk og avfall**
 - Metaninnsamling og utnyttning
- **Prosessindustri**
 - CO₂-fangst og -lagring
 - Prosessforbedringer
- **Petroleumsvirksomheten**
 - Elektrifisering av sokkelen
- **Elektrisitetsproduksjon**
 - Gasskraft med CO₂-fangst og -lagring
 - Vind- og småkraft
 - Opprusting av el-nettet

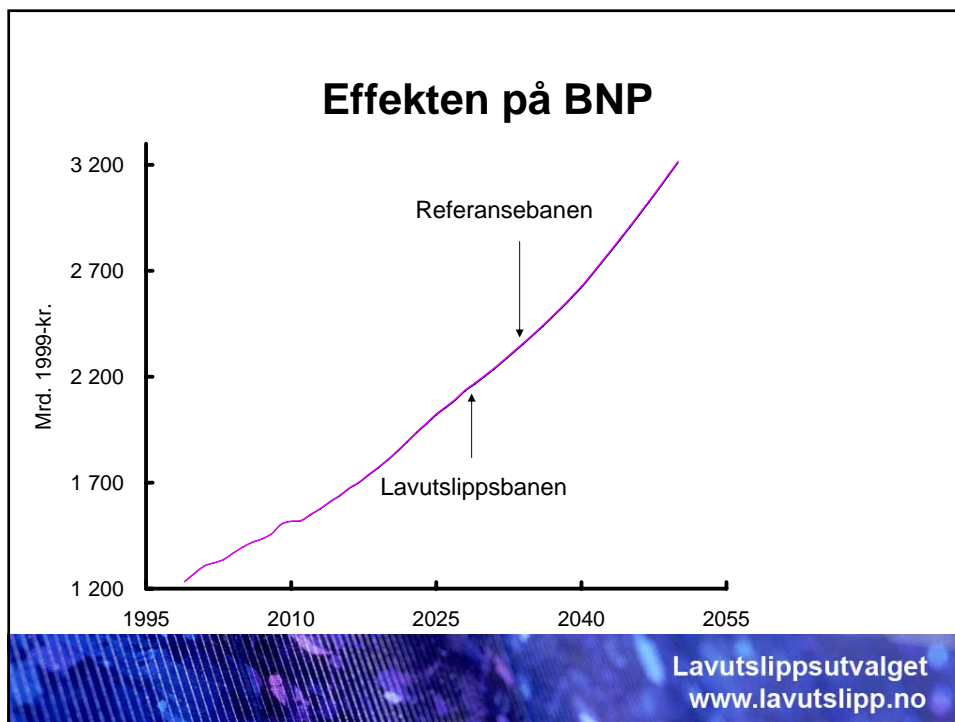
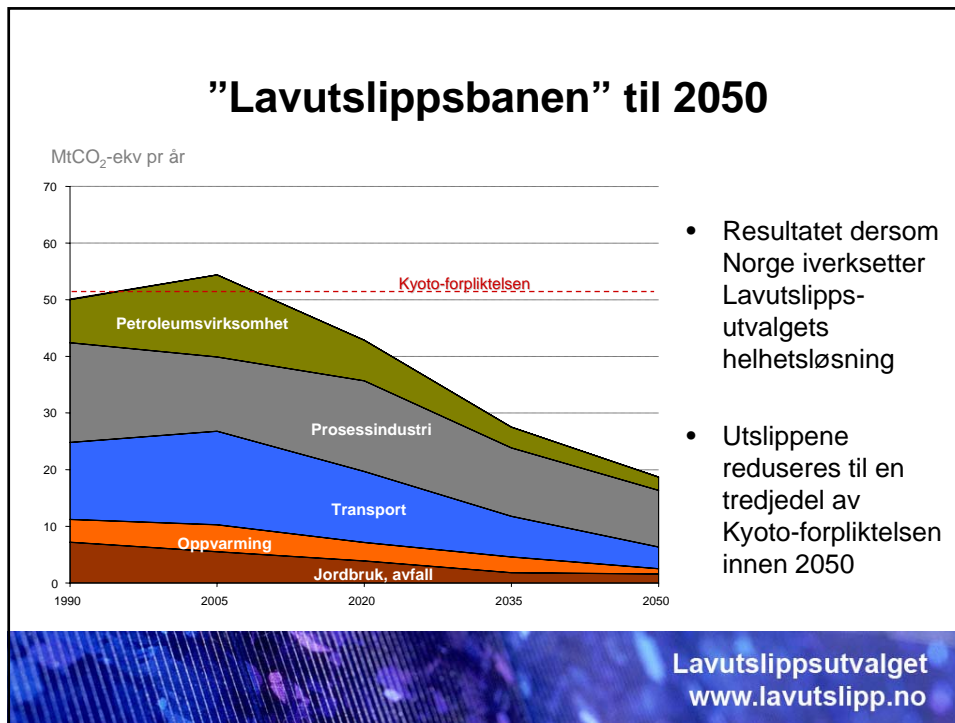
Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no

Helhets- løsningen (del 3)

– ytterligere tre viktige oppgaver i tiden fremover

- **Arbeide for global klimaprotokoll**
 - Alle land
 - Alle kilder
 - Et godt kvotehandelssystem
- **Redusere utslippene fra internasjonal sjøfart og luftfart**
 - Inkludere dem i avtaleverket
- **Utvikle klimateknologi der Norge har fortrinn**
 - Satse på et fremtidsrettet norsk næringsliv

Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no



Nødvendige første skritt

- Starte Klimavettkampanjen
- Støtte Lavutslippsutvalgets teknologipakke
- Realisere CO₂-fangst og -lagring i *alle* gass- og kullkraftverk
- Innføre bilavgifter som favoriserer lave klimautslipp
- Legge til rette for innblanding av biodrivstoff
- Endre statens innkjøpspolitikk for biler og drivstoff
- Gi støtte til CO₂-nøytral fyring (biobrensel, varmepumper, returpant på oljekjeler)
- Skjerpe bygningsstandarden for energiforbruket i bygg.
- Gi tydelige, stabile og langsiktige støtteordninger til nye fornybare energikilder
- Stimulere til klimavennlige offentlige innkjøp
- Utarbeide sektorvise tiltaksplaner
- Arbeide aktivt for at det europeiske kvotehandelsystemet videreutvikles
- Ditto for systemet under Kyotoprotokollen

Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no

Lavutslipps- utvalgets hoved-konklusjon

”Lavutslippsutvalget mener det er nødvendig, gjørbart og ikke umulig dyrt å redusere Norges klimagassutslipp med to tredjedeler innen 2050.

Norge kan uten vesentlige forsakelser bli et klimavennlig land innen midten av dette århundret.”

”Norge bør etablere en formell målsetting om å redusere klimagassutslippene fra norsk territorium med to tredjedeler innen 2050.”

Lavutslippsutvalget
www.lavutslipp.no

NÆRINGSUTVIKLING KNYTTET TIL VINDKRAFT
FoU SEMINAR 25.01,2006

Torbjørn R. Skjerve
Adm.direktør



Hundhammerfjellet
vindmøllepark

KRAFTSITUASJON I MIDT-NORGE



NÆRINGSUTVIKLING VINDKRAFT SCANWIND (SWG) – SAMMENSTILLING VERDAL



KRAFTSITUASJON I MIDT-NORGE



Oppsummering

Kraftsituasjonen i Midt-Norge 2008-2010, forutsatt ingen tiltak:

	Tilslig/ Prod.kapasitet	Forbruk	Import kapasitet	
Tørt	8,8 TWh	20 TWh	8-10 TWh	-2,2 TWh v/ full import.
Normalt	13,2 TWh	22,2 TWh	8-10 TWh	Balanse v/ full import.
Vått	17,1 TWh	24 TWh	8-10 TWh	Balanse ved drøyt halv import.

- Sårbarheten øker fremover i Midt-Norge
- I en normalsituasjon uten nye tiltak er det tilnærmet balanse
- Eventuell ny produksjon vil kun gi positive bidrag i slutten av perioden
- Tidkrevende og delvis konfliktfylt med nye nettforsterkning
- Kan få reelle knapphetssituasjoner ved kombinasjon av flere uheldige faktorer. Rasjoneringstiltak må planlegges


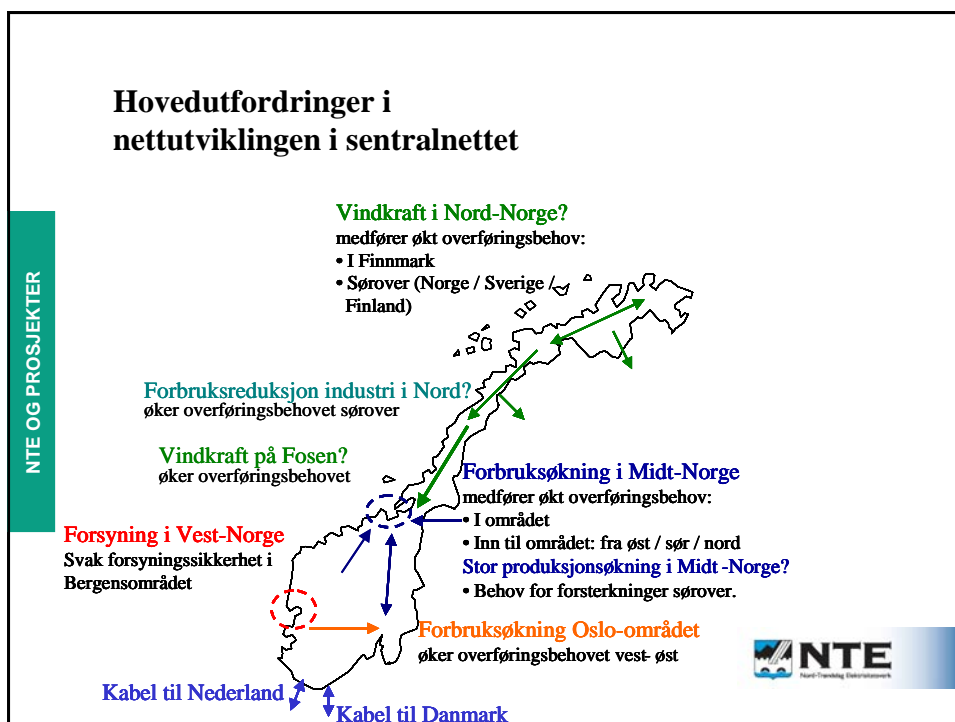
KRAFTSITUASJON I MIDT-NORGE

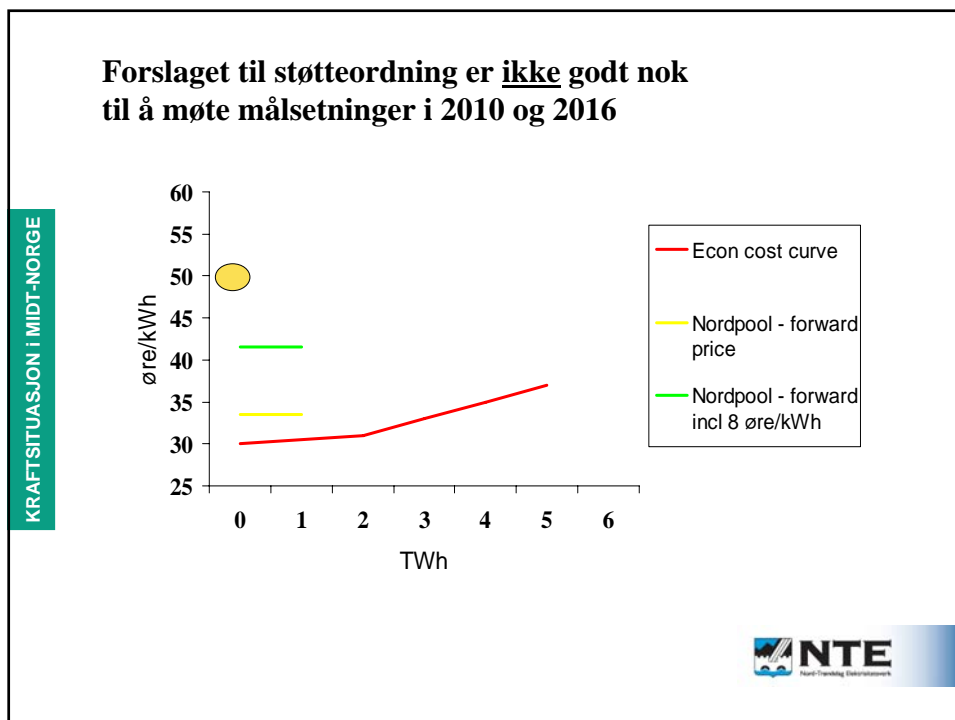
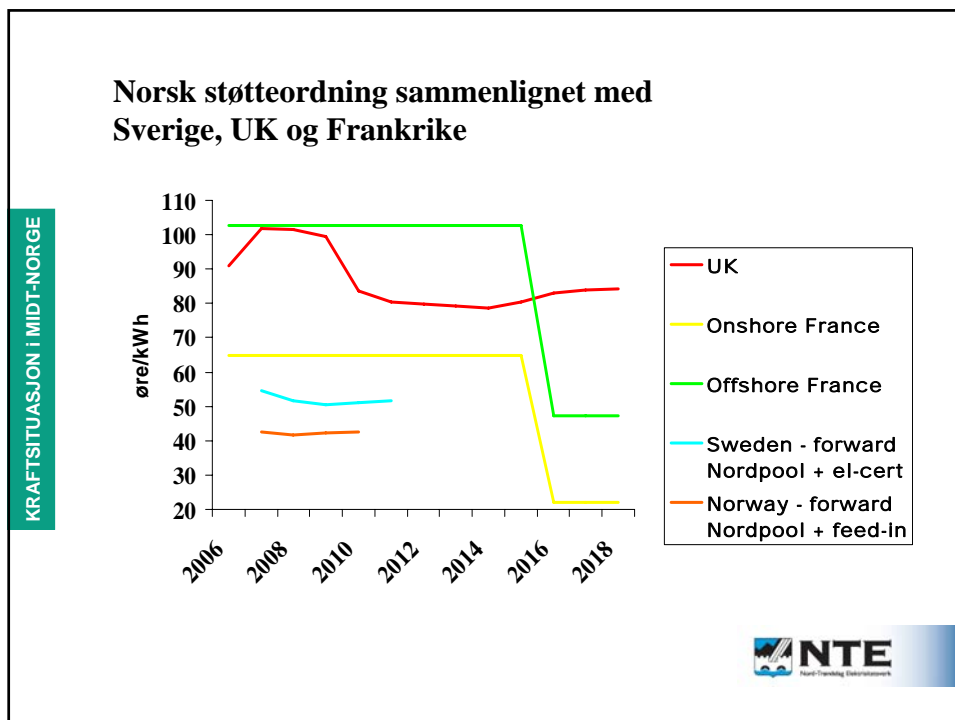


KRAFTSITUASJON I MIDT-NORGE

Vindkraftplaner i NTE

Sted	MW	GWh	MKr
Hundhammerfjellet	48	175	500
Ytre Vikna	250	870	2 500
Frøya, TrønderEnergi 50%	200	650	1 800
Oksbåsheia, Hydro 50 %	150	500	1 300
Roan, Hydro 50 %	200	600	1 700
Harbaksfjellet, Hydro 50 %	90	300	800
Sum	938	3095	8 600



NORD-TRØNDELAG SOM EGET PRISOMRÅDE

KRAFTSITUASJON I MIDT-NORGE

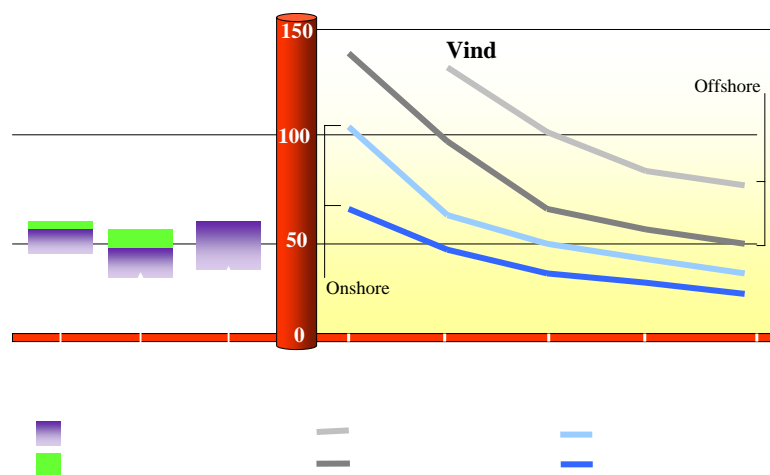


Kraftprisene har alltid vært diskusjonstema, selv i gode gamle dager før energiloven



HVA BLIR PRISEN PÅ NY ENERGI?

KRAFTSITUASJON I MIDT-NORGE



ET VELFUNGERENDE NETT MED TILSTREKKELIG KAPASITET ER EN FORUTSETNING FOR ET MARKEDSBASERT KRAFTSYSTEM

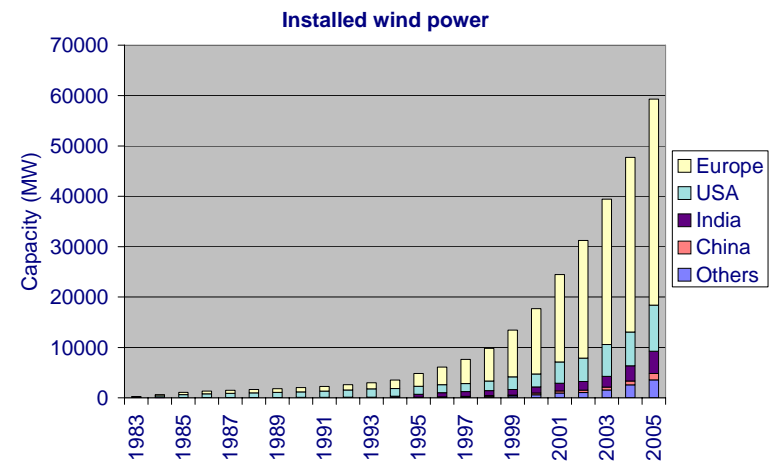


- Et uregulert marked vil generelt ikke levere et kollektivt og nødvendig samfunnsgode som beredskap.
- De mest nærliggende måte å løse dette på vil være å pålegge TSO å bygge ut og drive et nettsystem som sikrer fri kraftrutveksling mellom markedsområder.
- Med basis i et slikt ”marketdesign” vil det over tid kunne utvikles et vel fungerende kraftmarked basert på tilbud og etterspørsmål.

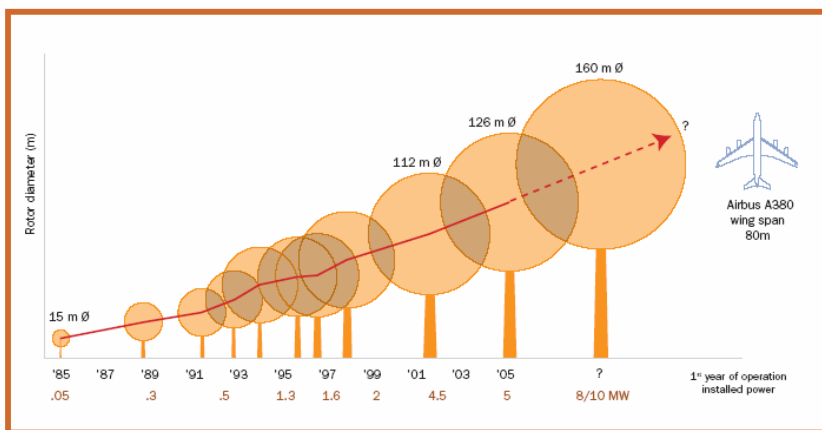
Vindkraft – flopp eller realisme?

John Olav Giæver Tande
SINTEF Energiforskning
john.o.tande@sintef.no

Strong international growth - 160GW by 2012 (EWEA)



Rapid technology development



Wind is commercial attractive

- **Manufacturers:**
Local (1980) ~ Corporations (2000); market ~ EUR 12 billion (2005)
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:**
vary from country to country – predictability is essential

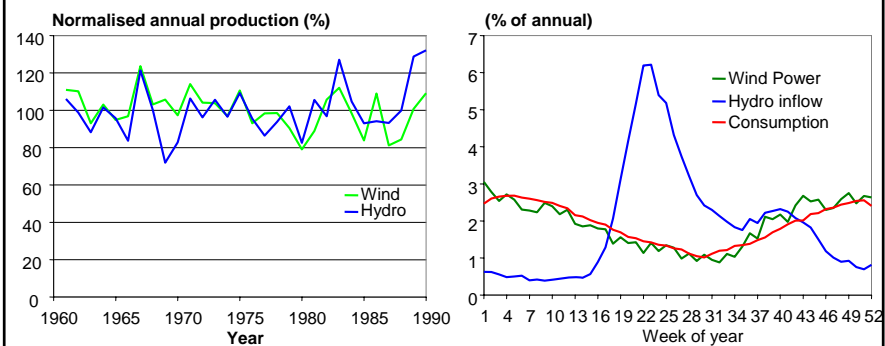
100 øre = 1 NOK; 1 EUR = 7,8 NOK

Norwegian wind energy potential

- Very good wind conditions – wind farms will produce +3000 full load hours
- Theoretical potential +1000 TWh/year (annual el consumption in Norway ~120 TWh)
- Official target is 3 TWh annual wind energy production by year 2010
- Development is ongoing: 320 MW (~1 TWh) was installed by mid 2006; + 15 TWh is in planning
- Financial support is low: 0.08 NOK/kWh and probably not sufficient for many projects
- A realistic goal for wind energy use in Norway is 20 TWh by 2020 (on land and offshore)



Wind and hydro – a win-win case

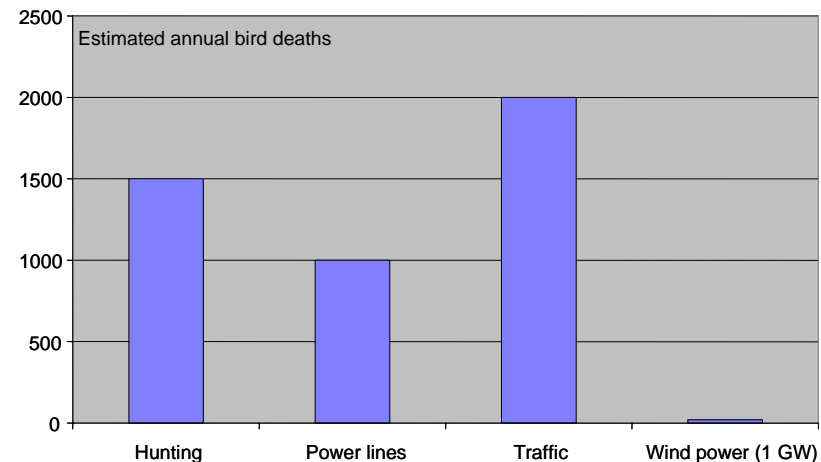


Wind generation impact on power system

- Wind generation impact on power system operation and adequacy will be overall positive.
- Combining wind and hydro provides for a more stable annual energy supply than hydro alone, and wind generation will generally be higher in the winter period than in the summer.
- Wind will replace the generation with the highest operating cost, and reduce the average Nord Pool spot market price.
- 20 TWh wind will reduce price with about 3 øre/kWh and CO₂ emissions by 12-14 million tons for the case of replacing coal, and about 6 million tons for replacing natural gas.
- Wind impact on need for balancing power is small, i.e. the extra balancing cost is about 0,8 øre per kWh wind, and about half if investment in new reserve capacity is not needed.

Impact of integrating wind power in the Norwegian power system
SINTEF Energy Research, April 2006, TR A6337. www.sintef.no/wind.

Wind generation impact on bird life



Source: Landelijk Bureau voor Windenergie, in co-operation with Dutch foundation for bird protection

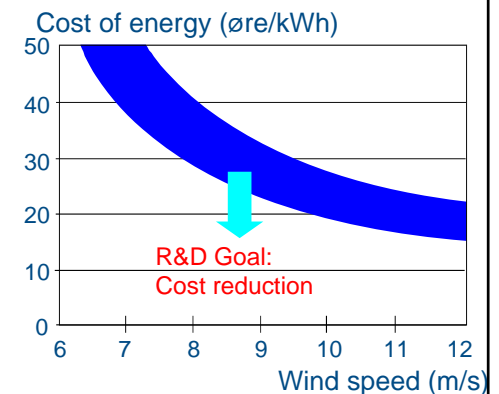
Wind power in Norway – challenges

- Development of wind farms:
 - Weak grids
 - Strong wind
 - Complex terrain
 - Cold climate
 - Public acceptance
 - Economics
- Development of Norwegian wind industry: (export ~400 mill NOK annually)
 - 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



Wind technology 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, ..)



100 oøre = 1 NOK, 1 EUR = 8 NOK

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

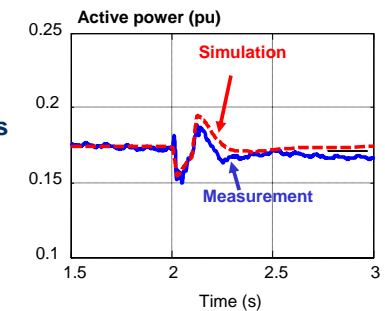
- Cooperation gives complementary know-how and strength.
- Extensive lab facilities: Test station, wind tunnel, ocean basin, electro-technical lab, materials fatigue testing ++
- Significant wind R&D activity: annually +20 person-years
- Strength areas are offshore technology and grid integration
- Strategic goal is to increase wind R&D activity through new large national projects, EU-projects and international networks



www.sffe.no www.sintef.no/wind

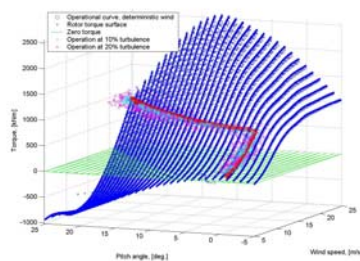
Wind Energy R&D at SINTEF Energy Research

- Grid integration of wind power
- Network and system studies to pinpoint cost effective solutions
- Modelling & simulation of wind farms
- Steady state and dynamic analysis
- Power system market operation
- Control system analysis and design
- Measurement of voltage quality



Wind Energy R&D at IFE

- Aerodynamic and structural design of turbines
- Wind turbine optimization
- Offshore wind energy with focus on aero-elastic simulations
- Simulation of wind in complex terrain
- Wind park planning in collaboration with Kjeller Vindteknikk AS
- Testing of wind turbines in cooperation with VIVA AS
- Wind energy consulting



Wind Energy R&D at NTNU

- **Wind modeling (2 PhD):**
 - Prof. Per Å. Krogstad; PhD Kjersti Røkenes (wind tunnel/micro-scale flow)
 - Prof. Helge I. Andersson; PhD Ove Undheim (wind modeling)
 - Prof. Jørgen Løvseth (wind physics)
- **Blade materials (1 PhD):**
 - Prof. Andreas Echtermeyer; PhD Jørg Høyland (blade materials)
 - Prof. Claes G. Gustavson (blade materials)
 - Prof. Johan F. Bratt (blade materials)
- **Structural dynamics (4 PhD):**
 - Prof. Geir Moe, PhD Fredrik Sandquist (individual pitch control), Simon-Philippe Breton (stall delay), Haiyan Long (offshore tower concepts)
 - Prof. Einar Strømmen (structural dynamics)
 - Prof. Finn Gunnar Nielsen (marine systems / chair specialist committee ISSC)
 - Prof. Ole G. Dahlhaug; PhD NN (hydraulic transmission)
- **Electrical engineering (5 PhD, 1 Post Doc):**
 - Prof. Tore Undeland; Post Doc Marta Molinas (offshore grid integration) PhD Bjarne Næss (generator models), Thomas Pagaard Fuglseth (control systems for floating structures)
 - Prof. Terje Gjevedal; PhD Jarle Eek (control systems/generator models)
 - Prof. Olav Fosso; PhD Guiseppe Di Marzio (power system integration)
 - Prof. Robert Nielsen; PhD NN (offshore generator)
- **Social science (1 PhD, 1 Post Doc):**
 - Prof. Knut Sørensen; Post doc Jøran Solli (politics), Phd Ingrid Øverås (public acceptance)
- **Aesthetics:**
 - Prof. Sverre Flack (landscape/aesthetics)

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)
- New national projects are defined; startup is pending on funds by Norwegian Research Council

NFR KMB Deep sea offshore wind turbine technology 3 years/18 mill NOK in cooperation with industry, 2007-2009

- Task 1: Progress of design tools (analytics, numerical methods and experiments) for the (structural, control, concurrent engineering) design of offshore wind energy concepts. The task includes institute research headed by SINTEF Marintek and one PhD.
- Task 2: Development of advanced rotor aerodynamic solutions enhancing performance and lifetime of large offshore blades. The task includes institute research headed by IFE and one PhD.
- Task 3: Provide solutions for cost effective grid connection and system integration of large deep sea offshore wind farms. The task includes institute research headed by SINTEF Energy Research and one PhD.

Floating offshore wind turbines

- **Installation at deep sea far from shore:**
 - Unlimited potential and high energy output
 - Minimized negative environmental impact
 - Cost competitive renewable generation
- **Challenges:**
 - Bigger, lightweight and strong wind turbines (10 MW, 160 m wingspan ~ twice a jumbo jet)
 - Develop floater (design, installation, O&M)
 - Power system integration of large scale wind
- **Key Norwegian industry stake-holders:**
 - ScanWind; large wind turbines
 - Hydro and Sway; floater concept
 - Aker Kværner, Nexans, Devold AMT, Umoe Ryving etc; sub-supplies of components
 - Statkraft etc; wind farm developers



Floating offshore wind turbines – a sustainable energy future

125 TWh/year
wind generation

Source - Map: Hydro

- The gas in Ormen Lange can generate 125 TWh/year for 20 years
- Wind turbines can generate the same amount or more – Forever!

Norway is uniquely positioned to develop the technology. Large scale commercial use of floating offshore wind turbines is viable by year 2020. The market is global.

Vindkraft – flopp eller realisme?

- Teknologiske utfordringer kan løses – krever fortsatt satsning på FoU
- Show-stoppers: Dårlige rammebetingelser & sterk anti-vind lobby
- Et paradoks at det ikke satses mer på vindkraft i Norge

OUTLOOK EWEA/Greenpeace (Wind Force 12)

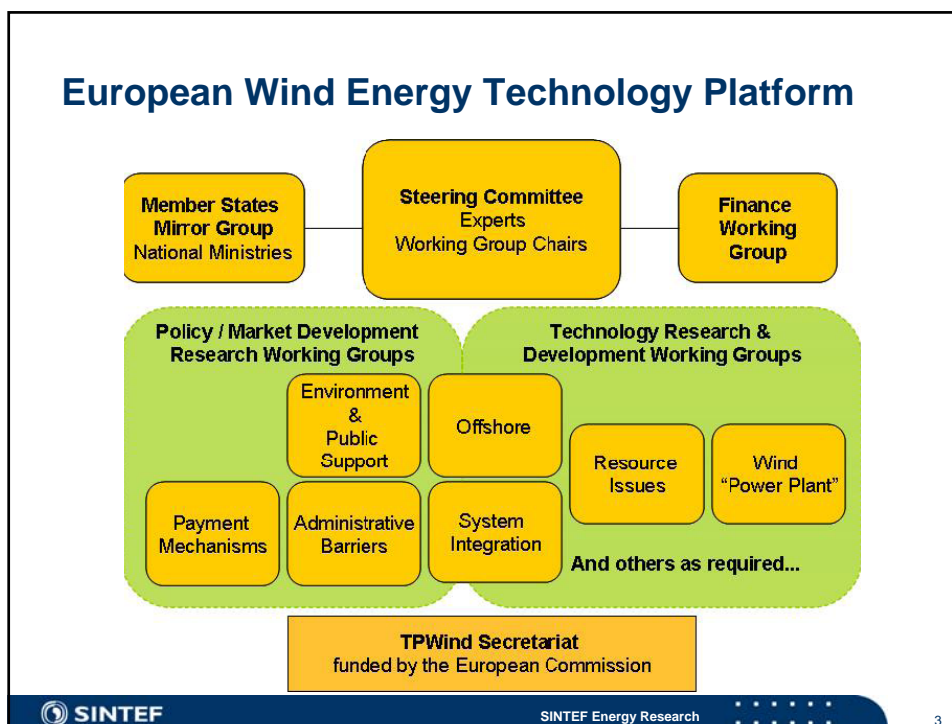
- 1.2 million MW of wind power worldwide by 2020
- 12 % (3000 TWh) of the world's electricity requirements by 2020
- create 2.3 million jobs worldwide
- reduce CO₂ emissions by more than 10 billion ton
- world market increase to 80 billion Euro by 2020
- 20 % this total capacity would be installed in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

EU Wind Technology Platform EU FP7 CALL

John Olav Tande
john.o.tande@sintef.no

European Wind Energy Technology Platform

- **Scoping sector innovation and R&D needs**
Ascertain wind energy R&D needs to be met through the Seventh Framework Programme (FP7), other EU programmes and National Programmes, and with strong collaboration of private industry.
- **A single, powerful voice for R&D**
Reach out to all key stakeholders throughout the wind energy sector with the objective of raising wind energy R&D to high priority status in national and EU research programmes.
- **Maximal sector sensitivity**
Serve as a "Docking Station" for ongoing European Commission funded and other EU and national initiatives and assist in the uptake of their findings, with a view to strengthening the European Research Area.
- **Effective Action Plans**
The Technology Platform will identify realistic pathways to the resolution of technology and policy hurdles to wind energy: a Strategic Research Agenda (SRA) to cover technology issues; and a socioeconomic Market Development Strategy (MDS), covering policy R&D and market development, including short term operational measures.



3

European Wind Energy Technology Platform Members of the Advisory Council

- Imar Doornbos, Ministry of Economic Affairs, The Netherlands
 - Lars Andersson, Ministry of Sustainable Development, Sweden
 - John Overton, Department of Trade and Industry, UK
 - Steffen Nielsen, Ministry of Transport and Energy, Denmark
 - Jens Bömer, Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany
 - Arthouros Zervos, European Wind Energy Association
 - Britta Thomsen, ViceChair, ITRE Committee, Member of the European Parliament
 - Mechtild Rothe, Member of the European Parliament
 - Memberships pending of three other Member States
- More info: <http://www.windplatform.eu/>

4

EU FP7 CALL

1. FP7-ENERGY-2007-1-RTD - Deadline: 3 May 2007

- Development of components and systems for turbines and wind farms
- External conditions, resource assessment and forecasting for wind energy
- Testing, standards and certification for wind energy systems

2. FP7-ENERGY-2007-2-TREN - Deadline: 3 May 2007

- Demonstration of large scale systems for on- and offshore wind farms
- Integration of wind power into the European power system
- Wind mapping for offshore applications

Joint Information Days on 13 and 14 February 2007 in the Charlemagne building, rue de la Loi n°170, in Brussels.

<http://cordis.europa.eu/fp7/dc/index.cfm?fuseaction=UserSite.FP7OpenCallsPage>

Norsk interesse?

- Norsk prosjektetableringstøtte kan søkes fra NFR, og da fortrinnsvis fra konsortium av norske aktører
- <http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?c=MidlerParent&cid=1049787895209&pagename=ForskningsradetNorsk%2FMidlerParent%2FVisMedDenneTilhorighet>
- EU "Brokerage events" - hensikten er å informere om prosedyrene og bygge nettverk.
- Wind And Ocean Energies. Ireland (tbc), 27-28 February 2007
- http://ec.europa.eu/research/energy/gp/gp_events/article_1567_en.htm#etid
- http://cordis.europa.eu/fp7/cooperation/energy-events_en.html

Kan vindkraft bidra til å løse kraftkrisen?

Magnus Korpås, John Olav Giæver Tande

SINTEF Energiforskning

Espen Hagstrøm, Terje Gjengedal

Statkraft Development

Magnus.Korpas@sintef.no

Innhold

- Case-studie fra Midt-Norge
 - Vindkraftens energibidrag
 - Vindkraftens effektbidrag
- Andre aspekter
 - Vindkraftens forutsigbarhet
 - Innvirkning på spotpris
 - Reservebehov - balansekostnader
 - Behov for nettførsterkninger

Case-studie fra Midt-Norge

- Området er karakterisert ved at
 - Det er vannkraftbasert
 - Ny produksjon er nødvendig for å dekke fremtidig forbruksøkning

- Forsyningssikkerheten er vurdert mhp
 - Systemets evne til å dekke den ukentlige og årlige lasten (energi)
 - Systemets evne til å dekke forbruket i maksimallast-timen (effekt)

Effektverdi av vindkraft (definisjon)

Den mengde konvensjonell kapasitet som vindkraft kan erstatte uten at sannsynligheten for effektsvikt endres

Sannsynlighet for effektsvikt (definisjon)

Sannsynlighet for at produksjonssystemet ikke kan levere den effekt som til en hver tid etterspørres

Engelsk: Loss of Load Probability (LOLP)

Intuitiv forståelse

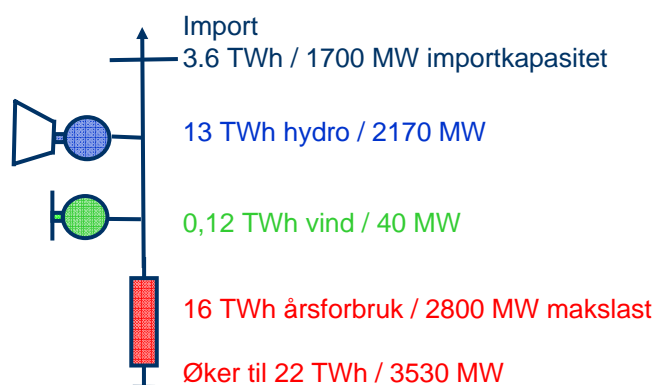
- En redusert last gir redusert sannsynlighet for effektsvikt (LOLP)
- Vindkraft reduserer lasten som den konvensjonelle kapasiteten må dekke:

$$\text{Netto forbruk} = \text{Forbruk} - \text{Vindkraft}$$

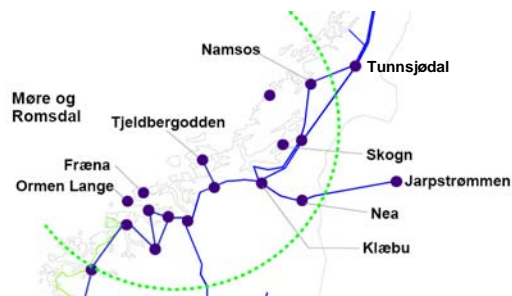


**Vindkraft bidrar til redusert LOLP,
og har en effektverdi > 0**

Base case: Situasjon i 2002

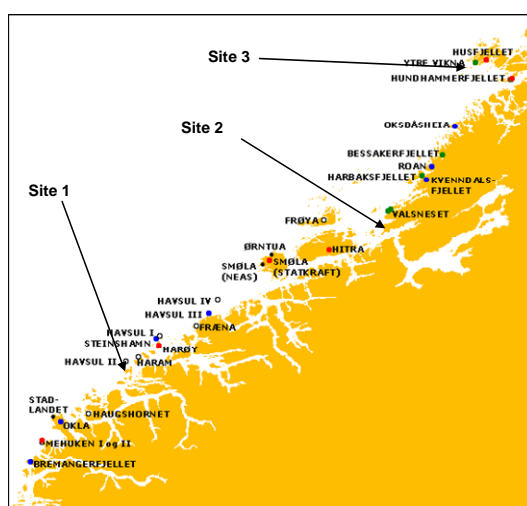


Case studie oversikt

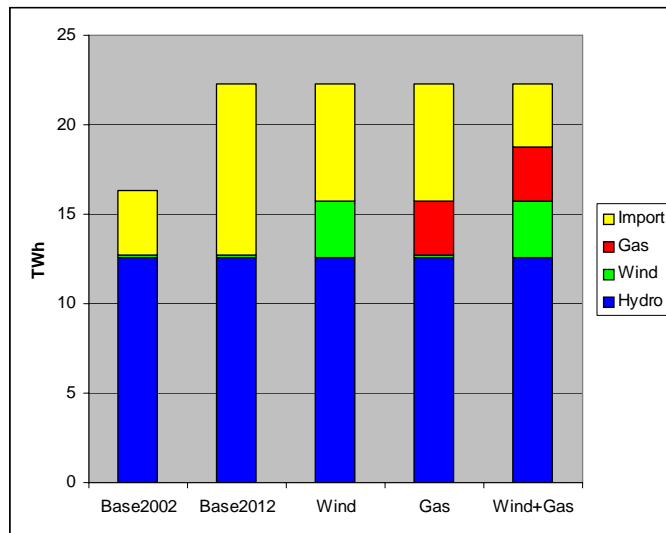


Base2002	Situasjon i 2002
Base2012	6 TWh lastøkning uten nyinvesteringer i 2012
Vind	3 TWh vind / 1000 MW og evt. nettförsterkning
Gass	3 TWh gass / 360 MW
Vind + gass	3 TWh vind + 3 TWh gass

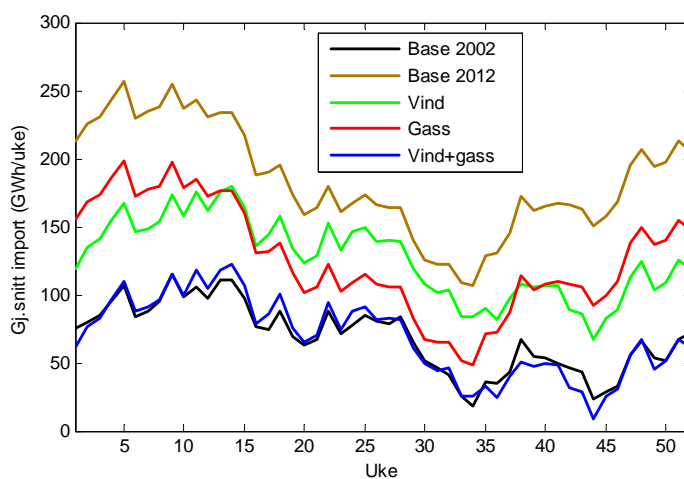
Vindpark-lokasjoner



Årlig forbruk og produksjon

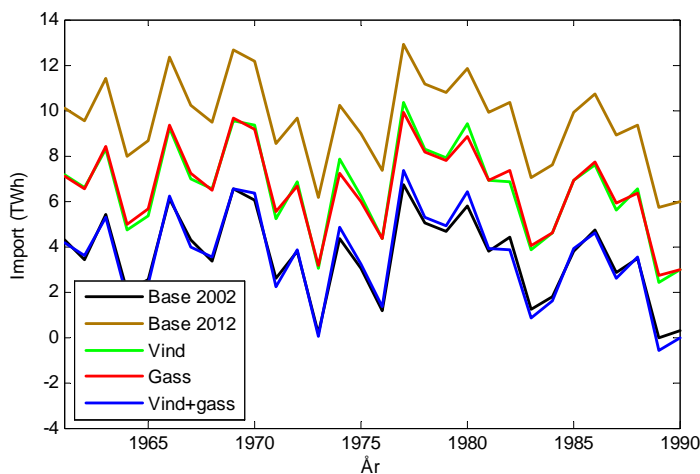


Gj.sn. ukevariasjon i import



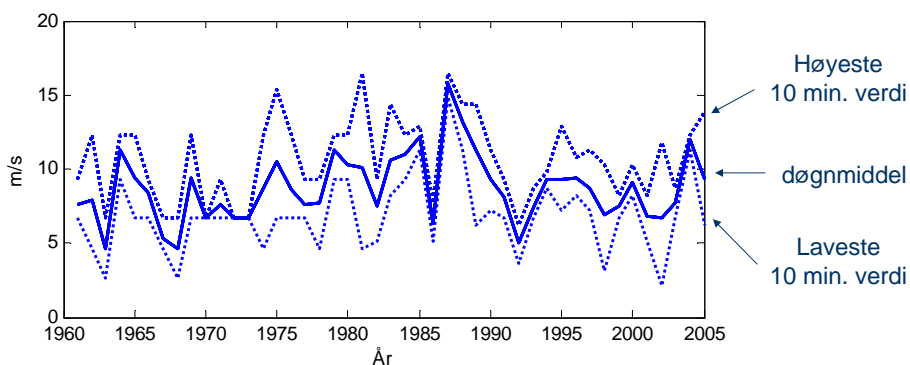
Vind og gass gir samme bidrag til energibalansen uke-til-uke

År-til-år variasjon i import

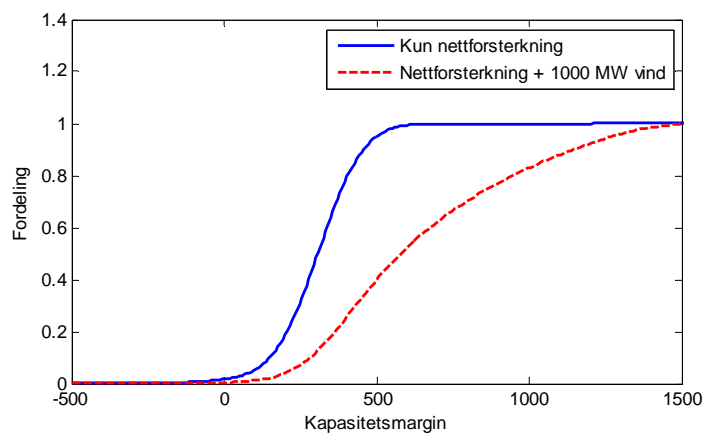


Vind og gass gir samme bidrag til energibalansen år-til-år

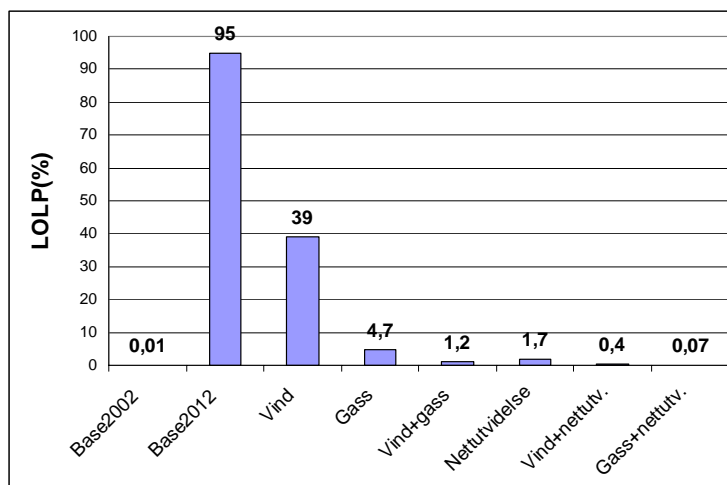
Målt vindhastighet på den kaldeste dagen ved referansestasjon



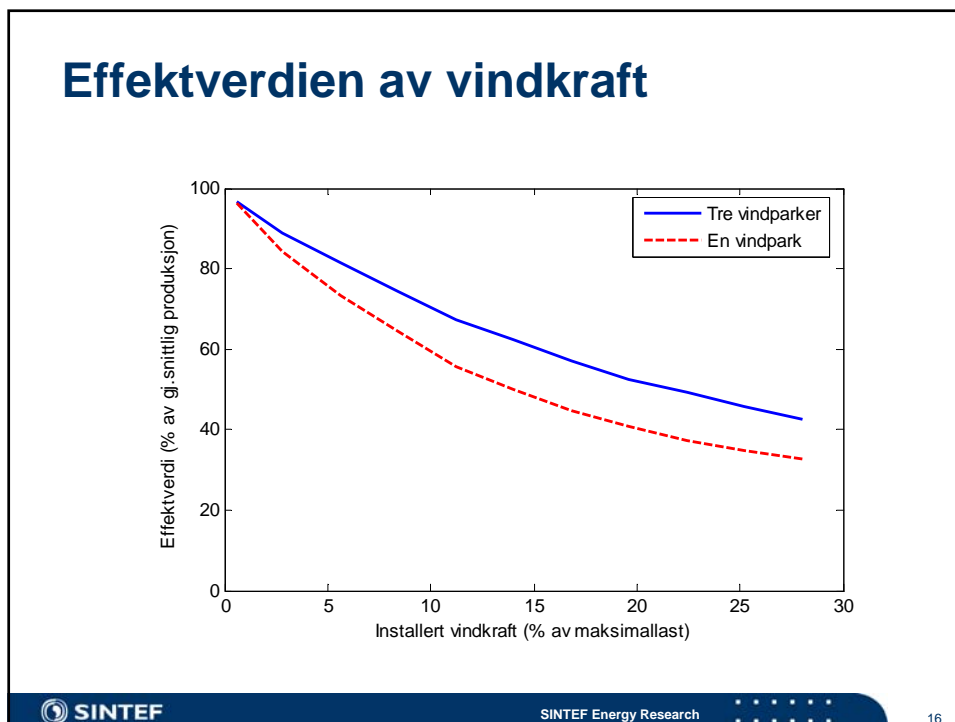
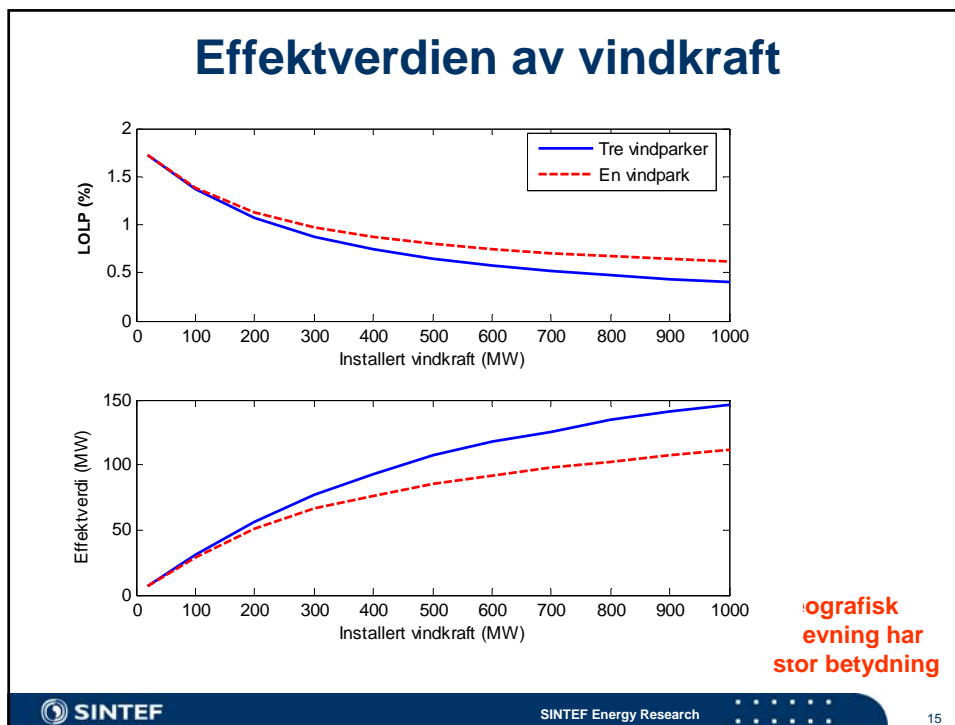
Vindkraften øker kapasitetsmarginen til systemet



Resultater for maksimallast-timen



Her er LOLP = Sannsynlighet for overskridelse av N-1 kriteriet



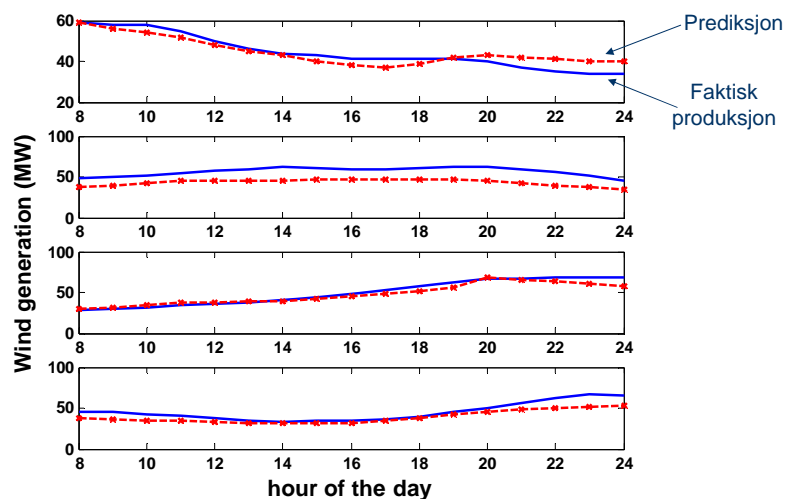
Oppsummering Case-studie

- Betydningen av vindkraft på leveringspålitelighet har blitt studert for Midt-Norge.
- Vind- og gasskraft bidrar like mye til energibalansen, både på ukentlig og årlig basis.
- Effektverdien til gass er omtrent 92 % av maksytelse. Effektverdien til vind er
 - 100 % av forventet produksjon ved lav vindintegrasjon
 - 40 % ved høy vindintegrasjon (30 % av makslast).
- Geografisk spredning av vindparker har en betydelig positiv innvirkning på effektverdien.

Andre aspekter

- Vindkraftens forutsigbarhet
- Innvirkning på spotpris
- Reservebehov - balansekostnader
- Behov for nettførsterkninger

Prediksjon av kraftproduksjon fra 100 MW installert vindkraft i Tyskland



Markedsaspekter

- Vindkraft reduserte spotprisen med 12 % i Vest-Danmark i 2005 (800 Mill. DKK i besparelse) *(Morthorst 2006)*
- Med 20 TWh vind i Norge vil
 - spotprisen reduseres med ca. 3 øre/kWh
 - CO₂-utslippene reduseres med 12-14 mill. tonn/år, hvis kull erstattes
 - balansekostnaden for vind bli ca. 0.8 øre/kWh, eller halvparten hvis det ikke er behov for nyinvesteringer i reservekraft

Nettforsterkninger

- I Tyskland dekker TSO kostnadene for nettilknytning av offshore vindparker
 - Nettkostnadene er ca. 25 % av totalen
Eks: 900 Mill. € for 1500 MW ny vindkraft
 - Dette vil gi vil gi €0.00009/kWh påslag på nettariffen

Satsing på vindkraft
– et sjansespill?

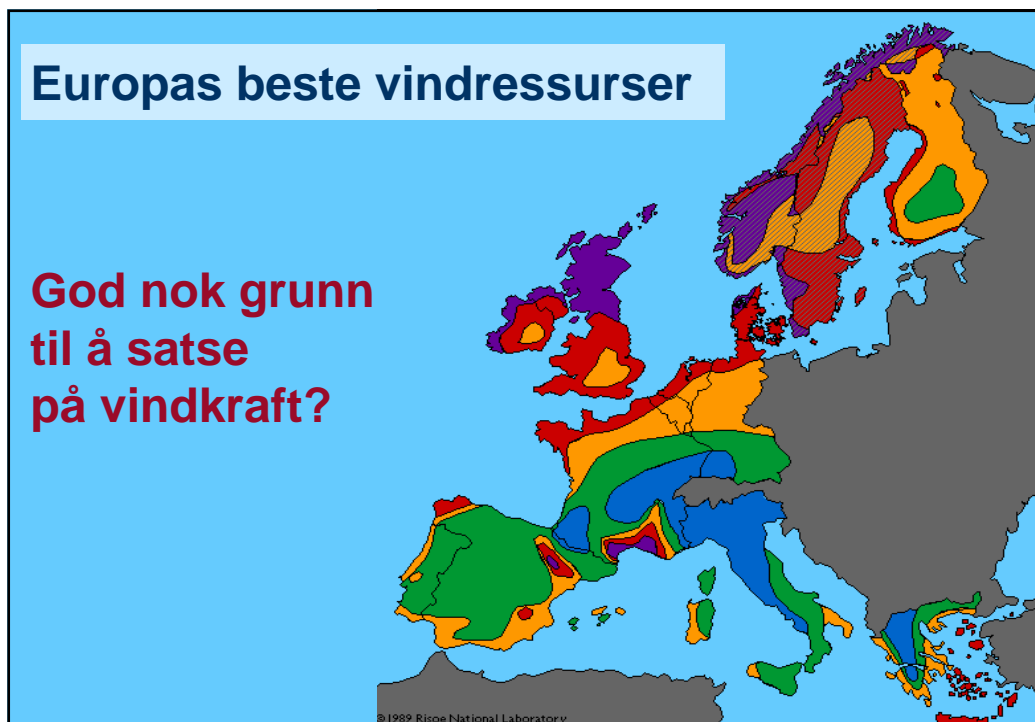
Statkraft

Vindkraft FoU-seminar
Trondheim, 26. januar 2007

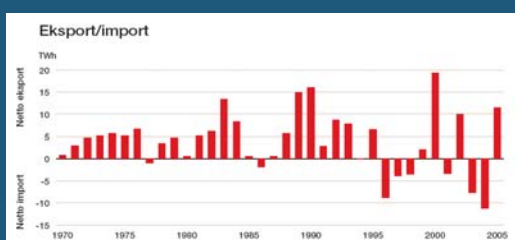
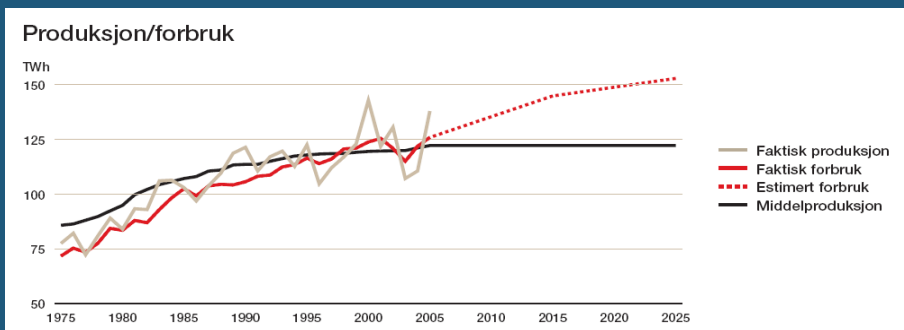
Knut A. Mollestad



Smøla vindpark



Knapphet på elektrisk kraft ?



Kilde: Statnett



Naturen
i arbeid



Statkraft

2007-01-30 s. 4

Hvorfor stimulere til utbygging av vindkraft?

Begrenser utslippene av klimagasser

- Økt produksjon av fornybar energi i Norge vil gi mindre import
- Vindkraft er miljøvennlig og fri for utslipp av klimagasser

Bedrer forsyningsikkerheten

- I år med normal nedbør har Norge et kraftunderskudd
- Ny kraft vil motvirke pressede forsynings situasjoner og høye priser

Gir økt verdiskaping og næringsutvikling

- Utbygging av fornybar energi vil gi økt verdiskaping og flere arbeidsplasser, særlig i distriktene
- Støtte til forskning, utvikling og utbygging av nye energiteknologier vil kunne bidra til utvikling av ny kompetanse, teknologi og virksomhet i Norge



Myndighetenes opprinnelige målsetting:

- Minst 3 TWh fra vindkraft innen 2010

Regjeringens satsing mot 2016:

- Økning i fornybar energiproduksjon og energieffektivisering på 30 TWh
- Vindkraft vil utgjøre en vesentlig del av dette

Statkrafts målsettinger:

- 2 TWh vindkraft innen 2010 (ca. 0,7 TWh til nå)
- 3 TWh vindkraft innen 2015

Statkrafts vindparker

Smøla – 150 MW

Hitra – 55 MW

Kjøllefjord – 39 MW

+ ca 15 andre prosjekter på ulike stadier



Naturen
i arbeid



Statkraft

2007-01-30 s. 7

Fokusområder for ny vindkraft


Finnmark

- "Uendelige" egnede arealer
- Gode vindressurser
- Ingen nettkapasitet
- Reindrift


Midt-Norge

- Økende kraftunderskudd
- Egnede utbyggingsområder
- Gode vindressurser





Naturen
i arbeid



Statkraft

2007-01-30 s. 8

Tradisjonell behandling av et vindkraftprosjekt

Melding (NVE)

Offentlig høring

Konsekvens-
utredningsprogram

Konsekvensutredning

Reguleringsplan (Komm.)

Offentlig høring

Konsesjonsbeh. (NVE)

Konsesjonssøknad

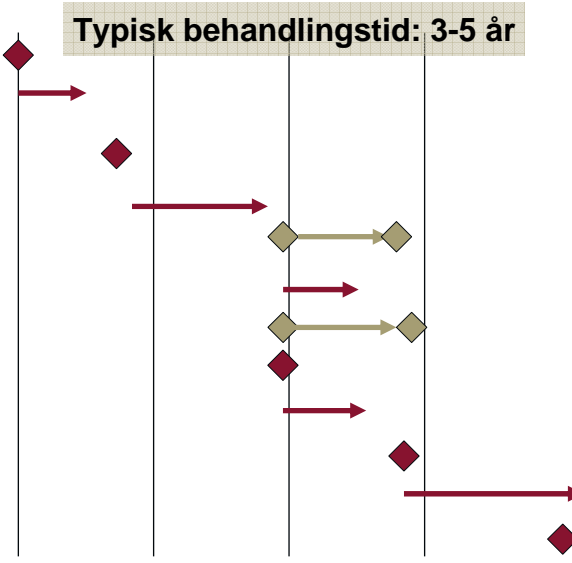
Offentlig høring

Konsesjon etter energiloven

Klagebehandling (OED)

Endelig konsesjon

Typisk behandlingstid: 3-5 år



4



Naturen
i arbeid

**Økt satsing på vindkraft og fornybar energi
..... men når? og hvor mye?**

Soria Moria: Økt satsing på vindkraft

- Men statssekretæren i OED sier at det ikke lenger er en spesifikk målsetting for vindkraft...?

Økte mål – mer penger – nye virkemidler

- 30 TWh økt fornybar energiproduksjon og -effektivisering innen 2016 – med 2001 som basisår
- Regjeringen setter av 20 milliarder kroner i et fond
- – avkastningen skal benyttes til støtteordninger
- 8 øre /KWh i støtte i feed-in tariff

Bransjen vurderer ikke dette som tilstrekkelig for å utløse vindkraftpotensialet i Norge

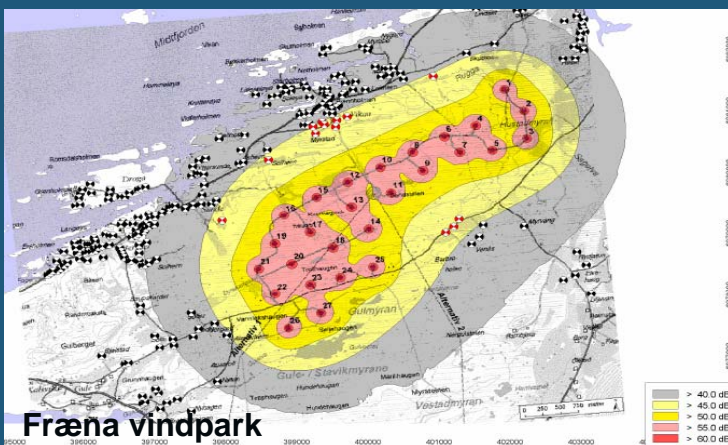
Statkraft

2007-01-30 s. 9



"Hardware" utfordringer:

- støy
- skyggekast
- (refleksblink)
- INON
- ising



Vanligste utfordringer:

- landskap
- kulturminner
- kulturmiljøer



Langevåg vindpark



Fræna vindpark

"Nye" utfordringer:

- turisme
- nasjonale turistveier



Atlanterhavsveien



Utsikt fra Nordkappplatået

Magerøya vindpark
Nordkapp kommune

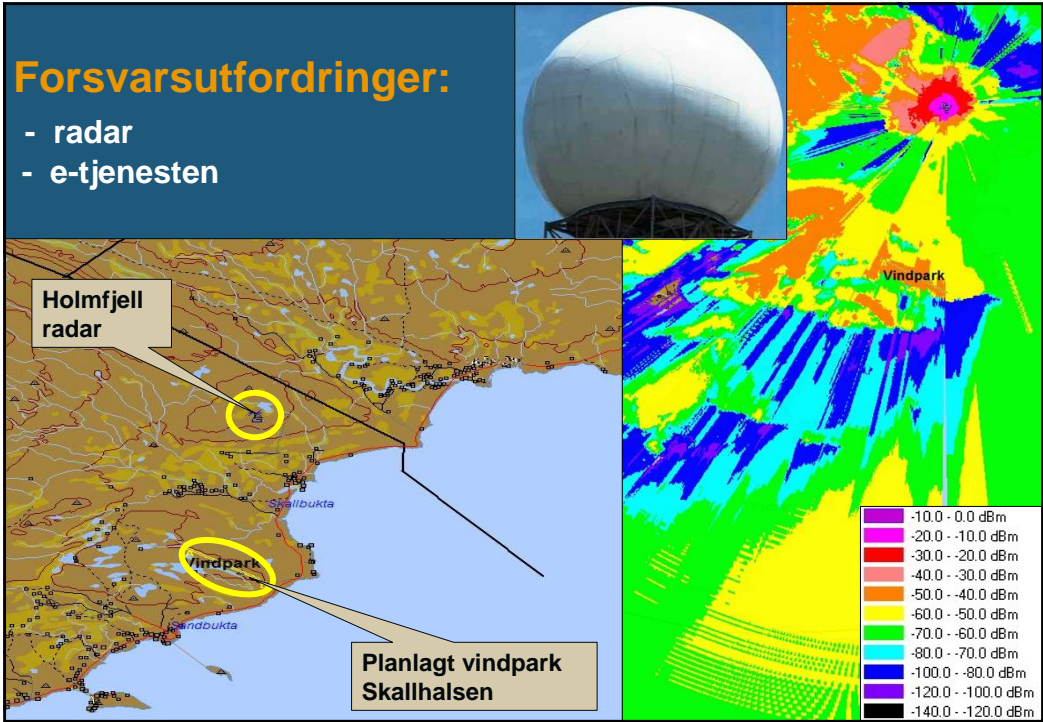
Utfordringer i nord:

- Rein vs. vindkraft



Forsvarsutfordringer:

- radar
- e-tjenesten

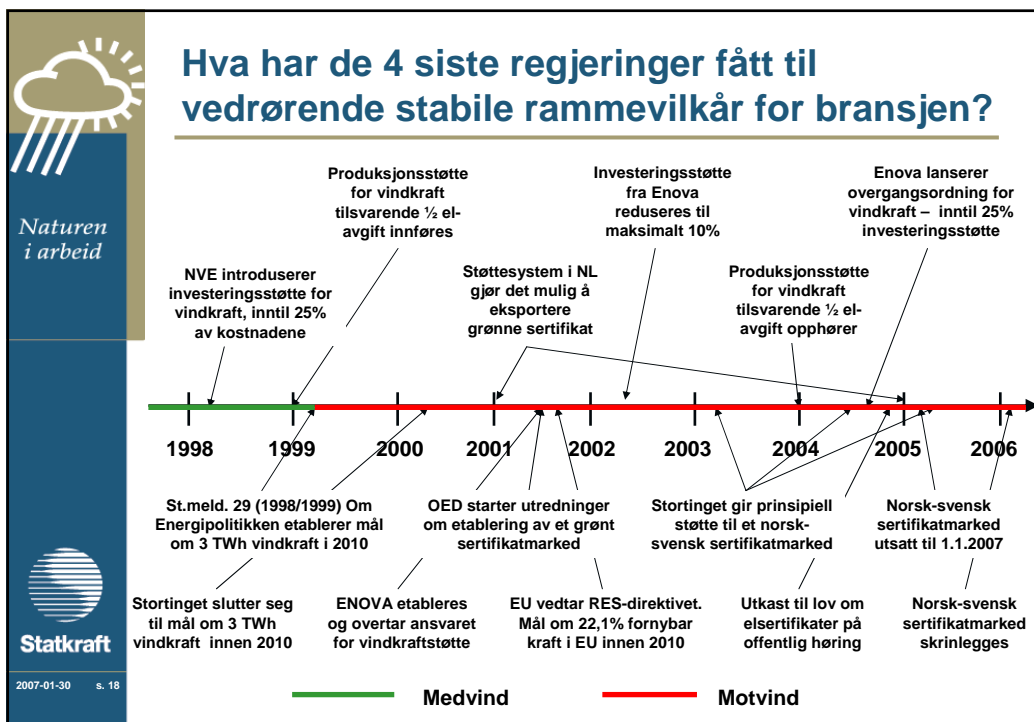


dBm Range
-10.0 - 0.0 dBm
-20.0 - -10.0 dBm
-30.0 - -20.0 dBm
-40.0 - -30.0 dBm
-50.0 - -40.0 dBm
-60.0 - -50.0 dBm
-70.0 - -60.0 dBm
-80.0 - -70.0 dBm
-100.0 - -80.0 dBm
-120.0 - -100.0 dBm
-140.0 - -120.0 dBm

Myndighetsutfordringer:



- manglende konkretisering av nasjonale utbyggingsmål
- uforutsigbare økonomiske rammebetingelser






Stortinget og offentlig forvaltning – spiller de på samme lag?



OLJE- OG ENERGIDEPARTEMENTET

- Manglende avklaring av økonomiske rammebetingelser
- Manglende utbygging av nettkapasitet
- Mangel på kapasitet i konsesjonsbehandlingen
- Introduksjon av tematiske konfliktvurderinger



MILJØVERNDDEPARTEMENTET

- Etablering av nye retningslinjer for lokalisering og planlegging av vindkraftverk
- Utarbeidelse av fylkesvise planer for vindkraft
- DN og fylkenes miljøavdelinger
- Riksantikvaren




FORSVARSDPARTEMENTET

- Innsigelser fra Forsvaret




LANDBRUKS- OG MATDEPARTEMENTET

- Reindriftsforvaltningen



Statkraft


2007-01-30 s. 19



Hvor finner vi syndebukken(e) ?

1. Stortinget etablerer ambisiøse mål for vindkraft i Norge
2. Bransjen plukker opp hansken og utvikler prosjekter i den tro at myndighetene vil legge til rette for lønnsom utbygging
3. Andre offentlige etater protesterer, trenerer og motarbeider
4. Enkelte miljøorganisasjoner er for vindkraft, men ofte mot vindmøller
5. Det utarbeides nye krav til saksbehandling, utredninger og byråkrati som kompliserer og forsinker prosessene
6. Politiske myndigheter evner ikke å etablere langsiktige og stabile rammebetingelser
7. **Resultat:**
 - Svært lite ny kraftproduksjon realiseres
 - Kraftunderskuddet og importbehovet øker
 - Klimagassutslippene øker
 - Køen av vindkraftprosjekter i "kverna" øker

Bransjen sturer!



Statkraft

2007-01-30 s. 20



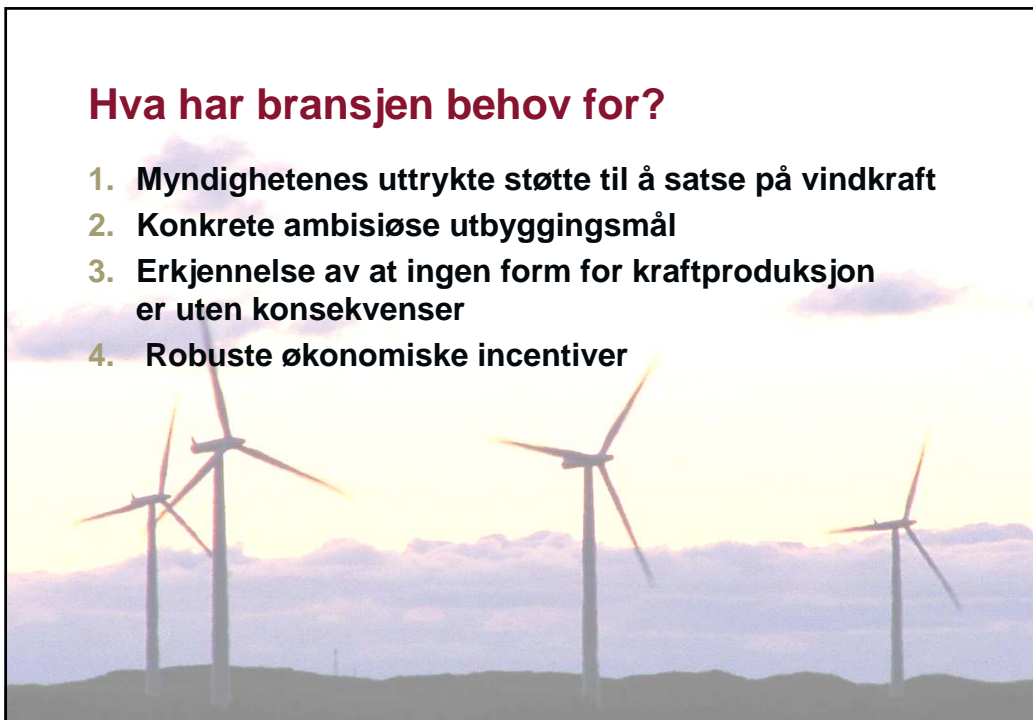
**Bevisst
desinformasjon
fra motstandere**

Fotomontasje utført
av "motstandsgruppe"

Faglig utført visualisering
(fra Hydros konsesjonssøknad)

Hva har bransjen behov for?

1. Myndighetenes uttrykte støtte til å satse på vindkraft
2. Konkrete ambisiøse utbyggingsmål
3. Erkjennelse av at ingen form for kraftproduksjon er uten konsekvenser
4. Robuste økonomiske incentiver



Vel blåst ?



Vinn-vind eller forsvinn-forsvind Internasjonalisering av norsk vindkraft

Vindkraftseminar Trondheim 25-26 januar 2007

Tor Muhlbradt, Consul and Trade Commissioner
Innovation Norway Toronto

www.innovasjon Norge.no/canada

» Vind er...



Den mest voksende fornybare energikilden, og den raskeste måten å komme over fra CO2 forurensende til ren kraft

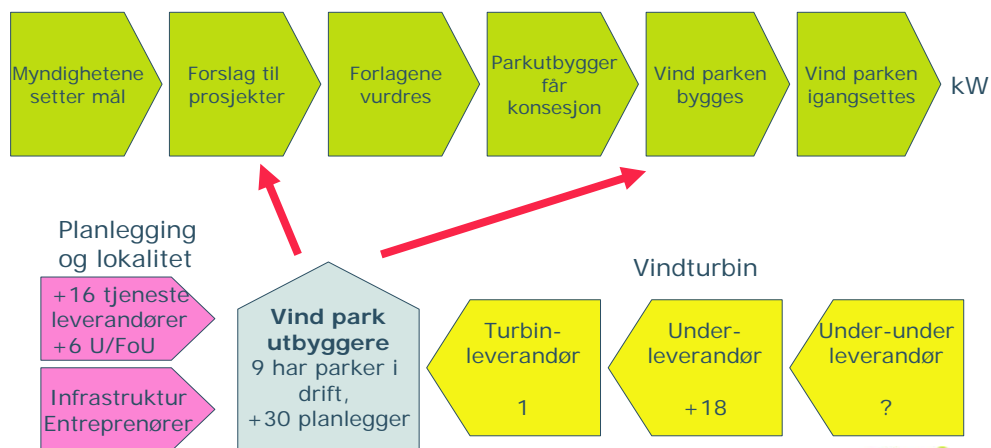
75.000 MW vil bli bygget de neste 4 år; et marked på +750 mrd NOK

2

Scanwind, Hundhammerfjellet: Source Scanwind



Den norske vindkraft industri



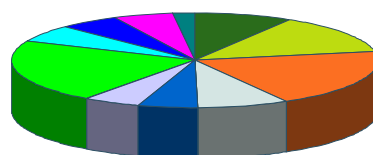
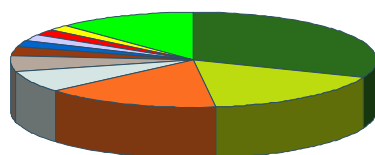
5

Verdens vindkraft marked

Største markeder: USA, Spania

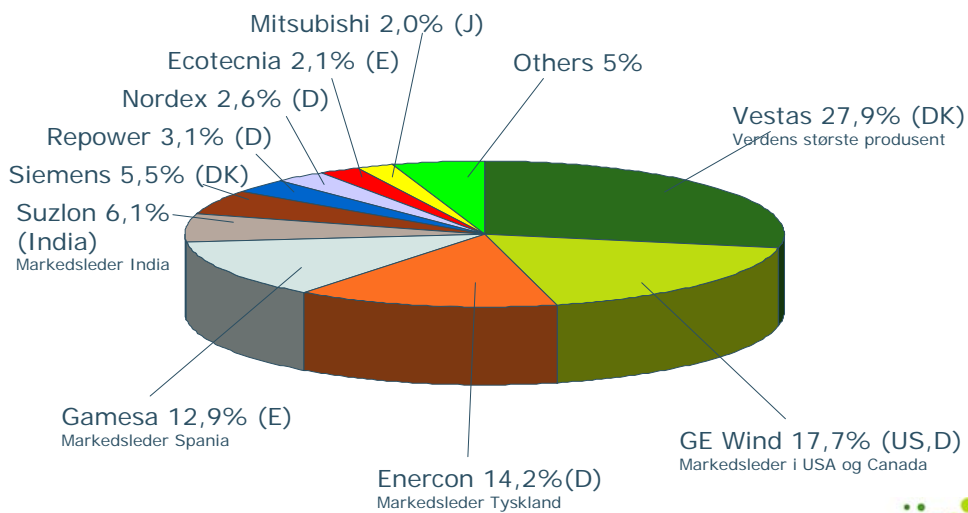
Markeder i vekst: Canada, Storbritannia, Frankrike, Portugal, Kina
Australia, India

Markeder i tilbakegang: Tyskland, Danmark, Italia



6

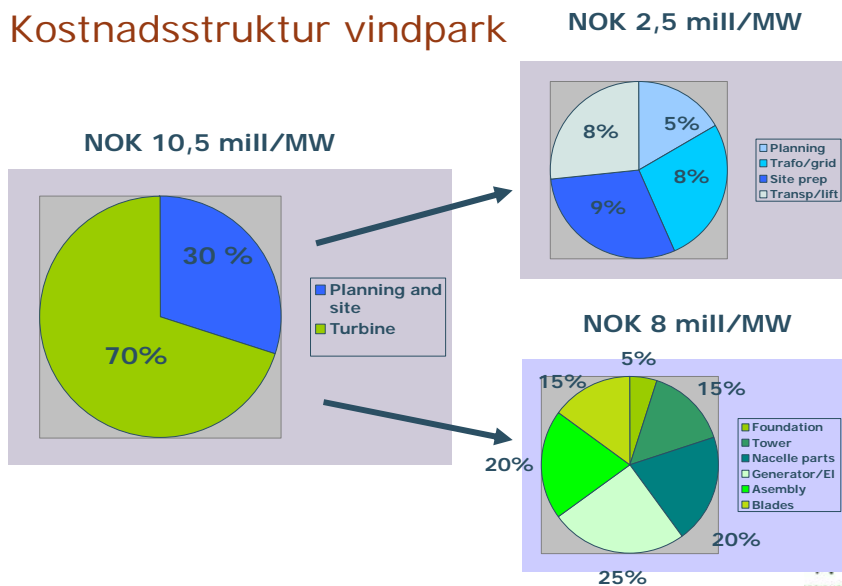
Markedsandel 2005, Vindturbinprodusenter



7



Kostnadsstruktur vindpark



8



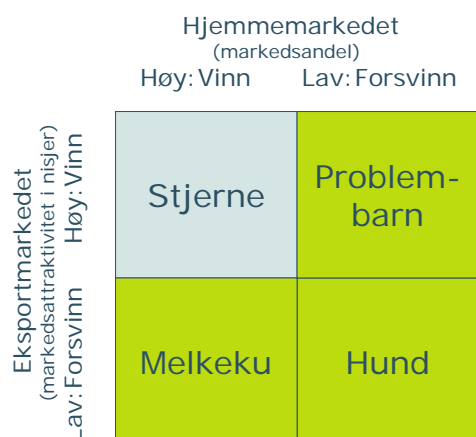
» Trender

- Store internasjonale parkutbyggere med mye ressurser
- Mange små lokale utbyggere med små ressurser
- Store parker koster 1-2 mill NOK/MW mindre i investering
- Nettilkobling er problematisk
- Eksisterende parker produserer mindre enn planlagt
- Mer og mer NIMBY effekter (not-in-my-backyard)
- NIMBYene er kunnskapsrike
- Mange utbygginger blir utsatt eller kansellert
- Standard dansk design på turbinen dominerer fortsatt, men større
- Direktedrevne turbiner, store turbiner, offshore er fortsatt i tidlig fase

9



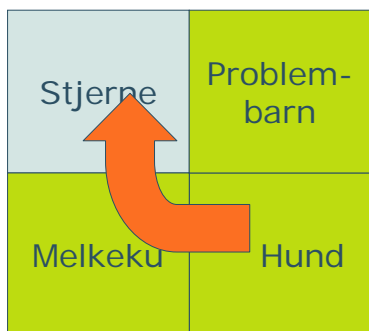
» Verdensmarkedet opp – hjemmemarkedet ned?



10



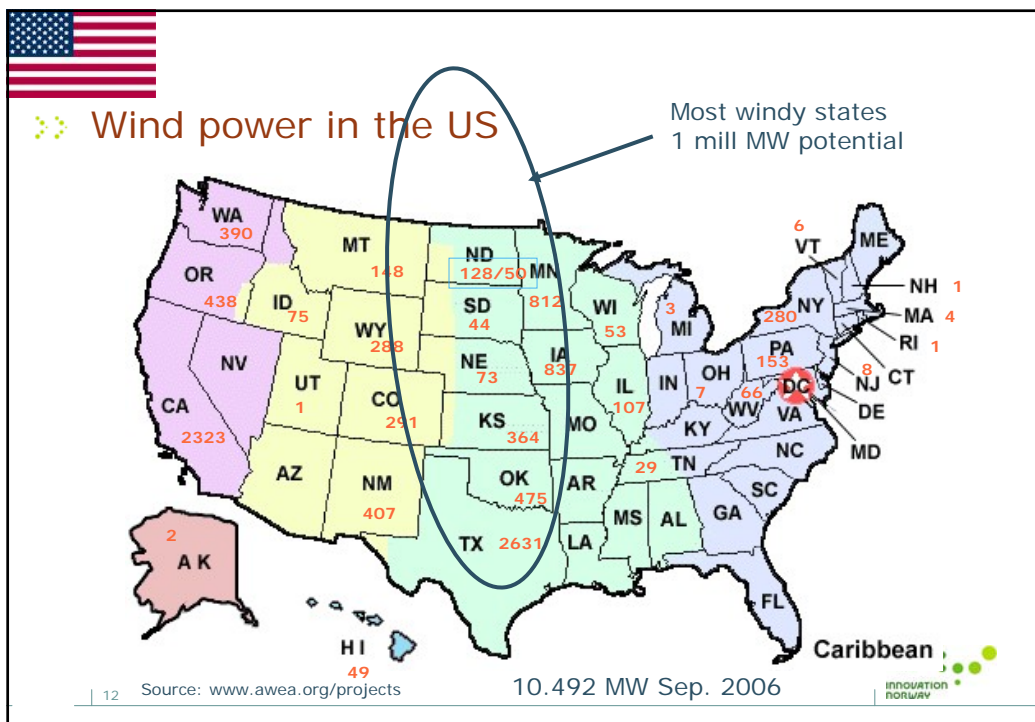
❖ Må finne nisjer og drakrefter i markedet

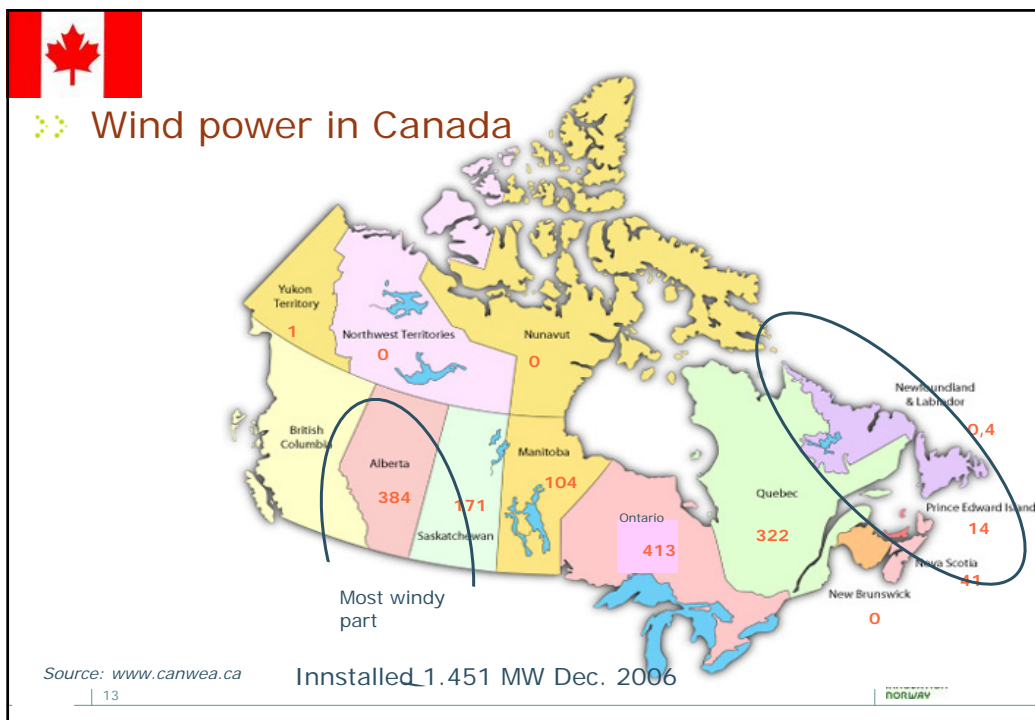


Parkutbyggere og nettselskaper drar med seg tjenesteleverandører

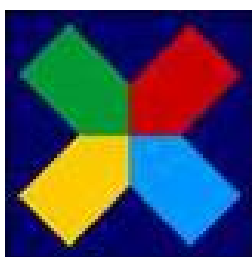
Turbinleverandører drar med seg sine underleverandører

Internasjonal eksponering bidrar til nysgjerrighet





Må ville



Felles for de som ikke kjøper Lotto, er at de ikke vinner

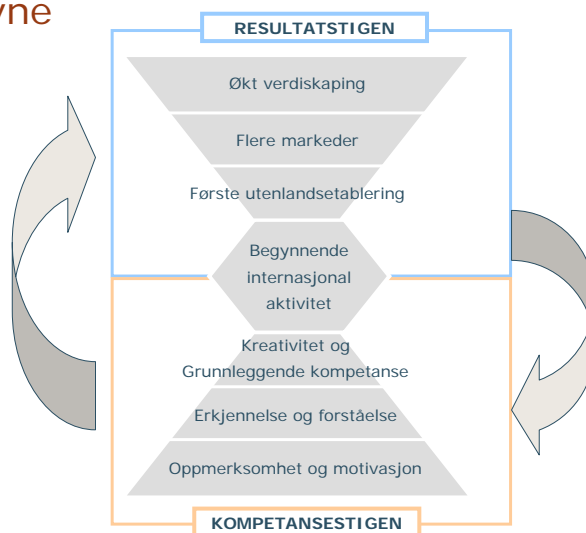
» Må være klar

- Visjon
- Strategi
- Penger og rette eiere
- Mennesker



15

» Må evne



16

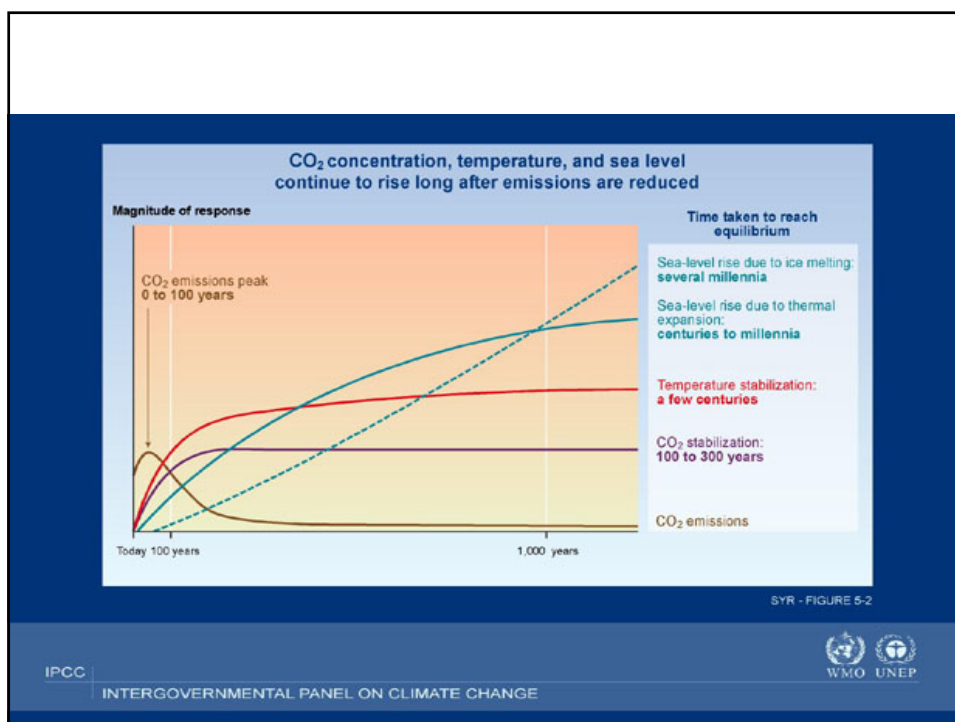
🔗 Hva kan Innovasjon Norge bidra med

Finansiering	Forsknings- og utviklingskontrakter IFU Samfinansiering med Forskningsrådet og Enova
Kompetanse	Flerbedrift internasjonaliseringsprogram Starter opp for 10 bedrifter sommer 2007
Rådgiving	Analyse-strategi-etablering-ekspansjon 40 kontorer over hele verden
Nettverk	Offentlige aktører, universiteter, bedrifter Studieturer: Canada og USA, ??
Profilering	Deltagelse på konferanser, utstillinger Canwea/GWEC, Quebec City, Sept. 30- Okt 3 All Energy, Aberdeen 23-24 mai

Vindkraft – en av klimalløsningene Norge må satse nå!

Ane Hansdatter Kismul
Norsk Vindkraftforening,
NORWEA

NORWEA
Norsk Vindkraftforening

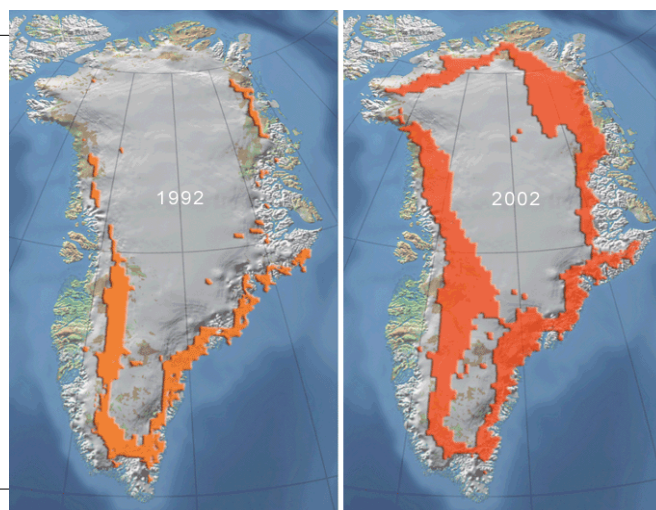




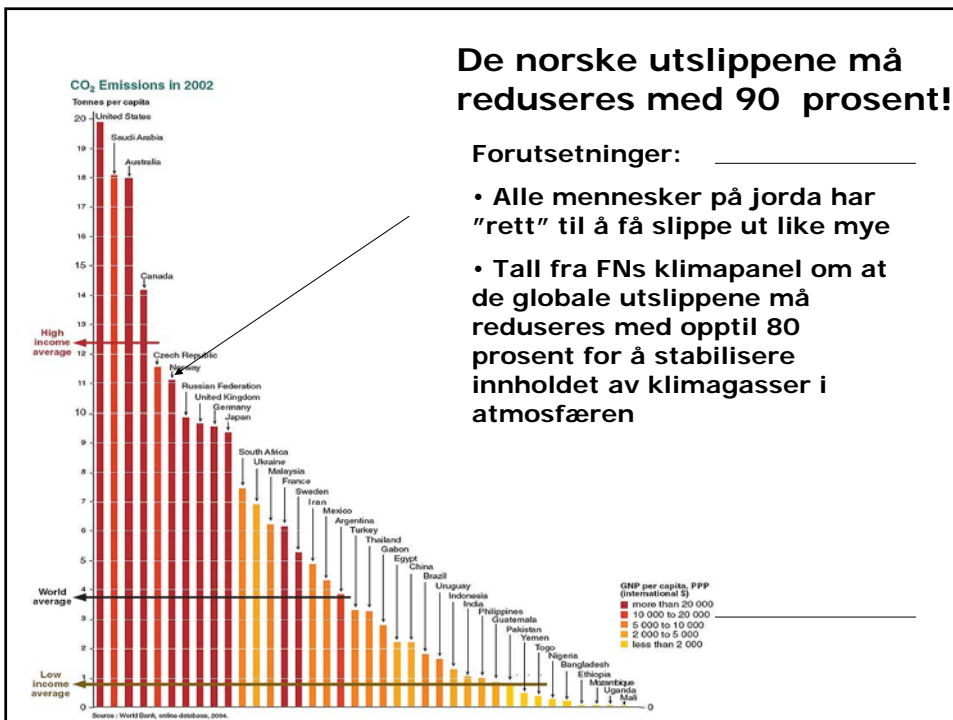
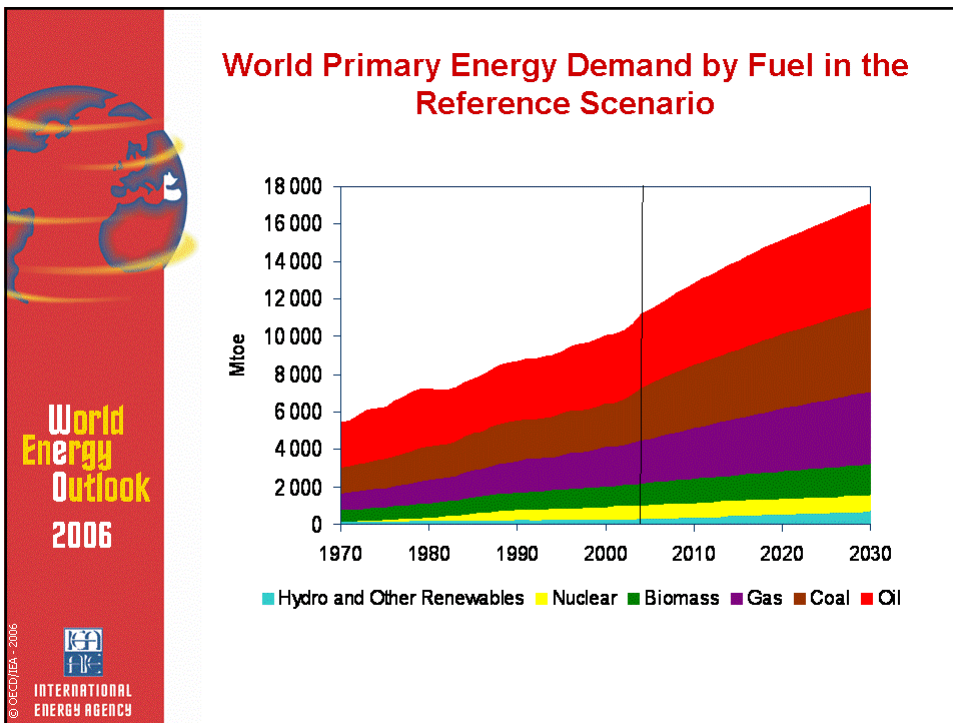
Endringer i maksimal smeltesone på Grønland 1992-2002

Arktis rammes
hardt!

Temperaturen
stiger dobbelt så
fort her som
gjennomsnittet
på jorden.



NORWEA
Norsk Vindkraftforening

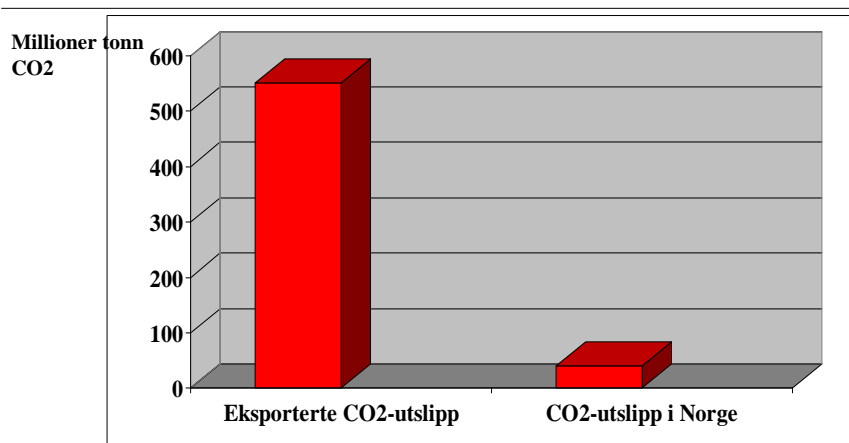


Vind må erstatte fossil energi

- **Totalt energiforbruk i 2002: 314 TWh**, av dette var **177 TWh** fra fossil energi.
- Hvis vi skal redusere med 90% kan vi bruke 18 TWh fossil energi.
- **Vi må altså kutte/erstatte 159 Twh fossil energi.**

NORWEA
Norsk Vindkraftforening

Vi lever av å eksportere klimaforurensing

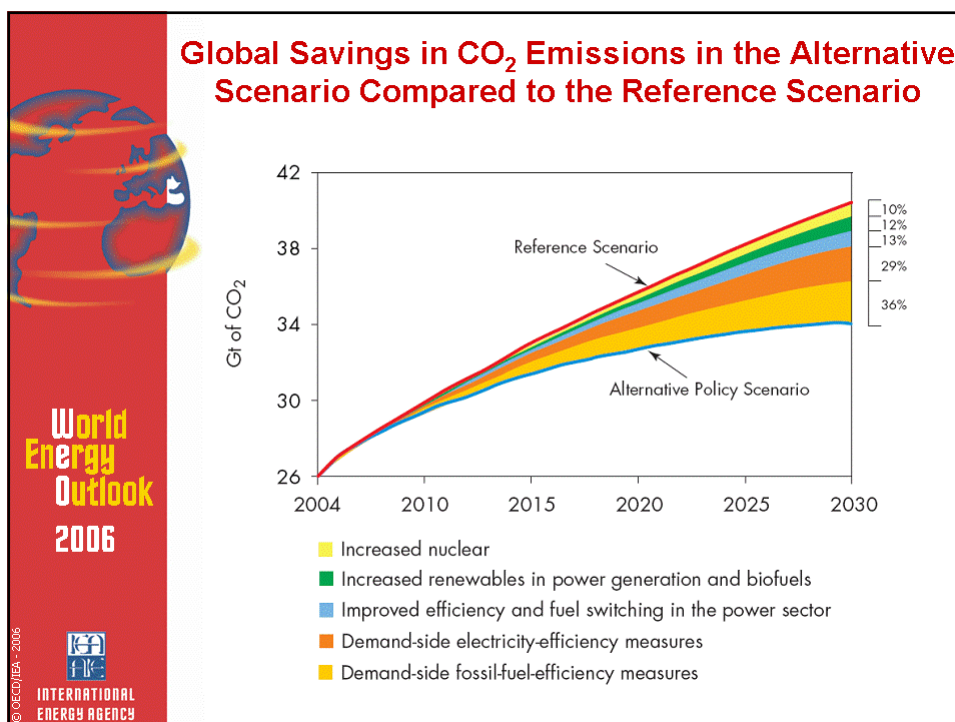


NORWEA
Norsk Vindkraftforening

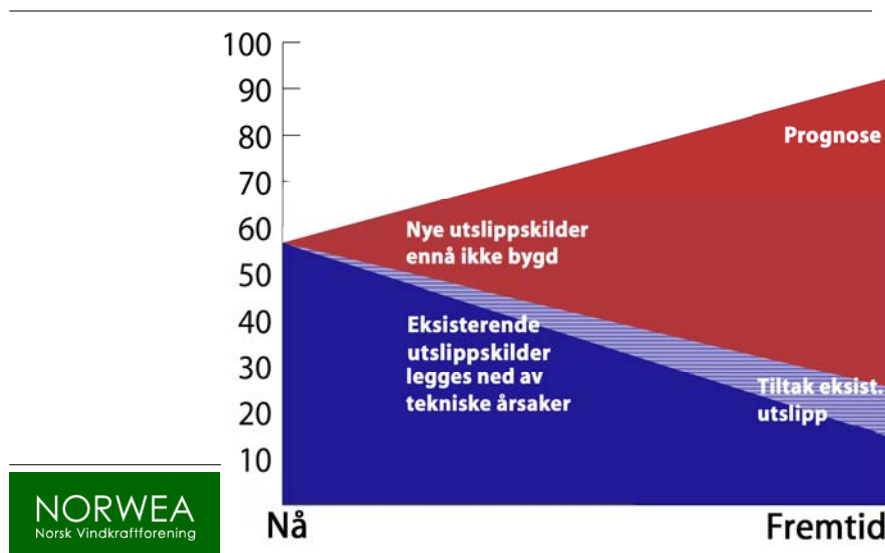
Klimaforhandlinger: Etter 2012

- Forhandlingene omhandler nye utslippsforpliktelser for landene under Kyotoprotokollen
- Fjorårets vedtak om "no gap" står fast
- Skal nå se på
 - Utslippspotensial i Kyotolandene
 - Hvilke mekanismer kan være med?
 - Utslippsforpliktelser for de enkelte landene
- Ny avtale i 2009?

NORWEA
Norsk Vindkraftforening



Det handler om å ta de riktige valgene, hver gang



Vindkraft – en del av løsningen

- Prognosene for 2006 anslår at det globale vindmarkedet hadde en omsetning på mer en 13 milliarder dollar i fjor.
- I 2005 ble det satt nok en rekord for vindkraftutbyggingen. Totalt ble 11,531 MW bygget ut. Trolig enda mer i 2006.
- Dette innebærer blant annet at 150.000 mennesker har vært sysselsatt i vindindustrien globalt.

Vindkraft-scenarier 2030

GWEC har følgende scenario som alternativ til IEAs prognose:

Andel av energiproduksjonen globalt:

Lav: 5%

Medium: 15,6%

Høy: 29,1%

NORWEA
Norsk Vindkraftforening

Vindkraft-scenarier 2030

Sparte klimagassutslipp med vindkraft:

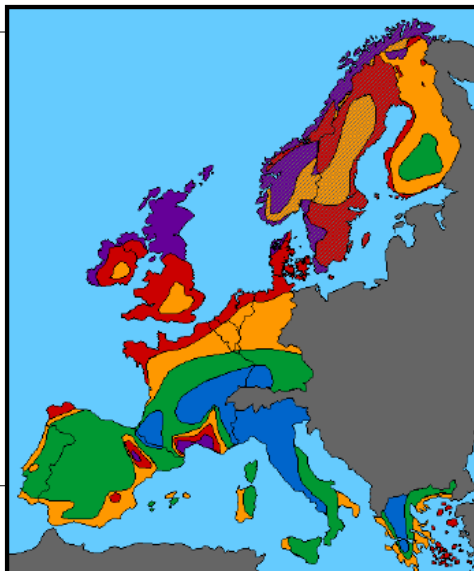
Lav: 535 millioner tonn CO₂

Medium: 1661 millioner tonn CO₂

Høy: 3100 millioner tonn CO₂

NORWEA
Norsk Vindkraftforening

Norge har den beste vinden



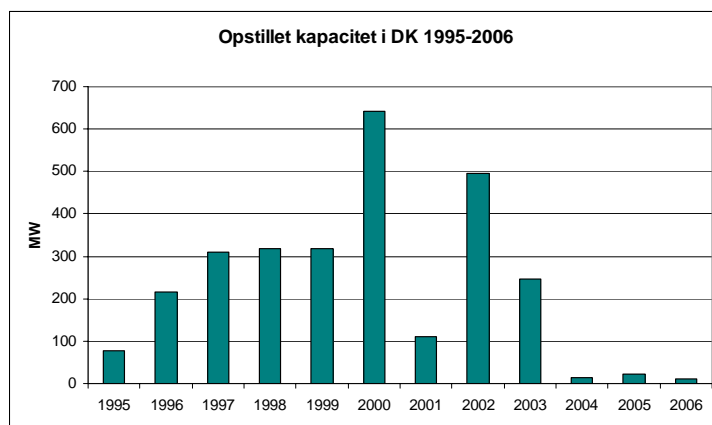
NORWEA
Norsk Vindkraftforening

Støtteordninger som virker

	Ny kapasitet bygget ut i 2005	Støttebeløp nasjonalt	Øre/Kwh (NOK)
UK	446 MW	52 øre/Kwh i tillegg til markedspris (57 øre/Kwh)	109
Spania	1764 MW	89,15 Euro/MWh	76
Hellas	ca. 100 MW	73 Euro/MWh	62
Portugal	500 MW	85 Euro/MWh	75
Tyskland	1808 MW	8,36 Euro/Kwh	67,86

NORWEA
Norsk Vindkraftforening

Støtteordninger som ikke virker

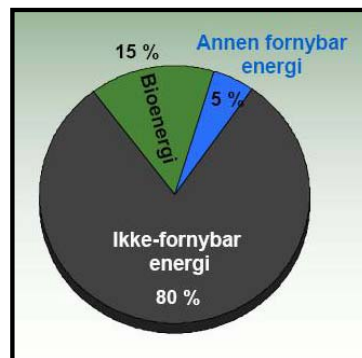


NORWEA
Norsk Vindkraftforening

- Den største trusselen for norskekysten er ikke vindparker, men klimaendringer i form av mer ekstremt vær og havstigning.
- Den største fremtidige trusselen for det biologiske mangfoldet er klimaendringer.
- Den største trusselen for norsk landskap er ikke vindparker, men trær på Hardangervidda.

Klimaendringene kan fikses

Klimaendringer kan koste 45 billioner kroner og føre til en nedgang i den globale veksten på 20 prosent dersom ikke drastiske tiltak blir satt i verk. - Fra Stern-rapporten



NORWEA
Norsk Vindkraftforening



Undersøkelse av en ny driftstrategi for store vindturbiner

Andreas Knauer, IFE
Tor David Hanson, Norsk Hydro ASA

2007-01-30



Ny driftstrategi for store vindturbiner

- Introduksjon
- Numeriske aktiviteter
- Diskusjon av resultater
- Oppsummering og konklusjon

2007-01-30



Motivasjon

Turbindesign fokuserer på å minimalisere energiproduksjonskostnader, dette skjer ved tilpassning av turbinkonstruksjonen til vind- og miljøkondisjoner.



2007-01-30

IFE

Design kondisjoner

Design-kondisjoner er forskjellige for onshore og offshore turbiner

Onshore:

- Lastbildet er kjent for flatt terreng
- Restriksjoner (Støy, visual acceptance, biodiversity)
- Begrenset antall av vindparker med eksellente vindforhold

Offshore (flytende):

- Komplekst lastbilde
- Mindre restriksjoner
- Ubegrenset adgang til ressurser med bra vind

Er nye effektive driftstrategier for offshore turbiner mulig?

2007-01-30

IFE

Belastninger på flytende vektstabiliserte vindturbiner

- Vind eksiterer tårnets elastiske egenmode (utkrager) egenperiode: mindre enn 4 sekunder
- Bølger eksiterer konstruksjonens stampebevegelse i periodeområdet: 5 til 20 sekunder
- Vind eksiterer konstruksjonens egenperiode i stamp: over 25 sekunder
- Stor toppmasse gir store dynamiske krefter i tårnroten
- Ønsker å redusere kreftene ved å redusere toppmassen



2007-01-30

IFE

En måte å redusere toppmassen er å redusere dimensjonene

Konstant Effekt: $P = \omega_R \cdot Torque$

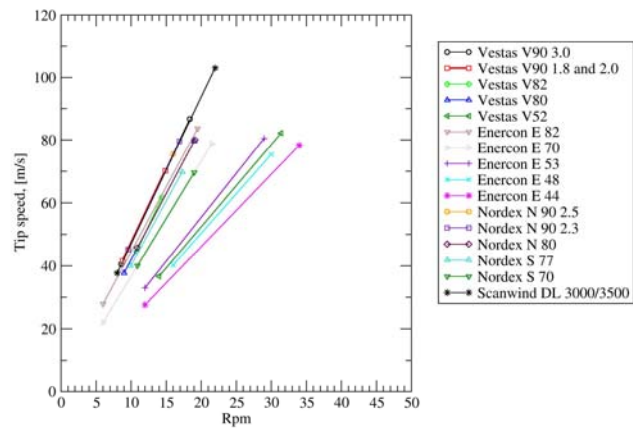
Redusert dreiemoment kan gi reduserte dimensjoner
men rotorhastighet må økes.

Er dette mulig?

2007-01-30

IFE

Operasjonelt område for store vindturbiner i dag



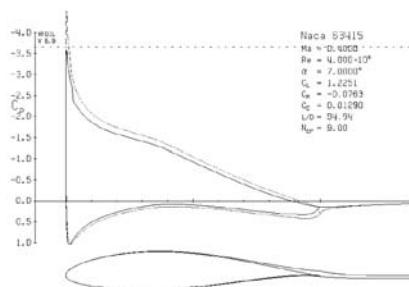
2007-01-30



Operasjon ved høye tip-hastigheter

Innflytelse på:

- Aerodynamikk
- Wake
- Rotorgeometri
- Lastbilde



2007-01-30



Rotoraerodynamikk

Effekter:

- Sentrifugalkrefter

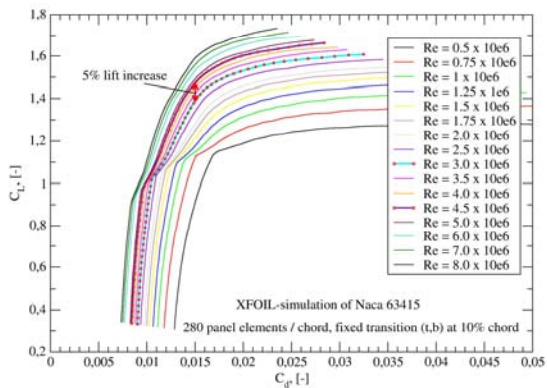
$$F_{centrifugal} = m \cdot \omega^2 \cdot r_{\perp}$$

- Corioliskrefter

$$F_C = -2m(\omega \times v)$$

- Reynolds number

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}$$



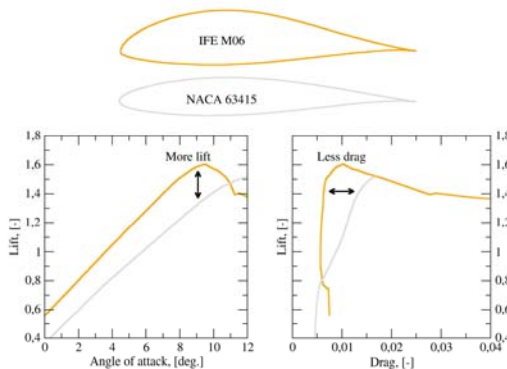
2007-01-30



Potensial for nye blader

Blad-design studier med XFOIL:

- Re = 4 millioner
- Lamiazær strømningsbilde
- Minimalisering av drag
- Maksimalisering av løft



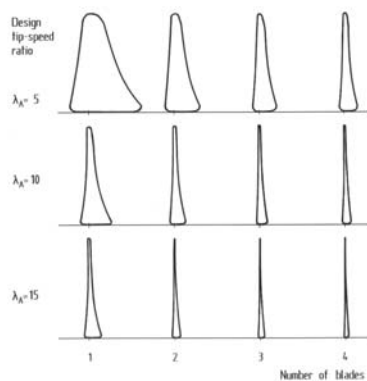
2007-01-30



TSR & Bladgeometri

Rule of thumb (Hau):

$$C_{opt} = \frac{2\pi \cdot r}{z} \cdot \frac{8}{9 \cdot C_l} \cdot \frac{v_{design}}{\lambda \cdot v_r}$$



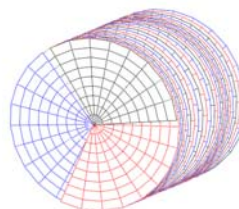
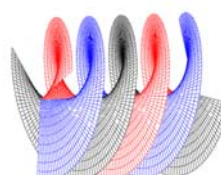
2007-01-30

IFE

Nær-wake geometrier

Wake struktur:

- Kompresjon av wake
- Mulig interaksjon mellom wake/blade tipp
- 3D-wake effekter mulig



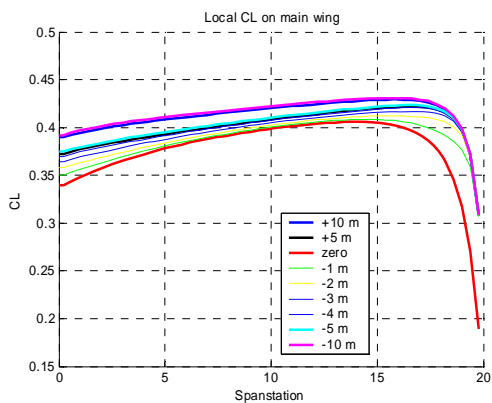
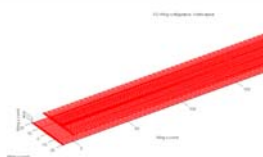
2007-01-30

IFE

Blade wake interaction

Blad-wake interaksjon:

- Tests med potensialteori i 2D og 3D
- Negativ innflytelse av wake på løftgenerering



2007-01-30



Vindturbin modell

Variable-speed, pitch-kontrollert vindturbin

- $P = 5$ MW
- Rotor diameter 123 m, 3 blader
- NACA 44xx seksjoner
- Ståltårn, hub-høyde 100 m
- Bladmasser 18 t (standard)



2007-01-30

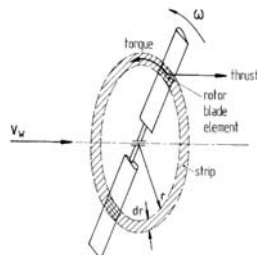


Aero-elastisk modell

Flex 5 er utviklet av Stig Øye, DTU. Modellen benyttes og modifiseres i IFE i SUP 'Vindenergi' og i det aktuelle prosjekt.

- Matematisk modell med strukturdata, lokasjon av alle masser i strukturen og eksterne laster
- Sub - modeller for vind, aerodynamikk (BEM) og strukturdynamikk (fundament, tårn, nacelle, rotor; med forskjellige koordinatsystemer).
- Kontroll-algoritmer (f.eks for pitching af rotorblader)
- Modellering av systemkomponenter (f.eks bremses)

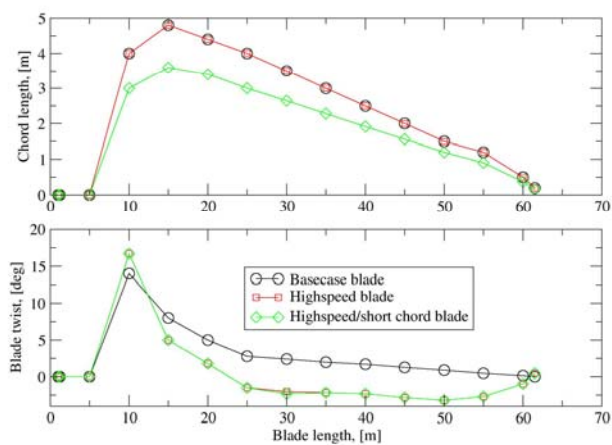
Modellen beskriver momentan strukturgeometri med hastigheter og akselerasjoner, kalkulasjon av egenfrekvenser er videre mulig.



2007-01-30

IFE

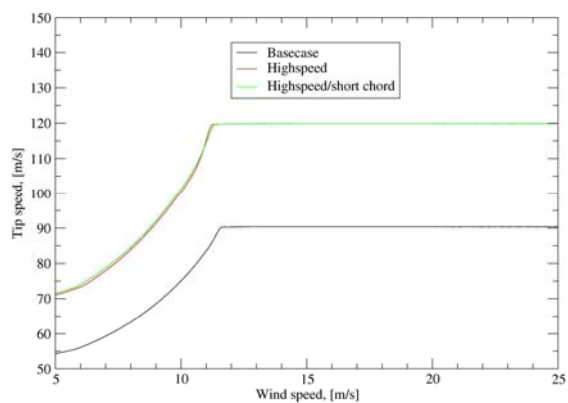
Bladgeometri



2007-01-30

IFE

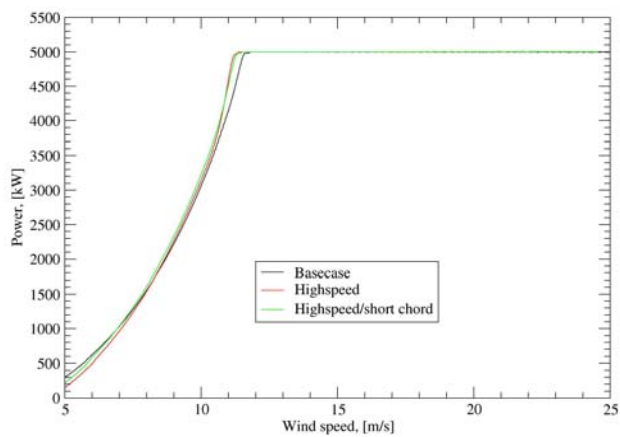
Tipp hastigheter i operasjon



2007-01-30



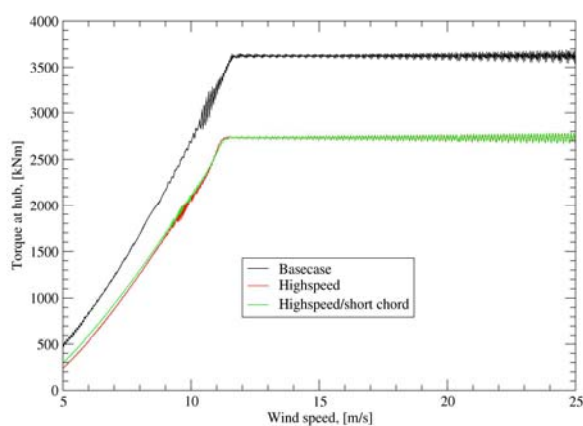
Energiproduksjon av forskjellige blader



2007-01-30



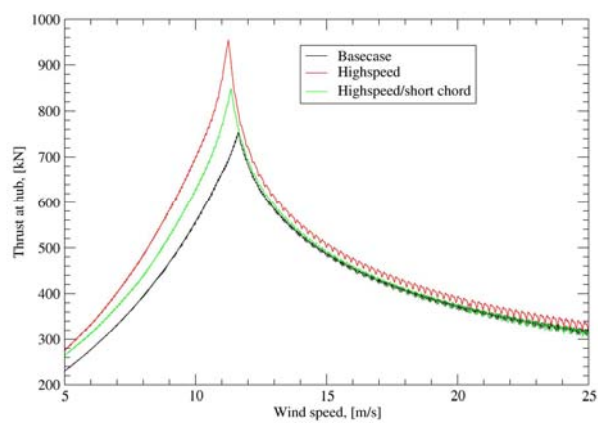
Torque reduksjon



2007-01-30

IFE

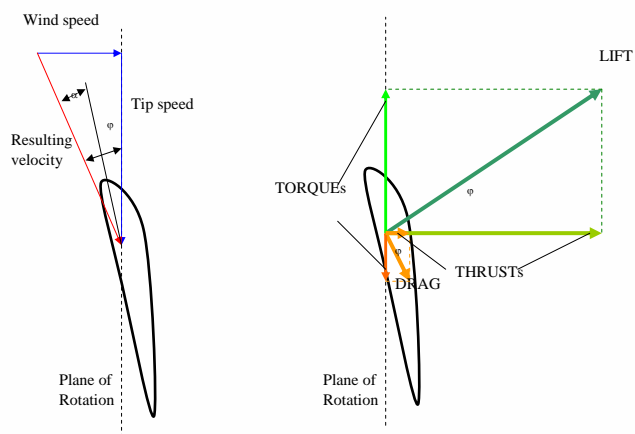
Thrust utvikling



2007-01-30

IFE

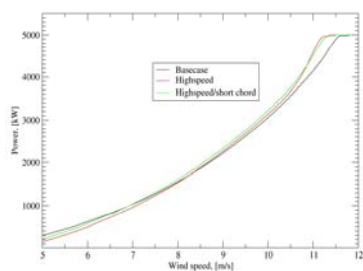
Løft/drag forhold



2007-01-30



Effekter ved høyere tippastigheter



Tip speed: +33%

- Energiproduksjon: Svært lite effekt
- Torque: Torque blir 25% mindre
- Thrust: Thrust blir 13% (sc) 26%(nc) større

2007-01-30



Massereduksjoner

Basert på aero-elastiske simuleringer og styrkeberegninger ble det estimert massereduksjoner.

- Massen av roterende deler (for eksempel akser): - 18%
- Bladmasse: teoretisk - 50% (bare aerodynamikk tatt i betraktning)

Total 'Tower top mass' (ttm) reduksjoner er vanskelig å estimere. Hvis blader med redusert kordelengde, redusert masse og tilstrekkelig styrke brukes, kan total ttm reduseres 15%.

Fokus på "detail-design" av komponenter kan gi videre reduksjoner.

2007-01-30



Oppsummering og konklusjon

Operasjonen av en 5 MW vindturbin ved høye tippastigheter ble analysert, forskjellige rotorblader ble brukt.

Resultater fra aero-elastiske simuleringer viste:

- lite forskjell i energiproduksjonen mellom konseptene
- redusert dreiemoment og økt thrust for high-speed operasjon

Basert på det nye lastbildet er det mulig å redusere 'Tower top mass'. Bladene har teoretisk et stor potensial for massereduksjon (opp til 50%).

Konklusjon:

Det er mulig å utvide operasjonsområde av turbinen til høye tippastigheter uten negativ effekt på energiproduksjon.

Videre arbeid kan fokusere på forbedret aero-elastiske simuleringer, mer avansert wake-modellering og analyse av lydemisjoner.

2007-01-30





SIEMENS

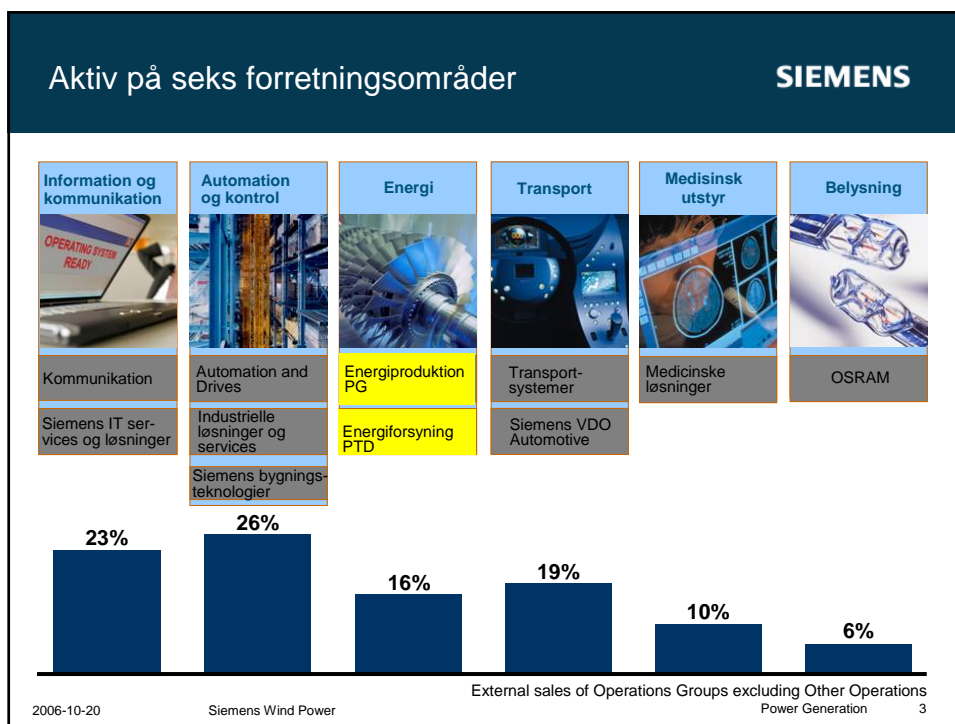
Siemens i hovedtræk

Siemens	Siemens	Siemens	Siemens
Siemens	Siemens	Siemens	Siemens
Siemens	Siemens	Siemens	Siemens
Siemens	Siemens	Siemens	Siemens
Siemens	Siemens	Siemens	Siemens
Siemens	Siemens	Siemens	Siemens

Siemens

© Siemens Power Generation 2006. All Rights Reserved.

2006-10-20 Siemens Wind Power Power Generation 2



Siemens i tal SIEMENS

	2006 ^{1) 2)}	2005 ¹⁾
I mio. EUR hvis andet ikke er angivet		
Nye ordrer	96.724	83.791
Omsætning	87.325	75.445
Nettointdtjening	3.106	2.248
Fortjeneste pr. aktie (i euro)	3,49	2,52
Antal medarbejdere	475.000	461.000

1) 1. oktober - 30. september
2) Løbende drift

2006-10-20 Siemens Wind Power Power Generation 4

SIEMENS

Power Generation i hovedtræk

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

Power Generation

2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation

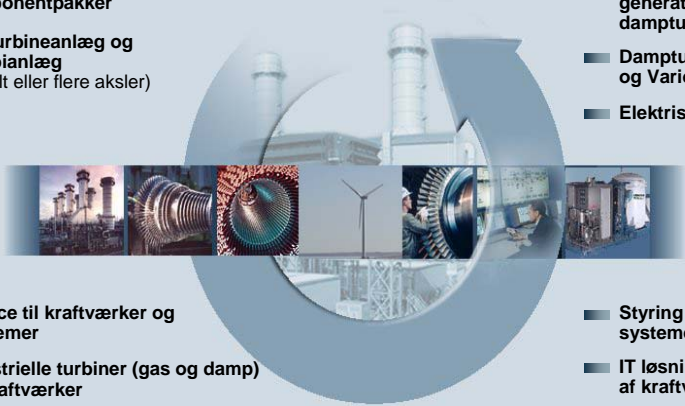
5

© Siemens Power Generation 2006. All Rights Reserved.

PG produktportefølje

SIEMENS

- **Gasturbiner og komponentpakker**
- **Gasturbineanlæg og kombianlæg**
(enkelt eller flere aksler)



- **Dampurbiner og generatorsæt til dampurbiner**
- **Dampurbinekraftværker og Varioplants**
- **Elektriske generatorer**

- **Service til kraftværker og -systemer**
- **Industrielle turbiner (gas og damp) og kraftværker**
- **Turbokompressor og motorer**

- **Vindturbiner**
- **Vindkraftanlæg**
- **Service til vindkraftanlæg**

- **Styring og kontrolsystemer**
- **IT løsninger til styring af kraftværker**
- **Brændselscelleanlæg**

Produkter og services

Power Generation 1
Gruppekommunikation

SIEMENS

Siemens Wind Power i hovedtræk

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

Siemens Wind Power

2006-10-20
Siemens Wind Power
Power Generation
7

SIEMENS

Siemens Wind Power i hovedtræk

Adresse og ledelse

Siemens Wind Power A/S
Borupvej 16, DK-7330 Brande

Ledelse:	Andreas Nauen / Kai Lueg
Salg:	Jan Kjærsgaard / Lars Bondo
Krogsgaard Marketing:	Ernst Frensdalen / H. Schuhmann
Udvikling & Projekter:	Peder Nickelsen / P. Hansen B. Telgmann / K. Ledebøer
Teknologi:	Henrik Stiesdal
Supply Chain: Administration	Leo Schot / Kyriakos Kosmidis Finans & Poul Hansen

Medarbejdere: 2300 (fra 850) incl. 180 i Tyskland

Placeringer

Nacellefabrik: Brande (DK)

- 2005 >600 MW produceret - udvidelse til >2,000 MW i 2008

Vingefabrik: Ålborg (DK)

- Fabrik bygget i 2002 – kapacitetsudvidelse blev færdig 2006

Salg og projektledeelse: Orlando (USA)

Nyt: Servicekontor Houston (USA)

Nyt: Vingefabrik, Fort Madison, Iowa

Nyt: Vingefabrik: Engesvang (DK) – tidligere LM Glasfiberfabrik

Nyt: AN Wind i Bremen – tidligere samarbejdspartner med ingeniør- og projektafdeling

Produkter og installationer

Model	Antal
SWT-0.6-44	1310
SWT-1.0-54	356
SWT-1.3-62	1183
SWT-2.0-76	161
SWT-2.3 serien	506
SWT-3.6-107	6

Status: 31.03.2006

Nye teknologier

IntegralBlade® vingedesign:

- Lukket produktionsproces opfundet af Siemens Wind Power

SWT-2.3-93:

- Længere vinger (45m) end på standard SWT-2.3-82 møllen til placeringer med middel eller lav vindhastighed. Kommercielle projekter i Europa siden 2005

SWT-3.6-107:

- Den indtil dato største vindmølle skræddersyet til offshore forhold
- Første kommercielle projekt færdigt

2006-10-20
Siemens Wind Power
Power Generation
8

Produktions- og administrationsbygninger i Brande

- Siemens Wind Power's hovedkontor har ligget i Brande siden 1980
- Den nuværende kontorbygning blev bygget i 2001
- Udvidelse med 15,000 m²: nye kontorer, lager og produktionsfaciliteter færdiggjort 2006

Nye lagerhaller (December 2005)

Ny R+D og udviklingskontorer (September 2006)

Ny produktionsbygning til SWT-3.6-107 (Maj 2006)

Ny prototypehal (Maj 2006)

Nye salgs-, projekt- og administrationskontorer (September 2006)

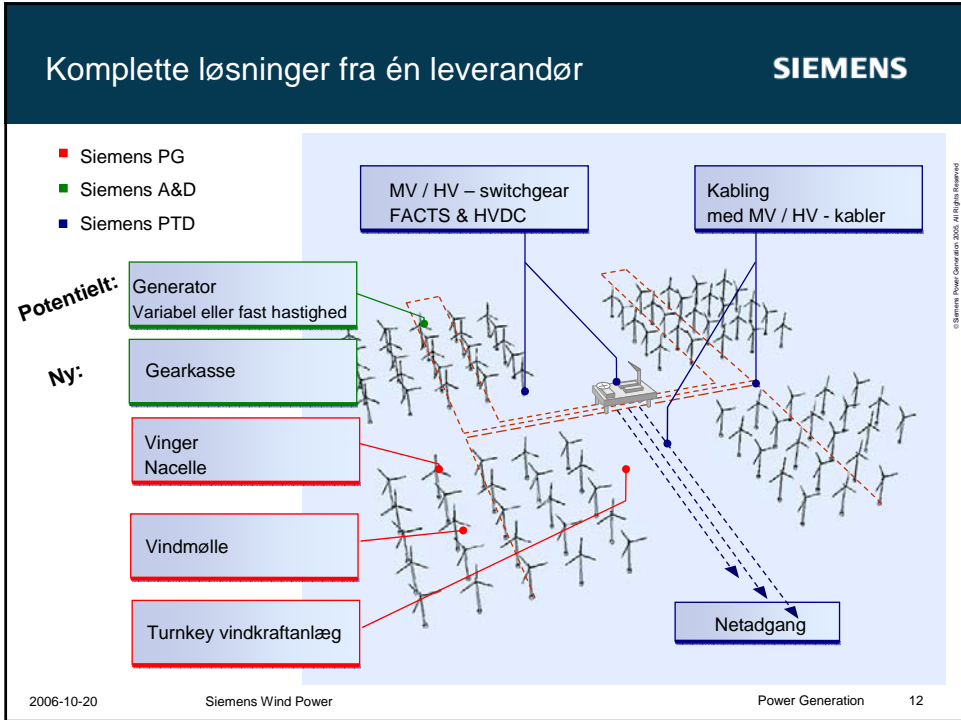
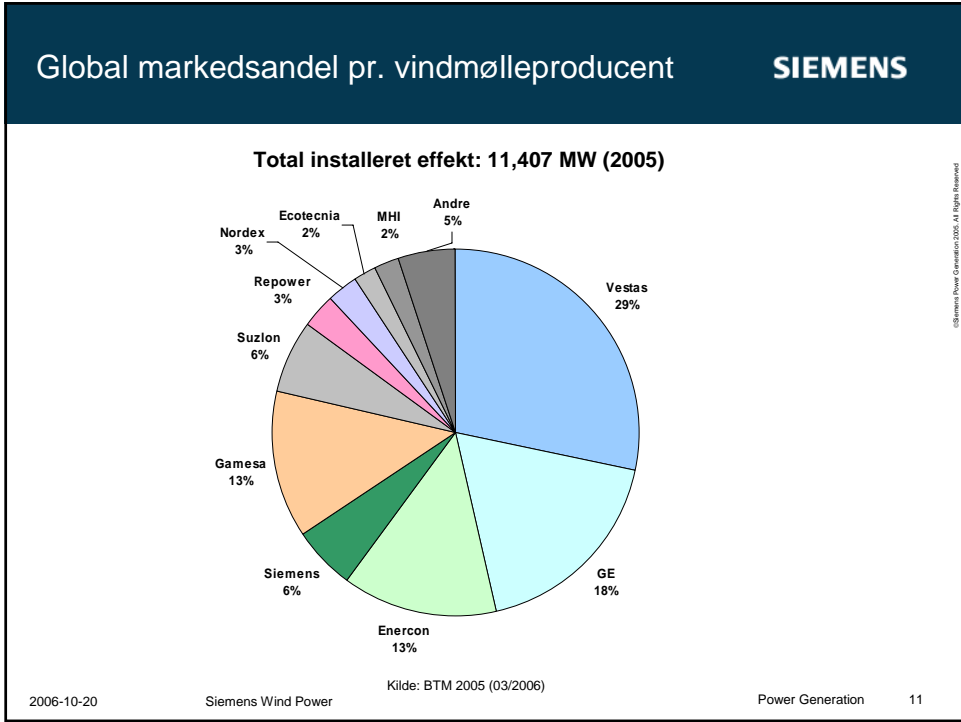
2006-10-20
Siemens Wind Power
Power Generation
9

Siemens installationer worldwide (pr. juni 2005)

Land	Procent
Tyskland	31%
Danmark	16%
USA	11%
England	11%
Spanien	10%
Andre	5%
Norge	5%
Grækenland	5%
Japan	2%
Irland	2%
Portugal	1%
Holland	1%

Installeret kapacitet: > 4.000 MW

2006-10-20
Siemens Wind Power
Power Generation
10



Siemens PTD Turnkey løsninger for nett tilknytning

SIEMENS

Teknologi	Service	Partnerskap
AIS, GIS	Studier	Land- / Sjøkabel og forlegning
FACTS, HVDC	Planlegging	Bygningsmessige arbeider
MV Koblingsanlegg	Innkjøp	Offshore Plattform
Transformatorer	Konstruksjon	Prosjektfinansiering
Kontrollanlegg og Vern	Opplæring & Service	

© Siemens Power Generation 2005. All Rights Reserved.

2006-10-20
Siemens Wind Power
Power Generation
13

Konsept for internt nett: Sammenkobling av vindgeneratorer

SIEMENS

■ Fase I
■ Fase II

Platform II

Platform

© Siemens Power Generation 2005. All Rights Reserved.

2006-10-20
Siemens Wind Power
Power Generation
14

SIEMENS

Prosjektansvar med Siemens PTD

Fordeler for Utvikleren, Investoren og Operatøren av Vindparken



- **Kompetanse i Studier, Planlegging og Bygging av komplekse Nettløsninger**
- **Erfaring med Kontrakter**
- **En kilde for AIS/GIS, FACTS, HVDC, MV, Transformator, Kontrollanlegg og Vern, Service & Opplæring**
 - EN Kommerseill og Teknisk Kontrakt
 - Minimalisere antallet Kontraktsmessige Grensesnitt
 - Optimalisering av Totalkonseptet
- **Kompetanse med Kontrakter (Konsortium o.l.), f.eks. Kabelarbeider, Bygningsmessige arbeider,....**



2006-10-20 Siemens Wind Power Power Generation 15

© Siemens Power Generation 2006. All Rights Reserved.

SIEMENS

Teknologi

Teknologi	Teknologi	Teknologi
Teknologi	Teknologi	Teknologi
Teknologi	Teknologi	Teknologi
Teknologi	Teknologi	Teknologi
Teknologi	Teknologi	Teknologi
Teknologi	Teknologi	Teknologi
Teknologi	Teknologi	Teknologi
Teknologi	Teknologi	Teknologi
Teknologi	Teknologi	Teknologi
Teknologi	Teknologi	Teknologi

Teknologi

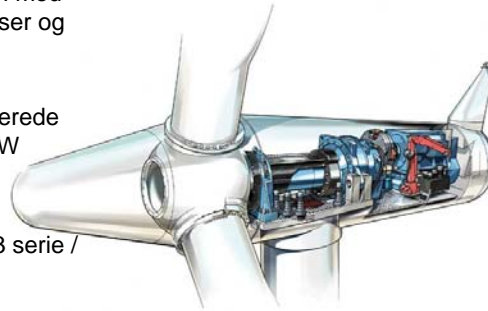
2006-10-20 Siemens Wind Power Power Generation 16

© Siemens Power Generation 2006. All Rights Reserved.

Den grundlæggende teknologi i en Siemens vindmølle

SIEMENS

- En trebladet frontløber med konstant hastighed og CombiStall® vingereguleringssystem eller variabel hastighed
- Fejlsikkert driftsstandsningssystem med automatiske aerodynamiske bremsere og kraftige hydrauliske skivebremser
- Erfaring fra mere end 5.800 installerede vindmøller på til sammen 4.498 MW
- Portefølje:
Standard: SWT-1.3-62 / SWT-2.3 serie / SWT-3.6-107



2006-10-20

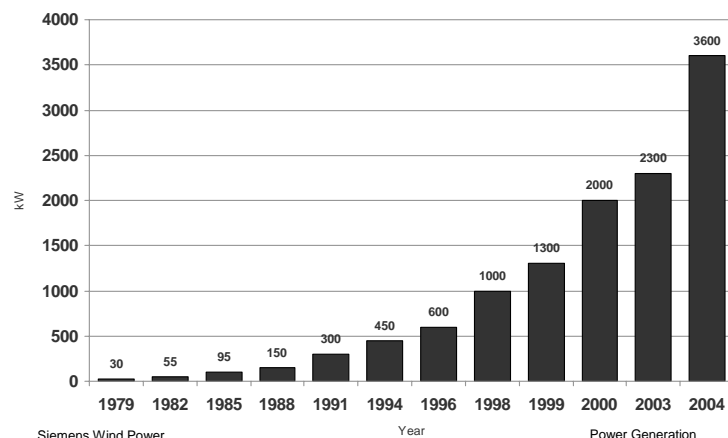
Siemens Wind Power

Power Generation

17

Udvikling i møllestørrelse (1979-2004)

SIEMENS



2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation


18

SIEMENS


Hvordan udviklede det sig?

Indtil nu eksponentiel vækst

- Fra 22 kW til 2.3 MW på 25 år
- Fordobling af størrelse: 4 år
- Plateau nås et sted mellem 5 og 10 MW
- Vores flagskib, SWT-3.6-107 har et vingefang på 107 m – Boeing 747 har et vingefang på 64 m



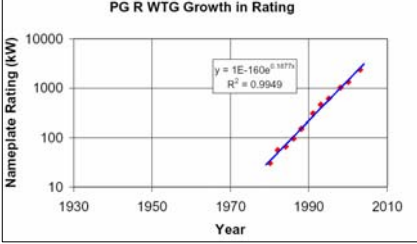
2006-10-20 Siemens Wind Power



Commercial Aircraft MTOW Growth

Maximum TOW (tons)

Year



PG R WTG Growth in Rating

Nameplate Rating (kW)

Year

$y = 1E-160e^{0.1877x}$
 $R^2 = 0.9949$

2006-10-20
Siemens Wind Power
Power Generation
19

SIEMENS

Vinger - IntegralBlade®

- Vingen produceres i én arbejdsgang ved brug af en lukket proces, som er opfundet af Siemens Wind Power
- Ingen limfuger mellem bjælker og kappe, ingen svage punkter, ingen steder hvor vand og lyn let kan trænge ind
- Kombinerer overlegen styrke med høj ydeevne og støjbegrænsning





2006-10-20
Siemens Wind Power
Power Generation
20

Bygget på erfaring SIEMENS

<p>SWT-1.3-62 CombiStall</p> <p>Tekniske data:</p> <ul style="list-style-type: none"> • IEC Class: I • Rotordiameter: 62 m • Vinge, længde: 30 m • Bestrøget areal: 3000 m² • Navhøjde: 45-68 m • Effekteregulering: stall reguleret • Årlig ydelse ved 8 m/s: 4.500 MWh • Vinge, vægt: 5 t • Rotor, vægt: 30 t • Nacelle, vægt: 47 t • 68 m tårn, vægt: 94 t <p>Historik:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Serieproduktion: 1999 • Installationer totalt: 1174 	<p>SWT-2.3-82 CombiStall</p> <p>Tekniske data:</p> <ul style="list-style-type: none"> • IEC Class: I • Rotordiameter: 82,4 m • Vinge, længde: 40 m • Bestrøget areal : 5300 m² • Navhøjde : 60-80 m • Effekteregulering: stall reguleret • Årlig ydelse ved 8 m/s: 7.800 MWh • Vinge, vægt : 9,5 t • Rotor, vægt : 54 t • Nacelle, vægt : 82 t • 80 m tårn, vægt : 158,3 t <p>Historik :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Serieproduktion : 2002 • Installationer totalt : 450
--	---

2006-10-20 Siemens Wind Power Power Generation 21

SWT-2.3-93 vindmøllen SIEMENS

<p>Tekniske data:</p> <ul style="list-style-type: none"> • IEC klasse: IIA • Rotordiameter: 93 m • Vinge, længde: 45 m • Bestrøget areal: 6800 m² • Navhøjde: 60-80 m • Effekteregulering: pitch reguleret • Årlig ydelse ved 8 m/s: 8.800 MWh • Vinge, vægt: 11 t • Rotor, vægt: 60 t • Nacelle, vægt: 82 t • 80 m tårn, vægt: 158,3 t <p>Historik:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prototype installeret: 2004-2005 • Serieproduktion: 2005 • Installationer totalt: stiger dagligt 	
---	--

2006-10-20 Siemens Wind Power Power Generation 22

SWT-3.6-107 vindmøllen

SIEMENS

Tekniske data:

- IEC klasse: I
- Rotordiameter: 107 m
- Vinge, længde: 52 m
- Bestrøget areal: 9000 m²
- Navnhøjde: 80–100 m
- Effektregulering: pitch reguleret
- Årlig ydelse ved 8 m/s: 12.700 MWh
- Vinge, vægt: 16 t
- Rotor, vægt: 95 t
- Nacelle, vægt: 125 t
- 80 m tårn, vægt: 250 t

Historik:

- Prototype installeret: 2004
- Serieproduktion: 2006
- Installationer totalt: Prototype + 5



© Siemens Power Generation 2006. All Rights Reserved.

2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation

23

Beregnet levetid for en vindmølle i SWT-2.3 serien

SIEMENS

- Konstruktionens beregnede levetid: 20 år
- Total CO₂ reduktion: 60-120kt
- Energiforbruget til produktion af en vindmølle i SWT-2.3 serien genereres på 3-6 mdr.
- Metaldele kan genbruges eller kasseres
- I øjeblikket deponeres glasfiberdele – genbrugsmuligheder i nær fremtid

© Siemens Power Generation 2006. All Rights Reserved.

2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation

24

Fremragende renommé

SIEMENS

On- og offshore projekter

1991
Verdens første offshore vindmøllepark (Vindeby/DK), 5 MW

1998
Verdens største mølle med 2.0 MW i serieproduktion

2000
Verdens største offshore vindmøllepark (Middelgrunden/DK), 40 MW

2001
Verdens største landbaserede vindmøllepark (King Mountain/USA), 278 MW

2003
Verdens største offshore vindmøllepark (Nysted/DK), 166 MW

2005
Smøla I-II (NOR) 150 MW

2006
Horse Hollow (US) 299 MW

WTG = Wind Turbine Generator

© Siemens Power Generation 2006. All Rights Reserved

2006-10-20 Siemens Wind Power Power Generation 25

Produktportefølje

SIEMENS

Mere end 5.800 installerede vindmøller overalt i verden (juni 2006)

MW-klassen – nuværende marked

- ▶ CombiStall-Teknologi
 - SWT-1.0-54: 356 møller
 - SWT-1.3-62: 1174 møller
 - SWT-2.0-76: 161 møller
 - SWT-2.3-82 450 møller

Multi-MW-klassen – kommende marked

- ▶ Pitch-Teknologi med variabel hastighed
 - SWT-2.3-82 VS og SWT-2.3-93: 35 WTG
 - SWT-3.6-107: Prototype + 5

kW-klassen

- ▶ Stall-Teknologi
 - SWT-0.6-44: 1.302 møller
 - <600 kW: 2.330 møller

 Nuværende produktportefølje
 planlægges / prototype

2006-10-20 Siemens Wind Power 26

SIEMENS

Projekter

Projekter

Projekter Projekter Projekter Projekter
 Projekter Projekter Projekter Projekter
 Projekter Projekter Projekter Projekter
 Projekter Projekter Projekter Projekter
 Projekter Projekter Projekter Projekter
 Projekter Projekter Projekter Projekter
 Projekter Projekter Projekter Projekter
 Projekter Projekter Projekter Projekter

2006-10-20 Siemens Wind Power Power Generation 27

SIEMENS

King Mountain, Texas/USA 2001

- 214 stk. SWT-1.3-62 møller installeret
- På opførelsestidspunktet verdens største vindmøllepark



2006-10-20 Siemens Wind Power Power Generation 28

Smøla, Norge 2002 (2004-05)

SIEMENS

- 20 stk. SWT-2.0-76 møller og 48 stk. SWT-2.3-82 møller installeret
- Smøla Wind Farm er Norges største vindkraftanlæg



© Siemens Power Generation 2005. All Rights Reserved.

2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation

29

Black Law, Skotland 2004-2005

SIEMENS

- 42 stk. SWT-2.3-82 møller installeret



© Siemens Power Generation 2005. All Rights Reserved.

2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation

30

Vindeby Offshore, DK 1991

SIEMENS

- 11 møller 450 kW
- Verdens første havmøllepark



© Siemens Power Generation 2005. All Rights Reserved

2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation

31

Middelgrunden Offshore, DK 2000

SIEMENS

- 20 stk. SWT-2.0-76 møller installeret
- På opførelsestidspunktet verdens største vindkraftanlæg - og uden tvivl det mest fotograferede



© Siemens Power Generation 2005. All Rights Reserved

2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation

32

Samsø Offshore, DK 2002

SIEMENS

- 10 stk. SWT-2.3-82 møller installeret
- Vindkraftanlægget er rejst på større havdybder end noget andet offshore vindkraftanlæg i verden.



© Siemens Power Generation 2005. All Rights Reserved

2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation

33

Nysted Offshore, Rødsand/DK 2003

SIEMENS

- 72 stk. SWT-2.3-82 møller installeret
- Verdens største offshore vindkraftanlæg (målt i installeret effekt)



© Siemens Power Generation 2005. All Rights Reserved

2006-10-20

Siemens Wind Power

Power Generation

34

1

Hydraulisk gir til vindturbiner

Ole Gunnar Dahlhaug
Institutt for energi og prosessteknikk



www.ntnu.no

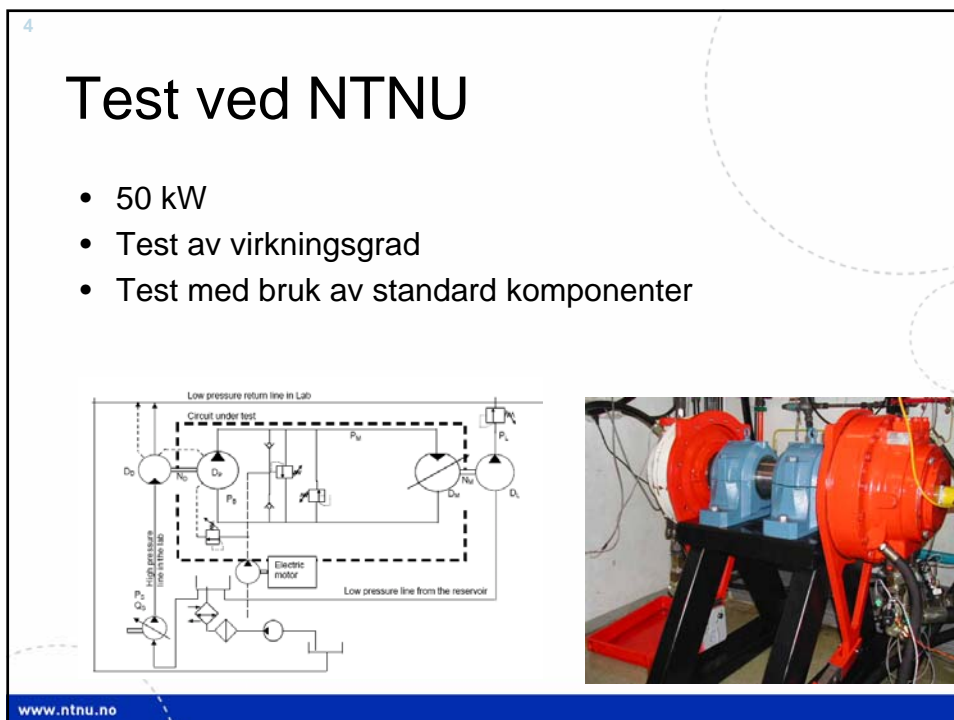
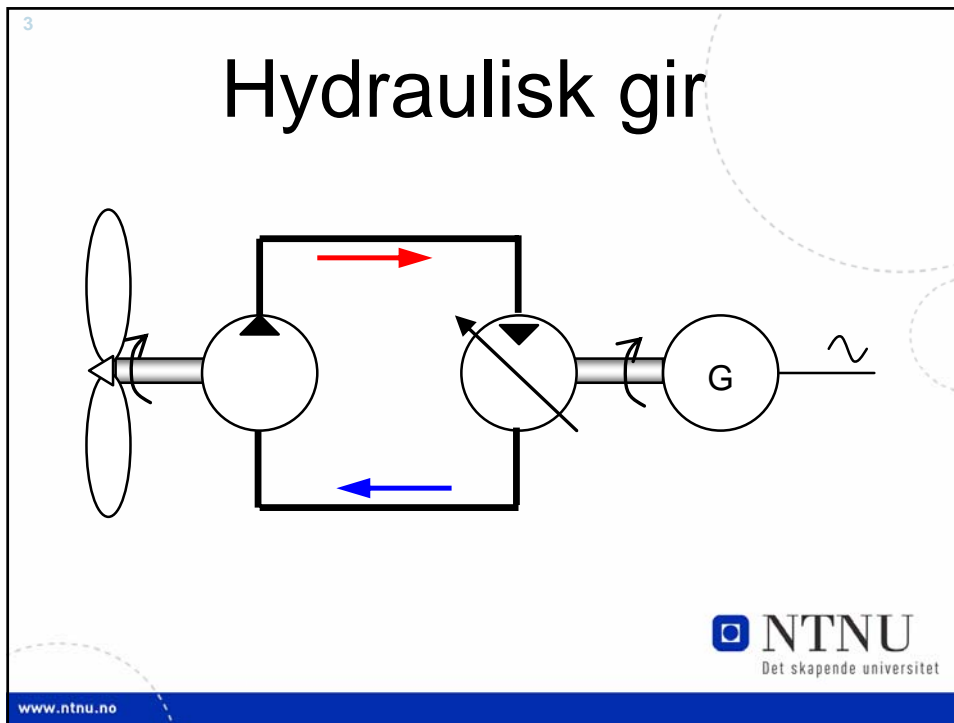
2

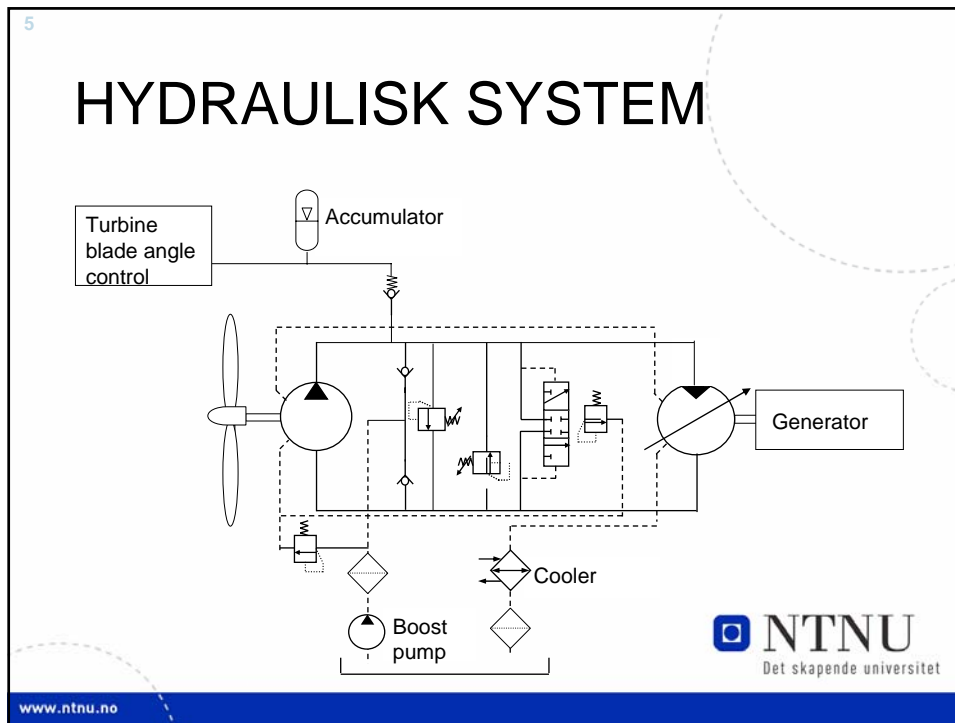
Bakgrunn

- Mekanisk girboks valgt
- Ingen hydraulisk girboks tilgjengelig på markedet
- Tidevannsturbinen i Hammerfest
 - Rotordiameter: 20 meter
 - Generatoreffekt: 300 kW
 - Turtall på generatoren: 500 rpm
 - Turtall på turbinen: 7 rpm
 - Utsvevingsforhold: 1:70



www.ntnu.no



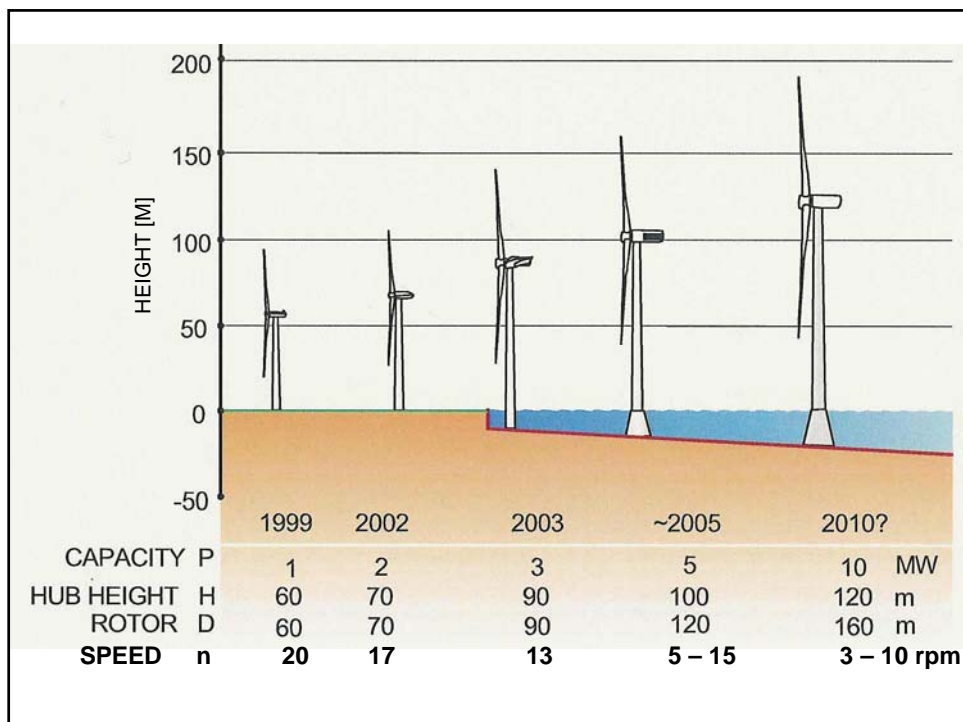


6

Anvendelser

- Tidevannsturbiner
- Onshore vind turbiner
- Offshore vind turbiner
- Bølgekraftverk
- Kombinasjon av tidevann, bølger og vind

www.ntnu.no



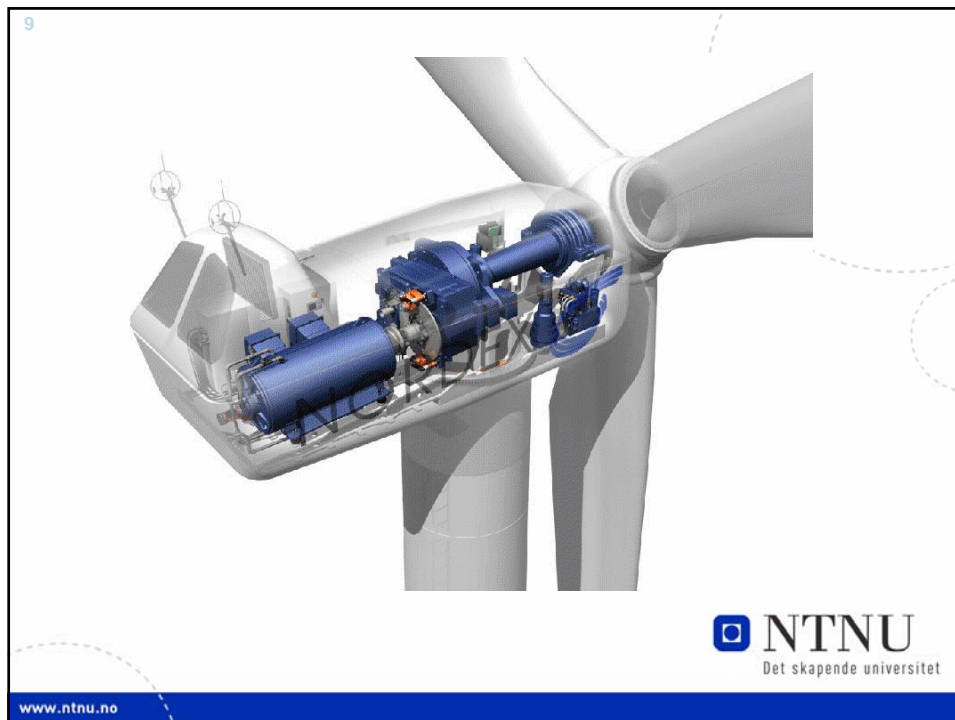
8

Dagens teknologi

- Installasjon, drift og vedlikehold

- Store vindturbiner benytter mekanisk kraftoverføring fra turbin til generator.
- Mekaniske girbokser står for ~30 % av nedetiden
- Et alternativ er en direktdrevet generator
- For 5 MW turbiner fører begge disse alternativene til for stor vekt i nacellen (~ 300 - 400 tonn)
- Stor vekt fører til økte installasjonskostnader





10

Hydraulisk gir til vindturbiner

- **Vekt**
 - Generatoren kan taes ut av nacellen og evt settes på bakken
 - Betydelig vektreduksjon i nacelle
 - Lavere installasjonskostnader pga lavere vekt
- **Drift**
 - Større pålitelighet, kjente komponenter der systemet kan designes til ønsket levetid
 - Standardisere komponenter
 - Lavere vedlikeholdskostnader, bedre pålitelighet og lettere tilgjengelighet til motor og generator
 - Muliggjør synkrongenerator og direktekobling på nett
 - Rimeligere generatorer
 - Hydraulisk brems
 - Damping av effektvariasjoner fra turbinen
- **Virkningsgrad**
 - Konstant TSR gir god virkningsgrad over et stort driftsområde
 - Oppstart på lav vindhastighet

www.ntnu.no

11

Multibrid M5000

Power output: 5 MW

Diameter: 116 m.

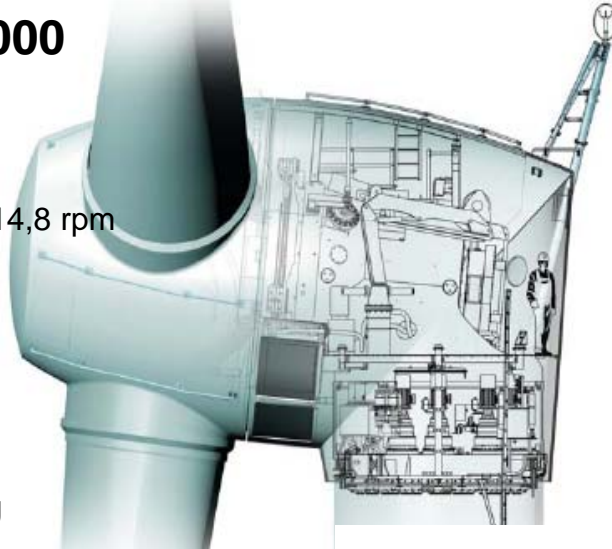
Turbine speed: 5,9 -14,8 rpm

Masses:

Blade: 16.500 kg

Hub: 60.100 kg

Nacelle: 199.300 kg



www.ntnu.no

12

Offshore Machines

Manufacturer	Model	Power (MW)	Rotor (m)	Nacelle Weight + Rotor (tons)	Generator	Cf (%)	# Units
Enercon	E112	4.5	112	440	WF Sync	44.0	5
Enercon	E120	6	120	440	WF Sync	41.6	0*
Vestas	V90	3	90	108	DFIG	43.5	9
Vestas	NM110	4.2	110	214	DFIG	44.6	1
Vestas	V120	4.5	120	214	DFIG	46.5	0*
GE	3.6s	3.6	104	280	DFIG	45.3	9
GE	3.6sl	3.6	111	265	DFIG	47.9	0*
Siemens/Bonus	3.6	3.6	107	200	Induction	46.4	1
Repower	5M	5	126	400	DFIG	46.3	1
Prokon Nord	Multibrid	5	116	280	PM Sync	43.4	1

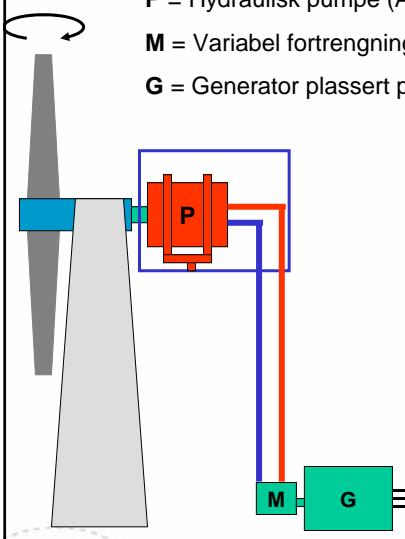

* planned upgrades

www.ntnu.no

13

Hydraulisk gir - 5 MW

P = Hydraulisk pumpe (Antatt vekt ca.20 tonn)
M = Variabel fortrenings motor 8 x A4VSO1000
G = Generator plassert på bakken eller i bunnen av tårnet på vind

Weights in ton		Nacelle + Rotor	Rotor
Vestas V90	3,0 MW	108	42
GE	3,6 MW	280	
Siemens Induction	3,6 MW	200	
Vestas V120	4,5 MW	210	65
Enercon E112	4,5 MW	440	
Prokon Nord Multibrid	5,0 MW	280	
Repower	5,0 MW	400	
Hydrostatic drive	5,0 MW	100-200	65

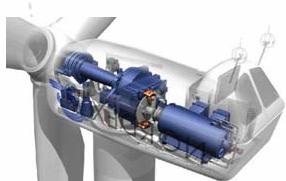
www.ntnu.no

14

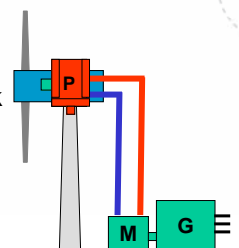
Hydraulisk gir

- Et hydraulisk gir kan tilpasses riktig omsetningsforhold uten mekanisk slitasje
- I nacellen erstattes girboks, omformer og generator med en hydraulisk pumpe på ~ 20 tonn
- For en 5 MW vindturbin vil man med et hydraulisk gir redusere vekten i nacellen med mer en 50 % (fra 300 - 400 tonn til 100-200 tonn)

Dagens løsning



Ny løsning



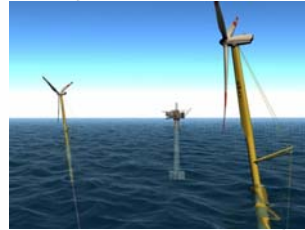
www.ntnu.no

15

Offshore flytende turbiner

- **Utfordring**

- Stor vekt i nacellen
- Lavt turtall på rotor
- Lastvariasjoner fra turbinaksling til generator aksling
- Det er en begrensning i utvekslingsforholdet til mekaniske girbokser



- **Hydraulisk gir**

- Hydraulisk pumpe på 20 tonn erstatter girboks og generator i nacellen
- Et hydraulisk gir kan gi store utvekslingsforhold (over 200:1)
- Rimeligere generator
- Rimeligere material kostnader i tårn og turbinhus
- Et hydraulisk gir vil dempe lastvariasjoner fra turbinen

www.ntnu.no

16

Onshore vindturbiner

- **Utfordring**

- Nedetid og vedlikeholdskostnader på grunn av svikt i mekanisk girboks
- Kostbar kraftelektronikk får å få god nettilknytning
- Lastvariasjoner fra turbinaksling til generator aksling

- **Hydraulisk gir**

- Hydraulisk gir med robuste komponenter og dokumentert levetid
- Regulering som gir konstant Tip Speed Ratio, TSR på turbinen og konstant turtall på generatoren
- Hydraulisk gir reduserer vekt i nacellen
- Et hydraulisk gir vil dempe lastvariasjoner fra turbinen

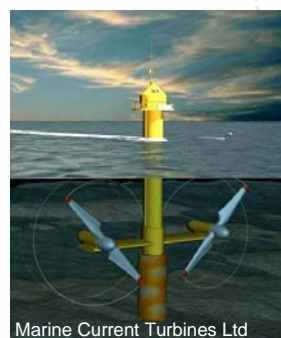
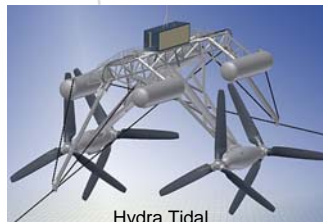


www.ntnu.no

17

Tidevannsturbiner

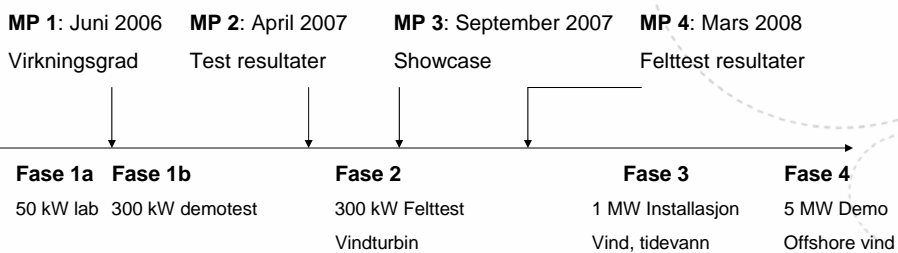
- **Utfordring**
 - Lavt turtall på rotor
 - Det er en begrensning i utvekslingsforholdet til mekaniske girbokser
 - Tilgang til turbinen og vedlikeholdskostnader
 - Nødbrems på systemet
 - Utnyttelse av varierende vannhastigheter
- **Hydraulisk Gir**
 - Et hydraulisk gir kan gi store utvekslingsforhold (over 200:1)
 - En hydraulisk pumpe plasseres i turbinen mens kritiske komponenter flyttes på land (Generator, el komponenter)
 - Et hydraulisk gir vil fungere som en brems når ønskelig
 - Et hydraulisk gir vil fullt ut utnytte varierende vannhastigheter



www.ntnu.no

18

Utviklingsløp

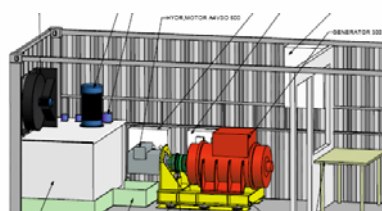


www.ntnu.no

19

Status i utviklingsløpet

- En lab med et 50 kW hydraulisk gir har blitt bygd og testet på NTNU og viser god virkningsgrad (85 - 94 %)
- Et 300 kW hydraulisk gir er under konstruksjon og skal testes mot en dieselmotor på NSB sin diagnosestasjon på Marienborg i perioden Mars - April 2007.



www.ntnu.no

20

Partners



- **Häggglunds**
 - Häggglunds delivers motors that are used as hydraulic pumps that are driven directly by turbines in several water-power systems and also have been/are involved with wind turbine systems.



- **Bosch Rexroth**
 - Bosch Rexroth Ltd is positioned in the Wind Power market place as a prime supplier to the major wind turbine manufacturers of components and systems into this quickly maturing technology of Main Drive Gearboxes, Pitch Controls, Dynamic Brake Systems and Power Packs. They can provide the variable displacement motors for a hydraulic transmission system.

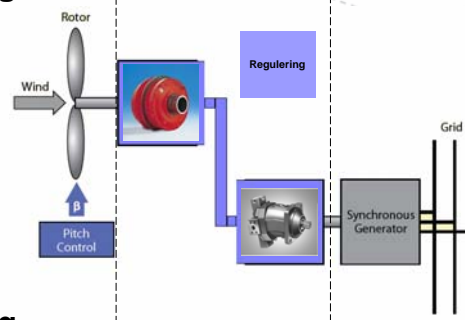
www.ntnu.no

21

Forretningskonsept for ChapDrive

- **Systemleverandør av hydraulisk kraftoverføring**

- Patentsøkt løsning
- Hydraulisk regulering
- Hägglunds pumpe
- Bosch Rexroth motor
- Generator på bakken



- **Drift og vedlikehold av hydraulisk kraftoverføring**

NTNU
Det skapende universitet

www.ntnu.no

22

Takk for oppmerksomheten



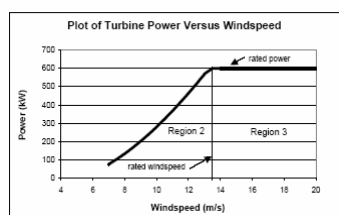
www.ntnu.no

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

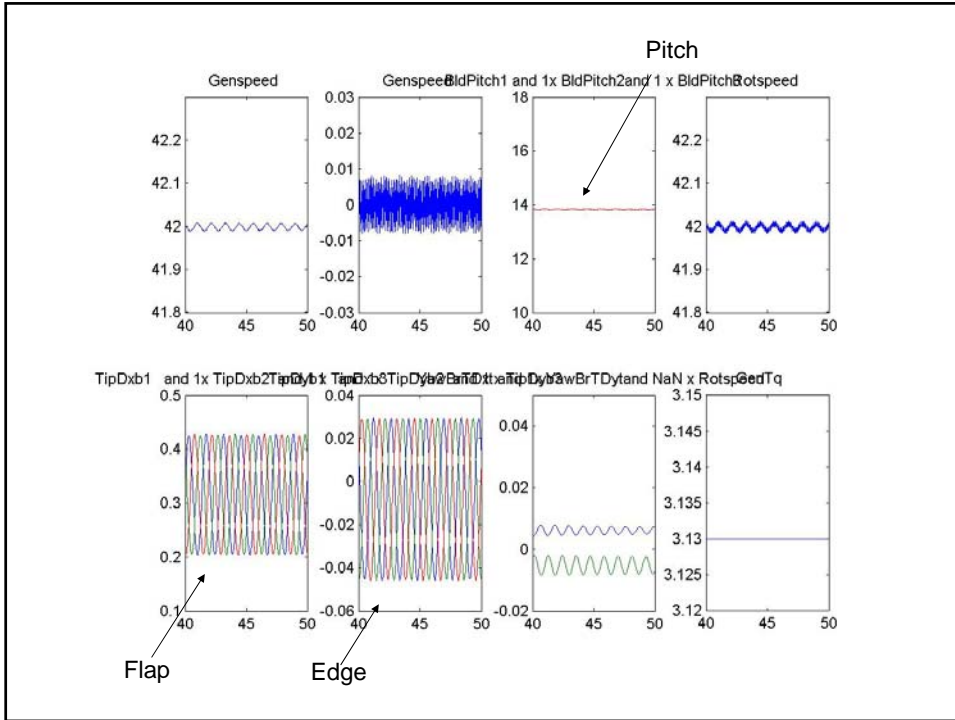


Control Strategies

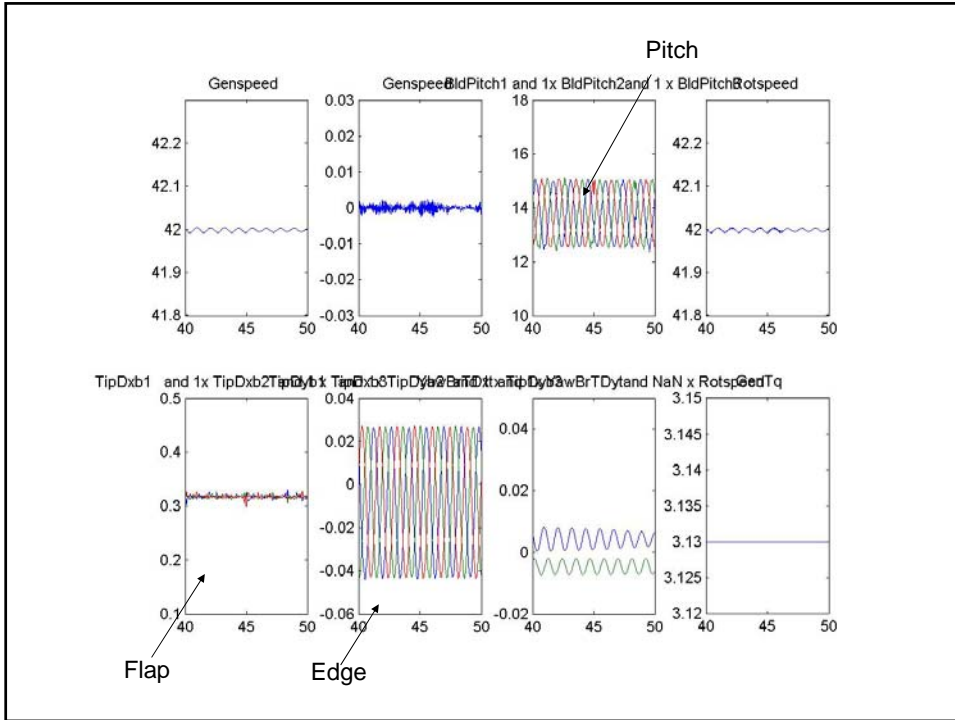
- Region 2: Maximum power
 - Constant tip speed ratio
 - Collective pitch constant
 - Variable torque
- Region 3: Constant speed and power
 - Variable pitch
 - “Constant” torque

Load Reduction

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

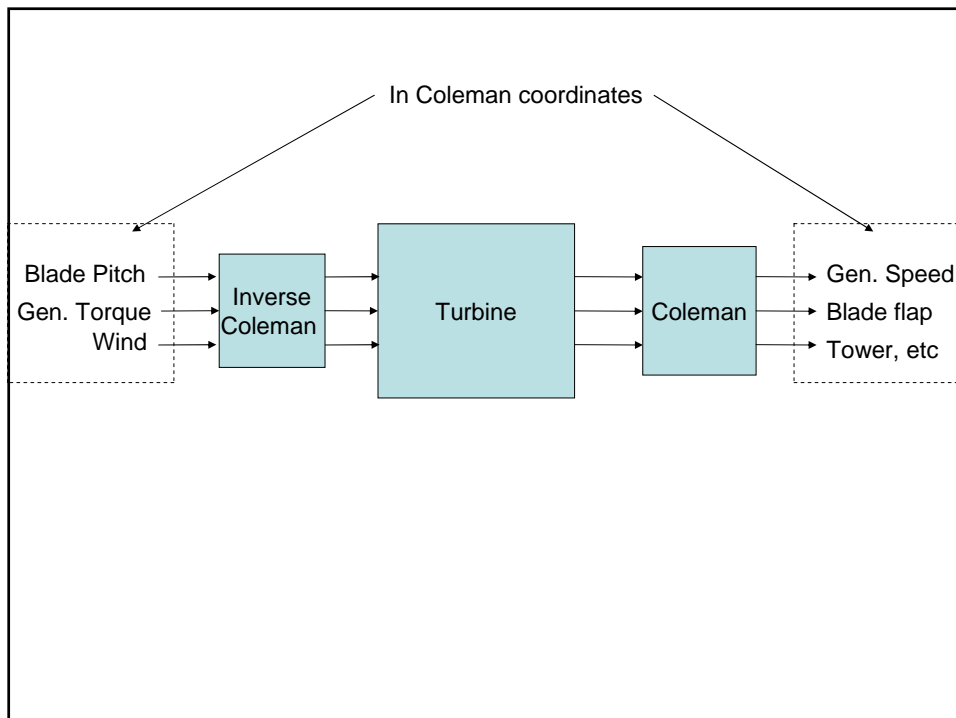
The coleman transformation

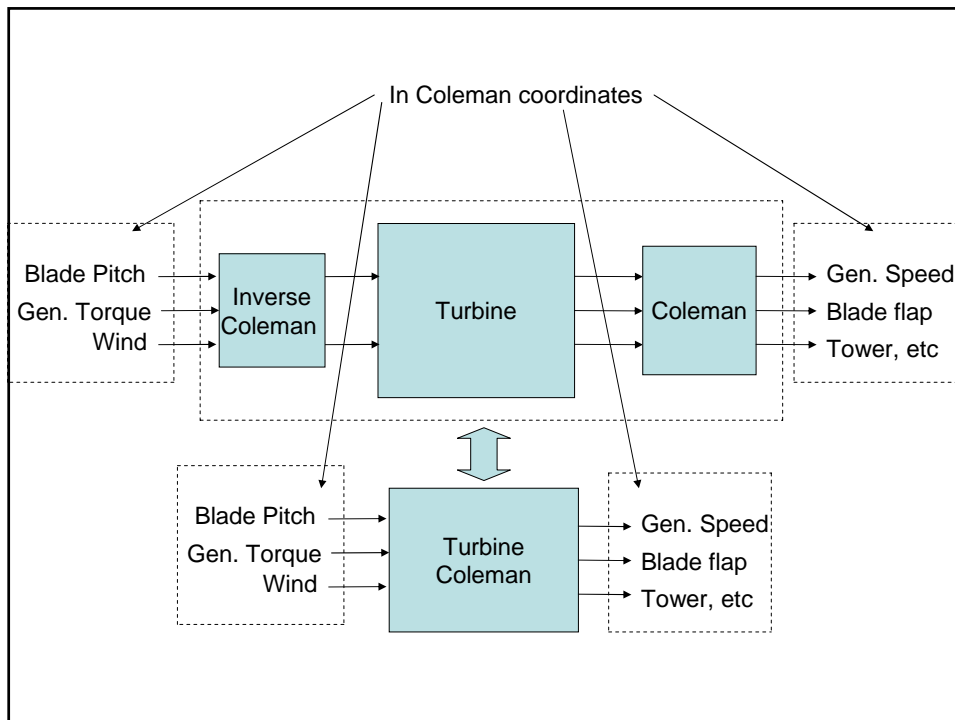
A transformation from individual blade coordinates to coordinates in the fixed frame

- Collective
- Vertical
- Horizontal

Tools

- FAST
- Matlab/Simulink

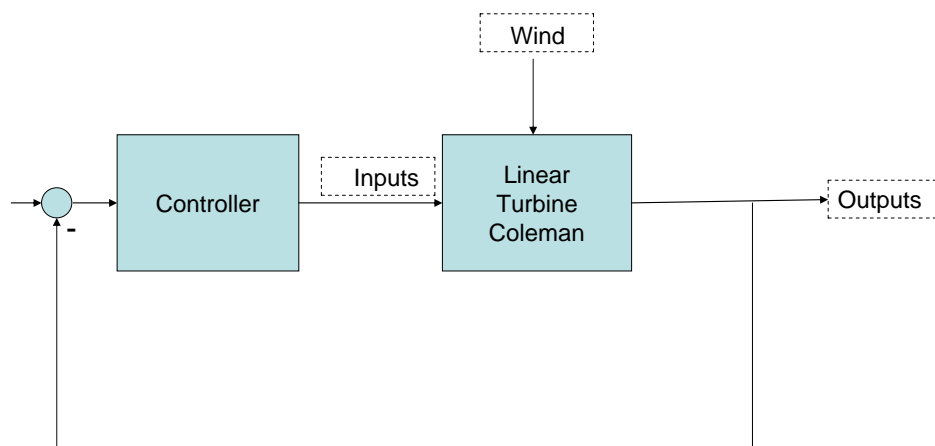




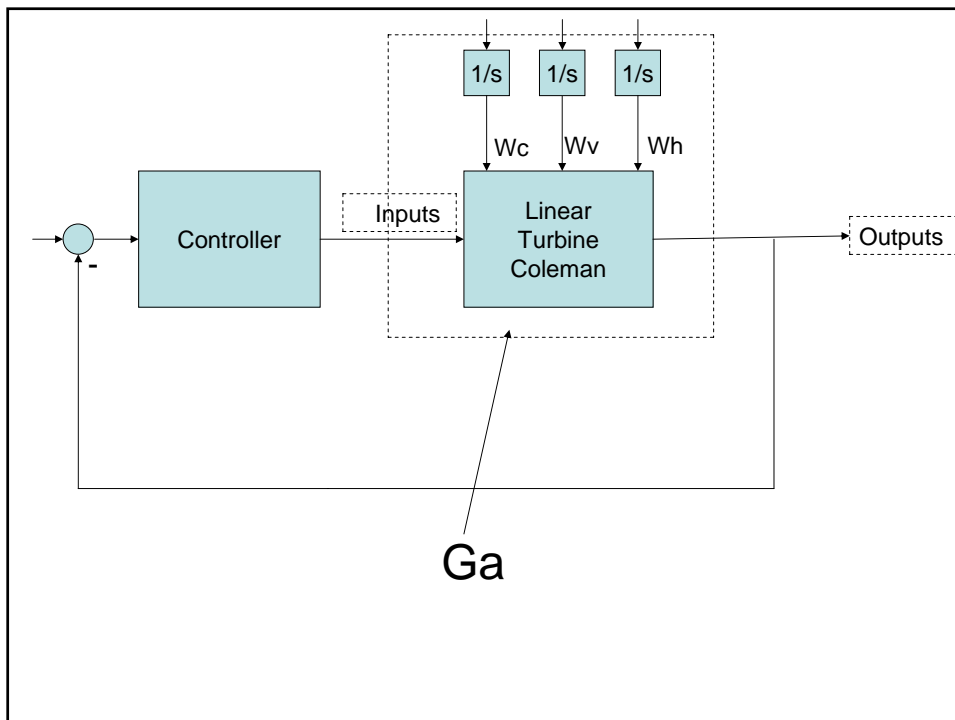
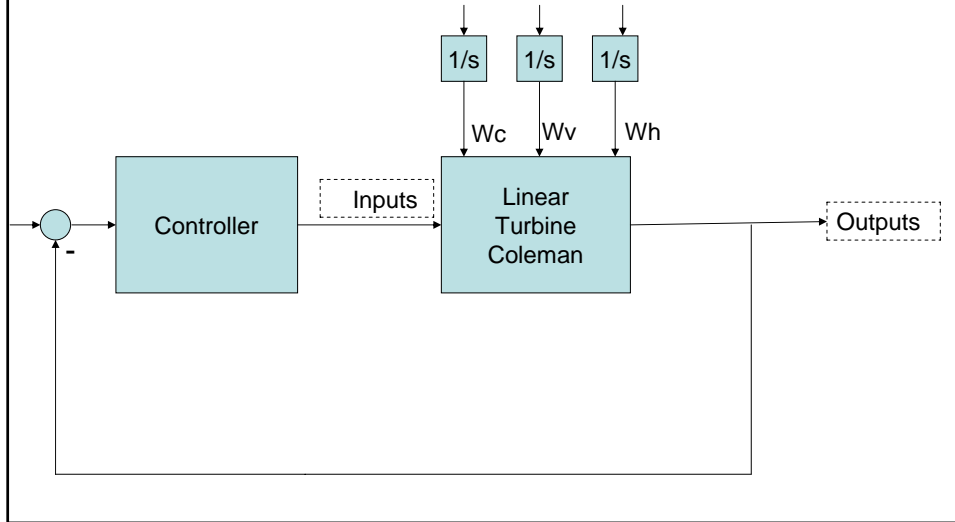
- Turbine Coleman “almost” time (azimuth) invariant
- Wind shear is easily modeled in Coleman coordinates
 - Collective = mean wind
 - Vertical = vertical linear wind shear
 - Horizontal = horizontal linear wind shear

- The turbine is a time (azimuth) invariant system, turbine Coleman, enclosed by time (azimuth) varying Coleman transformations
 - Turbine Coleman can be approximated by a linear system
- ➔
- A good representation of the turbine and control synthesis is possibly

Design a LQG controller



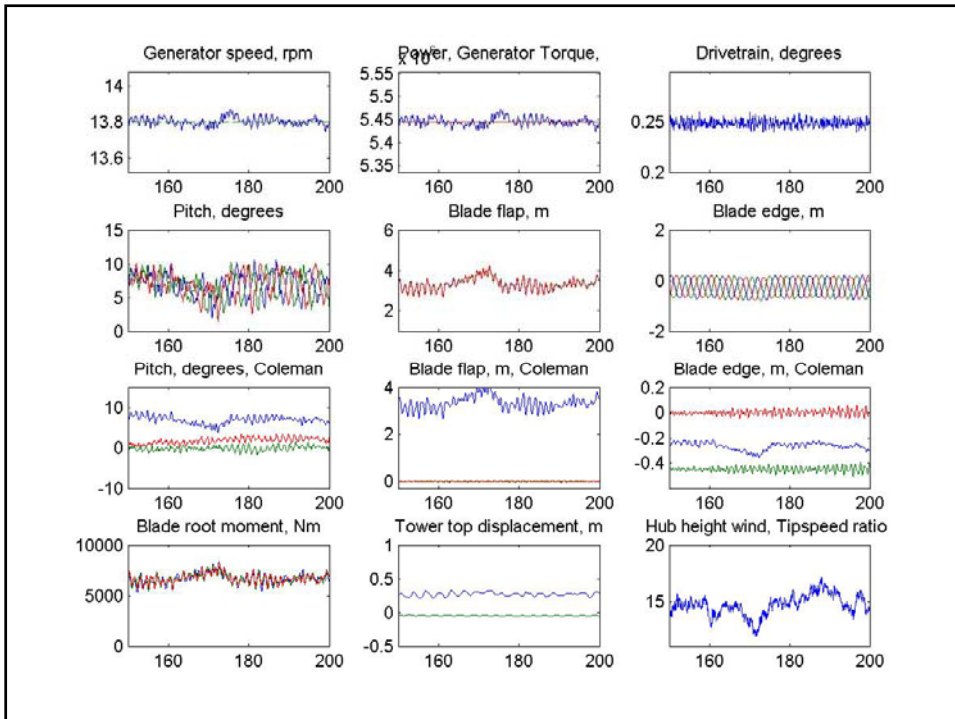
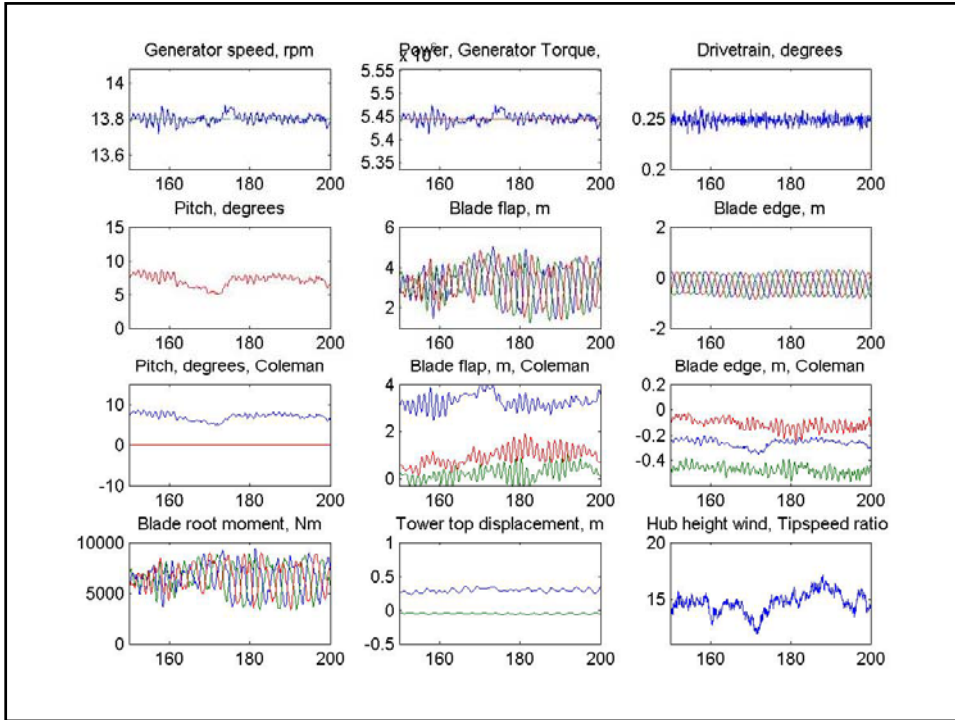
Model the wind as a constant mean wind plus constant vertical and horizontal linear wind shears

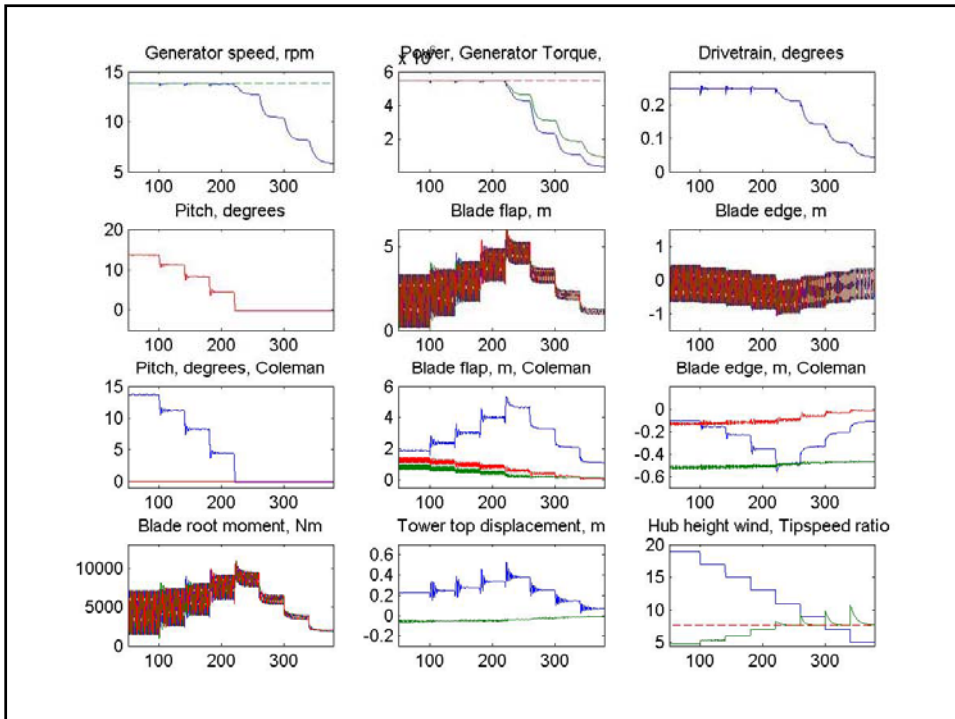
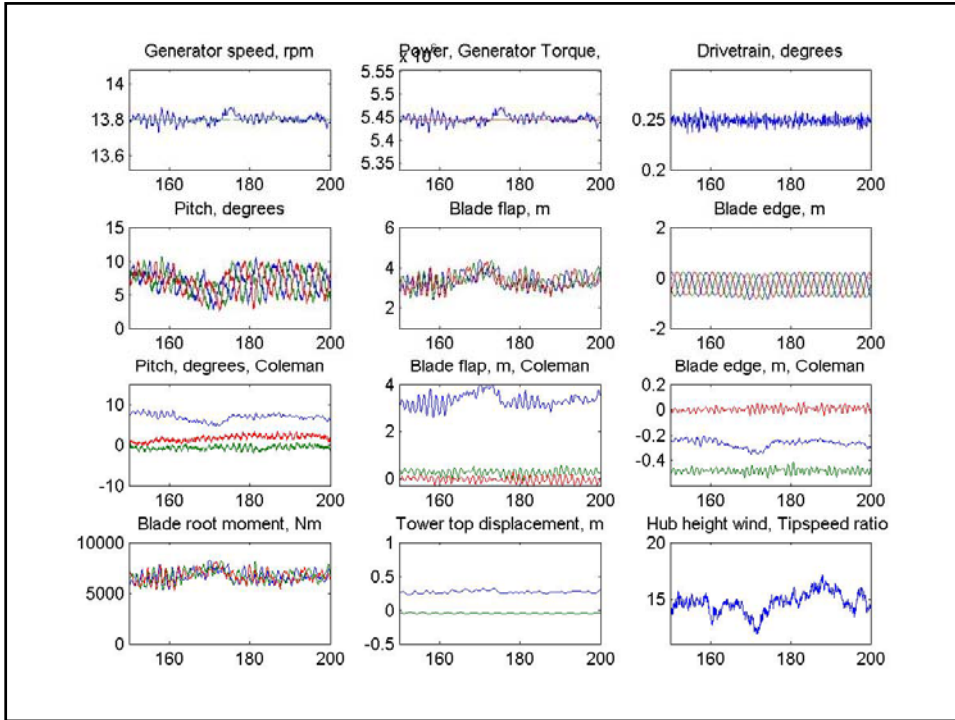


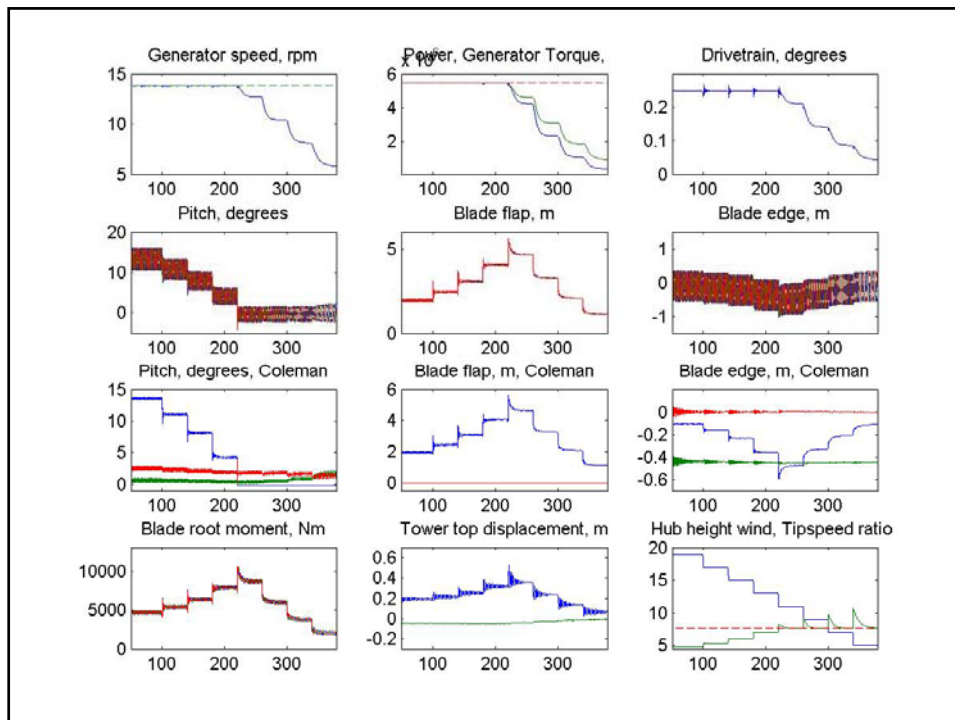
- G_a is the augmented system and can be used in a LQG design
- I have used LQG on G_a with the modification $1/s \rightarrow 1/(s+e)$, e a small number

LQG

- Easy to use
- The static error is zero because of the integrators
- Easy to change the measured signals
- Measured blade flap or blade moment and generator speed in the individual pitch controllers







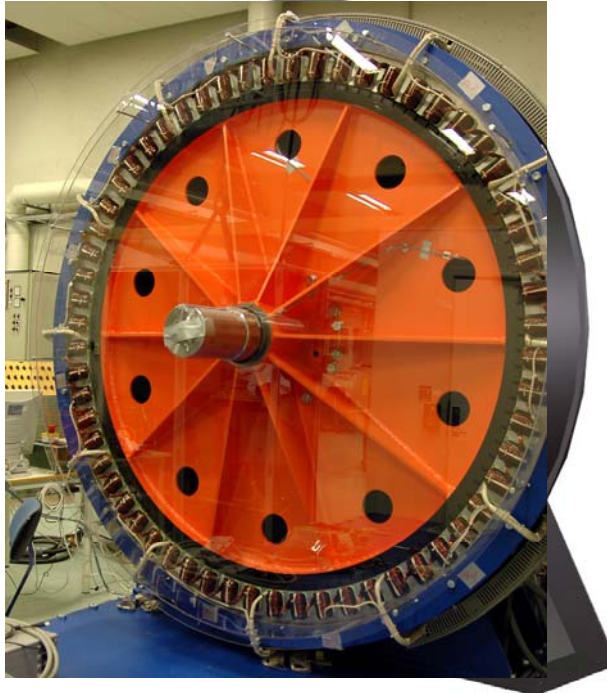
Research Problems

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

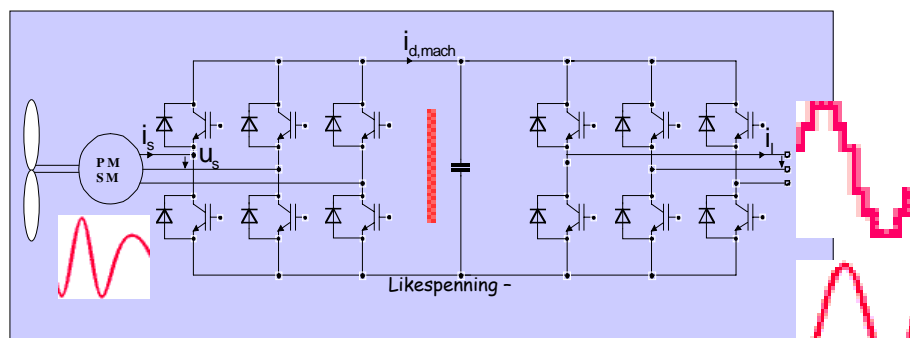
Direktedrevne Vektreduserte vindgenerator

- EBL-prosjektet (kort)
- NTNUs vindlab
- Ny jernløs maskin
 - lovende resultater
 - den første prototyp klar
 - de første skisser

Prof. Robert Nilssen ENO - NTNU



Direktedrevne Genereringssystem med varierende turtall

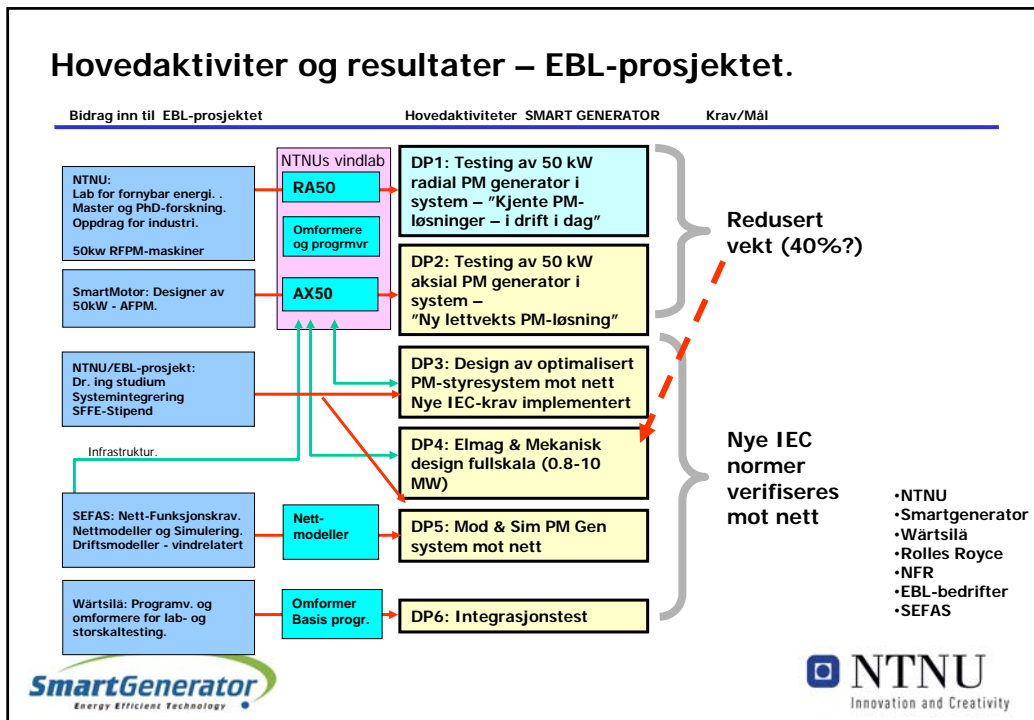


Variabel spenning
- på grunn av variabelt turtall

Vekselspenning mot nett
- med fast amplitude og frekvens



Hovedaktiviteter og resultater – EBL-prosjektet.



Nye laboratorier ved ENO (NTNU) og Sintef

- Fornybar energi i fokus og eksperimenter er nødvendig
- Komponentorientert
 - elmaskiner
 - kraftelektronikk omformere
 - styring
- Systemorientert
 - leveranse til nett
 - kortlutning, feil etc
- Avansert instrumentering
- Aktiviteter
 - eksperimentell PhD-forskning nødvendig
 - oppdrag for industri (SM og SG, EBL-prosjejt og PM-Inovation)

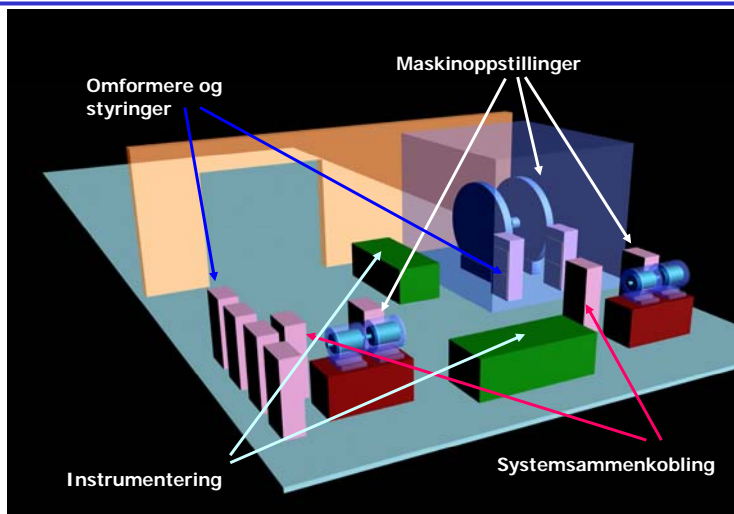


Stegvis utvikling og bruk

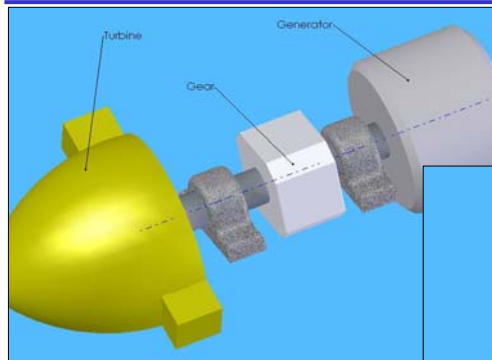
- **Steg 1: (2006/2007) – ramme ca 5 mill**
 - Omformere (nye NTNU- omformere)
 - Styresystemer
 - 50kW modell av PM-generator (RFPM)
 - Asynkronmotorer/Generatorer med gir
 - Mange tester er gjennomført og planlagt
- **Steg 2: (Mars 2007) – betalt av EBL-prosjekt**
 - 50kW modell av stor direkte-dreven PM-generator (AFPM)
- **Steg 3: Tilrettelegging for andre anvendelser**



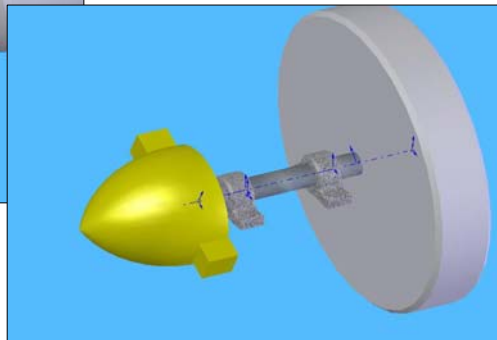
De første planer



Direct Driven Wind Turbine



Tradisjonelt system



Girløse systemer
– lavt turtall og stort moment



Maskiner i Lab

- Modeller av store (3-10MVA) generatorer.
- Både RFPM and AFPM
- Skalert deler – utsnitt fra store maskiner machine
- 50kW modeller. Ikke for 50kW vindturbiner.



Generator 1: RFPM med konsentrerte spoler

- "Tradisjonell løsning"
- Referansemaskin
- Mye erfaring
- Konsentrerte spoler for høye poltall

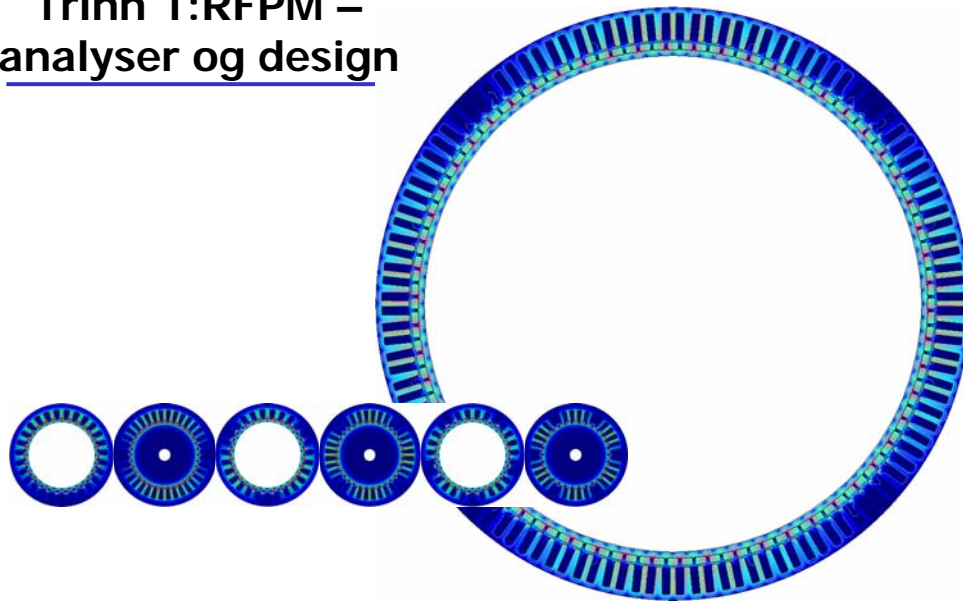


Trinn 1: RFPM with Concentrated Coils

- Has the same pole pitch, magnet length, air gap, slot pitch, slot depth
- Has the same q
- Different number of slots and poles (1/3)
- D_g/L ratio is much higher
- Results in a machine with similar harmonics, equal peripheral speed, same amount of losses in the PM's. etc



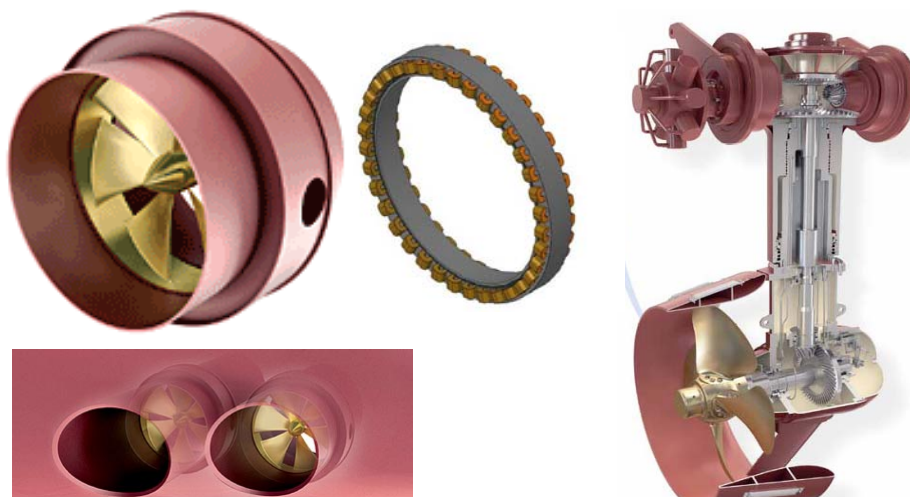
Trinn 1:RFPM – analyser og design



SmartGenerator
Energy Efficient Technology

NTNU
Innovation and Creativity

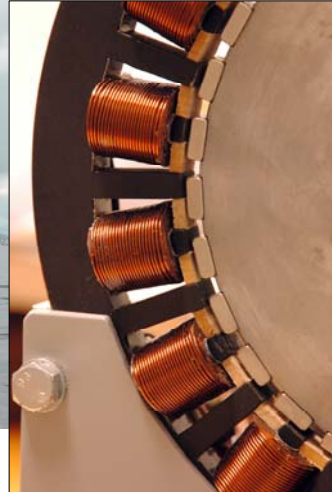
Basert på mye erfaring med direkte drift



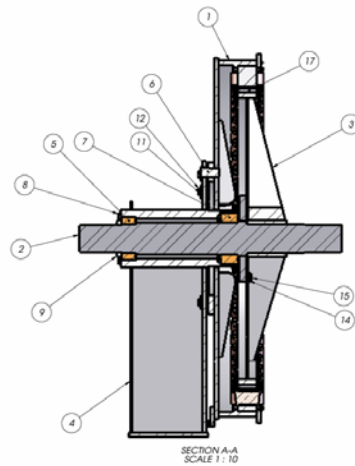
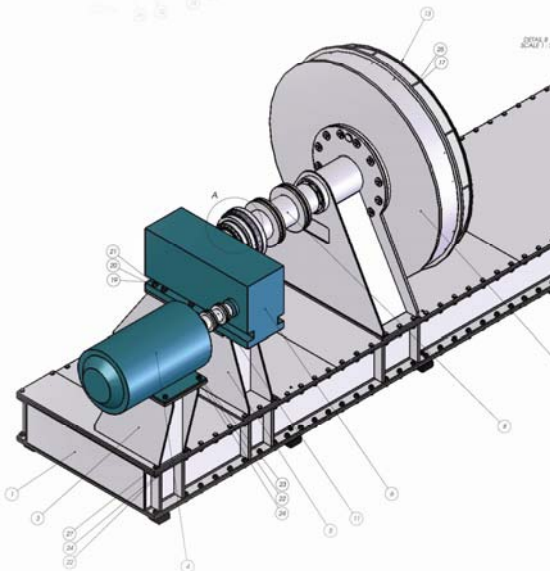
SmartGenerator
Energy Efficient Technology

NTNU
Innovation and Creativity

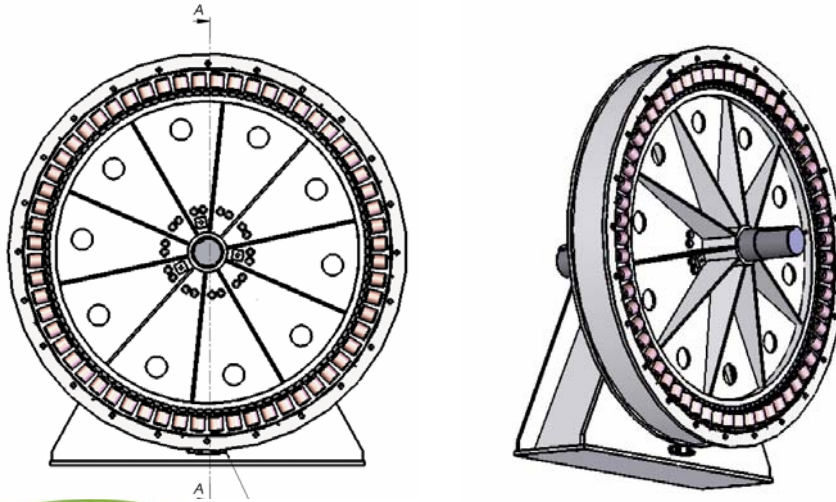
Basert på mye erfaring



Tegning av generatorsett



Tegning av rotor og stator



Fundament for fremtidig forskning



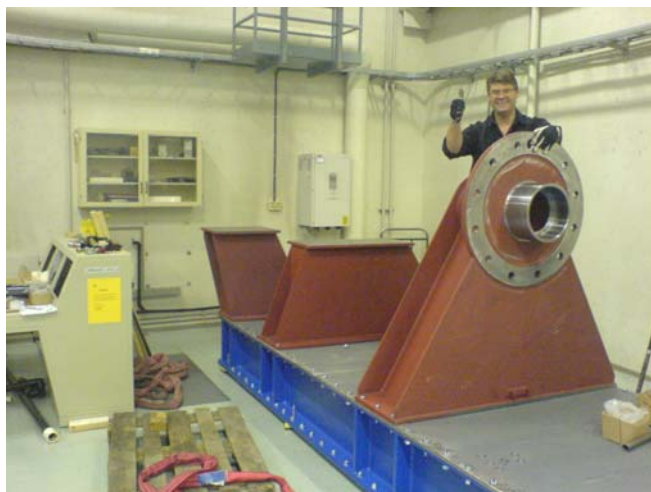
Kvalitetsikring av prosjektleder Magnar Førde



SmartGenerator
Energy Efficient Technology

NTNU
Innovation and Creativity

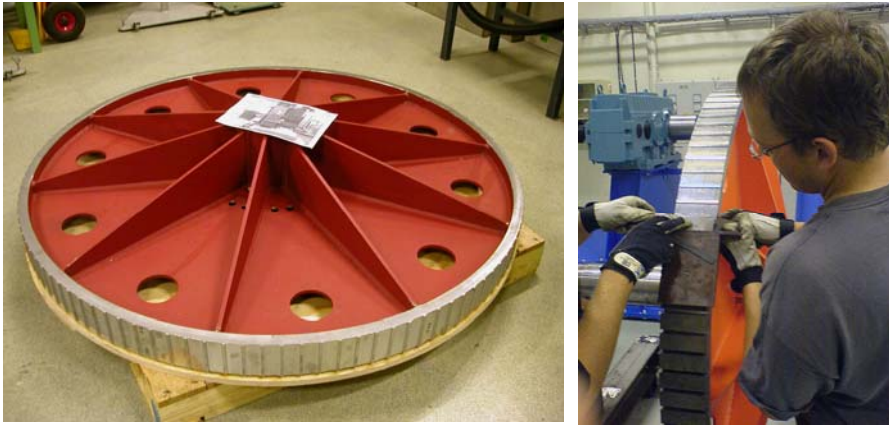
Artig arbeid – mange er engasjert!!



SmartGenerator
Energy Efficient Technology

NTNU
Innovation and Creativity

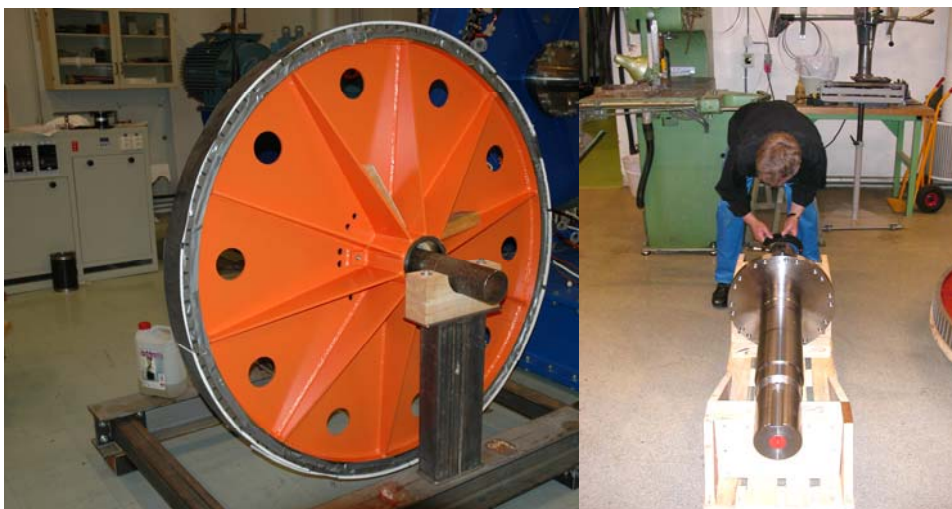
Rotor, liming av magneter



SmartGenerator
Energy Efficient Technology

NTNU
Innovation and Creativity

Rotor og aksling



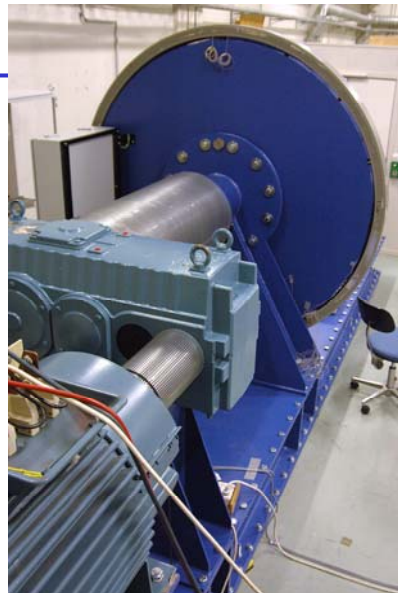
SmartGenerator
Energy Efficient Technology

NTNU
Innovation and Creativity

Stator vikles



Motor, Gir og Generator



Momentmåler mellom gir og generator

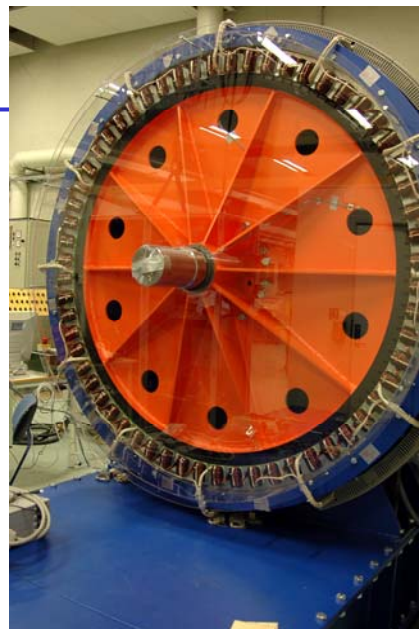


SmartGenerator
Energy Efficient Technology

NTNU
Innovation and Creativity

RFPM-maskin med deksel

- Tester gjennomført av PhD student Ø Krøvel
- Enkel last så langt
- Instrumentering under ferdigstilling
- Dette er en maskin som er fullt konkurransedyktig - kan sammenlignes med Siemens og Rotatek



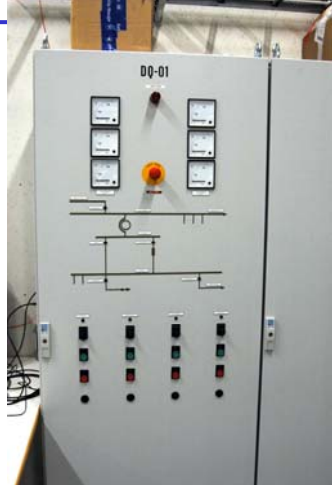
SmartGenerator
Energy Efficient Technology

NTNU
Innovation and Creativity

Infrastruktur



Sefas – generatoranlegg og utrustning



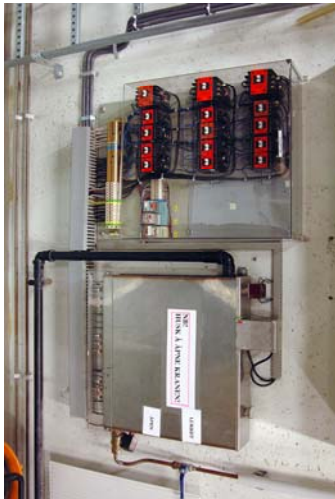
Utrusting for nettintegrasjon



Generator med instrumentering



Omformere og Styring



Vannkjølt last



Vannkjølt kraftelektronikk



Systemløsninger



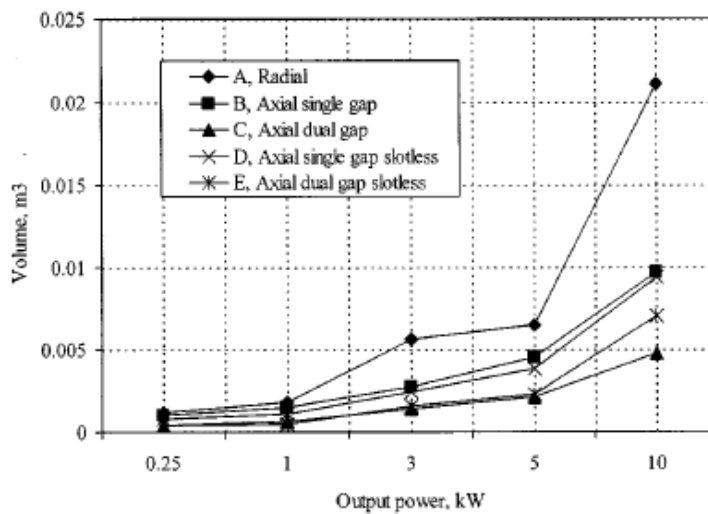
Trinn 2: AFPM med jernløs stator

- Svært kompakte (lav vekt) – forventet 40% reduksjon
- Korte maskiner (15-20 cm for en 3MW løsning)
- Ingen aksielle krefter
- Gir mulighet for store luftgap og flesible design

- **Status:**
 - ❖ Første design ferdig
 - ❖ Jernløs stator
 - ❖ Oppfyller forventninger til vekt og volum
 - ❖ Klar for testing i Mars



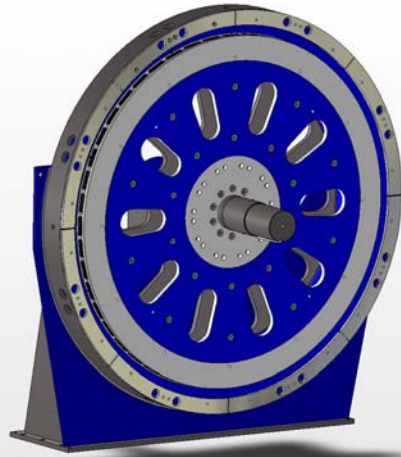
Forventinger til ny teknologi



- Vektreduksjon
- Kompakthet
- Konkursedyktig på pris



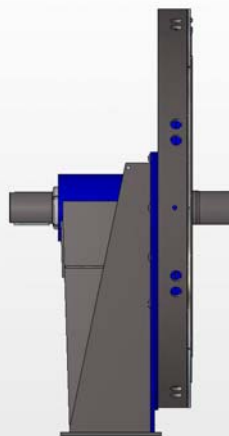
AFPM – frontbilde



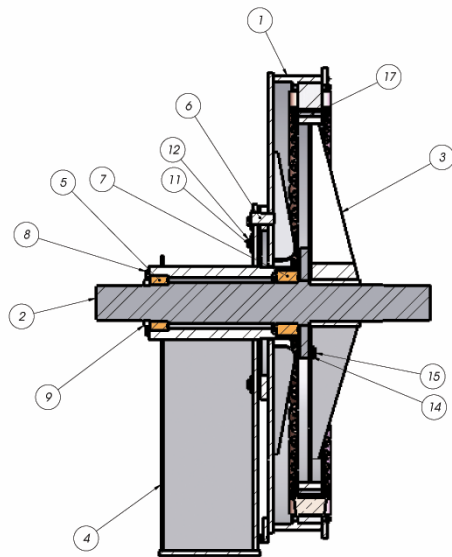
Under bygging!



Kort maskin



AMPM

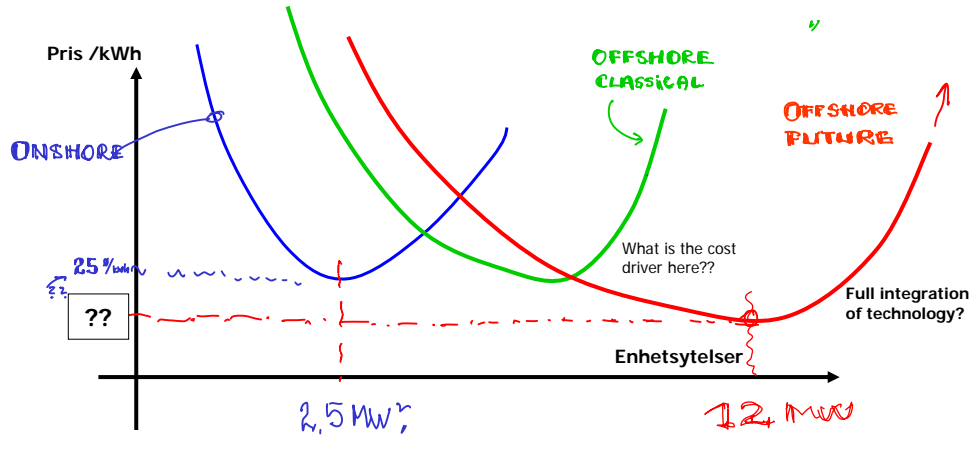


RMPM SECTION A-A
SCALE 1:10



INNOVATION AND CREATIVITY

Noen tanker for fremtiden!



Driftssikkerhet for vindturbiner

Vindkraft FoU Seminar, Trondheim, 2007-01-25

Arnt.O.Eggen@sintef.no

NEtV-3 Driftssikkerhet for vindturbiner

- Prosjekteier EBL Kompetanse AS, ved Lene Mostue
- Utfører SINTEF Energiforskning AS, ved Arnt Ove Eggen
Samarbeidspartnere / Finansierer
Samarbeid med KTH, Stockholm
"Optimal underhållsstyrning av vindkraftverk med
tillstandskontrollsystem med avseende på
tilförlitlighet och kostnad"
- Varighet 2006 – 2008
- Finansiering
 - EBL / kraftselskaper 2400 kkr
 - Elforsk 600 kkr
 - Norges forskningsråd 1000 kkr

Målsetning

Hovedmålsetningen med prosjektet er å utarbeide en kostnadseffektiv vedlikeholdssystematikk for vindkraftanlegg, samt å etablere et grunnlag for å gjøre riktige valg med hensyn på driftssikkerhet, drift- og vedlikehold når nye vindparker skal spesifiseres.

Systematikken skal bl.a. bestå av praktisk rettede håndbøker, og implementeres i aktuelle FDV-system.

Kunnskap og erfaringer fra tilsvarende arbeid og tenkning innen vannkraft skal evalueres og benyttes der det har relevans.

Aktiviteter

1. Prosjektledelse
2. Etablere felles kodeplan for vindturbiner
3. Utarbeide håndbok for tilstandskontroll av vindturbiner
4. Etablere et opplegg for systematisk registrering og rapportering av driftshistorikk
5. Etablere levetidsmodeller for utvalgte komponenter
6. Utarbeide anbefalinger knyttet til kontraktinngåelse
7. Resultatspredning

2. Etablere felles kodeplan for vindturbiner

- Det skal etableres en felles kodeplan for vindturbiner med utgangspunkt i EBL's kodeplan
- En kodeplan gir en unik identifikasjon av alle systemer, komponenter og deler i en vindturbin
 - Forenkler søk/gjenfinning i et databasert anleggsregister
 - Tilordning av dokumentasjon, tegninger/skisser, bilder
 - Registrering av tilstandsinformasjon
 - Registrering av feil og mangler
 - Tilordning av vedlikeholdstiltak
 - Generell ressursoppfølging
- En felles kodeplan for bransjen forenkler utveksling/innsamling av informasjon i forbindelse med benchmarking, utarbeidelse av nasjonale statistikker, estimering av ulike parametre, osv

EBLs Kodeplan (struktur)

- Kodeplanen er oppbygd etter funksjonsprinsippet
- Kodeplanen er hierarkisk oppbygd med inntil 7 nivå, og med et 3-sifret kodeelement for hvert nivå
- AAA.XX.CCC.DDD.EEE.FFF.GGG

■ AAA	Ansvar/Økonomi	
■ XX	Stasjon/område	
■ CCC	Gruppenhet	
■ DDD	Gruppenummer	418 Vindturbiner
■ EEE	Komponent	500 Pitchsystem, 520 Hydr.sylindre
■ FFF	Del	100 Hydr.sylinder nr.1, 110 Hydr.blokk
■ GGG	Detalj	
- AAA.VP.418.005.520.110 (NB! Fra eksisterende kodeplan)
 Hydraulikkblokk for sylinder i Hydraulikksylinder nr. 1 i Pitchsystemet i Vindturbin nr. 5 i Vindparken VP

EBLs Kodeplan (eksisterende koder)

418		VINDTURBINER				
418	000	Generelt	418	001	600	Dreiesystem
418	001	Propell nr. 1	418	001	610	Dreieenhet, generelt
418	001	100 Spinner (navdeksel)	418	001	610	100 Dreieenhet nr. 1
418	001	200 Vinger, generelt	418	001	610	110 Motor
418	001	210 Vinge nr. 1	418	001	610	120 Gear
418	001	210 100 Vingelager	418	001	610	200 Dreieenhet nr. 2
418	001	210 200 Lynavleder	418	001	620	Dreielager generelt
418	001	220 Vinge nr. 2	418	001	620	100 Dreieplan
418	001	300 Nav	418	001	620	200 Aksiallager
418	001	310 Leddlager	418	001	620	300 Radiallager
418	001	310 100 Leddlager nr. 1	418	001	620	400 Dreiebremse, generelt
418	001	320 Rotasjonssikring	418	001	620	410 Dreiebremse nr. 1
418	001	330 Premste foring	418	001	700	Bremsesystem
418	001	340 Navtransformator	418	001	710	Bremsestake
418	001	350 Signaloverføringsenhet til nav	418	001	720	Bremsekaliber
418	001	400 Akse	418	001	720	100 Bremsekaliber nr. 1
418	001	410 Låseanordning for rotor	418	001	730	Kobling gear/generator
418	001	420 Fremre hovedlager	418	001	800	Elektrisk styring/overvåkning
418	001	430 Bakre hovedlager	418	001	900	Diverse
418	001	500 Pitch-system				
418	001	510 Senterrør	848			VINDMØLLE
418	001	520 Hydraulikkylindere, generelt	848	001		Vindmølle nr. 1
418	001	520 100 Hydraulikkylindere nr. 1	848	001	100	Nacelle
418	001	520 110 Hydraulikkblokk for sylindere	848	001	110	Nacellefundament
418	001	520 120 Opplagring av sylindere	848	001	200	Tårn
418	001	520 130 Opplagring av sylindrestang	848	001	210	Stige
418	001	520 140 Posisjonsføler i sylindere	848	001	300	Fundament
418	001	520 200 Hydraulikkylindere nr. 2	848	001	500	Elektro
418	001	530 Roterende hydraulisk union (for olje)				

EBLs Kodeplan, nytt forslag

- Forslag til ny kodeplan presentert i teknisk rapport **TR A6464 Kodifisering av vindturbiner i EBLs Kodeplan**
- Forslaget beskriver en generisk vindturbin med fundament, tårn, maskinhus, blader, gir, pitch-system, dreiesystem, generator, omformer, styringssystem, hjelpefunksjoner, osv som dekker de vindturbin konfigurasjonene som er aktuelle i Norge
- Forslaget innebærer en omfattende utvidelse som gir muligheter til kodifisering av ulike tekniske løsninger innenfor de enkelte funksjoner, f.eks. ulike girtyper, pitch-systemer, dreiesystemer, osv
- Forslaget tar høyde for nye konstruksjoner, typer og løsninger
 - Nye (andre) konstruksjonsprinsipper
 - Off-shore vindturbiner (fundament, ballast, forankring, osv)
- Forslaget må godkjennes av EBLs kodeplangruppe

3. Utarbeide håndbok for tilstandskontroll av vindturbiner

Aktiviteten deles inn i 4 delaktiviteter (etter samme oppbygning som innen vannkraft)

1. Utarbeide komponentbeskrivelser med utgangspunkt i komponenter for en generisk vindturbin
2. Kartlegge og beskrive skademekanismer og feilårsaker
3. Kartlegge og beskrive aktuelle målemetoder inkl utarbeide flytdiagram og tilstandskontrollskjema
4. Etablere anbefalte måleprogram

Komponentbeskrivelse

- Anleggsinndeling ihht EBLs Kodeplan
- Kort beskrivelse av komponentens oppbygging, virkemåte og primære funksjoner
- Beskrivelsen er basert på typiske "norske" vindturbiner
- Fokus på aspekter med betydning for vedlikeholdet

Skadetyper

- Kort beskrivelse av de vanligste skadetyperne for de enkelte komponentene i en vindturbin (tannhjul: micropitting, pitting, avskalling, scuffing, inntrykningsmerker, stillstandsmerker, klakking)

Tabell 5.1 Gir – skader på tannhjul

Årsaker	- Urenheter i oljen - Mekanisk slitasje - Utmatting - Deformasjoner
Mulige konsekvenser	- Sprekkdannelse i tenner - Avskalling på tenner - Tannbrudd - Lagerhavari
Prøvemethoder for påvisning [Utsagnskraft]	- Maskinovervåking [C] - Visuell inspeksjon, evt med endoskop [A] - Analyse av giroljen [B], [C] - NDT-kontroll [A]
Påvisning	- Vibrasjoner, temperaturøkning - Synlig tegn på skade - Partikkelinnhold i olje

Målemetoder

- Beskrivelse av de ulike målemetodene som kan benyttes for overvåking og diagnostisering av en vindturbin tilstand. Begrepet målemetode benyttes både for inspeksjoner og direkte målinger.
- Kriterier for karaktersetting av skader som kan observeres med de enkelte målemetodene
- Skadeatlas (bilder som illustrerer ulike skadeomfang)

Tabell 5.6 Gir – [Visuell inspeksjon](#)

Karakter	Kriterier for karaktersetting
1	Micropitting på inntil 10 % av flankearealet.
2	Micropitting på mer enn 10 % av flankearealet.
3	Begynnende pitting.
4	Utbredt pitting eller avskalling.

Kriterier for karaktersetting

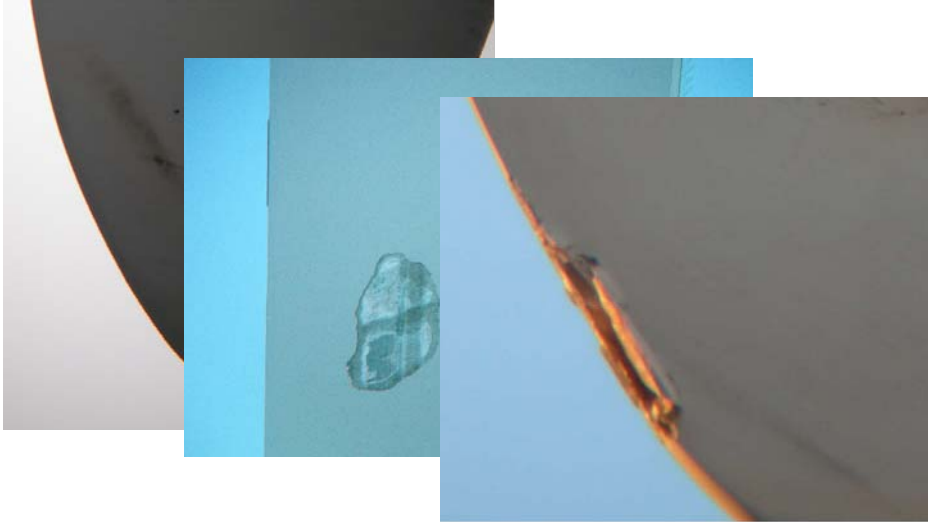
Karakter	Betydning
1	Ingen tegn til svekkelse
2	Noe tegn til nedbrytning Resultatet er noe dårligere enn i ny tilstand
3	Utbredt tegn til nedbrytning Betydelig dårligere enn i ny tilstand
4	Tilstanden er kritisk
5	Svikt

Manglende dinotails / vortex generator



Kilde: Statkraft

Skader på vinge



Kilde: Statkraft

Slitasje/korrosjon på tannhjul i dreiemotor



Kilde: Statkraft

Skader på gir



Kilde: Statkraft

Måleprogram

- Gjennomføring av målingene er ofte både krevende og kostbar. Det er derfor viktig med en strategi for hvilke målinger som skal gjennomføres, og hvor ofte de bør utføres (måleintervall).
- Et standard måleprogram utføres med konstante tidsintervaller. Standard måleprogram representerer en minimumsløsning for vedlikeholdet. Dersom det inntreffer avvikende måleresultater vil det være aktuelt å iverksette tilleggsmålinger for å kunne bestemme tilstanden nærmere.

Tabell 5.8 Gir – Måleprogram

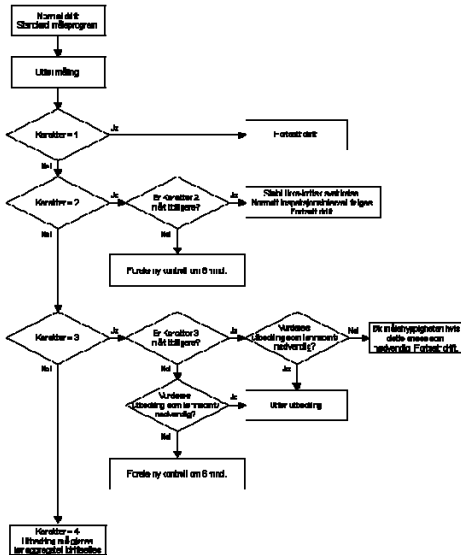
Tidsintervall	Måling	Vindturbinen stanses ved måling	Demontasje nødvendig
1 år	Visuell inspeksjon, oljeanalyse		
1 år	Vibrasjonsmåling		
5 år	Oljeskift (i hht oljeprøve)	X	

Ved påvist endring i oljekvalitet, spesielt ved øket forurensning i oljen, bør inspeksjons- og analyseintervallene reduseres betydelig.

På større vindturbiner (>0,5MW) skiftes oljen kun på bakgrunn av analyseresultat.

Tilstandskontrollskjema og flytdiagram

VISUELL INSPEKSJON		
Anlegg:	Plassering:	
<input type="checkbox"/> Løpehjul	<input type="checkbox"/> Akselsetningsboks	
<input type="checkbox"/> Løpehjulettingene	<input type="checkbox"/> Spiraltromme	
<input type="checkbox"/> Turbinaksel	<input type="checkbox"/> Sugere	
<input type="checkbox"/> Ledesapparat		
Komponent	Observasjoner / Merkaader	Karakter
Utført	Dato:	Signatur:
Godkjent	Dato:	Signatur:
Løpehjulettingene:	Øvre tetting (roterende ring, stillstående ring)	
Løpehjulettingene:	Nedre tetting (roterende ring, stillstående ring)	
Ledesapparat:	Ledeskovl trykkside, Ledeskovl løpehjulsid, Ledeflate øvre tokk, Ledeflate nedre tokk, Ledeskovl tetting, Ledeskovl opplagring / foring	
Akselsetningsboks:	Ledeskovlarm, Lenker, Nagsletting	
Spiraltromme:	Tettingflate turbinaksel, Tettingsflate tettingsboks, Stillstandstetting, Rørforbindebe, Flenser	
Sugere:	Tetningsflate turbinaksel, Tettingsflate tettingsboks, Stillstandstetting, Rørforbindebe, Flenser	
Sugere:	Tetningsflate turbinaksel, Tettingsflate tettingsboks, Stillstandstetting, Rørforbindebe, Flenser	



4. Etablere et opplegg for systematisk registrering og rapportering av driftshistorikk

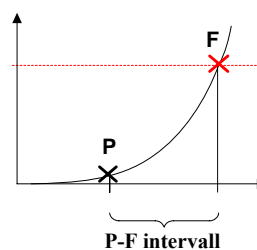
- Målsetningen er en oppbygging av lokal historikk for dokumentasjon og oppfølging av egne anlegg
- Spesielt gunstig for vindparker med mange like enheter
 - Observerte tilstandsendringer i enkelte vindturbiner kan indikere tilsvarende tilstandsutvikling i de andre vindturbinene, noe som kan bidra til å forebygge feilutvikling på et tidlig tidspunkt
 - Større datagrunnlag for estimering av parametre i f.eks. levetidsmodeller
- Ambisjonsnivå og forventninger man har for analyser og bruk av erfaringsdata setter krav til omfang og kvalitet på data som må registreres
- Mangler i datagrunnlag eller datakvalitet kan medføre at bruk av enkelte metoder eller modeller ikke er mulig eller gir unøyaktige svar

Hvorfor samle inn og analysere erfaringsdata?

- Identifisere hovedproblemene
 - De hyppigst forekommende feilene ("10-på topp"-lister)
 - De (potensielt) mest kritiske feilene
- Lære av erfaring
 - Ved systematisk logging av problemer og løsninger som viste seg å fungere (evt ikke fungerte) kan problemer senere løses mer og mer effektivt
 - Økt forståelse for sammenheng mellom påkjenninger, sviktmekanismer og feilmøder
 - Gjøre riktige investeringer mtp aktuelle drifts- og miljøpåkjenninger
- Vedlikeholdsstyring
 - Definere kriterier for vedlikehold
 - Optimal vedlikeholdsstrategi (kostnadsriktig)
 - Planlegge ressursbruk/reservedelslager
 - Evaluering av utført vedlikehold (måle/korrigere)
 - Dokumentasjon av vedlikeholdet (erfaring/kompetanse)
 - Benchmarking

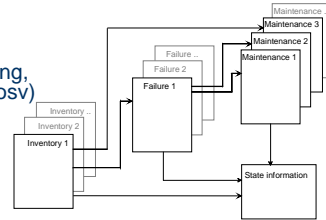
Hvorfor samle inn og analysere erfaringsdata?

- Estimere parametre i ulike levetidsmodeller
 - Hva er midlere tid til feil (*MTTF*)?
 - Hvor sterk er *aldringen*, dvs hvor bratt er badekarskurven når vi "kjører inn i den"?
 - Hva er *P-F intervallet*, dvs tid fra en potensiell feil er detekterbar til komponenten svikter?
 - Hva er *variasjon* i P-F intervallet?
- Estimere andre parametre i f.eks. risikomodeller (Risiko = Sannsynlighet • Konsekvens)
 - Dersom man får *komponentsvikt*, hva er sannsynligheten for at man også får en *systemsikt*?
 - Utetider (*MDT*) og reparasjonstider (*MTTR*)
 - Reparasjonskostnader
 - Havarikostnader
 - Kostnader knyttet til sikkerhet (erstatning) og tilgjengelighet (inntektstap)



Datastruktur

- **Utstyrsdata** (*inventory*) beskriver utstyret som det samles data på
 - Fabrikat, typebetegnelse, modell, ytelse, osv
 - Idriftsettelsesdato
 - Navnhøyde, rotordiameter, effekregulering, osv
 - Drifts- og miljøpåkjenninger (vindhastighetsfordeling, vindskjær, turbulensforhold, temperatur, nedbør, osv)
- **Feildata** (*failure*) beskriver svikt på utstyr
 - Tidspunkt for svikt, nedetid, osv
 - Feilmode, feilårsak, osv
 - Total driftstid, driftstid siden siste vedlikehold, osv
- **Vedlikeholdsdata** (*maintenance*) beskriver hvilket vedlikehold som blir utført
 - Forebyggende vedlikehold (tidsforbruk, reservedeler, kostnader, osv)
 - Korrigerende vedlikehold knyttet til hver enkelt svikt
- **Tilstandsdata** (*state information*) beskriver observert tilstandsutvikling, og er svært viktig for å kunne si noe om f.eks. P-F intervaller
 - Tidspunkt for måling, observert tilstand (Karakter 1, 2, 3, 4 eller målte parametre)
 - Data fra kontrollanlegget

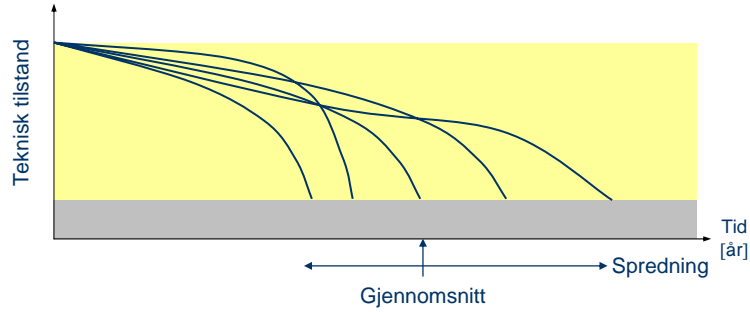


Individoppfølging! All informasjon må knyttes til en fysisk enhet

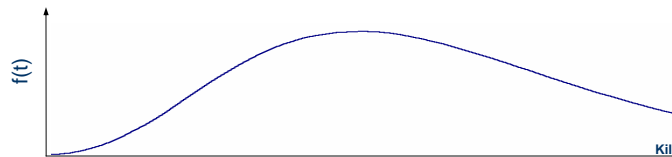
5. Etablere levetidsmodeller for utvalgte komponenter

- Typiske spørsmål
 - Hva er sannsynligheten for at enheten svikter?
 - Hva er konsekvensen hvis enheten svikter?
 - Når kan vi forvente at enheten svikter?
 - Hvilke tiltak er aktuelle for å forhindre svikt?
 - Hva koster tiltakene, og hva er forventet nytteverdi?
 - Hvilket tiltak er det beste?
 - Når bør tiltaket gjennomføres?
 - Kan tiltaket utsettes?
 - Hva er risikoen knyttet til å utsette tiltaket?
- Målsetningen med en levetidsmodell er å kunne beregne
 - Sviktsannsynlighet
 - Restlevetid
 - Endring av sviktsannsynlighet/restlevetid og totale driftskostnader som funksjon av vedlikehold og rehabilitering
- For planlegging og optimalisering av vedlikehold er det behov for levetidsmodeller
- Levetidsmodellene må kunne beskrive en tilstandsutvikling (degraderingsprosess)

Levetidskurve

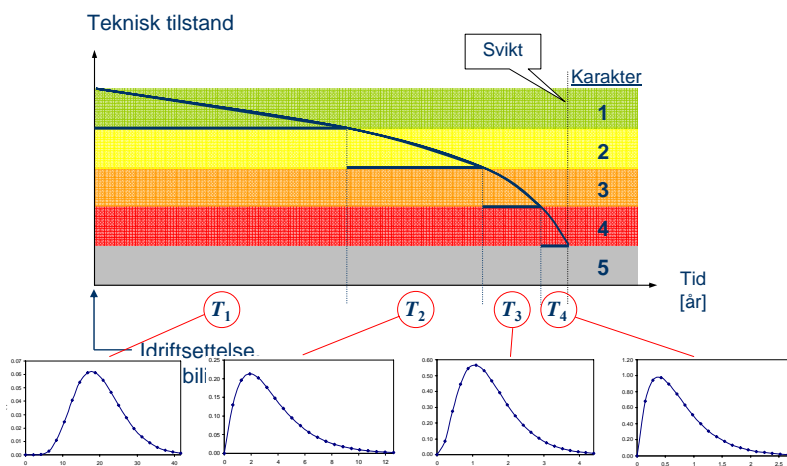


■ Levetider kan modelleres med en sannsynlighetsfordeling $f(t)$



Kilde: Thomas Welte, NTNU

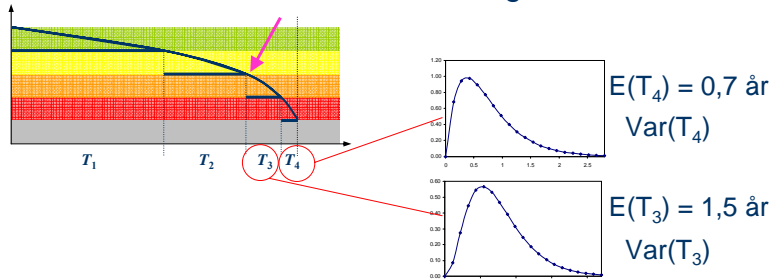
Modellering av tilstander



Kilde: Thomas Welte, NTNU

Modellering av tilstander

Tilstand til en enhet bedømmes som en god tilstand 3



→ Forventet tid til svikt er 2,2 år

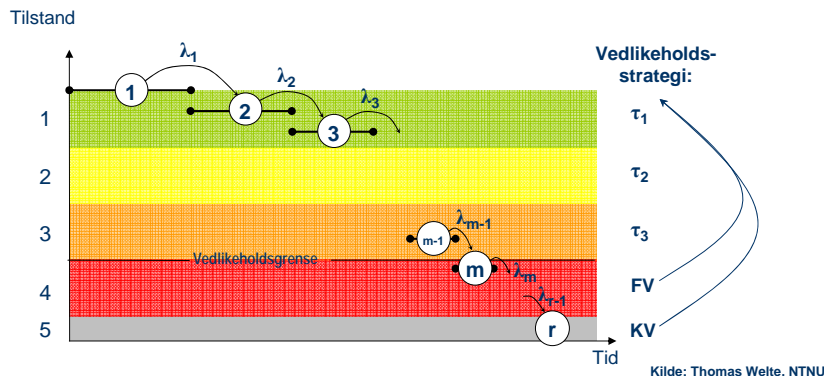
Usikkerhet, dvs sannsynlighet for at svikt kan inntreffe tidligere → Sannsynlighet for svikt i år 1, 2, 3, ...

Tiltakstidspunkt avhengig av risikoprofil (innen 1 år?)

Kilde: Thomas Welte, NTNU

Beregning av optimale inspeksjonsintervall

- Modellering av inspeksjoner og vedlikehold
- Tilstandsutvikling modelleres som en Markov-prosess
- Andre vedlikeholdsstrategier enn "as-good-as-new" kan også modelleres



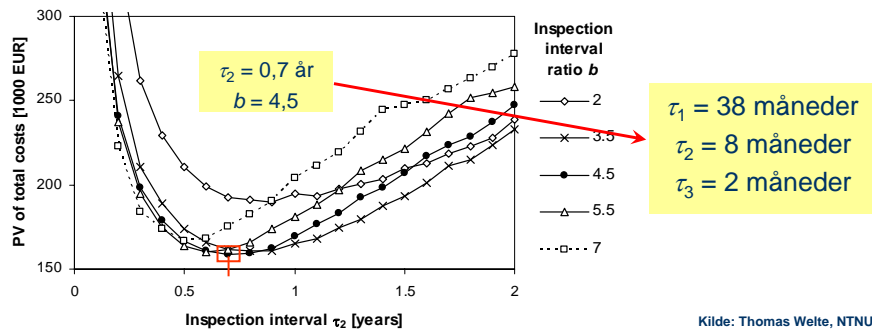
Kilde: Thomas Welte, NTNU

Optimale inspeksjonsintervall

Inspeksjonsintervall

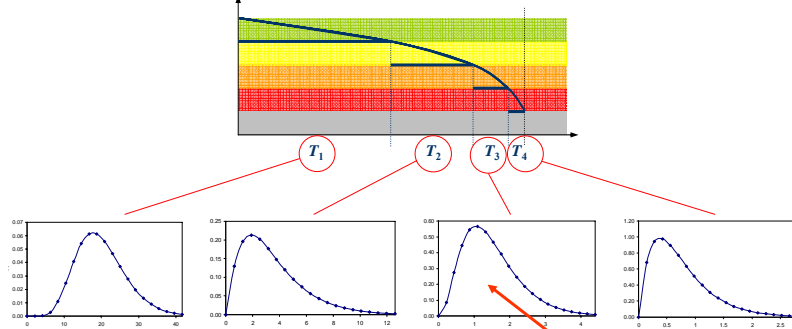
$$\tau_1 = b \cdot \tau_2 \quad \tau_3 = \frac{1}{b} \cdot \tau_2$$

Optimale inspeksjonsintervall



Kilde: Thomas Welte, NTNU

Forventet oppholdstid i de ulike tilstandene



Tabell 5.6 Gir – Visuell inspeksjon

Karakter	Kriterier for karaktersetting	E(T)	Var(T)
1	Micropitting på inntil 10 % av flankearealet.	?	?
2	Micropitting på mer enn 10 % av flankearealet.	?	?
3	Begynnende pitting.	?	?
4	Utbredt pitting eller avskalling.	?	?

Ekspertvurderinger
Tilstandsregistreringer

6. Utarbeide anbefalinger knyttet til kontraktsinngåelse

- Det skal utarbeides anbefalinger for hvordan hensyn til fremtidig vedlikeholdsoppfølging skal ivaretas ved forhandlinger og ved kontraktsinngåelse
 - Hvem har rettigheter til data som leverandøren har samlet inn i løpet av garantiperioden?
 - Hvordan sikre kompetanseoverføring i løpet av garantiperioden?

Oppsummering av forventede nytteverdier

- Felles kodeplan for vindturbiner
- Økt kunnskap om tilstandskontroll av vindkraftanlegg
- Økt kunnskap om hvordan drifts- og miljøpåkjenninger påvirker levetiden for vindkraftanlegg
- Systematisk registrering og rapportering av driftserfaringer
- Økt bestillerkompetanse
- Enhetlig terminologi slik at bransjen kan snakke "samme språk" rundt vedlikehold av vindkraftanlegg
- Overført kunnskap og erfaringer fra vannkraftmiljøet

Takk for oppmerksomheten !





Nettutvikling for innfasing av ny produksjon- utfordringer ved integrasjon av vindkraft

25. Januar 2007

Øyvind Bergvoll
Statnett SF



1

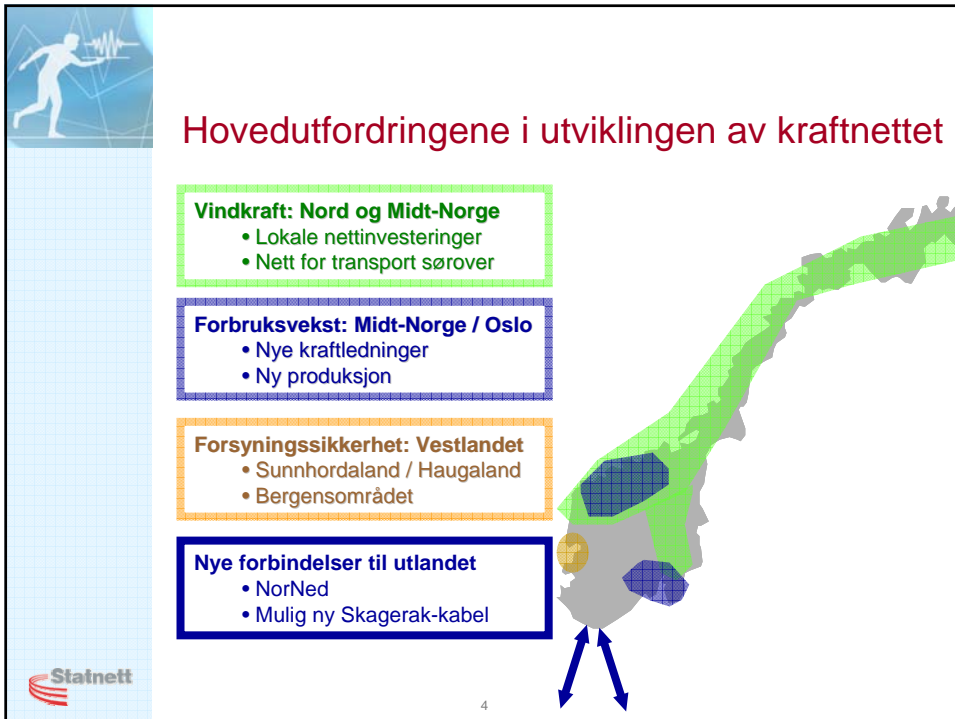
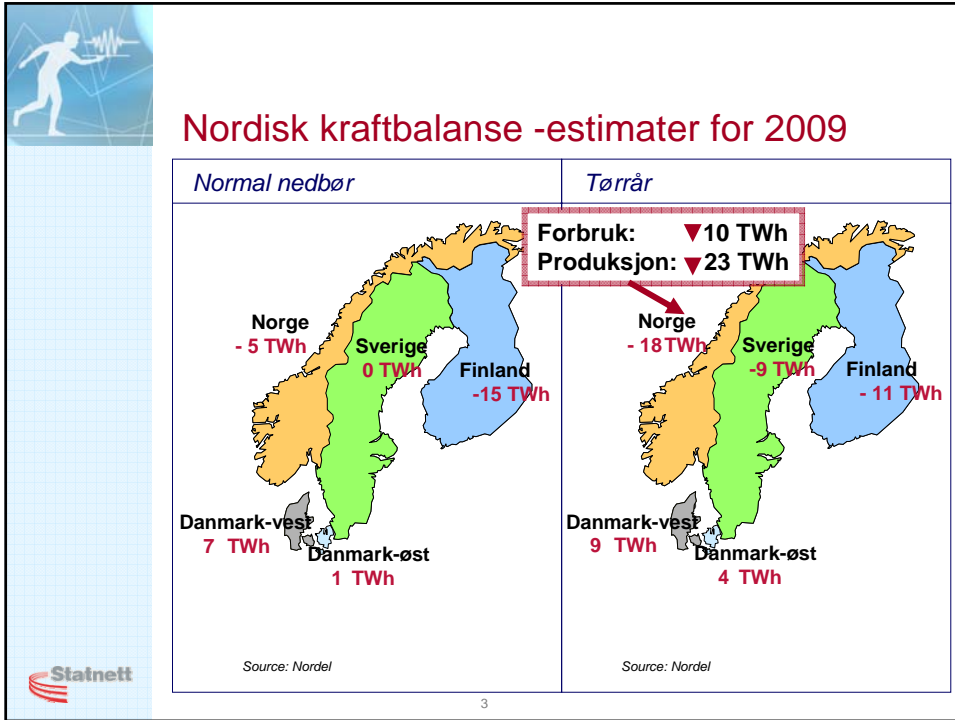



Disposisjon

- Kraftbalansen en hovedutfordring
- Koordinert utvikling av nett/produksjon
- Vindkraft – Statnetts planer




2





Koordinert utvikling av nett/produksjon

- Samfunnsøkonomisk fornuftig
- Unngå feilinvesteringer
- Infrastruktur \longleftrightarrow Næringsutvikling

 5



Nytt nett eller ny produksjon?

Nytt nett og ny produksjon som "substitutter"
- både nytt nett og ny produksjon kan løse utfordringene

Utfordringer

- riktig plassering av ny produksjon i forhold til kraftunderskudd
- koordinert utvikling av nett, produksjon og forbruk
- bruk av insentiver for lokalisering og "timing" av ny produksjon - nettbegrunnet innfasingsstariff
- samlede miljøvurderinger
 - nett og produksjon
 - linje vs. kabel



 6



Noen ganger både og ...

Nytt nett og ny produksjon som ”substitutter”
- både nytt nett og ny produksjon kan løse utfordringene

- ... men trenger balanse i større områder
- ... det er vanskelig å bestemme og porsjonere ut optimal mengde ny produksjon




7



Nett er infrastruktur

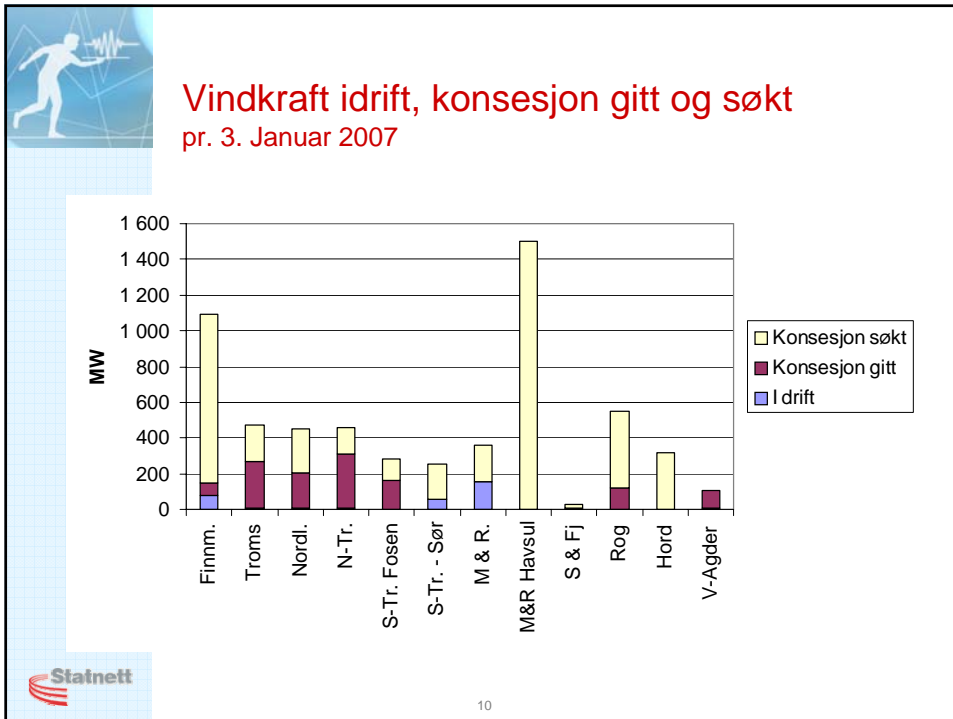
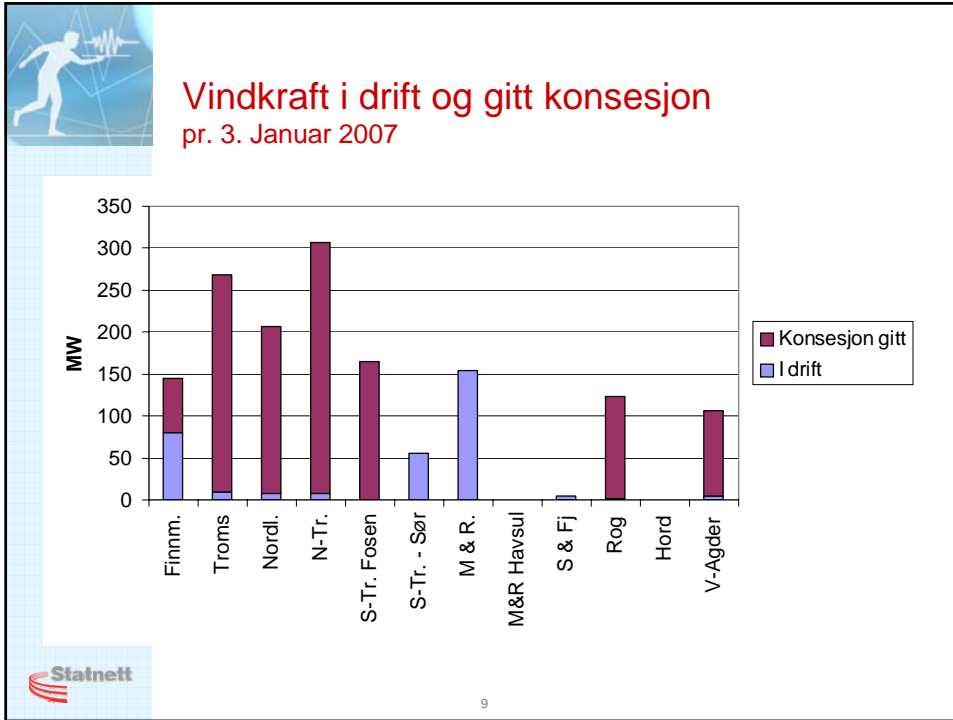
Nytt nett som nødvendig infrastruktur
- nytt nett muliggjør ny produksjon

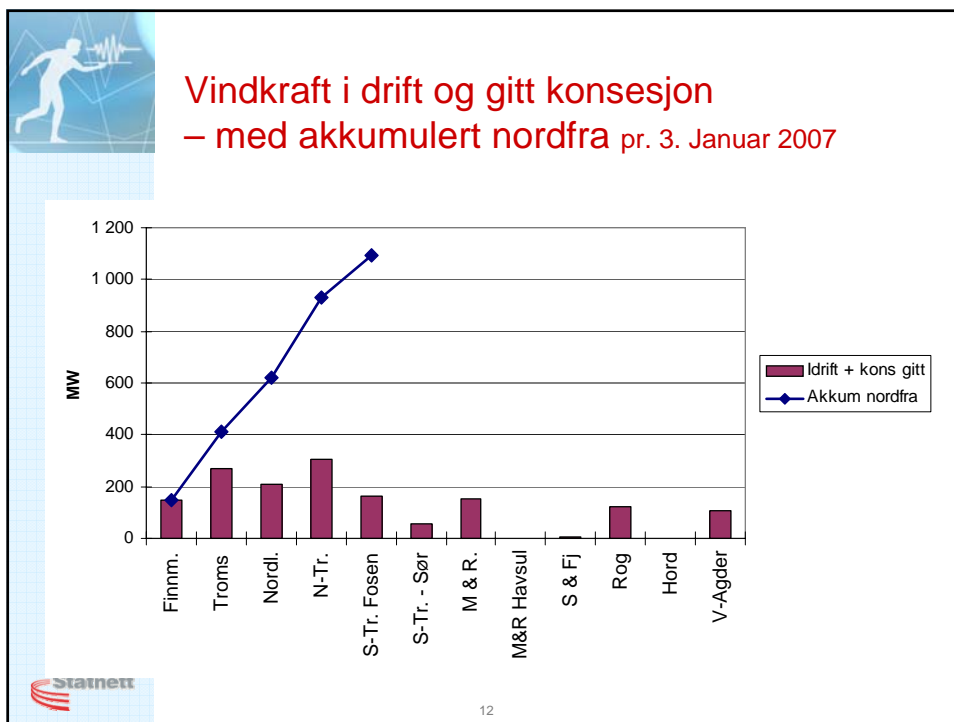
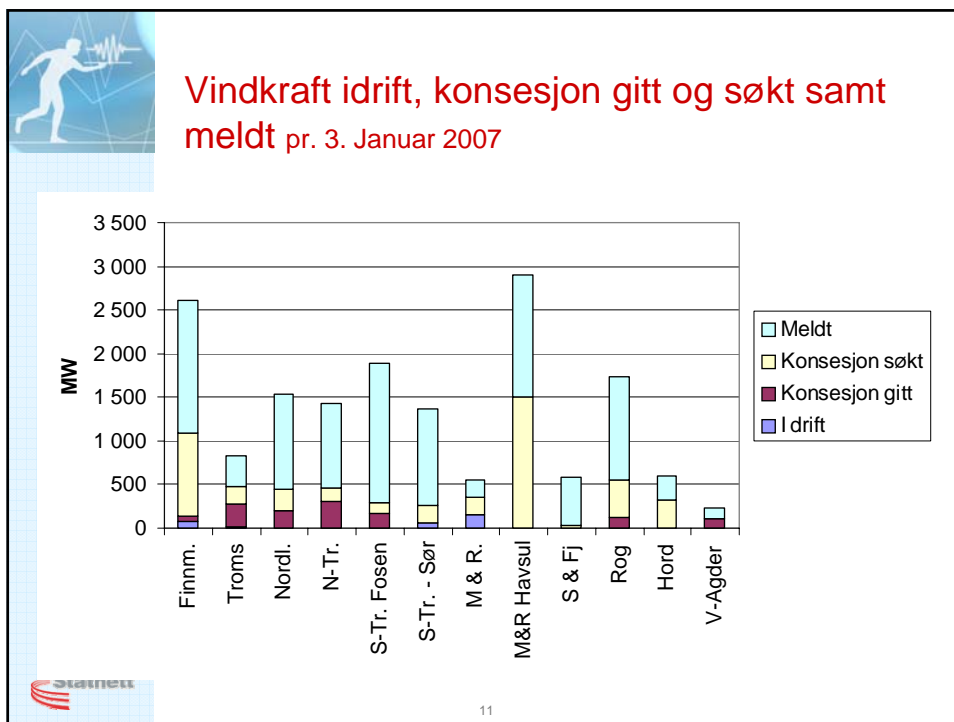
Utfordringer

- Store ubrukte energiresurser som ikke utnyttes i dag
- Behov for å styrke nasjonal kraftbalanse
- Mange premissgivere – krevende planprosesser
- Ulike tidsløp – nytt nett har lengre plan- og byggeprosess
- Produsentene trenger forutsigbarhet for nettinvesteringer
- Statnett trenger forutsigbarhet for investeringer i ny produksjon




8








Vindkraft representerer nye problemstillinger

- Systemtekniske krav
 - Veiledende systemkrav til anlegg tilknyttet regional- og sentralnettet i Norge (VtA)
- Uregulert produksjon - behov for nye markedsløsninger?
- Gode vindlokaliteter har ofte
 - Mye vind
 - Få naboer
 - ... og et svakt sentralnett




13



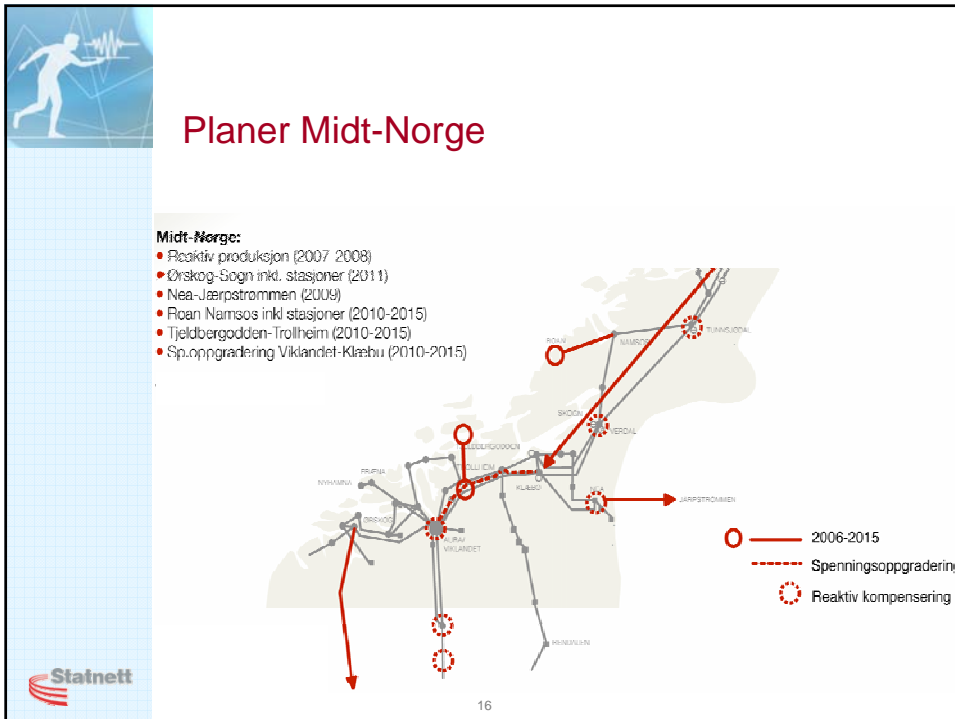
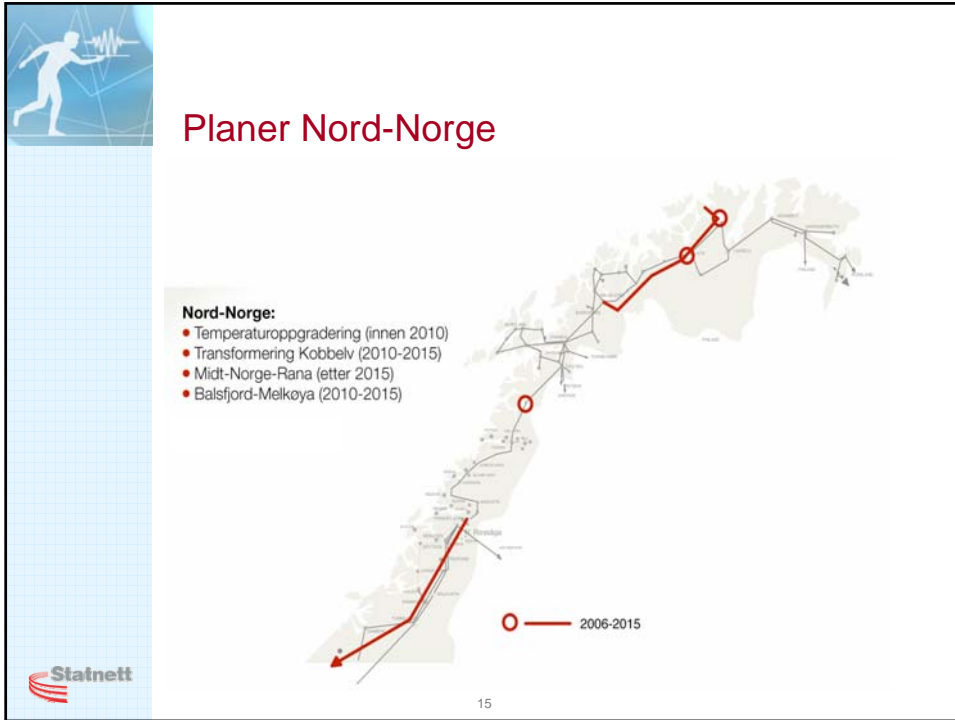
Opsjonsbasert planlegging


Mål: Utvikle nettet etter samfunnsøkonomiske kriterier

- Melde / konsesjonssøke anlegg
- Sikre opsjoner for alternativ utvikling
- Mer robust planlegging – forberedt på ulike scenarier
- Synliggjøre nettkonsekvenser
- Redusere reaksjonstiden




14






FoU-program ”Integrasjon av nye energikilder i kraftsystemet”

- Vindkraft fra nord – overføringsløsninger
 - Ombygging av 300 kV AC-ledninger til HVDC
 - Multiterminal HVDC løsninger
 - ...
- Konseptløsninger for tilknytning av uregulert produksjon
- Balansehåndtering og effektreserver




17



Avslutning

- Lang ledetid for nye nettanlegg
- Mange, store og usikre planer om ny produksjon
- Melde (og i spesielle tilfeller konsesjonssøke) anlegg før samfunnsøkonomisk lønnsomhet er fastslått
 - Reduserer usikkerheten for (vind)kraftutbyggere
- Kan fremdeles være nødvendig med avtaler/koordinering før investeringsbeslutning
- Store ledningsprosjekter i Midt-Norge og Nord-Norge meldes denne våren



18

Dynamic models of wind farms for power system studies

John Olav Tande
john.o.tande@sintef.no



Introduction

- Large scale wind farms may have a significant impact on grid stability.
- Numerical power system simulation tools are essential for predicting impact and pinpointing cost-effective solutions for secure operation.
- Dynamic models of wind farms for power system studies are available for various simulation packages (PSS/E, DIgSilent, etc), but model accuracy versus real-life wind farm technology is still an issue.
- Model development is not trivial, and model validation is essential.

- IEA Wind Annex 21 (2002-2006) is a means to aid the development through international collaboration.

- This presentation gives an overview of Annex 21 works; focus is in particular on benchmark testing of dynamic wind generation models.

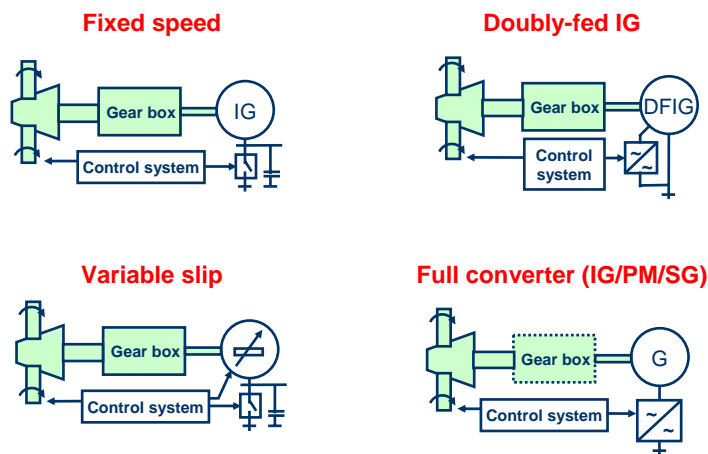


IEA Wind R&D Annex 21 (2002-2006): Dynamic models of wind farms for power system studies

- Immediate objectives and activities:
 - International forum for exchanging knowledge and experience within the field of wind farm modeling for power system studies
 - Develop, describe, and validate wind farm models.
 - Set-up and operate a common database for benchmark testing of wind turbine and wind farm models as an aid for securing good-quality models.

- Partners:
 - Risø (DK), VTT (FI), UCD (IE), ECN and TU Delft (NL), Chalmers (SE), UMIST (UK), NREL (USA), INETI (PT)
- Operating Agent: SINTEF Energy Research (NO)
 - www.sintef.no/wind
 - www.ieawind.org

Modelling is not trivial



Dynamic wind farm models

- Accurate simulation of wind farms relies on detailed modelling of the applied wind turbine technology, e.g. the dynamics of a fixed speed wind turbine may differ significantly from that of a variable speed wind turbine, but there will also be manufacturer specific variations.
- Wind farm models may be built to various level of detail ranging from one-to-one modelling to full aggregation.
- The one-to-one approach is computer demanding and in many cases not practical, hence aggregated wind farm models are often applied
- The aggregation is not trivial, i.e. considering that a wind farm may consist of hundreds of wind turbines distributed over a large area
- Aggregated models must therefore be applied with care. Possibly a cluster-by-cluster aggregation may constitute a fair approach.

Numerical simulation tools

- Model platform depends on scope of study
- PSS/E: power system simulation tool, used by TSOs, phasor models, good for analysis of large power systems
- SIMPOW and DlgSILENT: power system simulation tool, both phasor and instantaneous value models
- PSCAD (EMTDC): power system simulation tool, detailed instantaneous value models
- Matlab/Simulink: general simulation tool, mostly for research, models can be built to any level of detail

IEA Annex 21 measurement data base

- WT500 (Denmark); 500 kW wind turbine (fixed speed, stall controlled), measurements during normal operation.
- Alsvik (Sweden); 4x180 kW wind farm (fixed speed, stall controlled), measurements during normal operation and response to voltage dip.
- Olos (Finland); 5x600 kW wind farm (fixed speed, stall controlled), measurements during normal operation and response to voltage dip.
- Azores (Portugal); 4x100 + 1x150 kW wind farm (fixed speed, stall controlled), measurements during normal operation.
- DFIG850 (Sweden); 850 kW DFIG wind turbine (variable speed, pitch) measurements during normal operation and response to voltage dip.
- SimWT (Denmark); simulated response of fixed speed wind turbine on voltage dip (simulations in EMTDC and DIgSILENT).
- Smøla (Norway); 20x2 MW wind farm (fixed speed, active stall), measurements during normal operation and voltage dip.
- CART (USA) 600 kW full converter wind turbine (variable speed, pitch), measurements during normal operation and voltage dip.

IEA Annex 21 benchmark test procedures

Dynamic operation during normal conditions:

- Input:
 - Wind speed time series (and optionally voltage time series)
- Output:
 - Time series plot of active power output, reactive power, and voltage (optionally)
 - Power spectral density of active power output
 - Short-term flicker emission
 - Optionally plots of $Q(U)$ and $Q(P)$

Response to voltage dip:

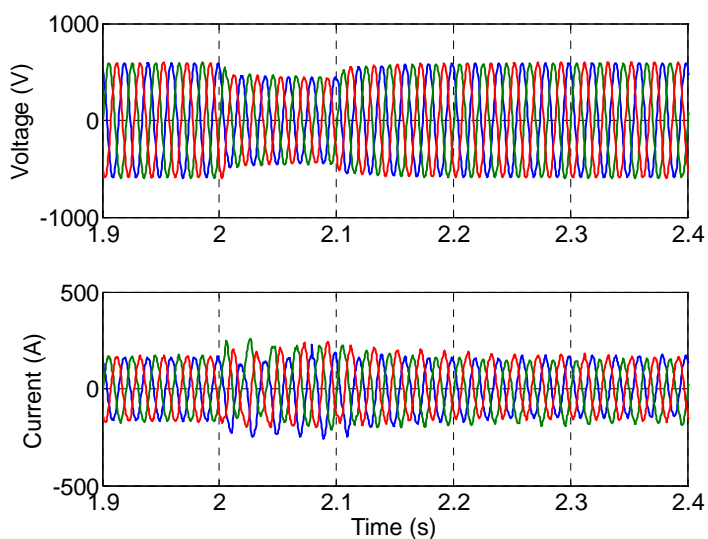
- Input:
 - Voltage time series and constant aerodynamic torque (or optionally wind speed time series)
- Output:
 - Time series plot of active and reactive power output
 - Time series of voltage at wind turbine terminals

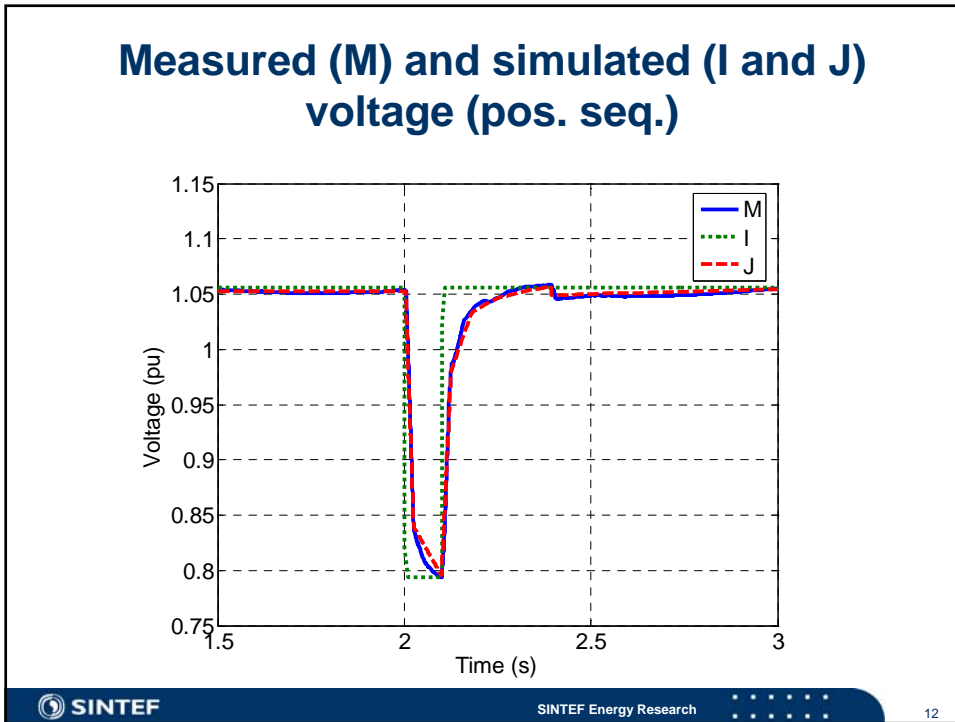
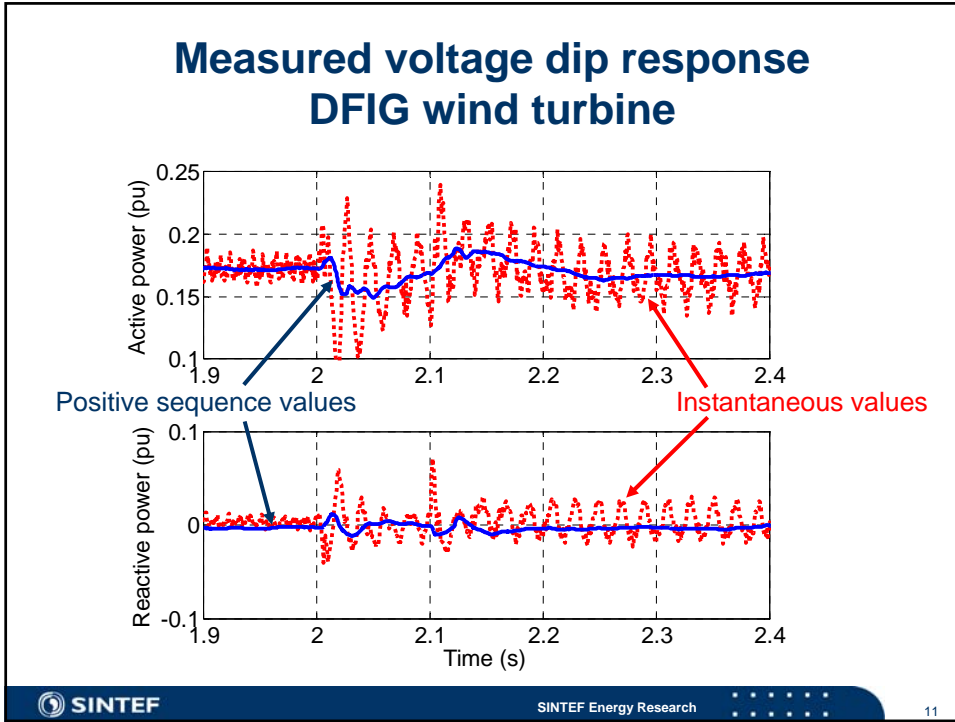
IEA Annex 21 benchmark test procedures

Transformation of measurement data:

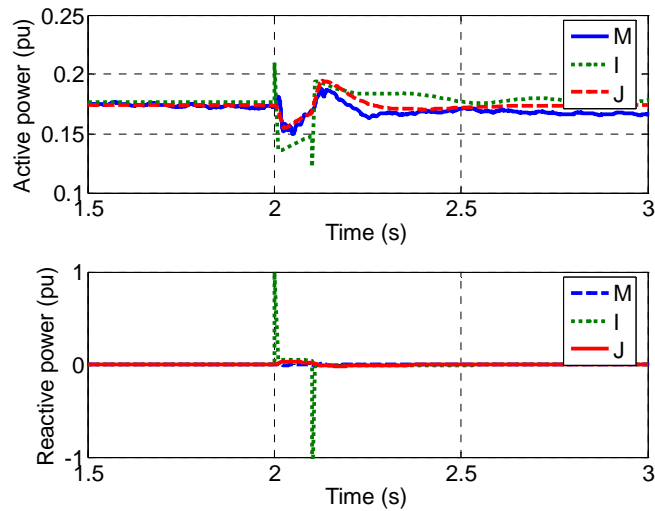
- The test data include three-phase measurements of instantaneous voltages and currents at the wind turbine or wind farm terminals.
- The benchmark test procedure includes transforming these measurements to fundamental positive sequence voltage and current phasors, and from these calculate the active and reactive power for comparison with simulation results.
- The reason for using the fundamental positive sequence values is twofold.
 - Firstly, perfectly balanced conditions can not generally be assumed, and events of voltage dips are often unbalanced.
 - Secondly, most power system simulator models are phasor-type models, meaning that the electrical variables (voltages and currents) are represented as positive sequence values.

Measured voltage dip response DFIG wind turbine





Measured (M) and simulated (I and J) active and reactive power



Rounding up (1 of 2)

- In general the progress is good on model development.
- Models are available on various platforms (Matlab, PSSE etc), and the Annex participants take model validation seriously.
- The proposed benchmark test procedure and presentation of test results provide for a significant technical contribution by the Annex.
- The Annex is the first to present a systematic comparison of wind generation models (ten in total) against measurements.
- Test results give a clear indication of accuracy and usability of the models tested, and pin-point the need for both model development and testing.
- IEA Wind Annex 21 final report is expected by spring 2007.

www.sintef.no/wind

www.ieawind.org

Rounding up (2 of 2)

- A proposal emerging from the Annex works is to update IEC 61400-21 to specify a standardized procedure for measurements and documentation of the response of wind turbines on voltage dips.
- Hence, in the future wind turbine manufacturers may refer to standardized test results for documenting response to voltage dips, but also these test results may be used for model validations.
- A committee draft for vote of IEC 61400-21 Ed2 is out (Feb 2007).

www.sintef.no/wind

www.ieawind.org

Harmonisering av balanseavregningene i Norden og innføring av Elbas i Norge

Konsekvenser for de balanseansvarlige i Norge

- 1 ½ pris på ubalanser
- Ny kostnads base for balanseoppgjør
- Elbas

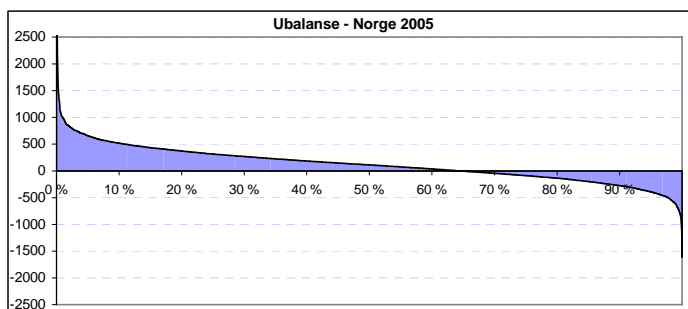
Jan Hystad

Jan.Hystad@statnett.no

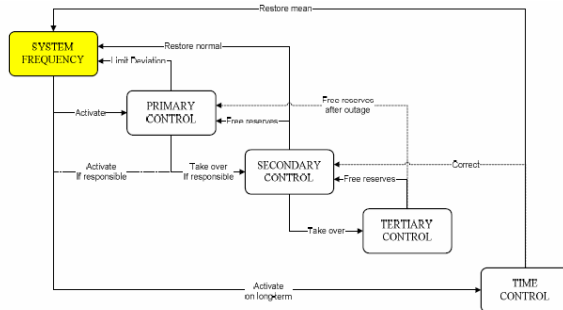


Ubalanser time for time

- Underskudd på i snitt 122 MWh/h. Totalt 3,1 TWh
 - Aktørenes forbruk er større enn planlagt anskaffelse
 - Underskudd i 64 % av tiden
 - Over 13 % av tiden er ubalansene > 500 MWh/h
 - Over 44 % av tiden er ubalansene > 250 MWh/h



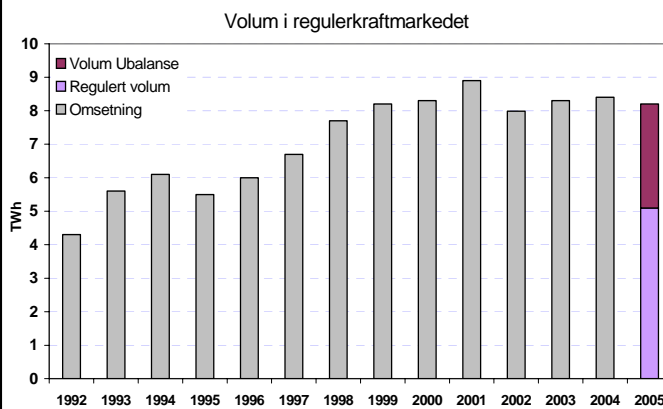
Hva gjøres med ubalansene ?



- Større fokus på reserver
 - Modent marked
 - Mer internasjonalt marked
 - Store prisforskjeller mot utlandet
 - Knappere resurser
 - Betydelig kostnad



Volum i RK-markedet



Omsetning i RK = Reguleringer + Ubalanser



Kontroll med ubalanser

- Gir mer stabil drift av nettet
 - redusert behovet for reguleringer
 - reduserer bruken av reserver
 - reduserer faren for sammenbrudd

- Lavere kostnader
 - Spesialreguleringer
 - Reserver / opsjoner (sammenstill utvikling de seinere årene for spesial, regulerstyrke og RKOM)

- Tillitt til kraftmarkedet - hindre posisjonering i markeder

⇒ Et system i balanse er en viktig del av et velfungerende kraftmarked som gir like vilkår for alle markedsaktører



Nordisk råd - Nordel

I Grønlandserklæringen (Akureyri) løfter Nordisk Råd følgende visjon frem for det nordiske elmarkedet:

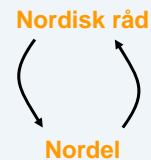
- **Et grenseløst nordisk marked med en effektiv handel med omverden**

Et grenseløst nordisk elmarked forutsetter en fortsatt harmonisering av regler og metoder for utnyttelsen og utvikling av infrastrukturen. Åpne markeder og like markedsvilkår er avgjørende for å nå visjonen.



- Felles prinsipp for balansehåndtering
- Felles prinsipp for flaskehalshåndtering
- Identifisere fellesnordiske investeringer

Nordel



Prinsipper ved markedsdesign

- **Tilrettelegge for god konkurranse**
 - Lav risiko ved ubalansert muliggjør inntreden av små aktører
- **Resiprositet eller sosialisering**
 - Den som skaper behovet for en tjeneste betaler for den
- **Incitament til god oppførsel**
 - Balansehåndteringen bør ikke tilrettelegge for posisjonering mellom markeder
- **Samfunnsøkonomi**
 - Ballansering av Norden eller ballansering av enkeltaktører i driften
- **Like markedsbetingelser**
 - Aktørene bør ha mest mulig like betingelser innen Norden
- **Økonomisk effektivitet**
 - Enkelhet gir lave administrasjonskostnader og rask saksbehandlingstid



Hva er den riktige balansen mellom disse prinsippene ?



Formål med endringen

- Forenkle balanseansvaret for selskap med Nordisk strategi
 - Like løsninger i de fire nordiske land i engros- og sluttbrukermarkedet
 - Forenkler mulighetene til å være nordisk leverandør
 - Likere regler
 - Muligheten øker for leverandørene å benytte samme tekniske løsninger i Norden
- Et åpnere marked sikrer mer velfungerende marked på sikt
- Muliggjør flaskehalshåndtering gjennom opprettelse av flernasjonale spot-områder



Nordel

- To-prisløsning for passive produksjonsubalanser
- Nytt kostnadsallokeringsprinsipp for systemdriftsreserver
- Elbas og "gate closure" en time før driftstimen



To-prisløsning

- Endrig:
 - kun for passive ubalanser som understøtter totalsystemet balanse: produksjonsplan vs. målt produksjon
- Ingen endring for:
 - Prising av aktive reguleringer og automatisk frekvensregulering
 - forbrukere og handel i det fysiske engrosmarkedet
- Signifikante konsekvenser
 - Felles prinsipper for ubalanser i Norden
=> en forutsetning for flernasjonale elspotområder
 - Produksjon med liten reguleringsevne
 - Noen besparelser for kjøp av RK-opsjoner 10 – 15 Mill NOK
 - Noen økte administrative kostnader 12 – 14 Mill. NOK



Beregning av ubalansekostnad for vindmøller (eksempel)

- Utgangspunkt i danske ubalansekostnader
 - For danske vindmøller 1 øre/kWh
 - Vindmøller er en viktig årsak til ubalanse i Danmark
- Eksempel på beregning av norsk ubalansekostnad
 - RK-prisavvik fra Elspot i Norge er ca 1/3 av Danmarks
 - Vindmøller er en underordnet årsak til ubalanse i Norge
 - ubalansen er stokastisk med og mot totalsystemets ubalanse
 - Dette trekker ned ubalansekostnaden



Eksempel for vindmølle

- Installert effekt: 2 MW
- Driftstid: 3000 timer/ år (full effekt)
- Årsproduksjon: 6 000 MWh
- Ubalansekostnad 0,3 øre/kWh (3 NOK/MWh)
- Års ubalansekostnad: 18 000 NOK
 - $6\,000\text{ MWh} * 3\text{ NOK/MWh} = 18\,000\text{ NOK}$
- Reelle erfaringer fra norske selskap vedrørende ubalansekostnad for vind- og småkraft er avgjørende for at Statnett skal ha et riktig kostnader i utredningen



Ny kostnadsallokeringsprinsipp

- Systemdriftsreserver vil bli delvis finansiert av de balanseansvarlige
 - Forventet kostnad: 50 mill. NOK
 - Herav 5 mill. NOK fra to-pris for produksjon
- Incitament i gebyrene gir konkurransevridning
- Gebyrer uten incitament på produksjon og/eller forbruk gir liten eller ingen omfordeling forutsatt at samme beløp trekkes fra Statnetts inntektsramme



Innføring av Elbas

- Gunstig for produsenter med produksjon med lite regulerbarhet
- Selskap med nordisk strategi
 - Får "flaskehalsinntektene" selv

Gate Closure

- 1 time før driftstimen
- Produksjonsplaner kan endres til en time før driftstimen.
 - Noe større mulighet for spekulering mot områdeinterne flaskehals i Norge
- Størst endring for bilaterale handler som må meldes inn før driftstimen
 - Ingen konsekvens for driften



Oppsummering

- Harmoniseringen åpner for integrering av engros- og sluttbrukermarkedene i Norden
 - Enklere å være balanseansvarlig i Norden
 - Enklere å være leverandør til forbrukere i flere nordiske land
- Uregulert produksjon og små aktører kommer noe svakere ut.
- Ingen dramatiske endringer



NTNU

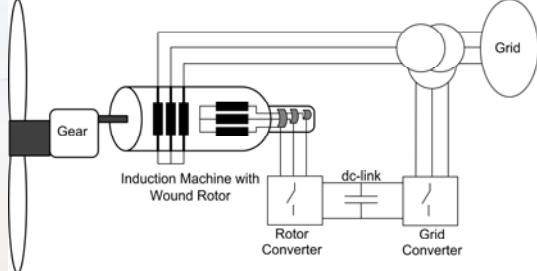
Dobbelmata Asynkronmaskin under Transiente Spenningsforhold

Student: Bjarne Idsøe Næss Veileder: Tore M. Undeland

1

NTNU

Dobbelmata Asynkronmaskin



$$P_r = -\frac{(1-n)P_{ut}}{(n)}$$

$$\mathbf{v}_r = r_r \mathbf{i}_r + j(1-n)\Psi_r$$

Ved å begrense turtallet om synkront turtall kan størelsen på rotoromformerene reduseres

Anta at v_r er begrenset til 0.3 pu \Rightarrow Gir en turtalsvariasjon n fra 0.7 til 1.3

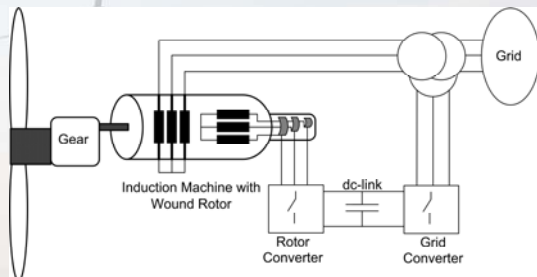
↓

$n = 0.7 : P_r = -0.43P_{ut} \quad (P_s = 1.43P_{ut})$

$n = 1.3 : P_r = 0.23P_{ut} \quad (P_s = 0.77P_{ut})$

2

Dobbelmata Asynkronmaskin



- Fluksen i maskinen er i hovedsak bestemt av statorspenningen
- En spenningsvariasjon på storklemmene vil påvirke motorens fluks som kan resultere i uønskede momentpendlinger og høye rotorspenninger

Eksempel på Kortslutning Mellom to Faser

Figuren viser en lab test hvor to faser er kortslettet. Hvordan kan en estimere spenningen over rotoromformeren?

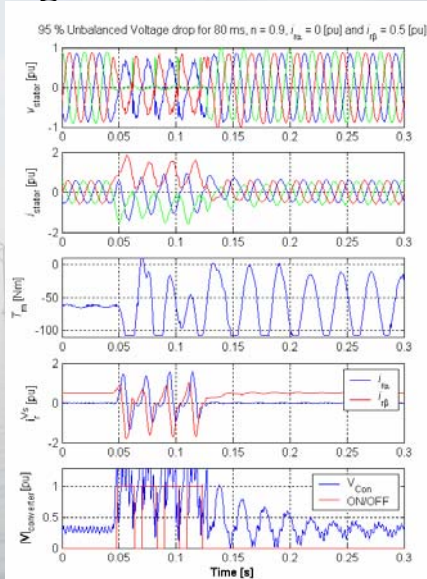
Statorfluks Orienteret System:

$$\mathbf{v}_s = r_s \mathbf{i}_s + \frac{d\mathbf{\Psi}_s}{\omega_b dt} + j\mathbf{\Psi}_s$$

$$\mathbf{v}_r = r_r \mathbf{i}_r + \frac{d\mathbf{\Psi}_r}{\omega_b dt} + jf_r \mathbf{\Psi}_r$$

$$\mathbf{\Psi}_s = x_s \mathbf{i}_s + x_m \mathbf{i}_r$$

$$\mathbf{\Psi}_r = x_m \mathbf{i}_s + x_r \mathbf{i}_r$$






Estimering av Rotorspenning

- Betrakter maskinen som en transformator hvor sekundærviklingene roterer i fluksen
- Deler fluksen inn i tre forskjellige komponenter sett fra stator:
 1. Positiv roterende fluks
 2. Negativt roterende fluks
 3. Ikke roterende fluks

5



Oppdeling av Maskinligningene

- Antar:
 - Ingen rotor strøm
 - Resistansen i statorviklingene er null
 - Lekk induktansene er null
 - Amplituden på statorspenningen forandres i sprang
- Kan skrive motor ligningene som:

$$\mathbf{v}_s = \frac{d\Psi_h}{\omega_b dt} + j\Psi_h$$

$$\mathbf{v}_r = \frac{d\Psi_h}{\omega_b dt} + j(1-n)\Psi_h$$

6

NTNU

Oppdeling av Maskinligningene

- Den positivt roterende fluksen blir drevet av den positive spenningskomponenten på statorklemlene :

$$v_s^+ = \Psi_h^+$$

$$v_r^{(1-n)} = (1-n)\Psi_h^+$$
- Den negativt roterende fluksen blir drevet av den negativt roterende spenningskomponenten på statorklemlene :

$$v_s^- = \Psi_h^-$$

$$v_r^{(1+n)} = (1+n)\Psi_h^-$$

7

NTNU

Oppdeling av Maskinligningene

Den ikke roterende flukskomponenten vil være gitt av et transient hendelsesforløp:

Spenning før hendelse: $v_s \Big|_{t=0^-}$

Spenning etter hendelse: $v_s \Big|_{t=0^+}$

Den ikke roterende fluksen kan da finnes som:

$$\Psi_h^{DC} \Big|_{t=0} = v_s \Big|_{t=0^+} - v_s \Big|_{t=0^-}$$

Den induerte rotor spenningen fra den ikke roterende flukskomponenten:

$$v_r = n\Psi_h^{DC}$$

8

Dempning av den Transiente Fluksen

- Den ikke roterende flukskomponenten blir drevet av maskinens magnetisering
- Denne vil derfor gå mot null

Den ikke roterende fluksen vil bli dempet som:

$$\frac{d\Psi_h^{DC}}{dt\omega_b} = -\frac{r_s}{x_s} \Psi_h^{DC}$$

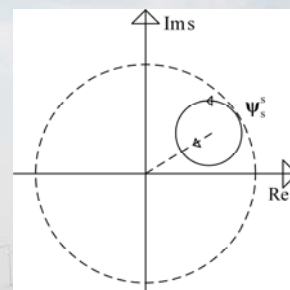
$$\Psi_h^{DC} = \Psi_h^{DC} \Big|_{t=0} \cdot e^{-\frac{r_s \omega_b t}{x_s}}$$

$\tau \approx 125$ ms for test maskinen

9

Symmetrisk Spenningsfall på Stator

- Et symmetrisk spenningsfall vil resultere i en fluks med:
 - Positiv roterende fluks som blir drevet av den resterende spenningen
 - Ikke roterende fluks som blir drevet av induktansene i maskinen
- Den positivt roterende fluksen indukere følgende rotorspenning:
- Den ikke roterende fluksen vil indukere følgende rotorspenning:



$$v_r^{(1-n)} = (|1-n|)v_s^+$$

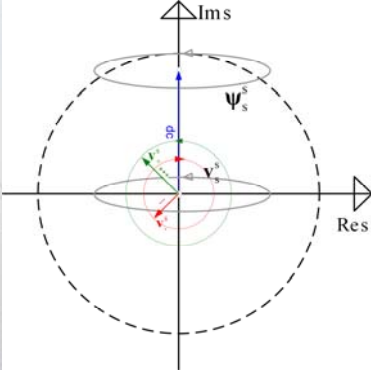
$$v_r^{(n)} = n(v_s|_{t=0^+} - v_s|_{t=0^-})$$

10

NTNU

Usymmetrisk Spenningsfall på Stator

- Ved et usymmetrisk spenningsfall må vi i tillegg til den ikke roterende og den positivt roterende flukskomponenten ta med den negativt roterende flukskomponenten
- Den negativt roterende flukskomponenten vil induisere følgende rotorspenning:

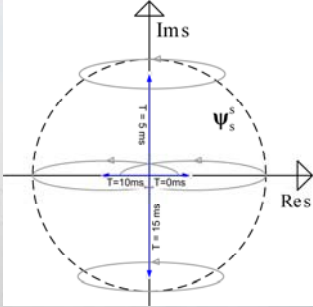
$$v_r^{(1+n)} = (1+n)v_s^-$$


11

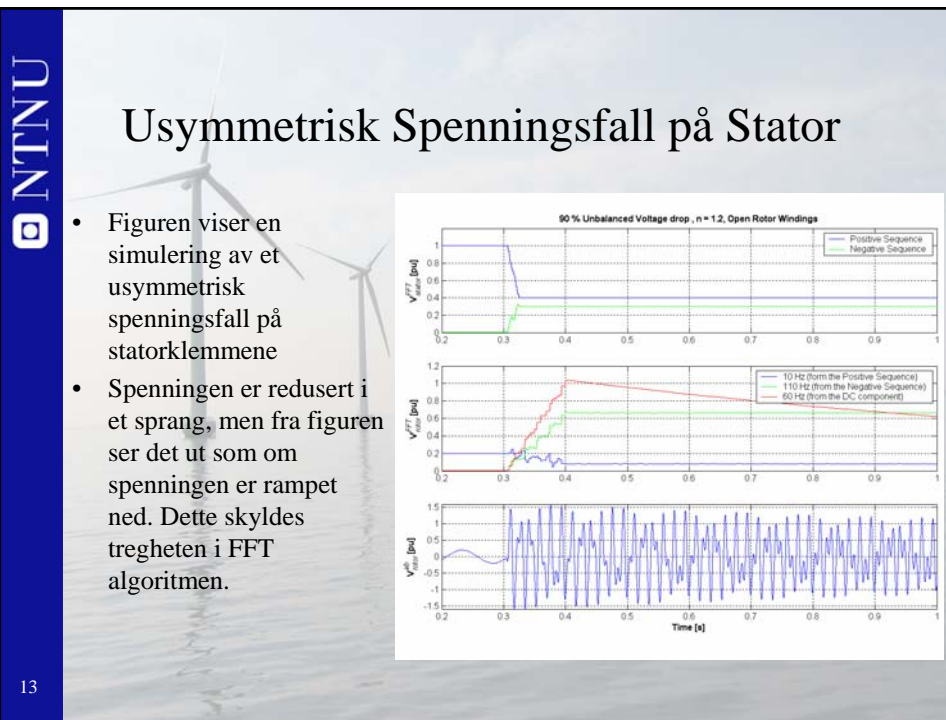
NTNU

Usymmetrisk Spenningsfall på Stator

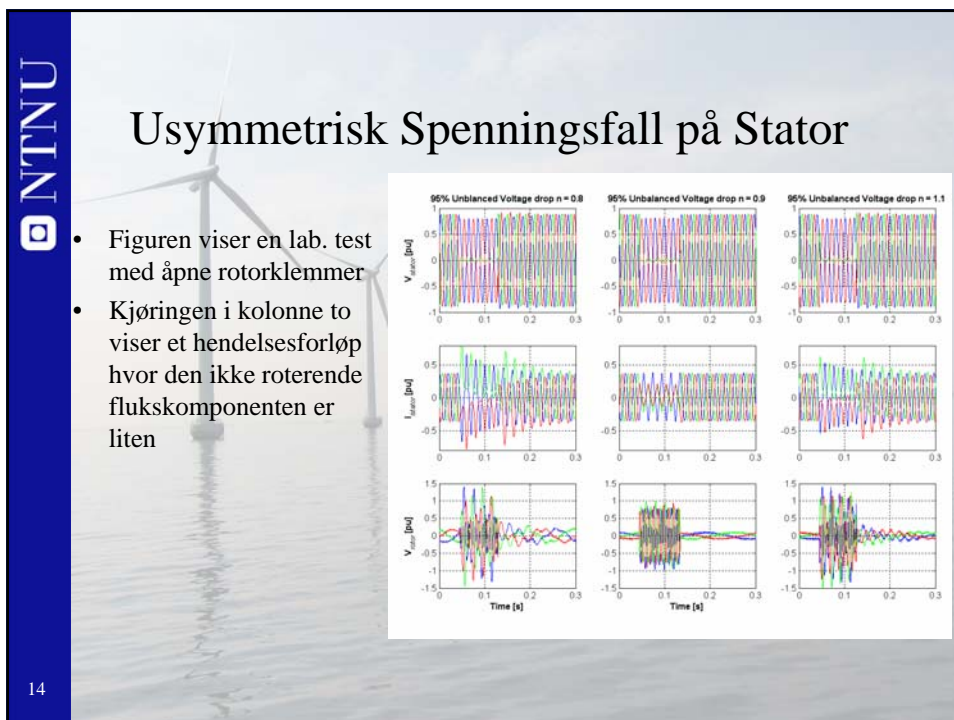
- Ved et usymmetrisk spenningsfall vil størrelsen på den ikke roterende flukskomponenten være bestemt av hvor i perioden spenningsfallet inntreffer
- Den største ikke roterende flukskomponenten som kan inntreffe kan beregnes som:

$$\hat{\Psi}^{DC} = \Psi_h \Big|_{t=0} - (v_s^+ - v_s^-)$$


12



13



14

Aktiv demping av kraftsystempendlinger med vindpark regulering

*Bidrag til forskningsprosjektet:
"Storskala integrasjon av vindkraft i det nordiske kraftnettet"*

Presentasjon Vind FOU, Trondheim - 25. Januar 2007


Jarle Eek

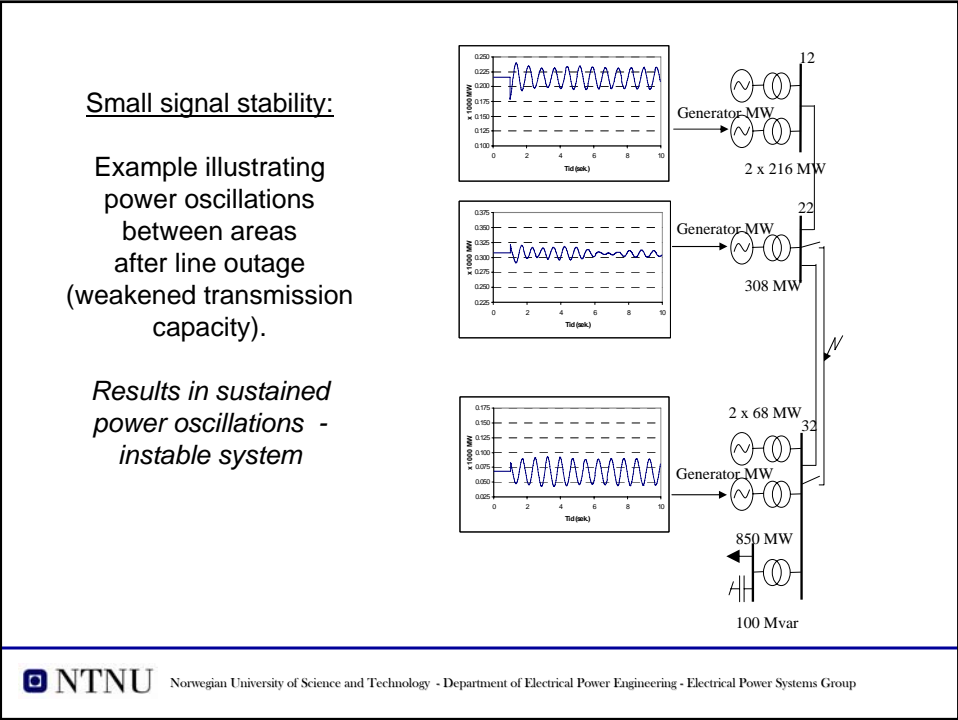
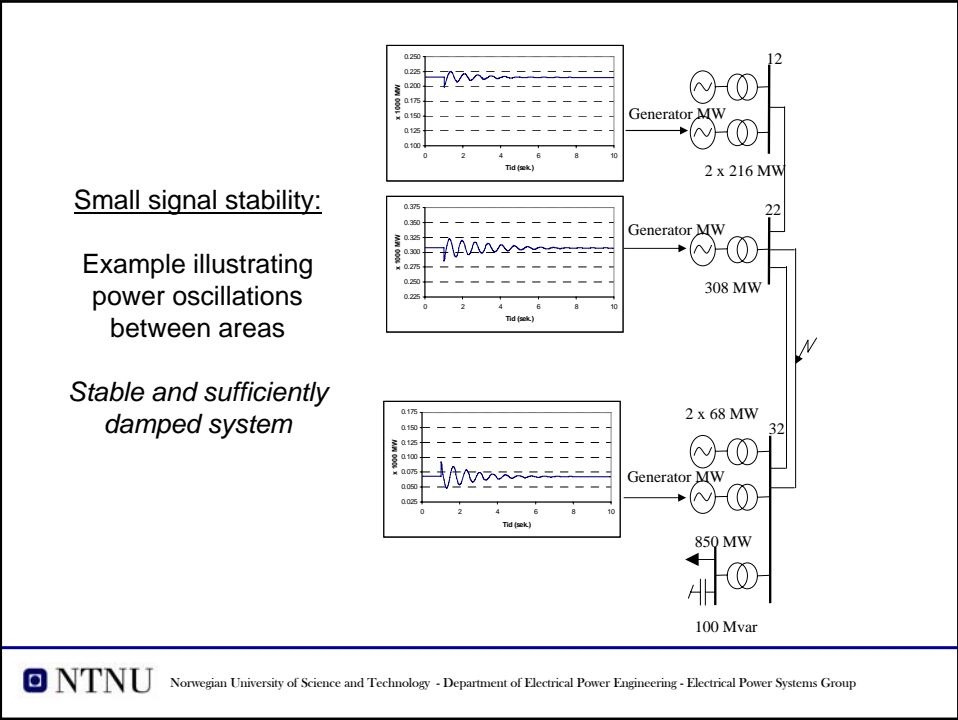


 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group

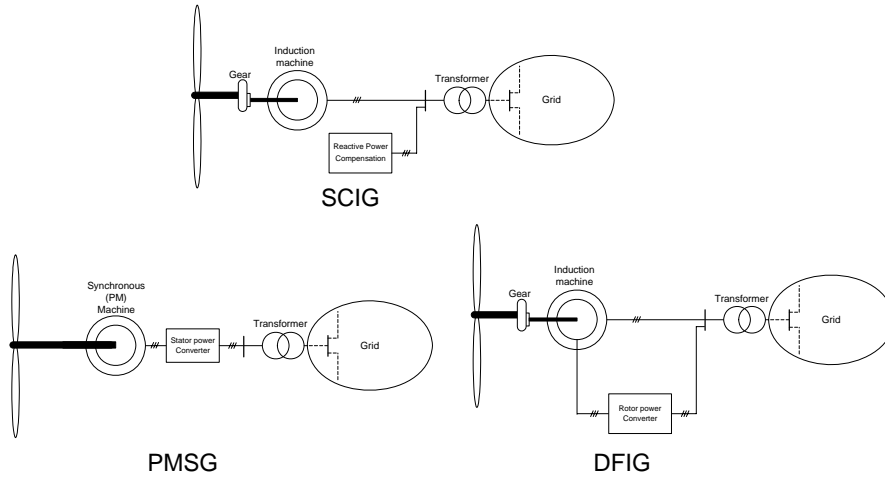
Kraftsystempendlinger

- Kraftsystemet
 - Stort og komplekst system:
 - Mange enheter – dynamiske(ulineære) komponenter (generatorer, kompensering, laster og nett)
 - Distribuert system(produksjon for å dekke lokal last)
 - Sammenkobling gir samspill og dynamisk innvirkning mellom enheter
- Lavfrekvente effekt-pendlinger oppstår f.eks. som følge av at generator-grupper svinger mot hverandre i forskjellige områder i et sammenkoblet nett. (område)
- For vindparker kan effektpendlinger oppstå lokalt mellom turbinene internt i parken. (lokale)
- Last-situasjonen (generatorer ute av drift, effektflyt i flaskehals, etc.) kan ha stor innvirkning på pendlingene.

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

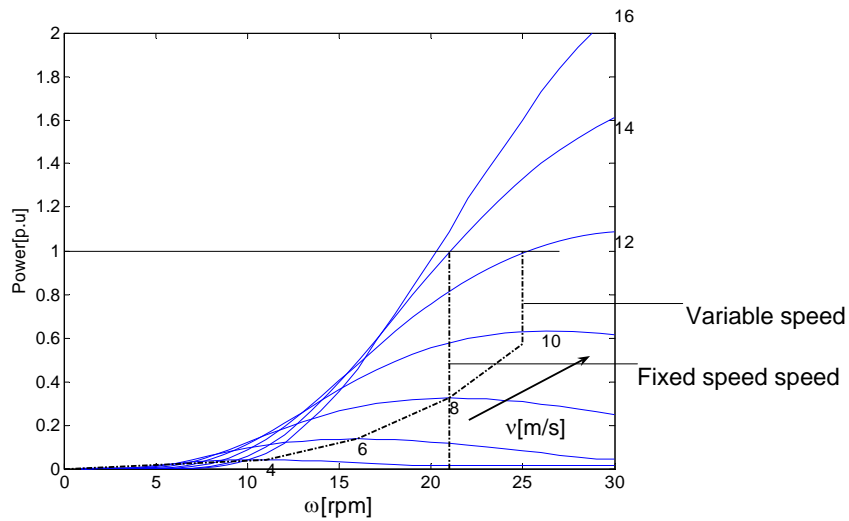


Generatorteknologier



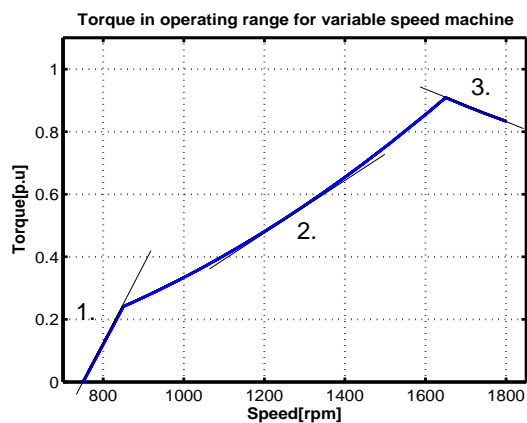
NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group

Effekt karakteristikk

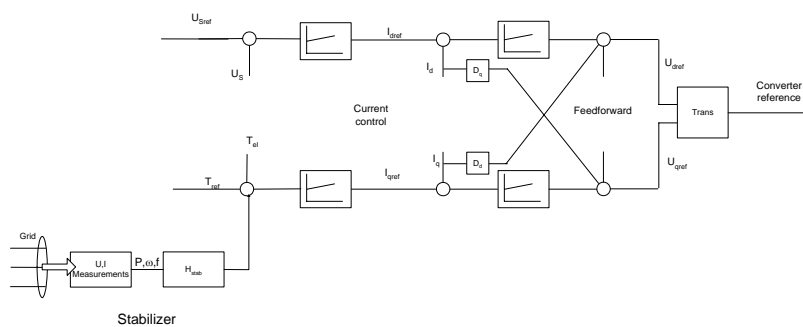


NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group

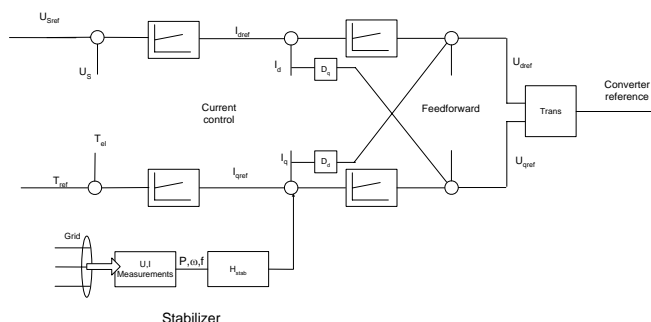
Torque curve variable speed



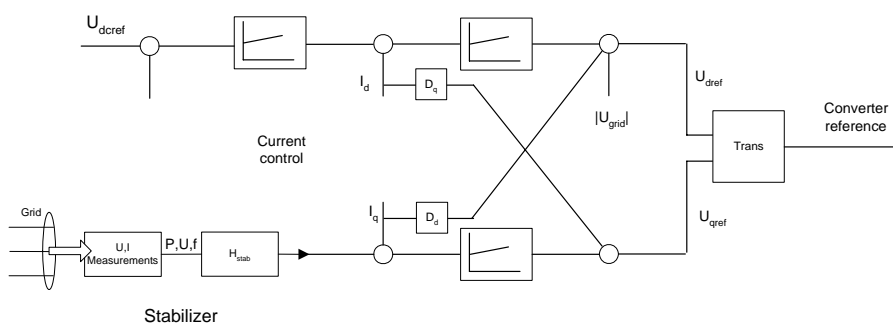
Implementering av stabilisator i vind turbin regulering Kompensering av magnetisering (DFIG)



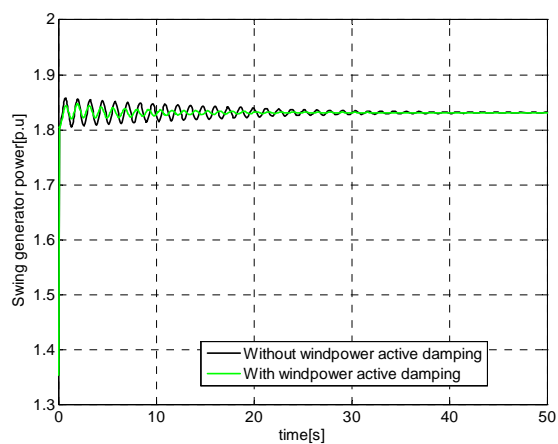
Implementering av stabilisator i vind turbin regulering Kompensering av magnetisering (DFIG)




Implementering av stabilisator i vindturbin regulering Kompensering med nettvendt converter(DFIG/PMSG/(SCIG))

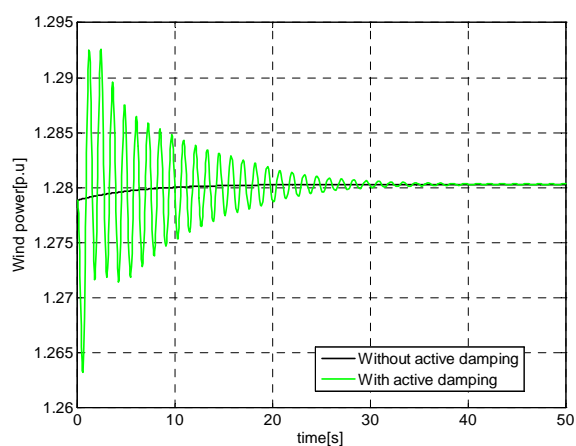



Eksempel: Innflytelse på bidrag fra sentral nettet



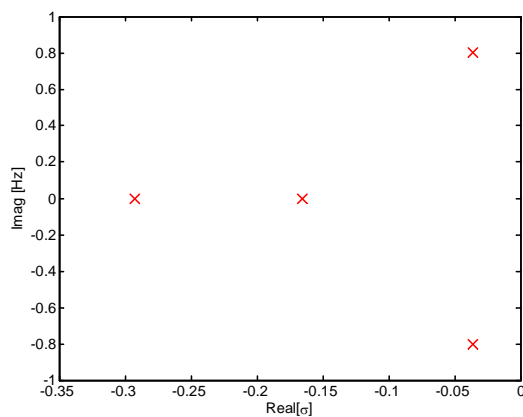
 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group


Eksempel: Bidrag fra vindpark



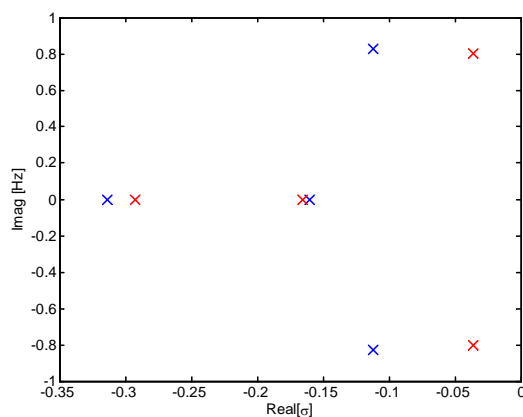
 NTNU Norwegian University of Science and Technology - Department of Electrical Power Engineering - Electrical Power Systems Group


Illustrasjon av innvirkning med egenverdiplot (dominerende poler)



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

Illustrasjon av innvirkning med egenverdiplot (dominerende poler)



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

Konklusjoner

- Analyse av dempning av systempendlinger med tradisjonelle småsignal- analysemetoder
- Vindkraftanlegg har gode muligheter for å bidra til dempning/øke den totale dempning av pendlinger i kraftsystemet.
- Styrt magnetiseringsutrustning eller reaktiv effektregulering med tilstrekkelig båndbredde er nødvendig.

1

Systemkrav for Vindkraft Integrasjon

FoU - Seminar NTNU 25-26. januar 2007

PhD student: Giuseppe Di Marzio

giuseppe.di.marzio@elkraft.ntnu.no



www.ntnu.no

2

Sammendrag

- Hvorfor systemkrav for vindkraft
- Sammenligning:
 - Reaktive bidrag
 - Fault ride through (FRT)
 - Frekvens kontroll
- Eksempler av systemkravinnvirkninger om systemet



www.ntnu.no

3

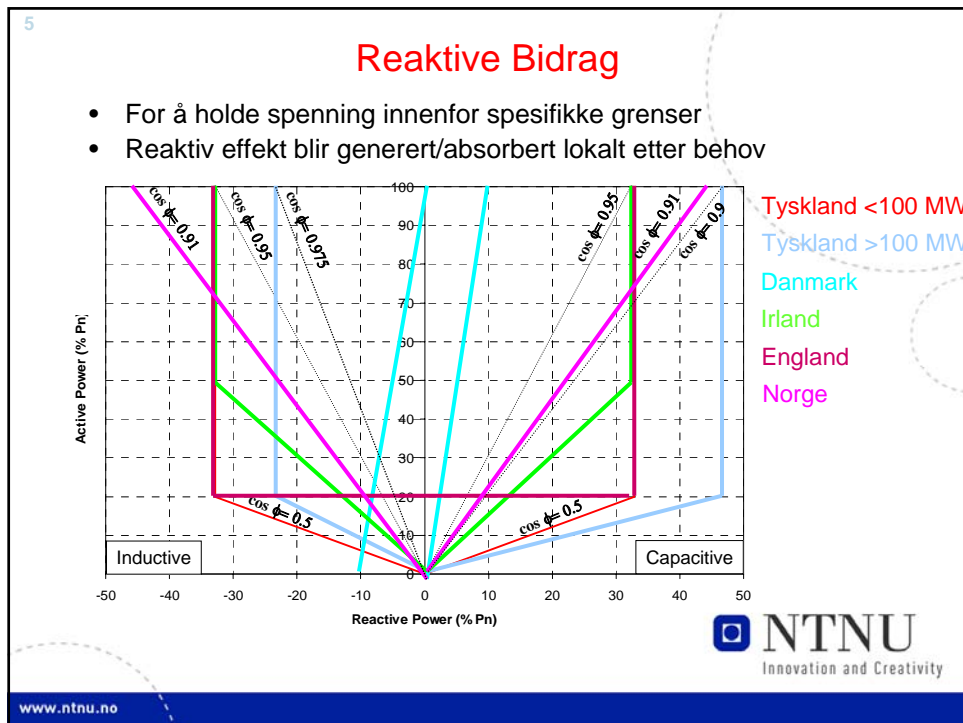
Hvorfor systemkrav for vindkraft:

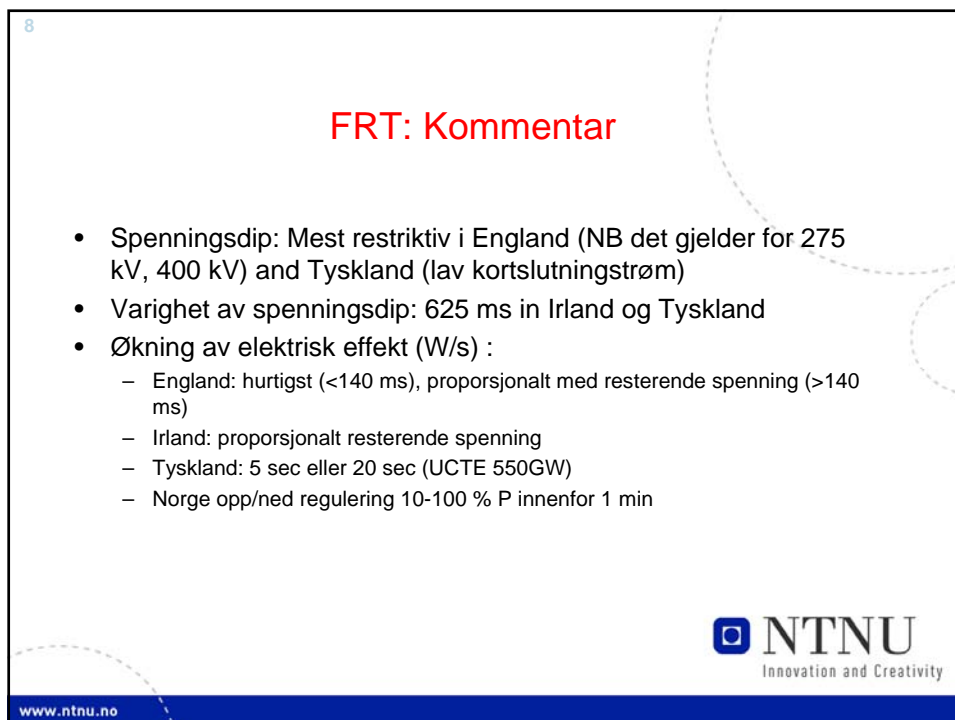
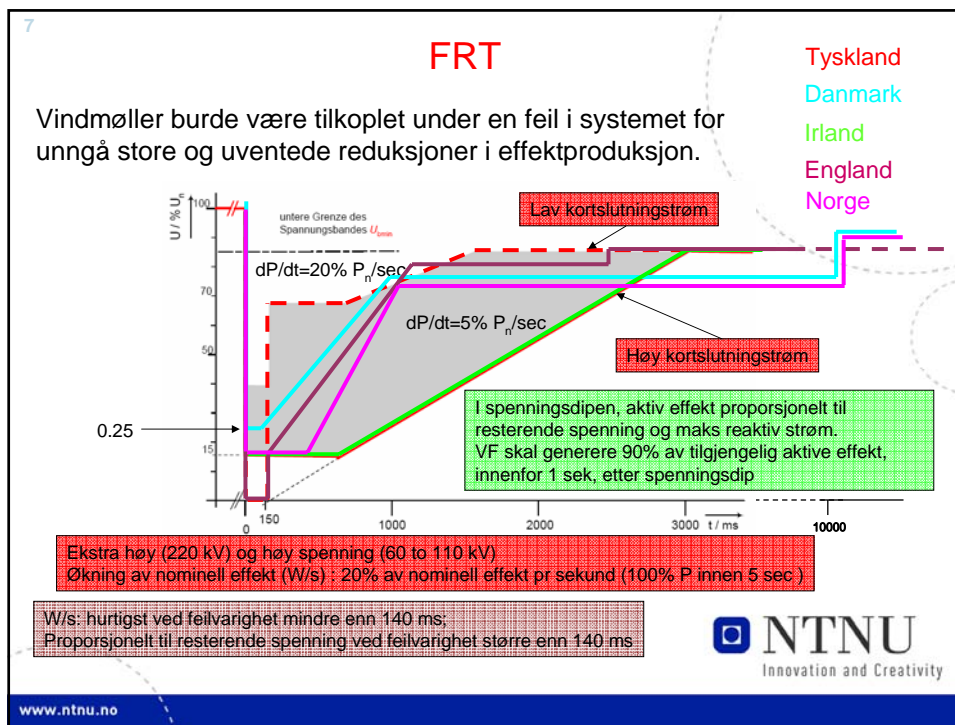
- Betydelig endringer i reglene for å få adgang til nett, blir nødvendig med mer fornybar energi
- Sette kravene til bruker av transmisjon og distribusjonsnett
- Sikre lett adgang til transmisjonsnettet
- Sikre systemsikkerhet og pålitelighet

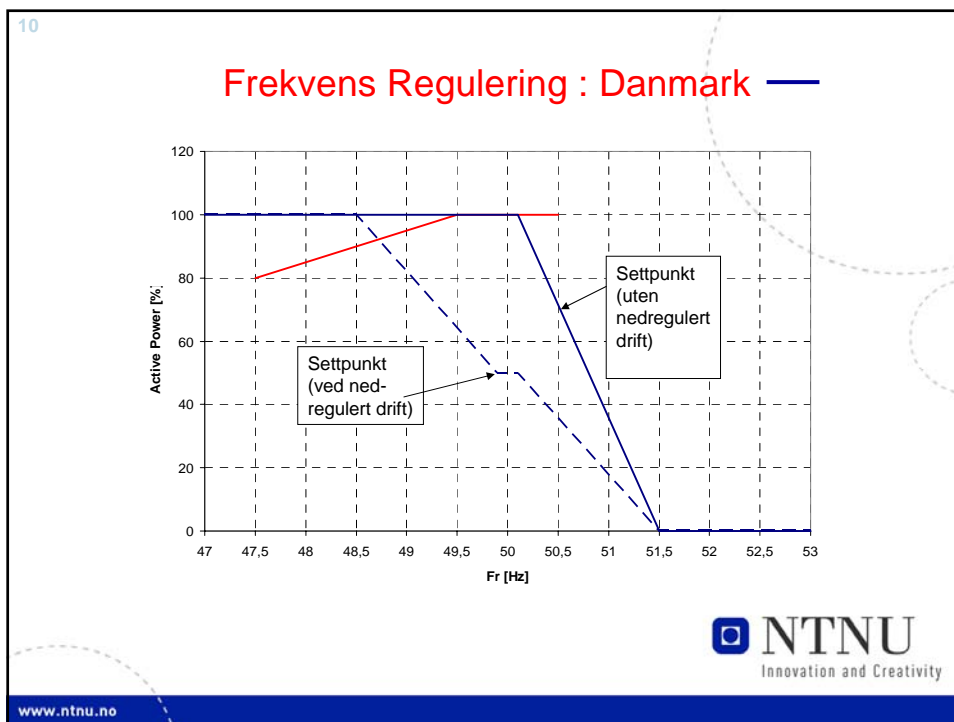
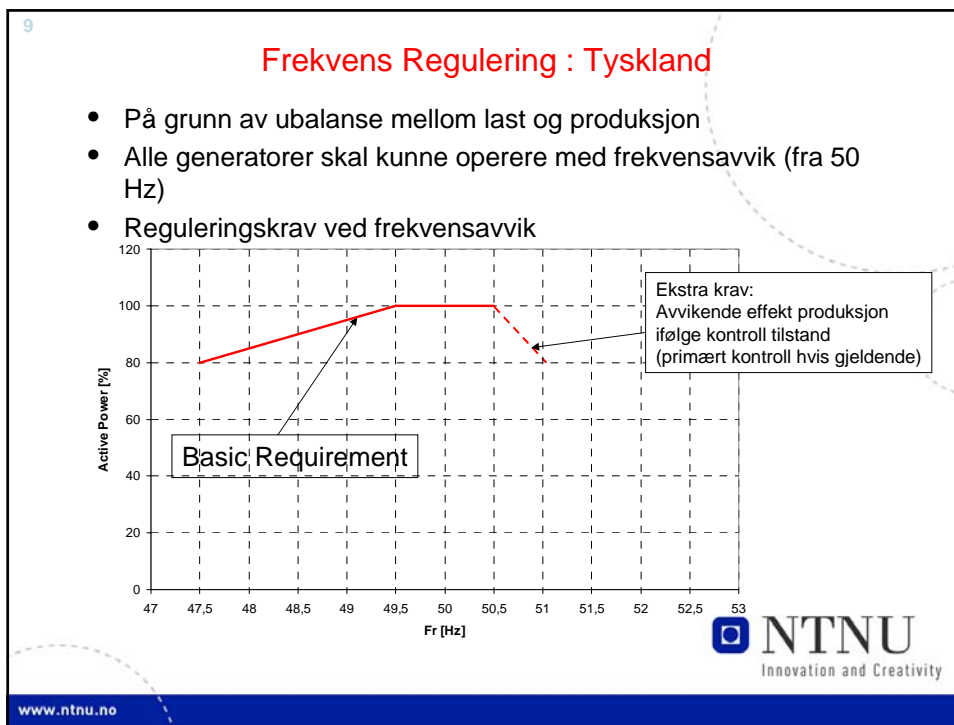
4

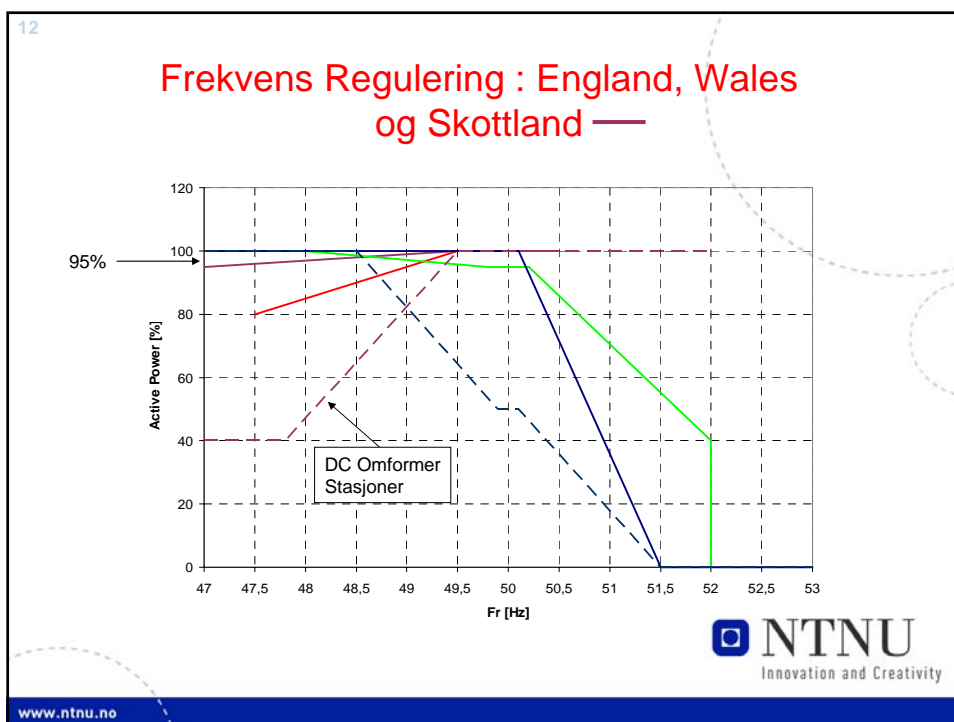
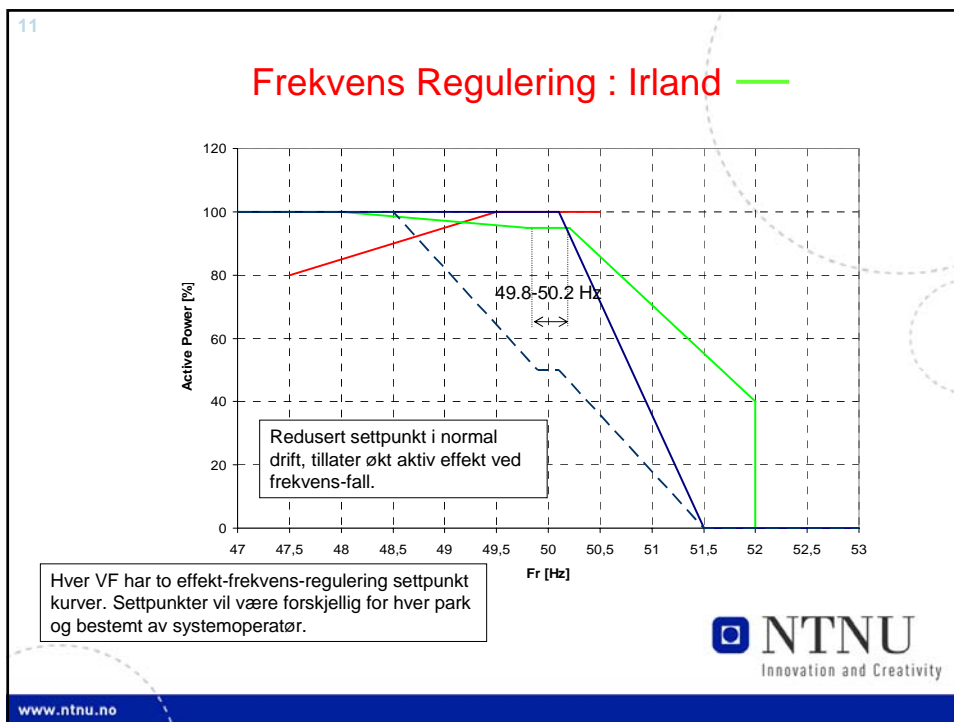
Sammenligning av de ulike krav: Generelle Hensyn

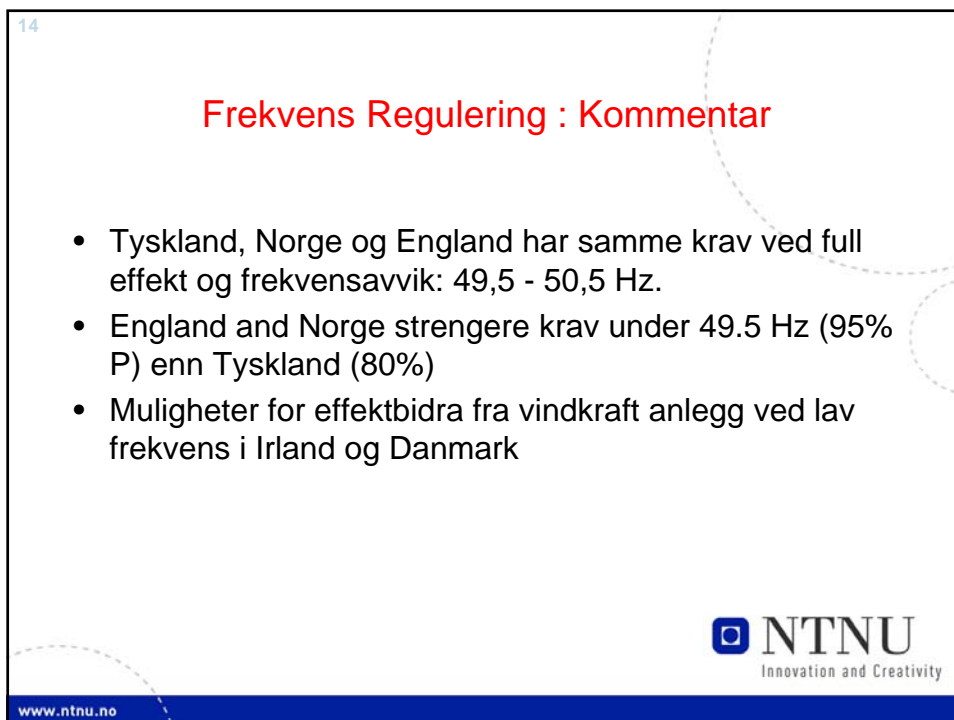
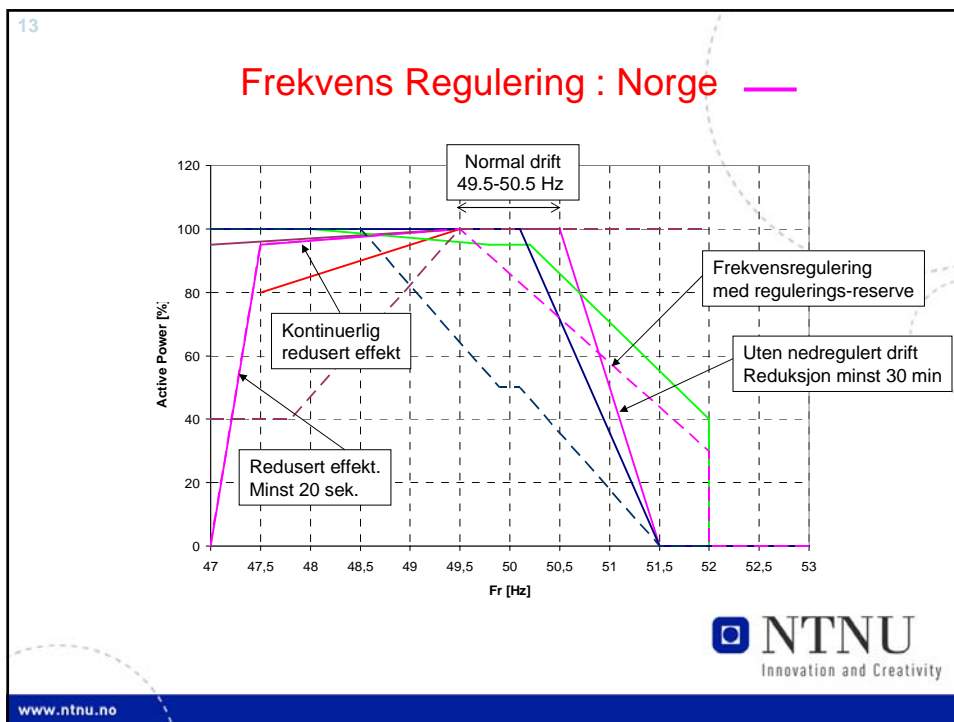
- Samme ramme, men forskjellige beskrivelser (forskjellige randkrav)
- Mangel på harmonisering
- Vanskelig å sammenligne de forskjellige krav
- Felles spesifikasjoner:
 - Reaktivt Bidrag
 - Fault Ride Through (FRT)
 - Frekvensregulering

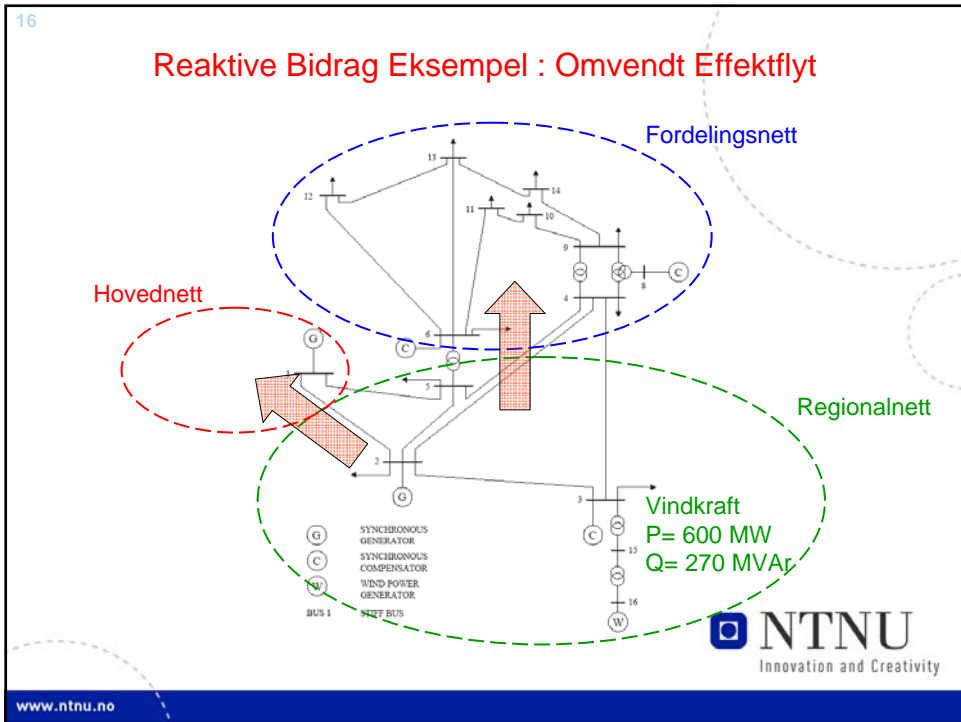
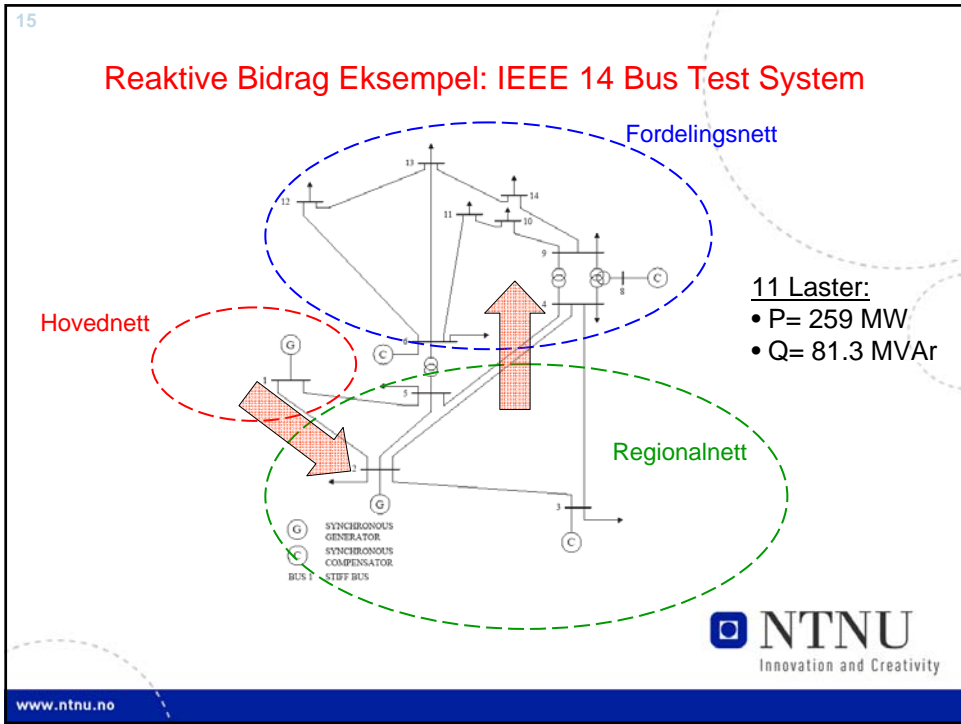












17

Reaktive Bidrag Eksempel : Krav for Vindkraft

$\Delta Q=0$ mot Hovednett

Ekstra komponent (SVC) på BUS1 gir $\Delta Q=0$

Reaktivt krav:
 $\cos \varphi = 0.91$

↓

Overspenning på BUS 3 !

Redusert krav ved PCC

NTNU
 Innovation and Creativity

www.ntnu.no

18

FRT Eksempel: Utkoplingslinje

3 Phase Fault cleared in 0.150 s

SVC Reactive Power

Voltage at different terminals

— Voltage BUS6
 - - - Voltage BUS3
 ····· Voltage BUS1

www.ntnu.no

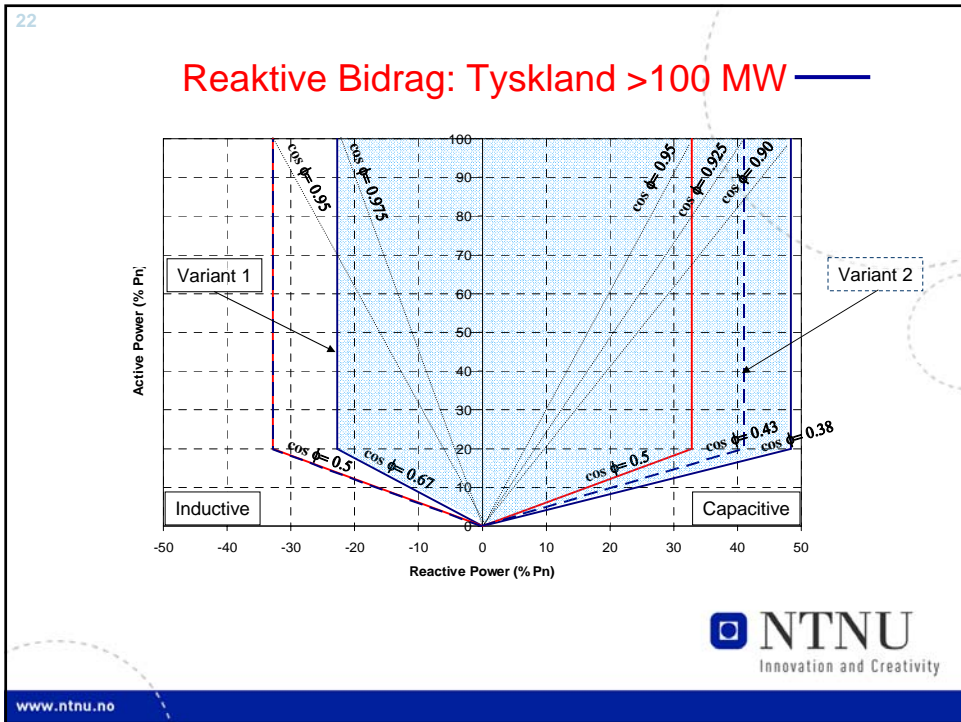
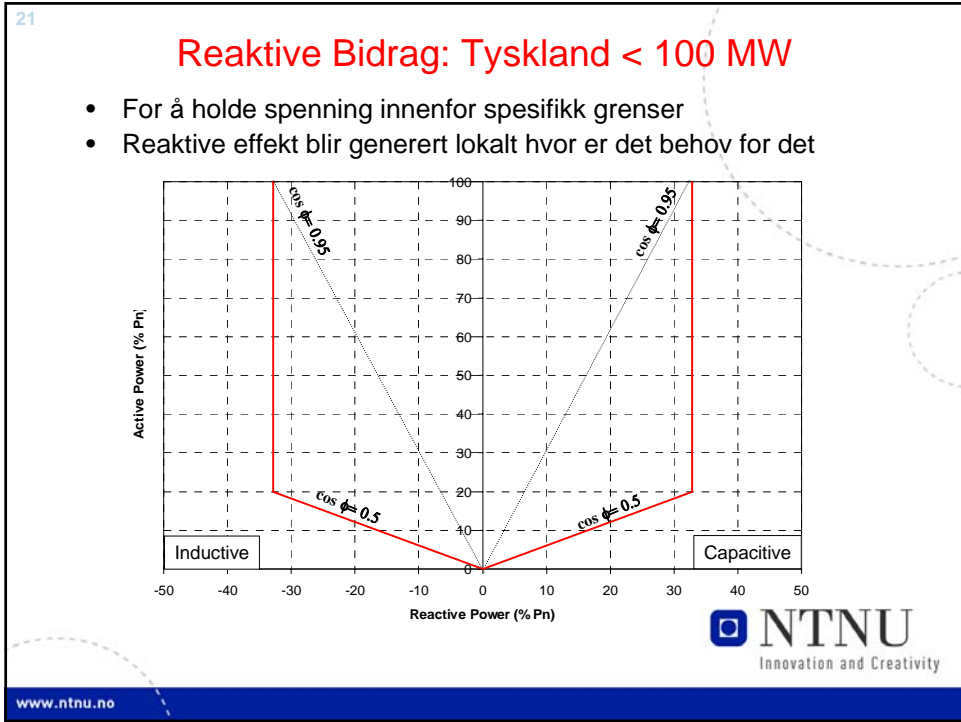
19

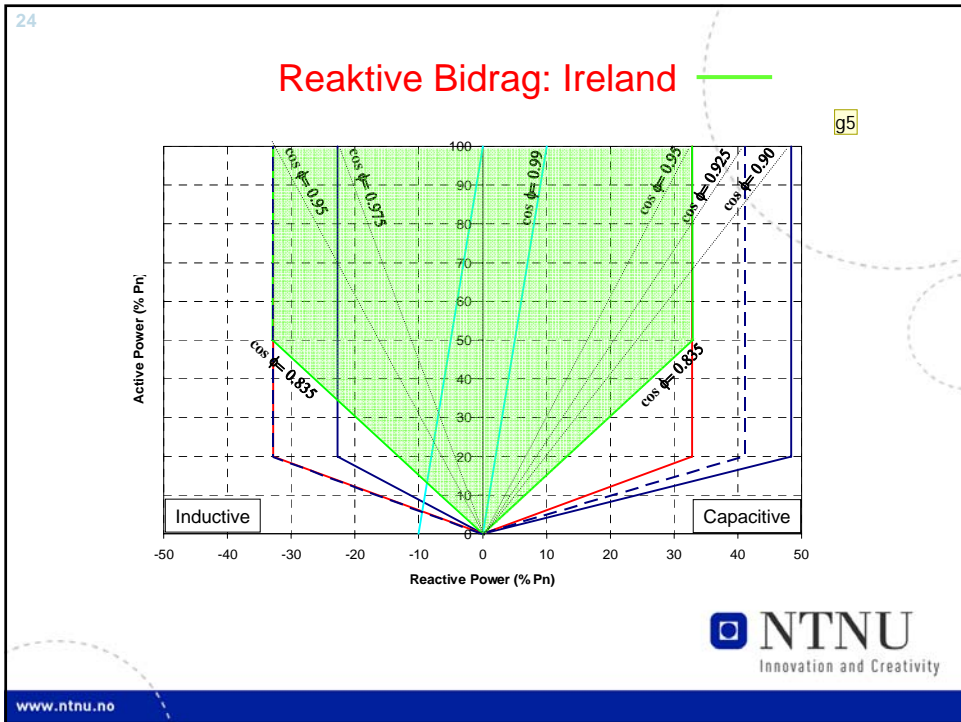
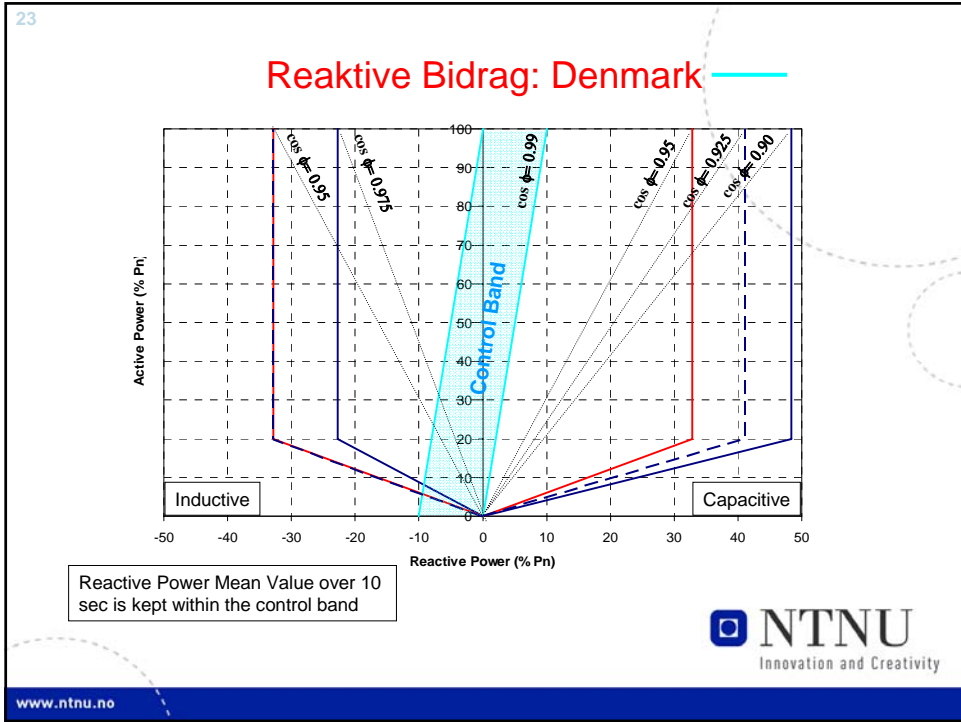
Oppsummering

- Vanskelig å formulere krav at tilpasse til alle nettkonfigurasjoner
 - Liten grad av harmonisering
 - Ulike grensetilstander i forhold til ulike krav
- Danmark: mindre restriktive krav
 - Første skrevet for vindkraft
 - Har ikke observert store problemer med utkobling av vindkraft
- Tyskland og England: fokus på FRT
 - Utkobling av generatorer har vart den hovedgrunn til utviklingen av systemkrav
- Irland: fokus på frekvensregulering
 - Frekvensregulering er viktig i et lite isolert system
- Norge: fokus på krav til reaktiv effekt
 - Reaktiv effekt er viktig lokalt, det kan ikke overføres over lange avstander

20

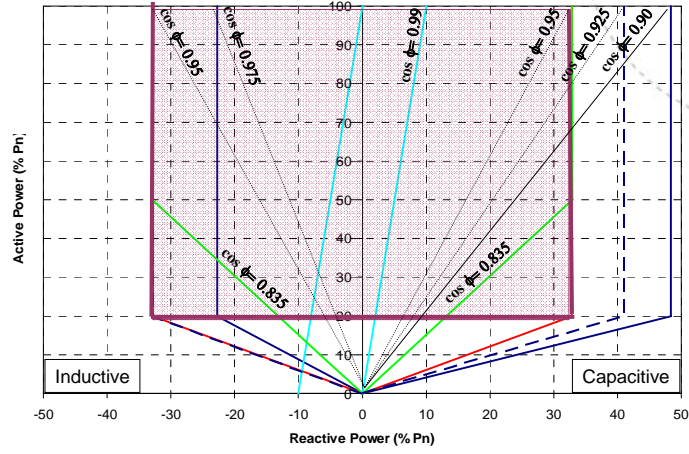
Extra slides....





25

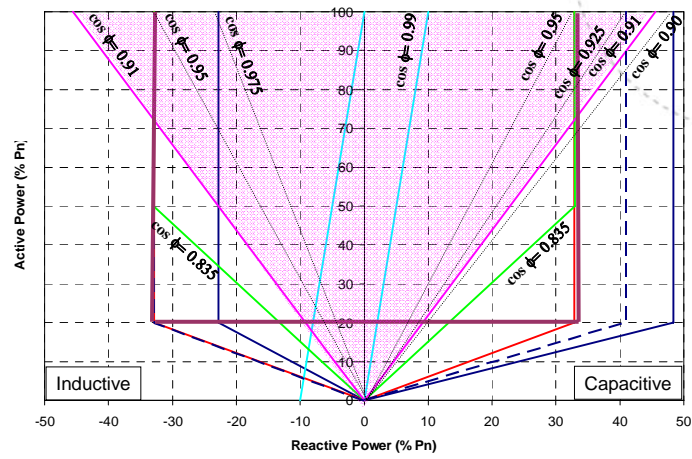
Reaktive Bidrag: England, Wales and Scotland



www.ntnu.no

26

Reaktive Bidrag: Norge

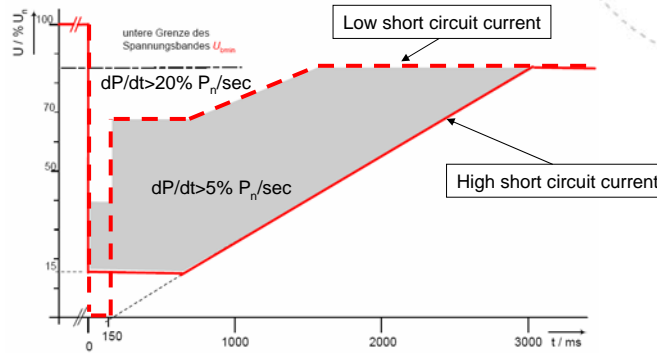


www.ntnu.no

27

FRT: Germany

FRT: Vind møller burde være koplet under a feil i systemet for unngå store og plutselig mangle av generasjoner.



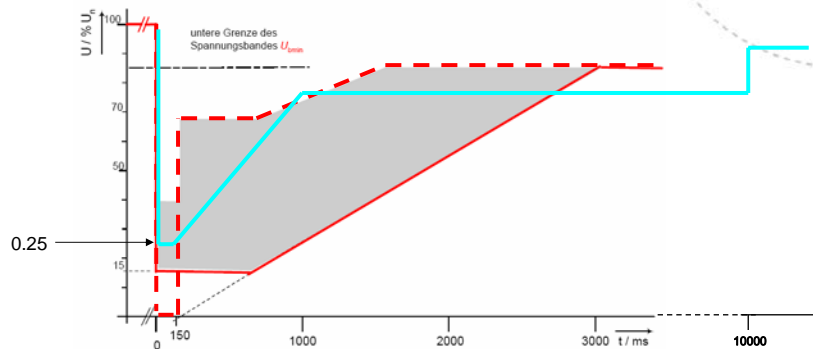
Extra high (220 kV) and high voltage (60 to 110 kV)
 Rate of raise of active power: 20% of rated power pr second (i.e. within 5 sec)



www.ntnu.no

28

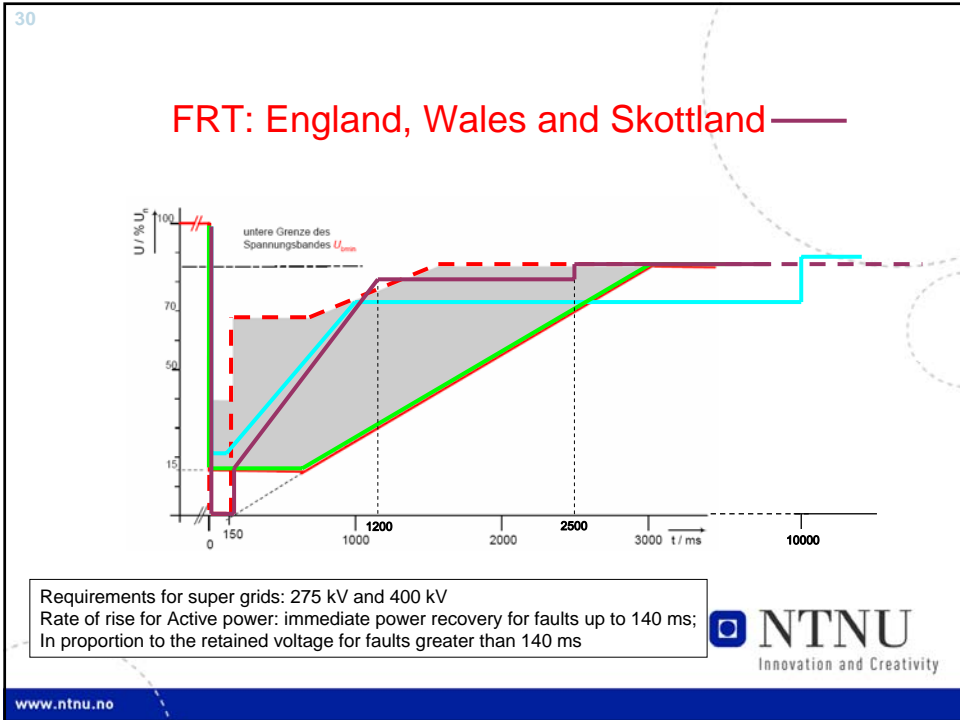
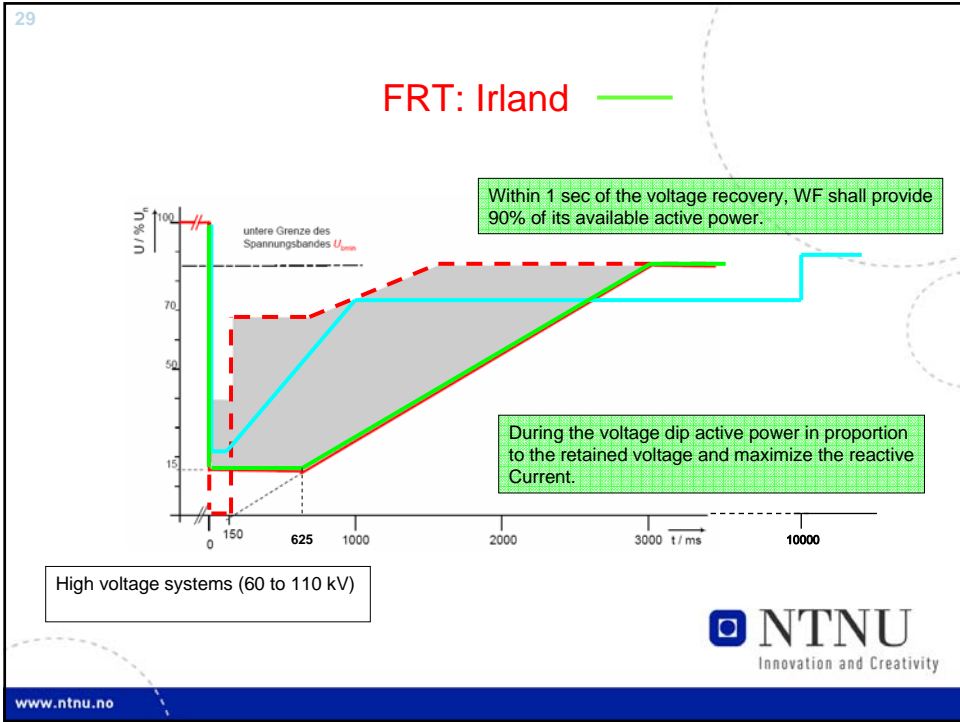
FRT: Danmark (Turbine Simulation Test)

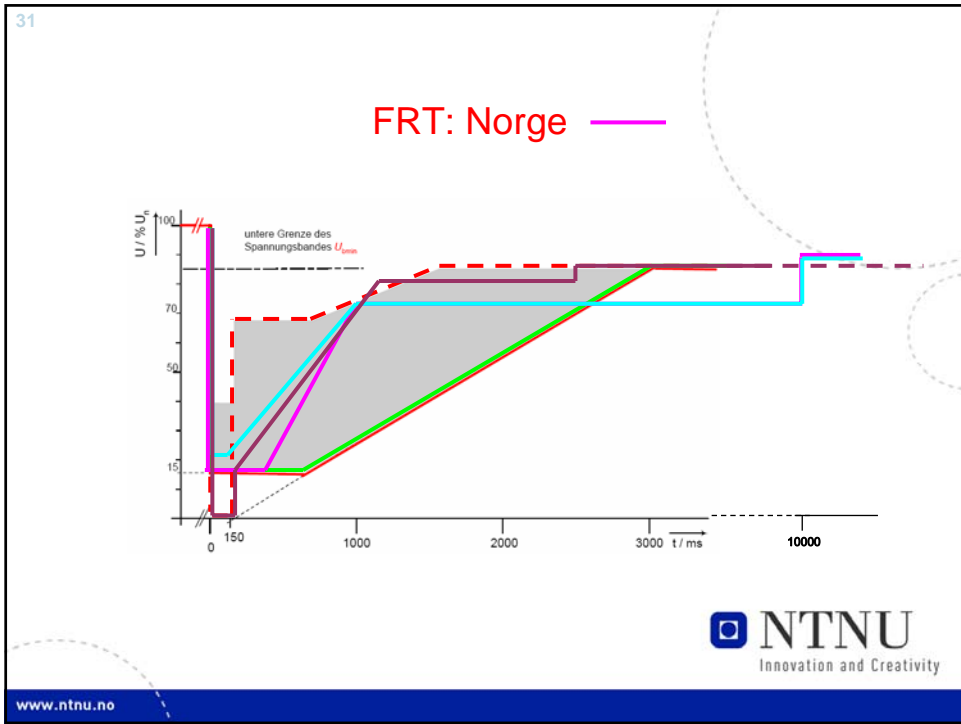


- Three-phase on random line or transformer with permanent disconnection without any attempt of re-closing (FCT 0.10 seconds).
- Two phase fault on random line with unsuccessful re-closing (FCT will be typically 0.1 seconds, the period of deionization 0.3 seconds and the FCT at the unsuccessful re-closing 0.1-0.5 seconds).



www.ntnu.no



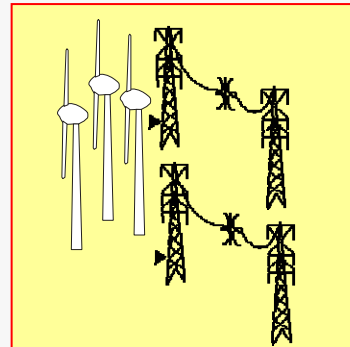


Issues of Wind Power Integration into the Power Network

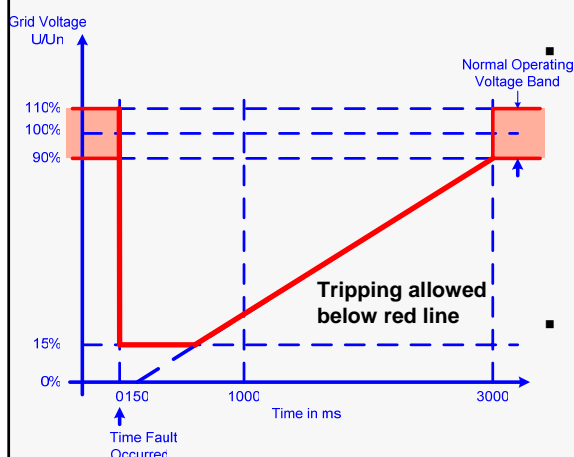
Post Doc Marta Molinas, NTNU

- ❖ Grid Code issues
- ❖ Enabling Interface Technologies

- ❖ STATCOM case study
- ❖ Full converter case study

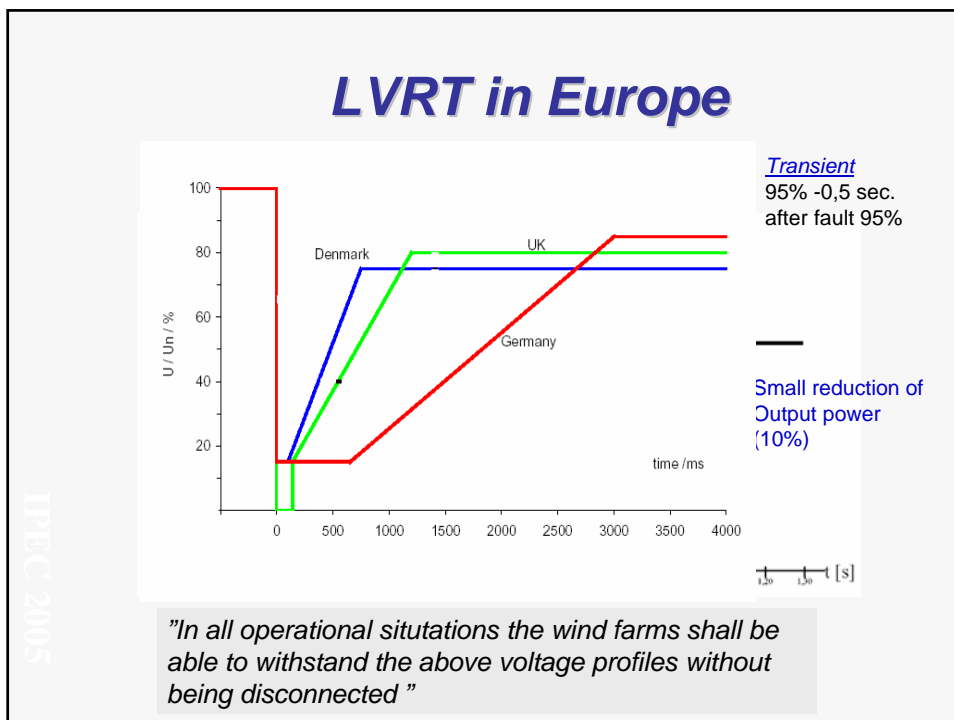


Low Voltage Ride Through LVRT



- The requirement to remain synchronised for voltage dips as low as 5% retained voltage and frequency excursions between 47 Hz and 52 Hz. ***This is well known as the Low Voltage Ride Through capability (LVRT)***

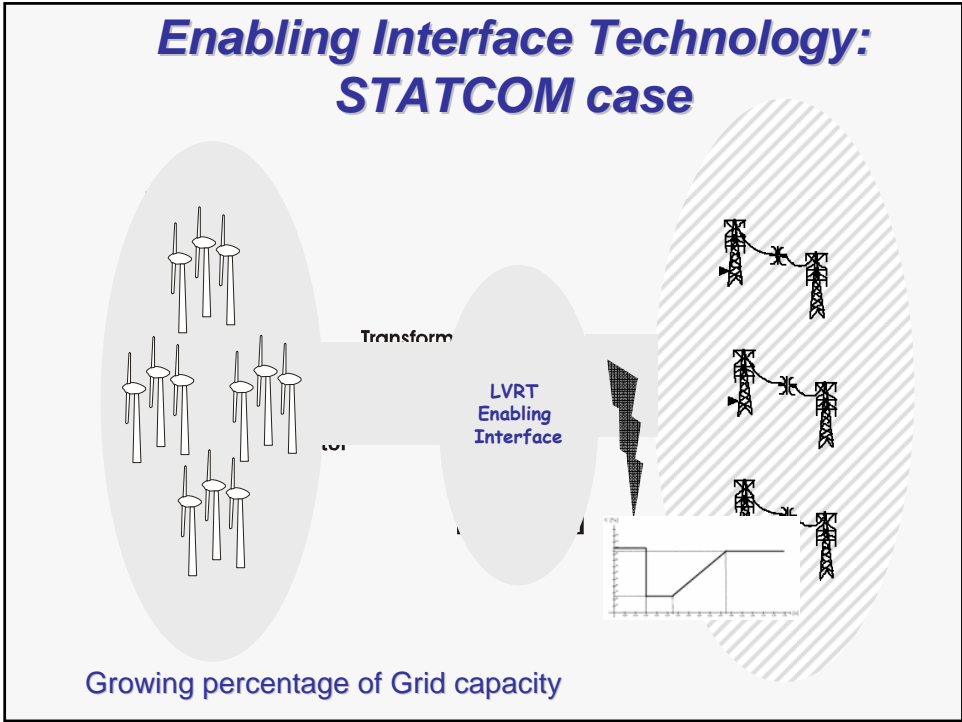
- Reactive power capability and automatic voltage regulation.



LVRT

Regarding the continuous supply during the fault the following specifications are made:

- During the transmission system voltage dip the Wind Farm shall provide **active Power in proportion to retained voltage** and maximise reactive current to the transmission system
- The Wind Farm shall provide **at least 90% of its maximum available active power** as quickly as the technology allows and in any event within 1 s of the transmission system voltage recovering to the normal operating range.



Smøla Wind Farm
Far from consumption area- Weak Grid Interconnection

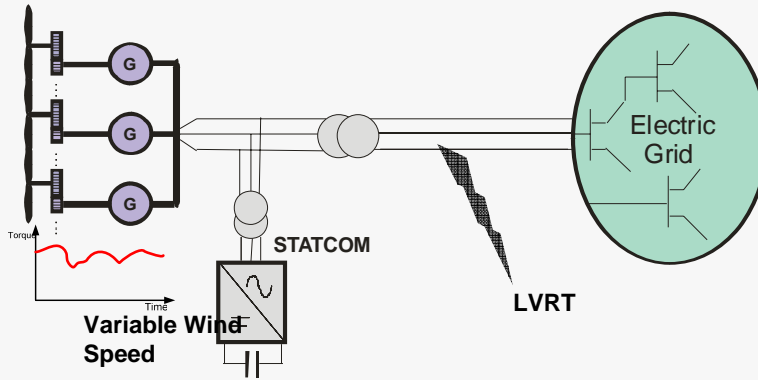
The LVRT Challenge

Why ride through?

- Loss of generation can provoke VOLTAGE COLLAPSE
- Loss of generation will provoke frequency excursions
- A short circuit can originate VOLTAGE COLLAPSE

Transient margin is critical for LVRT

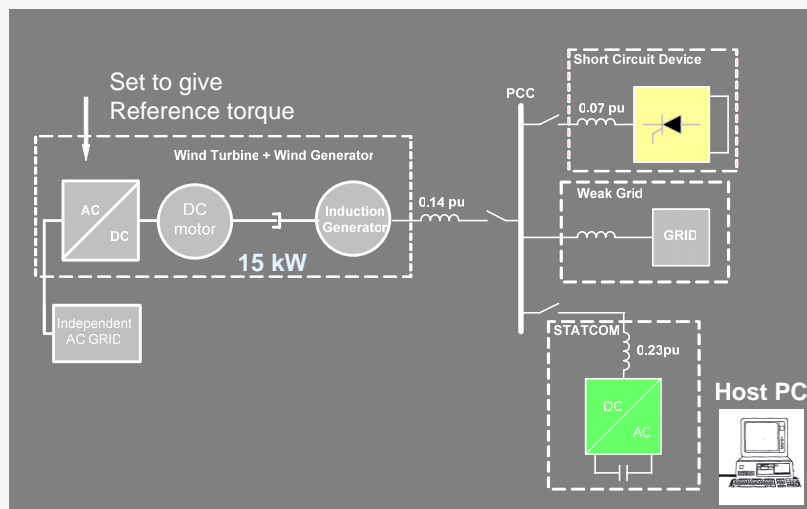
STATCOM-case study

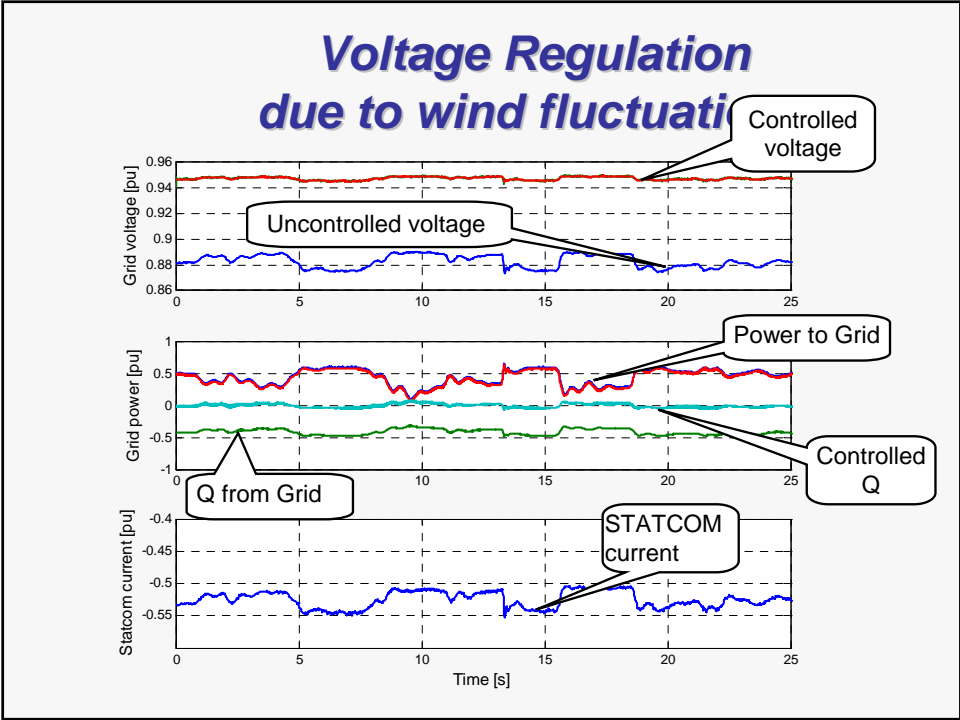
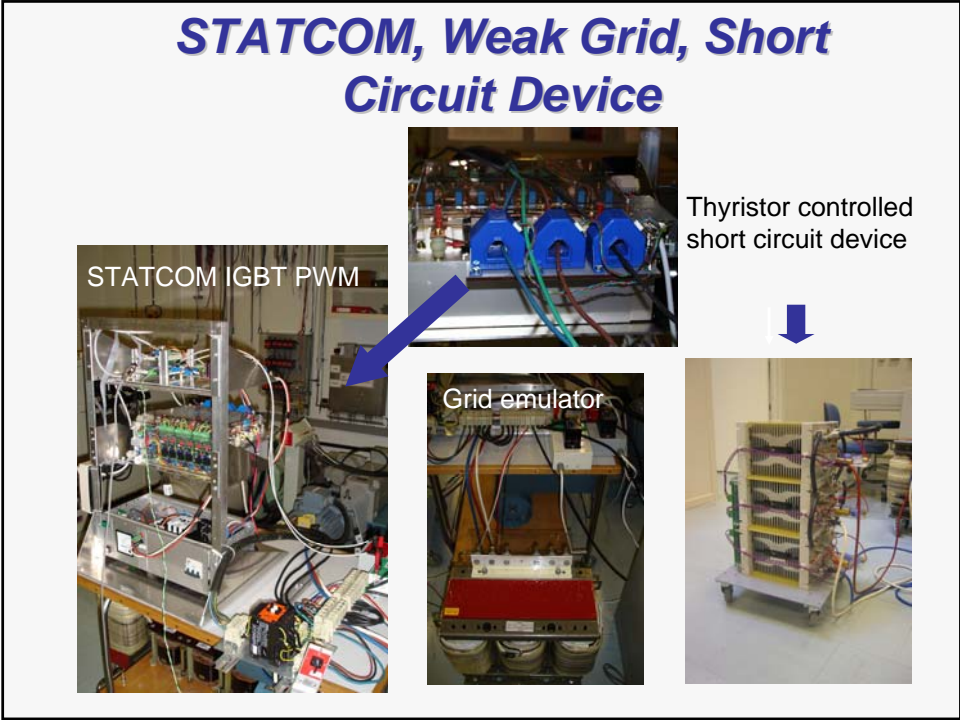


➤ Wind Farms with Asynchronous generators

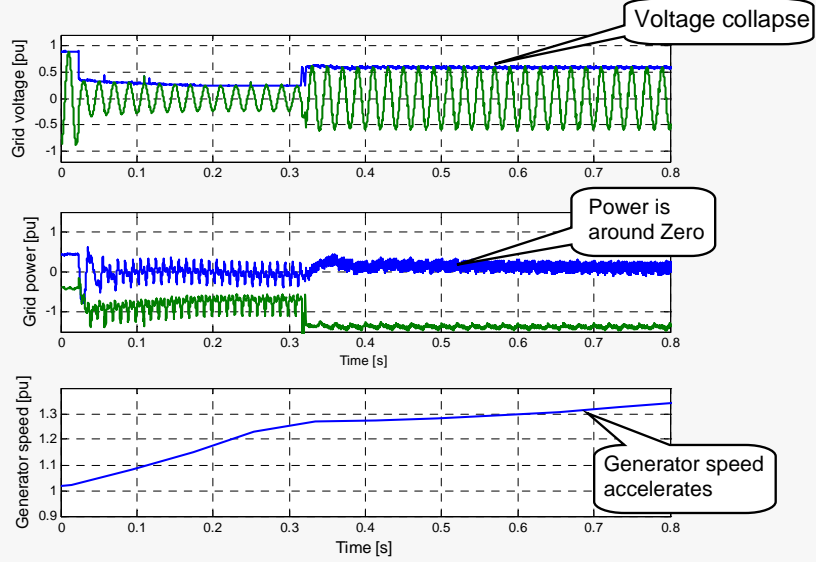
Experimental lay-out

Tests at the Wind Power Laboratory

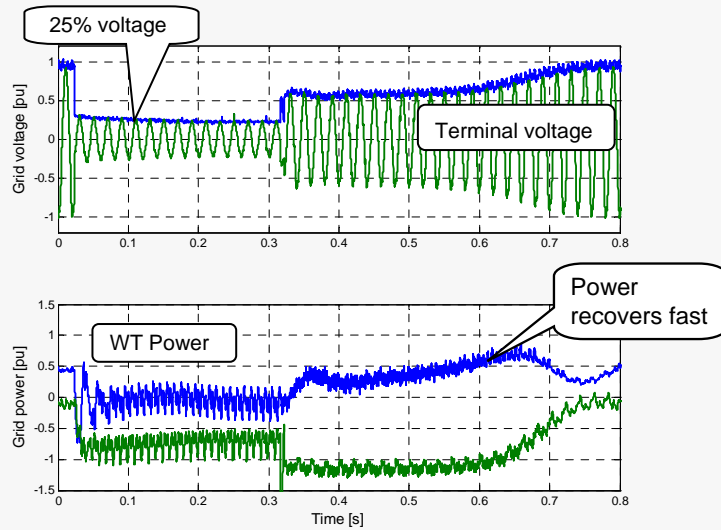




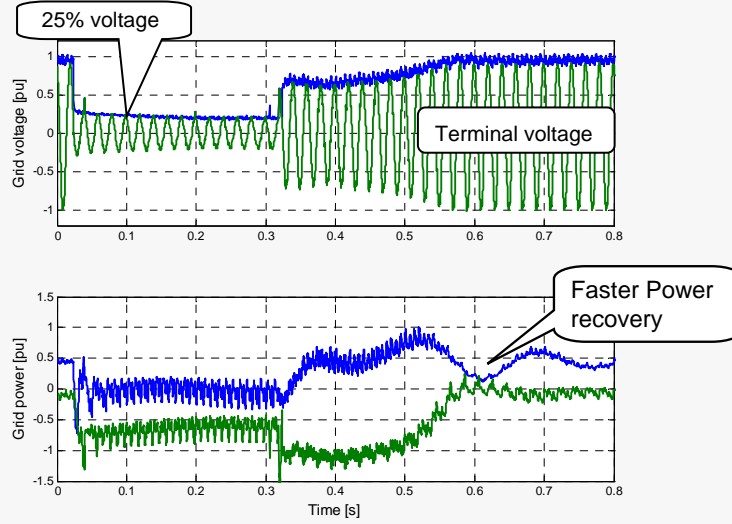
NO-STATCOM – NO-Ride-Through



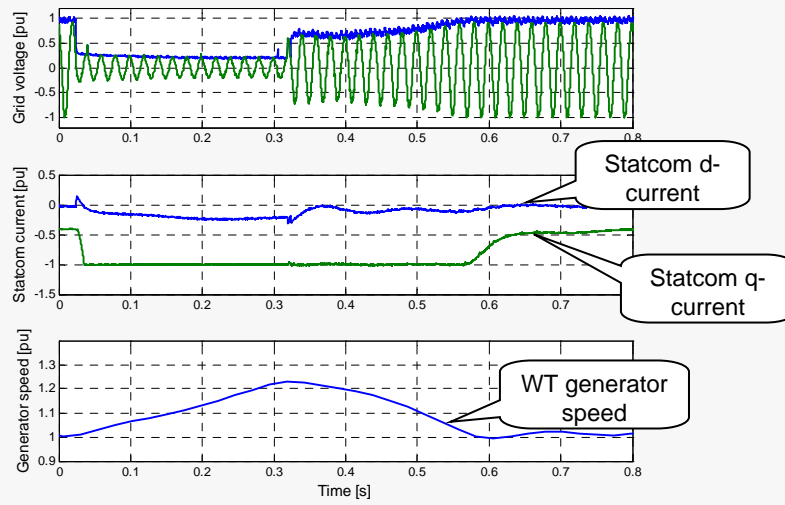
Low-Voltage Ride-Through: STATCOM 0.5 pu



Low-Voltage Ride-Through: STATCOM 1 pu



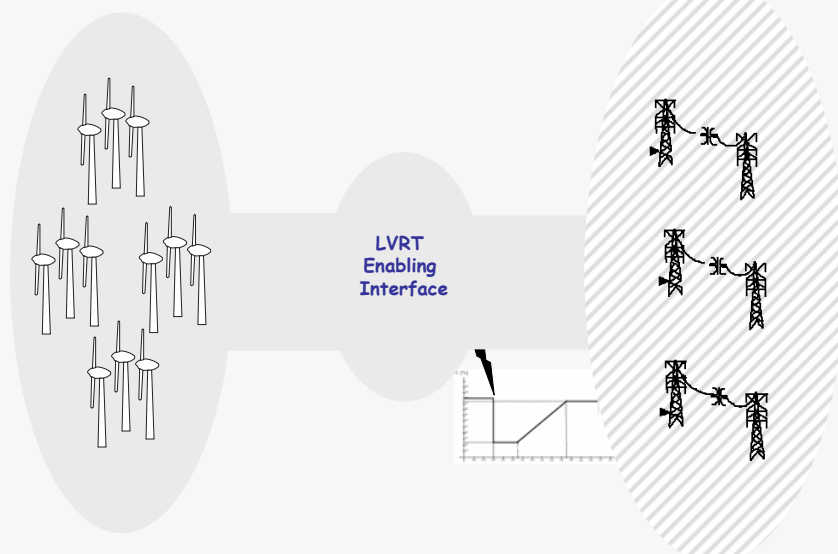
Low-Voltage Ride-Through: STATCOM 1 pu



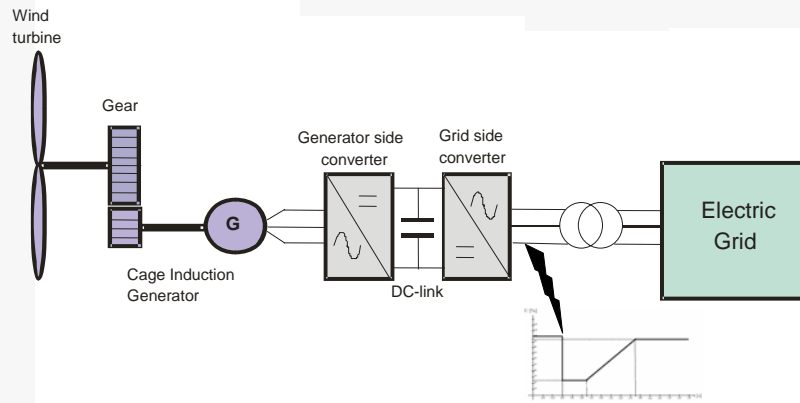
Discussion

- **STATCOM is potential solution for LVRT for wind farms with grid connected asynchronous generators**
- **Voltage regulation for variable power production in weak grids**
 - Increased reliability of power supply
 - Reactive support at no load
 - Reactive support independent of voltage condition
 - Rating of STATCOM: Depends on entity of the grid failure, and system parameters

Enabling Interface Technology: Full converter case



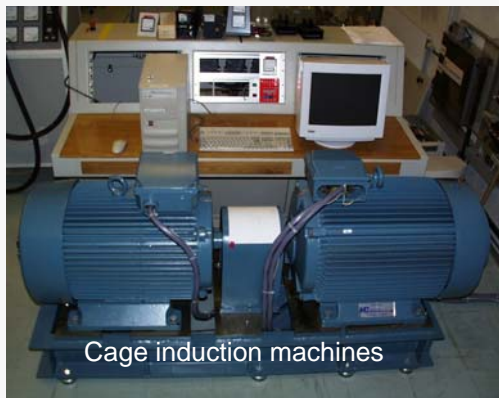
Full converter case study



Motor-Generator set and short circuit device

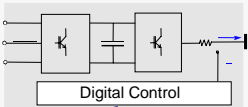
55 kW, 380 V, 6 poles, 50 Hz

Trigger signal for a short circuit duration of 100 ms




Thyristor regulated



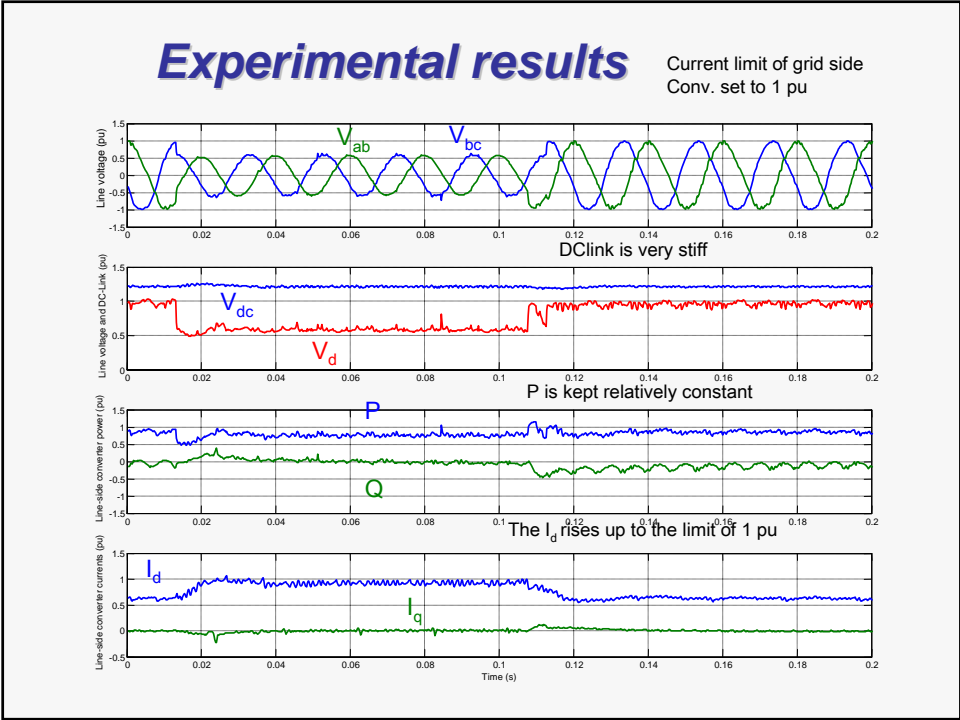


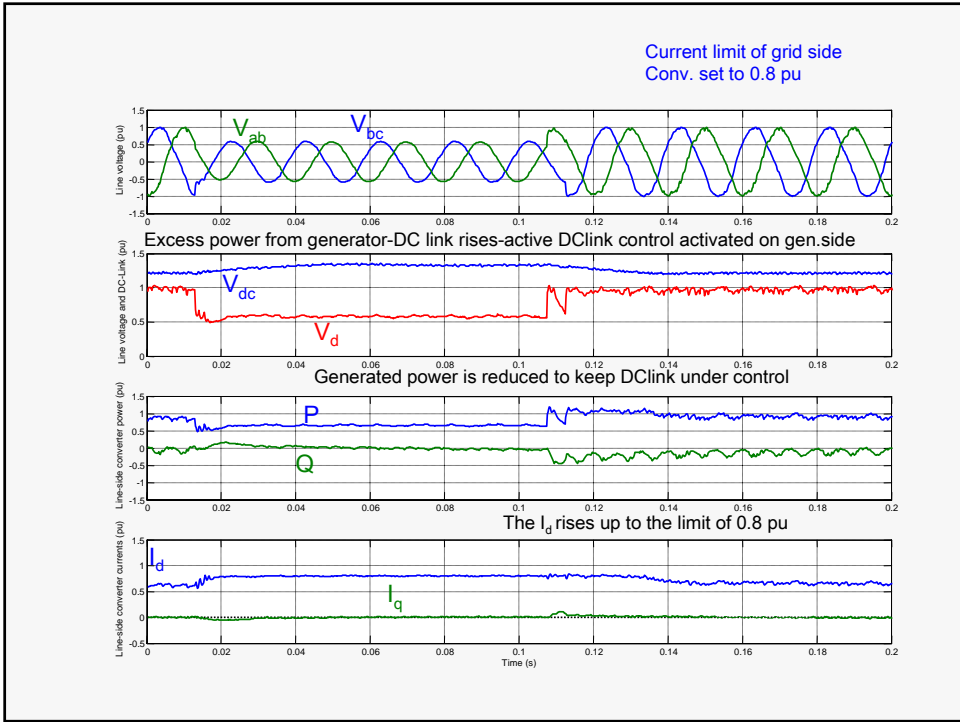
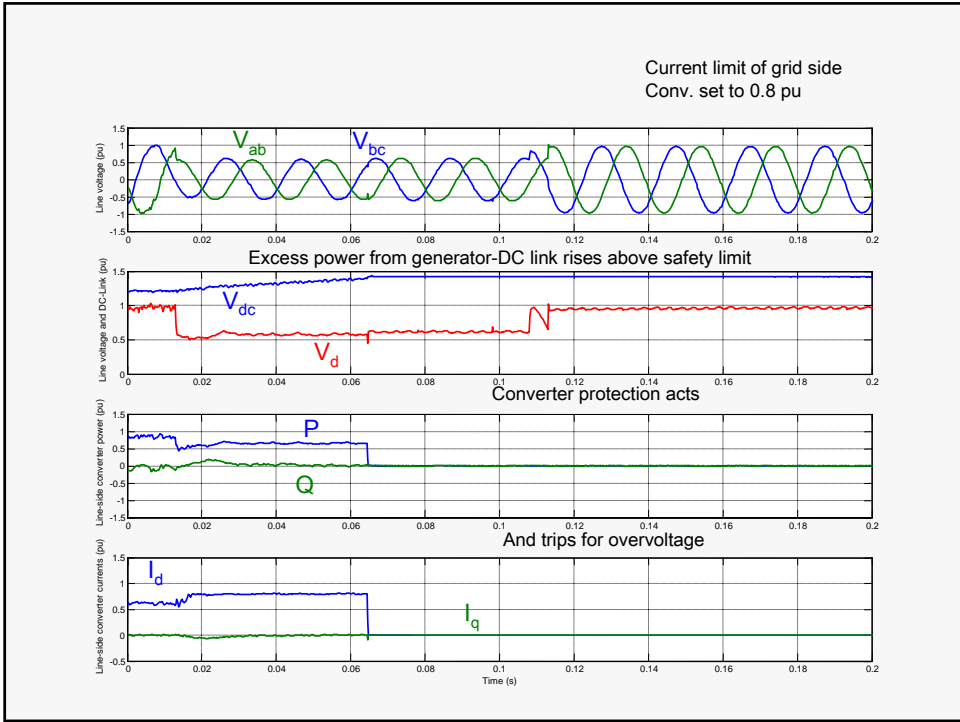
Digital Control

Set-up of converters used in Experiments



- DC link voltage regulated to 650 V
- Current rating of IGBTs reg. to withstand 110 A
- 5 kHz switching freq.
- CAN bus between both DSPs.





Discussion

- The response of the system is almost entirely dictated by the embedded control algorithm
- Over current rating of power electronics switches and DC link dynamics are relevant to achievement of LVRT



Check our Publications at:

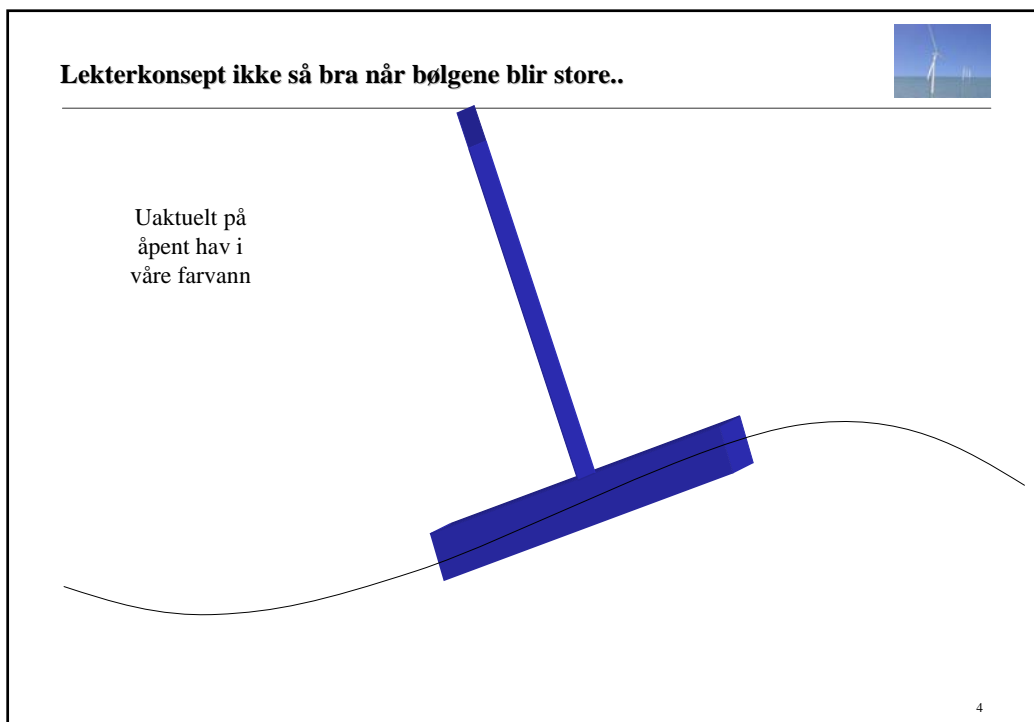
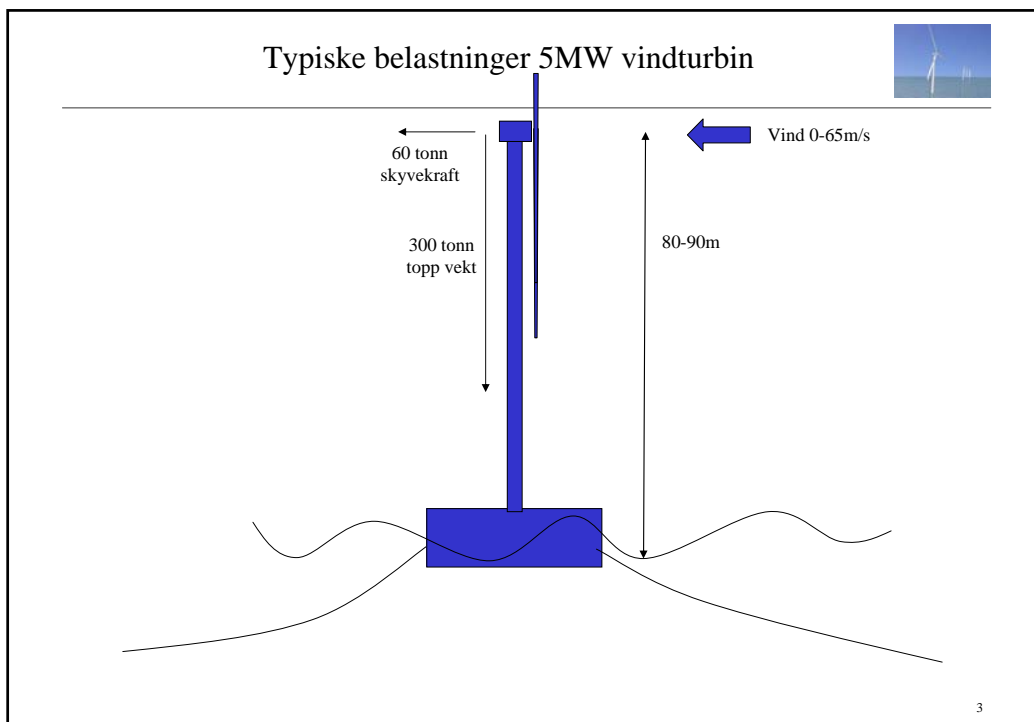
www.elkraft.ntnu.no/en/



Innhold



- Grunnleggende utfordringer for en flytende vindmølle
- SWAY konseptet – hvorfor virker det?
- Andre foreslåtte konsepter
- Simulering



Utfordringer flytende fundament for vindturbiner



- Yaw kontroll
- Tårn pitch stabilitet
- Vær/Bølgeforhold
- Nacelle bevegelser
- Utmatning av tårn
- Anker system
- Pitch/thrust feed-back
- Installasjon
- Vekt / total kostnad

Eksempel på foreslått teknologi

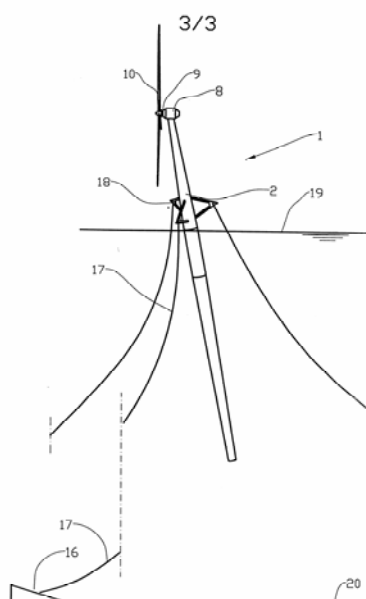
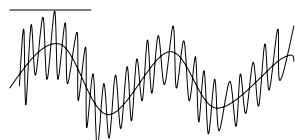


SWAY

5

SWAY's utgangs ide' 2001

- Et enkelt tårn utformet som en ekstrem dyp påle med tyngdepunkt langt under oppdriftssenteret
- Slakk forankring
- Små bevegelser men utmatning av tårn en stor utfordring



6



Flytende Mast... – Styrke og utmatningsmotstand



SWAY – Et enkelt og kombinert svar på kompliserte utfordringer

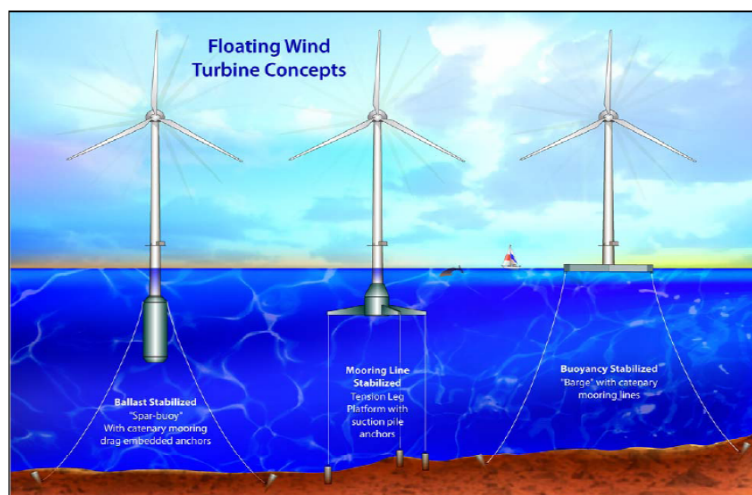


- Yaw kontroll ➢ Torsjonsstag, nedvinds, ATC
- Tårn pitch stabilitet ➢ Dybde/ballast
- Vær/Bølgeforhold ➢ Størrelse, laster, styrke
- Nacelle bevegelser ➢ Dybde/ballast, diameter, ATC
- Utmatning av tårn ➢ Yaw mech. bunn av tårn > Aerodyn. Tårn > Nedvinds > Wirestag, ATC
- Anker system ➢ Monostag, lav strekklast = lite anker
- Pitch/thrust feed-back ➢ Aktiv Thrust Kontroll
- Installasjon ➢ Inshore løft, taubåt, integrert anker
- Total vekt tårn og ankersystem (120m) ➢ 850te



9

Noen foreslåtte flytende konsepter



Offshore Wind Turbine Floater Concepts (Courtesy: NREL)

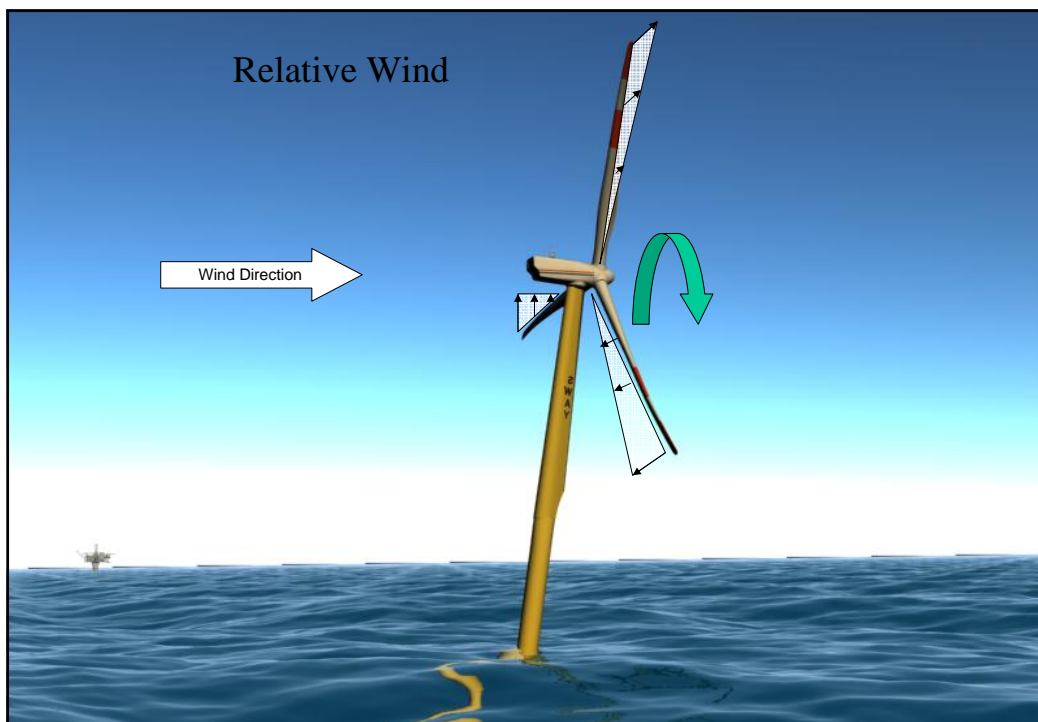
10

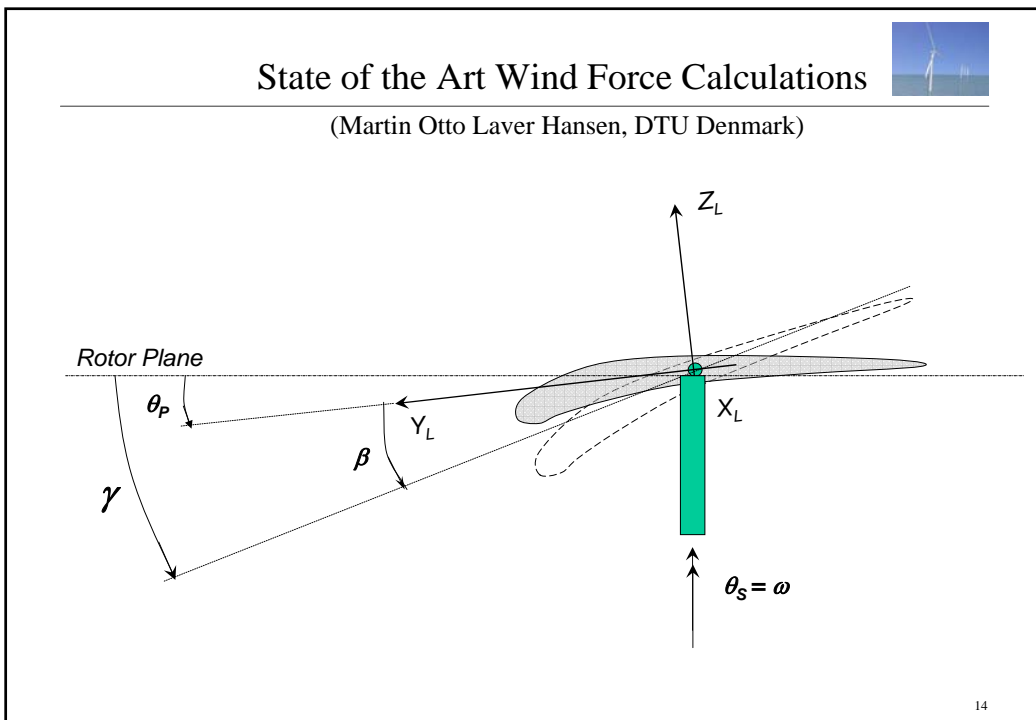
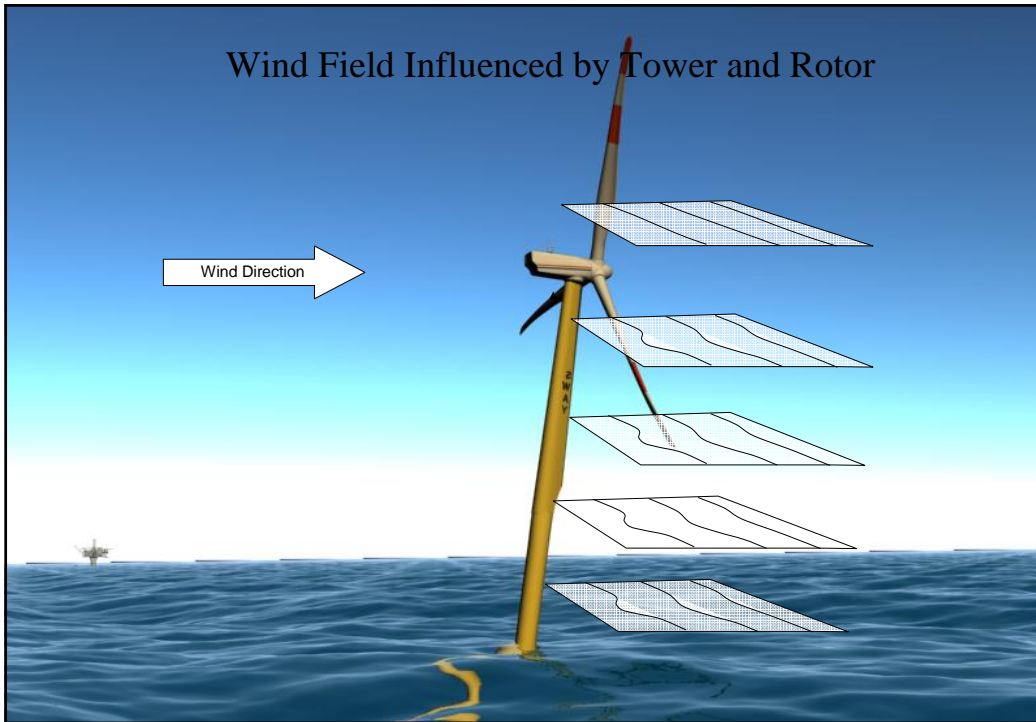
SWAY BIP Development Project

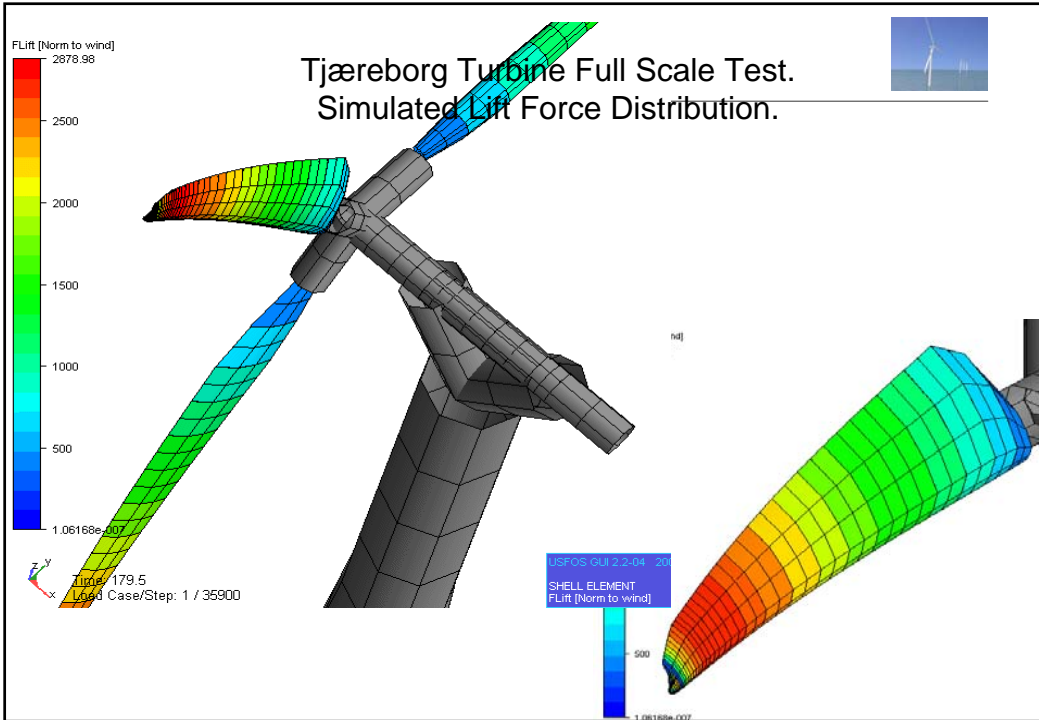
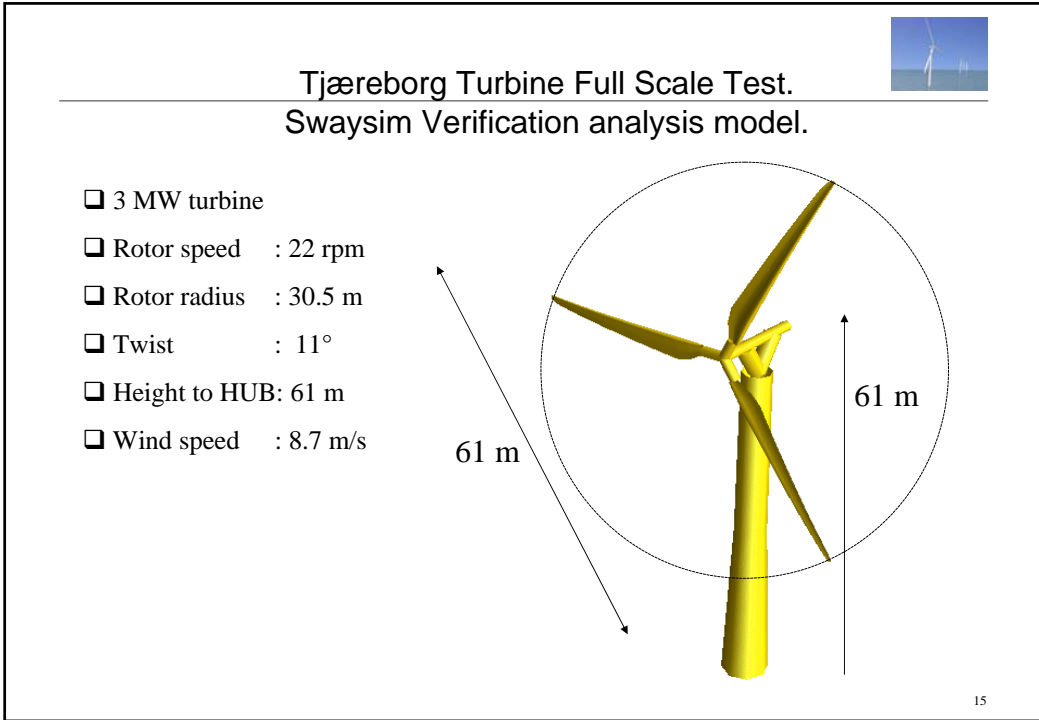


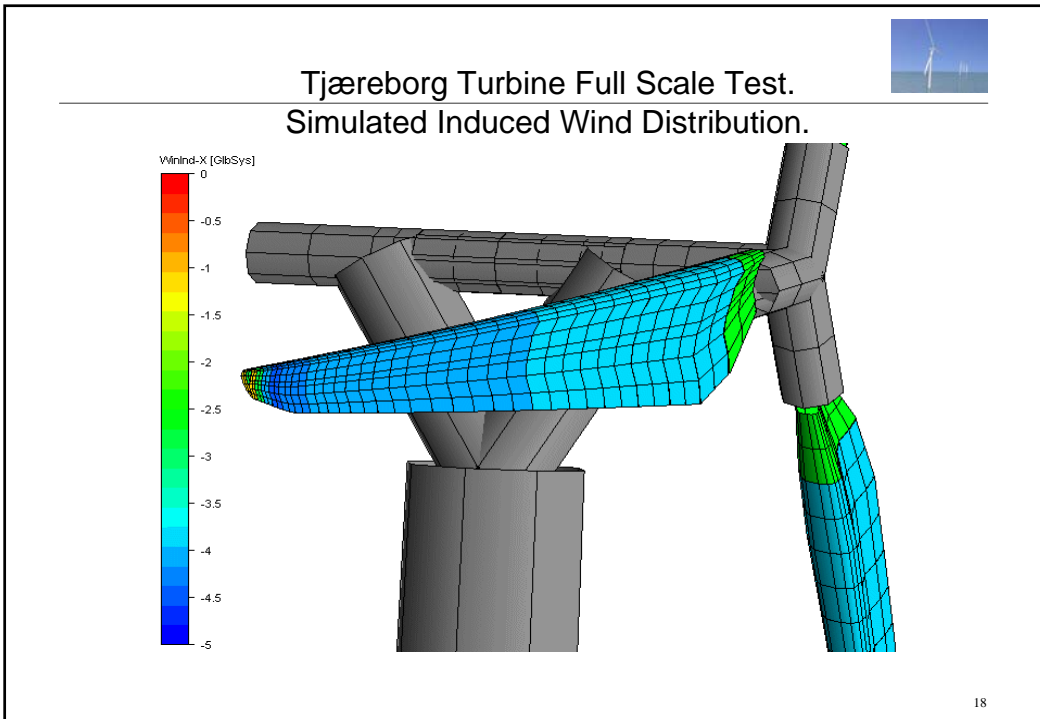
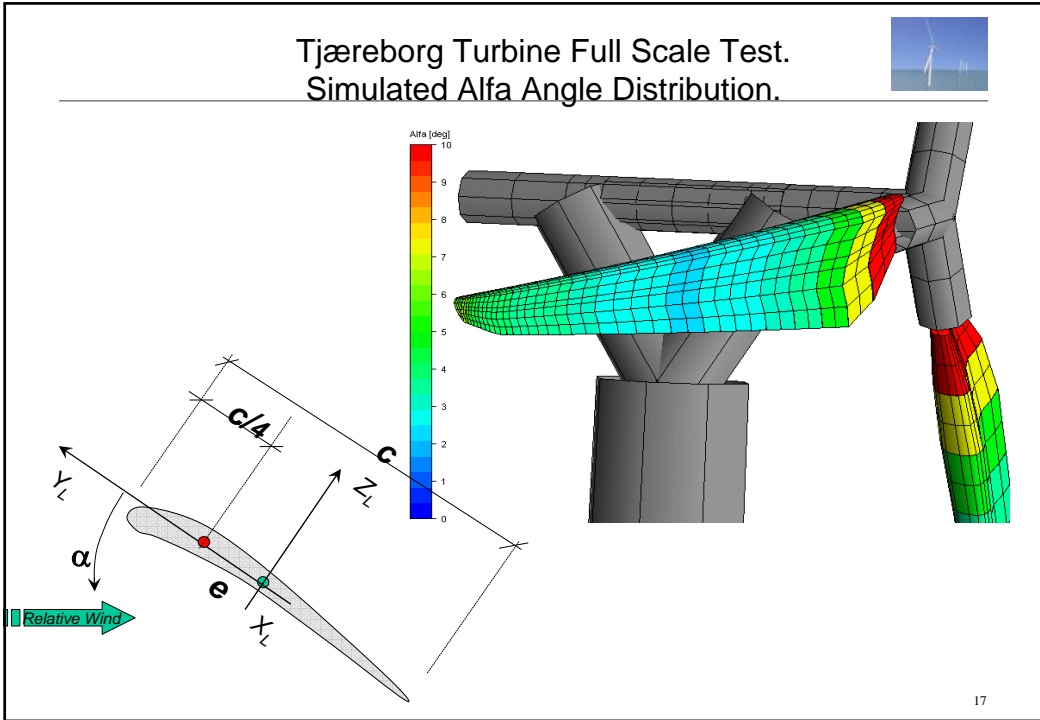
- ❑ Software Development (SwaySim)
 - ❑ Aerodynamics (DTU Denmark)
 - ❑ Control Algorithms (Garrad Hassan UK)
 - ❑ Integration and Total Solution (Usfos AS, Norway)
- ❑ ULS and fatigue analysis of tower and anchor system
- ❑ Development of components
- ❑ Participants: Shell Technology Norway, Statkraft, Lyse, Norwegian Research Council
- ❑ Project Idea and Execution : Sway AS

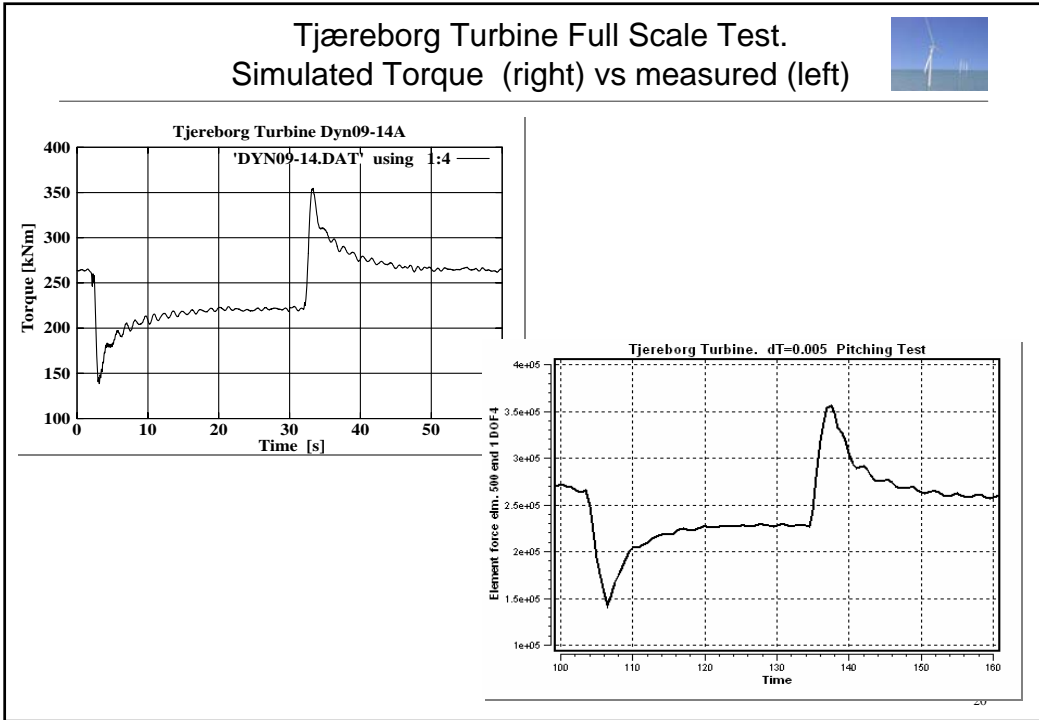
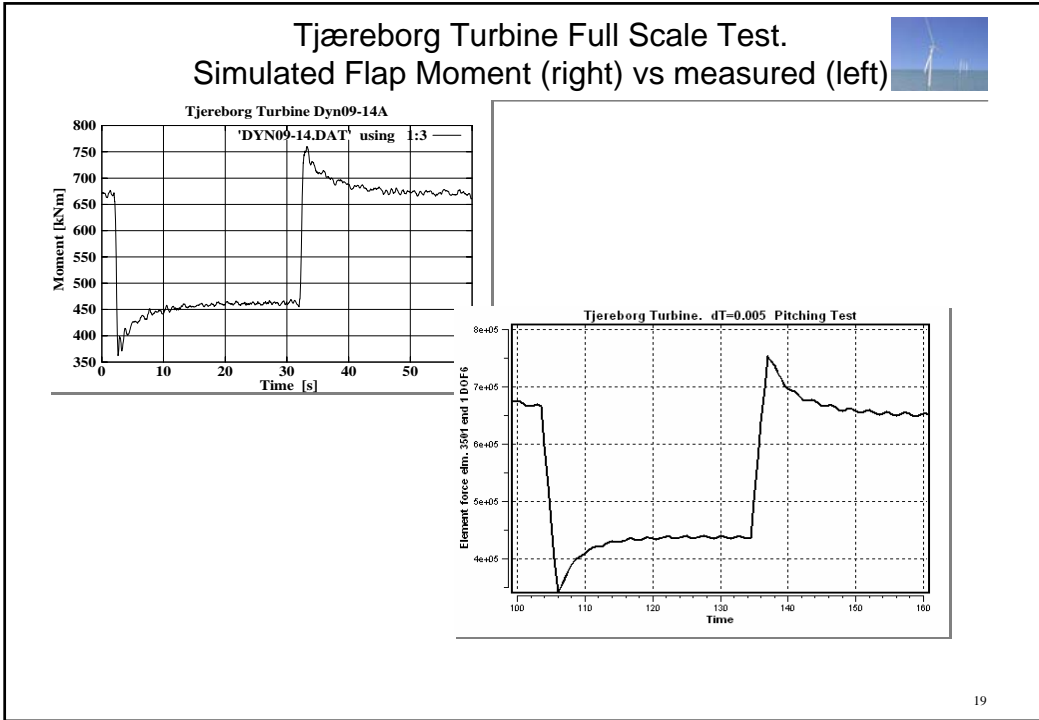
11



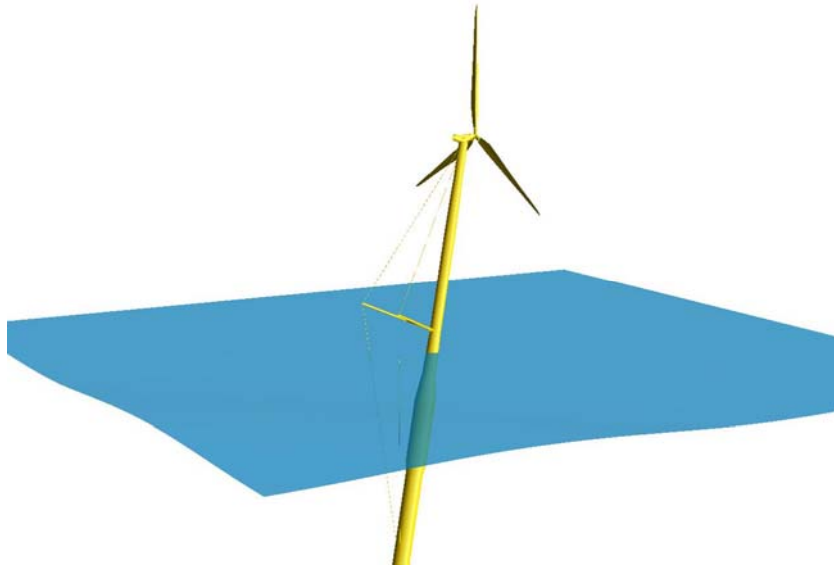




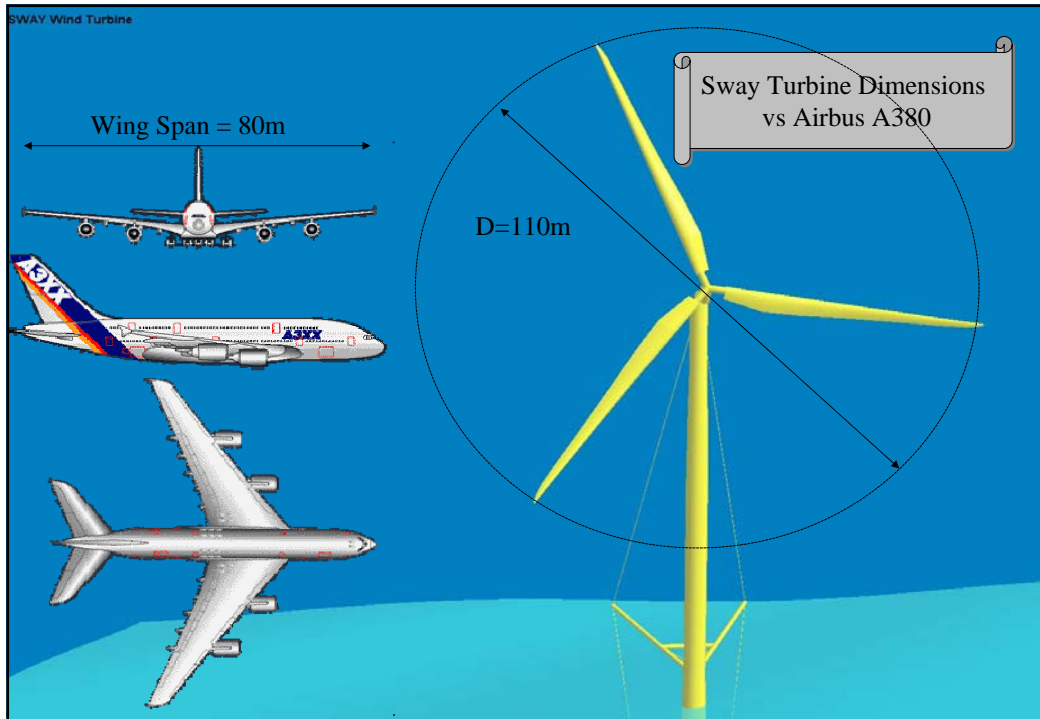




SwaySim Finite Element Analysis Model of Full Scale SWAY turbine



21



Bunnfaste turbiner på dypt vann

Per Bull Haugsøen

OWEC Tower AS

per@owectower.no



OWEC Tower AS

Hva er OWEC Tower AS?

- Utvikler fundamentløsninger for offshore vindkraft
- Bygger på 25 års norsk offshore erfaring – dedikert til offshore vind siden 2001
- Opptatt av å tenke integrert: konseptuelt, fabrikasjon, logistikk inklusive installering
- Tar sikte på lisensiering og konsulentvirksomhet innen feltet



OWEC Tower AS

Hvorfor offshore?

- Store turbiner enklere å installere
- Det blåser mer offshore (og mindre turbulens), mer effekt fra hver MW installert
- Kan bygge mye større parker; 1000 MW og mer under planlegging
- Ingen konflikt med naboer (20 km fra land)



OWEC Tower AS

Turbinutvikling – REpower 5 MW



OWEC Tower AS

Source: Repower AG

Utfordringer, faste fundamenter på ”dypt” vann (>20 m)

- Gravitasjon (betong) passer på grunnere vann (< 10 m)
- Tradisjonelle løsninger er ellers fleksible, stivhet koster
- Må utnytte massefabrikasjonsfordel maksimalt
- Generelt: Markedet må få en viss størrelse før det investeres i stor skala i for eksempel installasjonskonsepter



OWEC Tower AS



Source: Repower AG

Ulike fundamenttyper

- Gravitasjonsfundament (best opp til 10 m?)
- Monopeler (opp til 20 m?)
- Tripod (over 20 m?)



OWEC Tower AS

OWEC Jacket Quattropod på Beatrice (DOWNVInD)



Source: Talisman Energy



OWEC Tower AS

DOWNVInD- Montering av tårn/turbin på land



OWEC Tower AS

Source: REpower

OWEC Jacket Quattropod – august 2006



Source: REpower



OWEC Tower AS

DOWNVIInD – hva har vi lært?

- Installasjonsmetodikk har stor betydning for konseptet – reduksjon på 25 % på OJQ ved modifikasjoner?
- Vi må ikke kopiere typisk olje/gass teknologi i unødig grad ,; kan gi for mye ”luksus”
- Installasjon av turbin må gjøres mindre væravhengig – OWEC Tower AS har også utviklet et alternativ basert på tilgjengelige installasjonsfartøy



OWEC Tower AS

OWIT – et nytt installasjonskonsept



OWEC Tower AS

Hvordan få kostnadene ned for offshore vindkraft - fundamentene ?

- Mer effektive konsepter
- Masseproduksjon
- Øke størrelsen
- Investere i mer effektivt installasjonsutstyr



OWEC Tower AS

**Offshore vind skal bli
konkurransedyktig – totalt og i
forhold til onshore vind!**

**Vi er på god vei basert på norsk
offshore kompetanse!!!**



Kabelteknologi for Offshore Windkraft

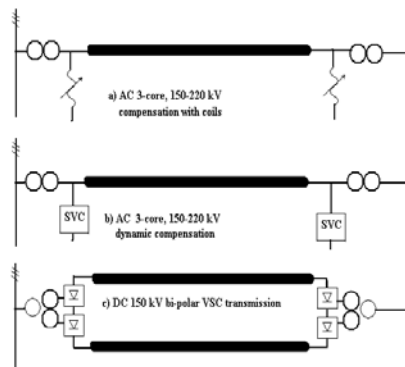


Georg Balog

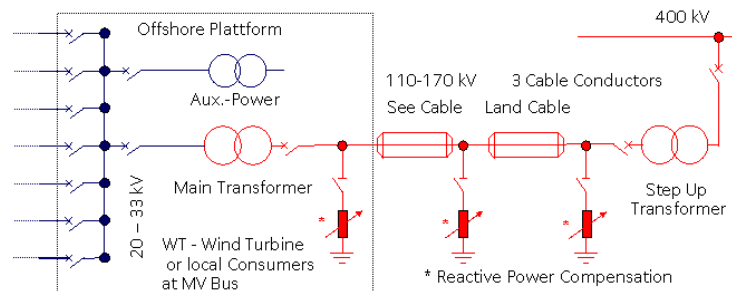


The subject

- Compare the AC and DC power transmission systems over large distances, with cables
 - ◆ The AC transmission is with XLPE insulated three-core cables, with compensation equally at both ends
 - ◆ The DC transmission is based on the newly developed Voltage Source Converter, the cable type does not seem to be an important parameter
 - ◆ The losses are included for all system parts



Typical arrangement AC system for Offshore Windmill Parks



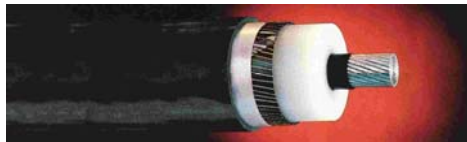
The AC transmission system

- The AC system may consists of well known passive elements
 - ◆ Require much less space onboard a platform
 - ◆ Only passive components onboard
 - ◆ Cable laying and protection, as for one cable when three core cable is used
 - ◆ Static VAr compensators may be necessary for maintaining voltage quality, on shore
 - ◆ Charging current cause higher cable transmission losses



Advantages using XLPE for AC

- XLPE insulation has low dielectric constant, $\epsilon_r = 2,5$.
 - ◆ => Low charging current.
- Low dielectric losses, $\text{tg}\delta \leq 0,0005$.
- High voltage withstand level.
- Maximum operating temperature 90°C .
- In recent years AC submarine cable systems are developed up to 170kV with XLPE insulation, and higher voltages are under development (245-400 kV).

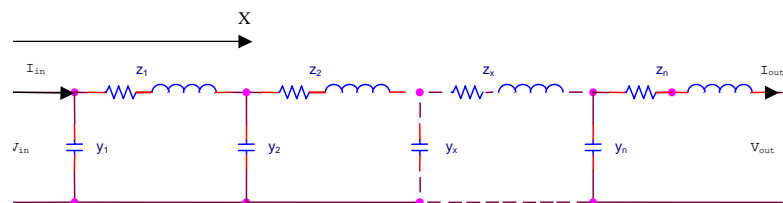


Nexans

5

The AC cable modelling

- In cables the capacity is high and impedance low
- Long cables has to be modelled with distributed parameters

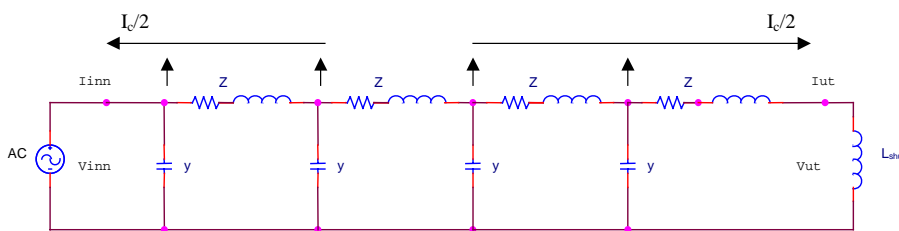


Nexans

6

The optimal charging current scheme

- The charging current is compensated equally at both ends at full load
- The compensation may include inductive sources as motors, overhead lines, coils ...



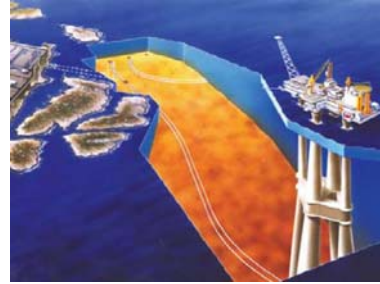
Criteria for viable AC transmission

- Maximum voltage swing $\pm 10\%$ between no-load and full load state at the receiving end.
- Maximum transmission losses $\leq 10\%$
- Maximum rated current is according to IEC60287.



Premises for Submarine cables:

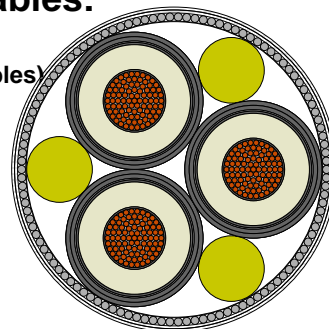
- Three core submarine cable.(except 400 kV)
- Ambient temperature in seabed: 10°C
- Burial depth: 1m
- Thermal resistance in seabed: 0.7mK/W

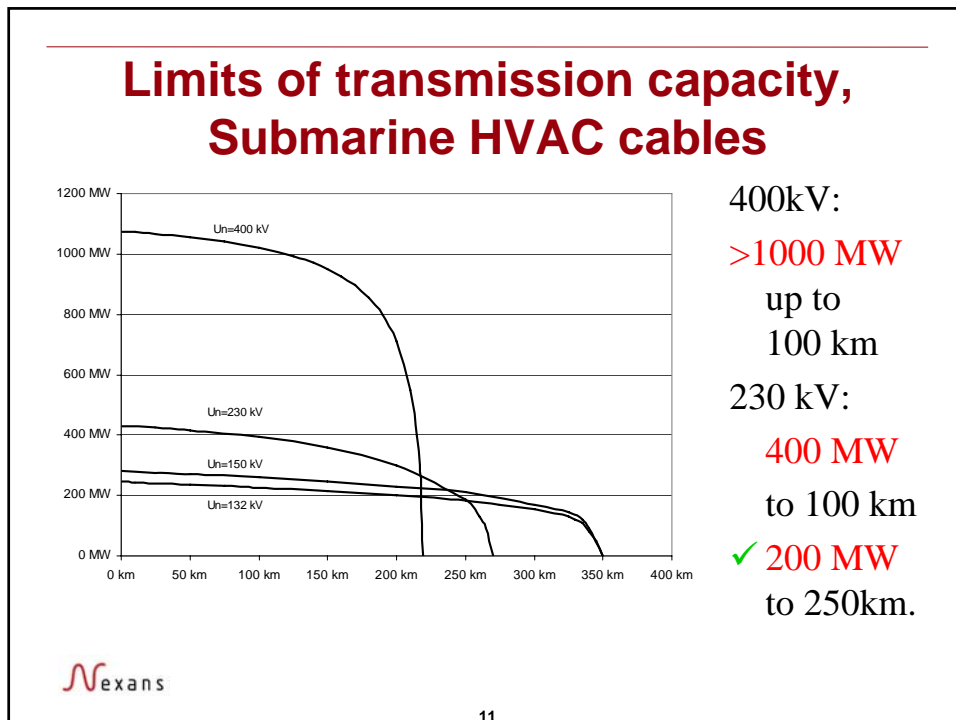


Results AC Submarine cables

- Based on North Sea deep water conditions and compensation from both ends
- The considered submarine cables:

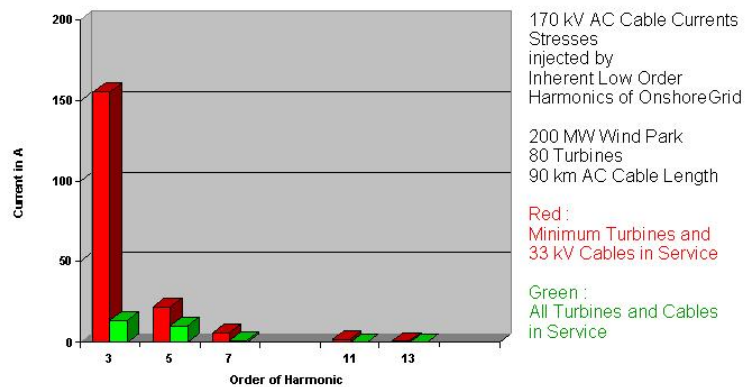
- ◆ TKZA 400 kV 1x1200mm². (single core cables)
- ◆ TKRA 245 kV 3x1x1000mm².
- ◆ TKRA 170 kV 3x1x1000mm².
- ◆ TKRA 145 kV 3x1x1000mm².





- ### AC Transmission System analysis
- Some points to take into consideration:
- Voltage amplification
 - Ferro resonance
 - Power factor from grid at both ends
 - Complete grid analysis
 - Transients at starting the largest machine offshore
- Nexans
- 12

AC Transmission Amplification of Harmonic Cable Currents



The DC transmission system

- Made possible by use of Voltage Source Converter technology.
 - Work into “dead” load
 - Generates the necessary reactive power for commutation
 - Some filters are still necessary
 - Requires 3-winding transformers
 - Require larger space offshore
 - Losses in the converter stations are relatively high, 5-7%
 - Transmission losses lower than in AC cables



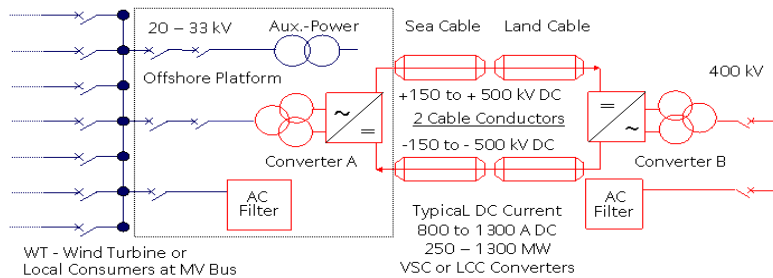
VSC vs LCC

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Voltage Source Conv. ◆ Start into dead load ◆ 4 quadrant operation ◆ Few filters ◆ Smaller footprint ◆ No polarity reversal ◆ Large losses, 5-7 % ◆ Max. voltage 150 kV ◆ Trans. capacity, 330 MW ◆ Trans. length, ~500 km | <ul style="list-style-type: none"> ● Line Commutated Conv. ◆ Must have rotating load ◆ 2 quadrant operation ◆ Many filters ◆ Larger footprint ◆ Polarity reversal ◆ Low losses 1,4-1,6% ◆ Max. voltage 500 kV ◆ Trans. capacity, 1600 MW ◆ Trans. length, ~900 km |
|--|--|



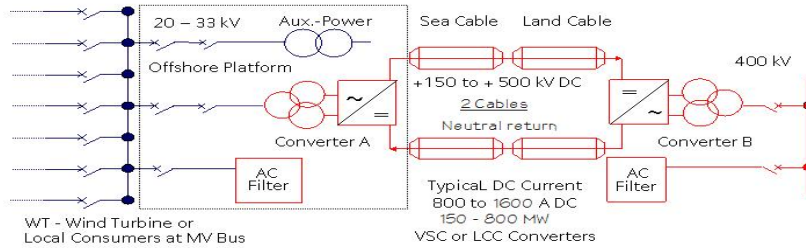
Typical arrangement DC transmission system for Offshore Windmill Parks, LCC or VSC

Bipolar



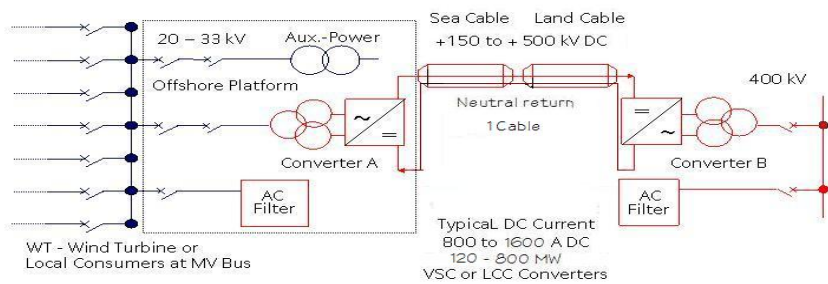
Typical arrangement DC transmission system for Offshore Windmill Parks, LCC or VSC

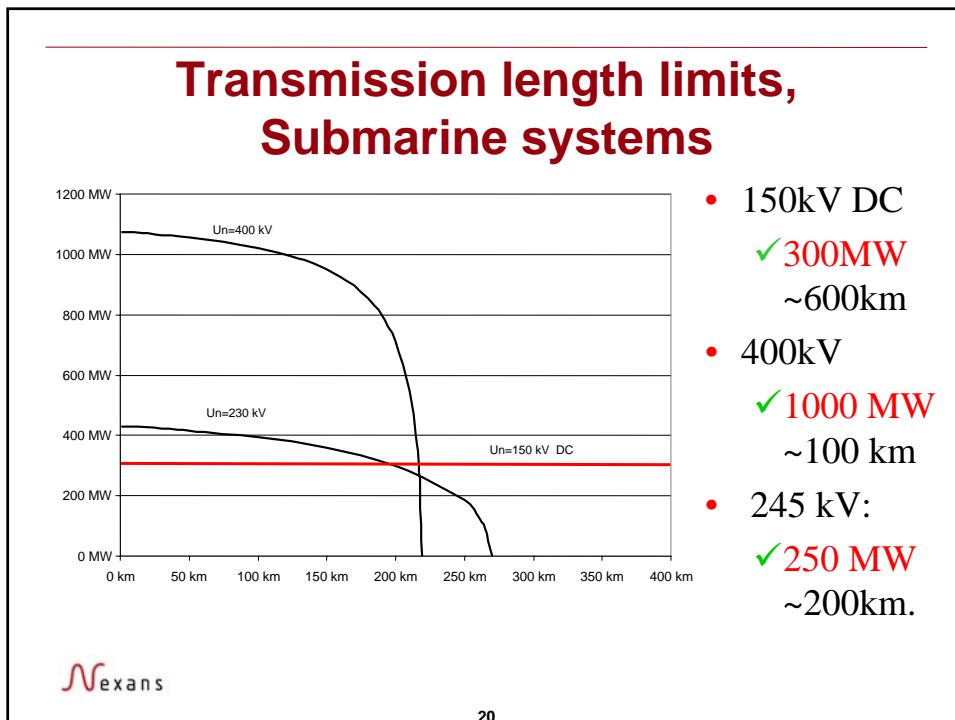
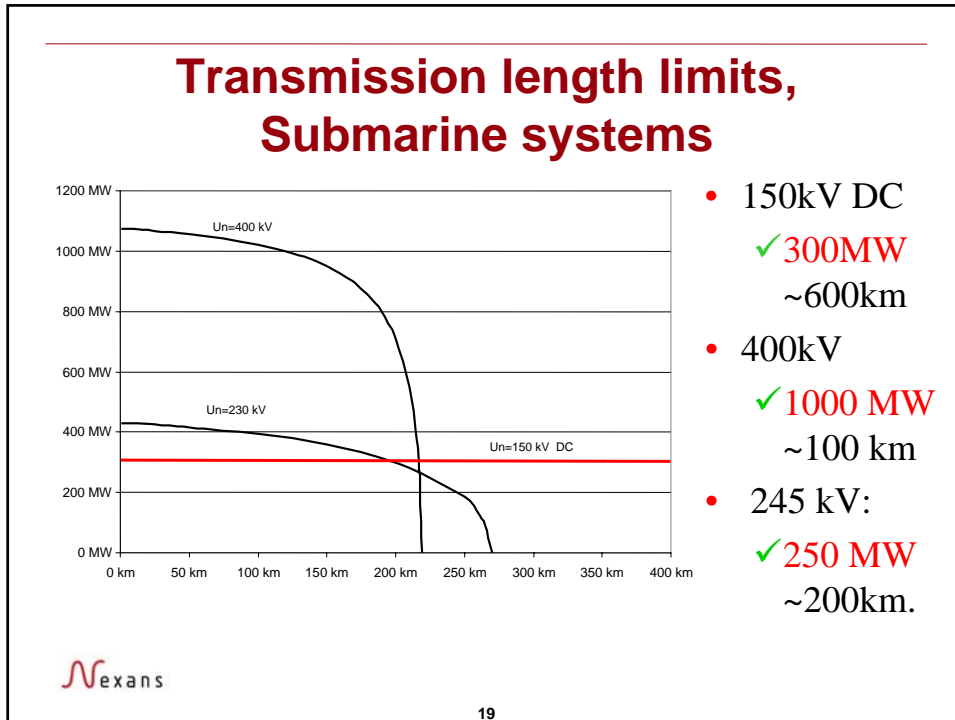
Mono-polar with metallic return

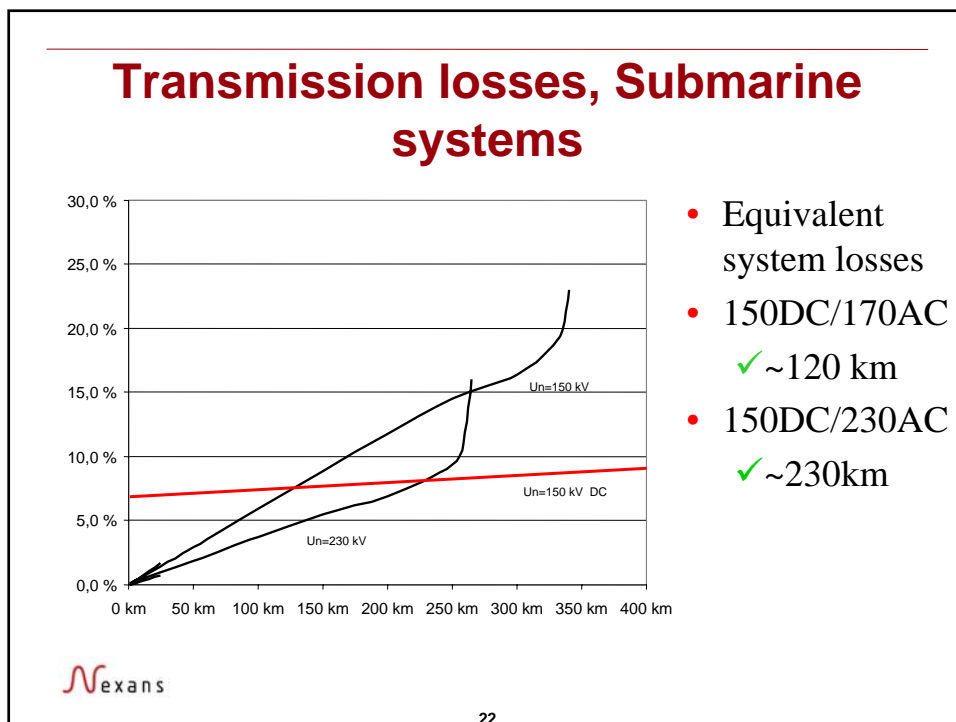
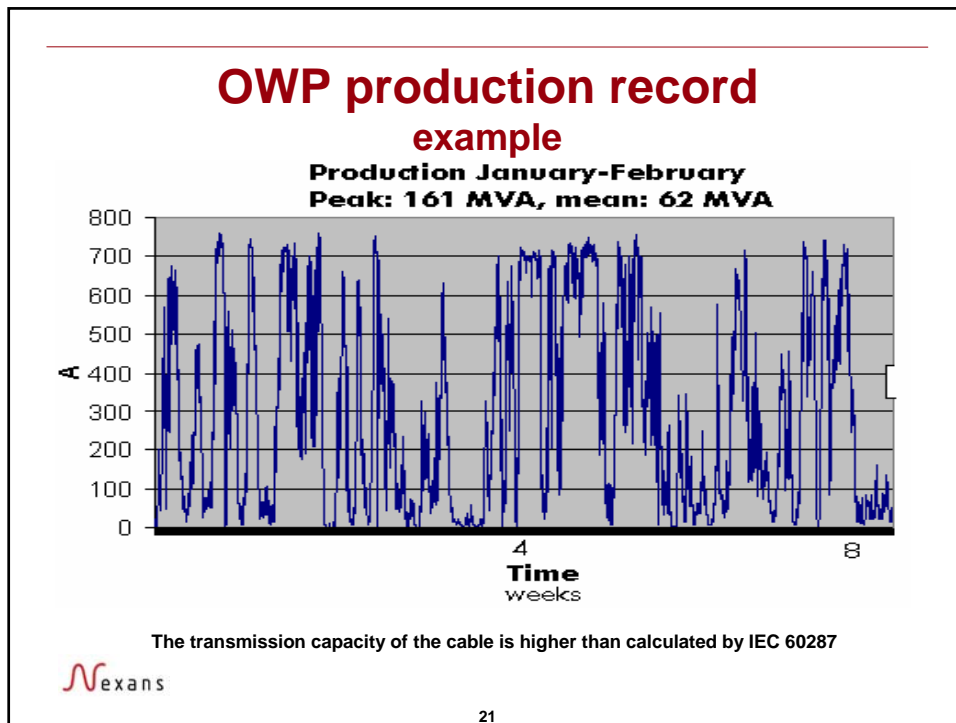


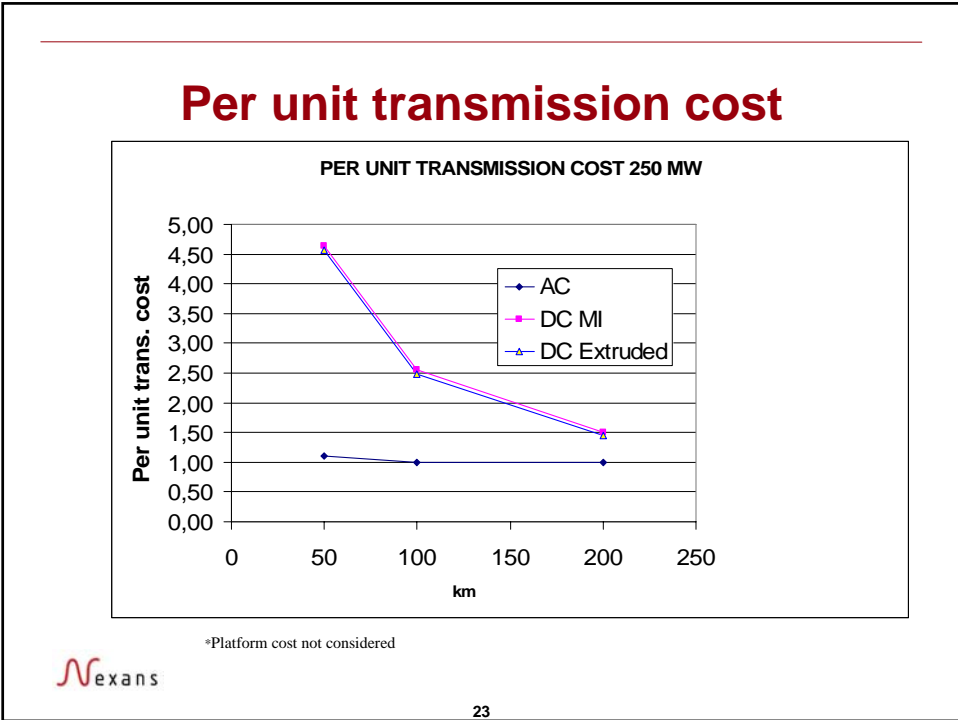
Typical arrangement DC transmission system for Offshore Windmill Parks, LCC or VSC


Mono-polar with Integrated Return Conductor









- ### Summary
- **The transmission system based on three core XLPE cables is most cost effective for distances up to 200 km/200MW, if no special requirements are present, (50/60 Hz)**
 - **In case of special requirements, a back-to-back converter solution on land should be examined**
 - **In the case of weak AC grid, a complete net analysis is required and a SVC solution may be required at insertion into transmission net on land**
 - **HVAC system is an attractive alternative to HVDC for transmitting power when feasible**
- 
- 24

How to reduce laying and protection cost

The areas to reduce the laying cost:

Through cable design, if feasible, f. ex:

Design of armour

=> Reduce the total weight

Three core cable instead of single core for AC

Integrated Return Conductor instead of metallic return cable for DC

=> Reduce the number of laying and protection campaigns

Through concurrent engineering of the laying and design

Efficient, well engineered laying spread

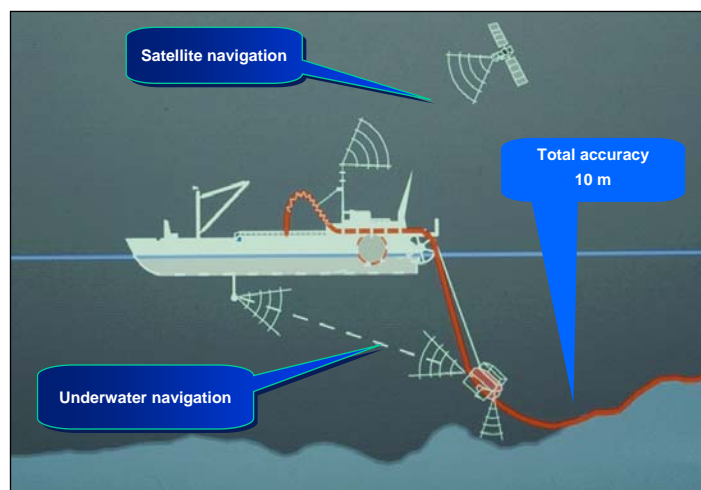
Dynamically positionable vessel with transport capacity

Experienced and well rehearsed marine and cable laying crew

! Pre-qualification !



The laying spread



Protection

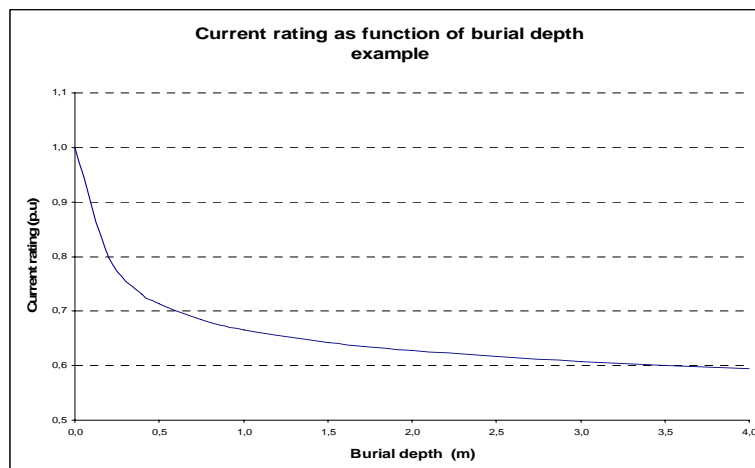
Protection

- At landing sites the cables have to be protected (0-20 m depth)
 - The marine and fishing activity along the route must be surveyed
 - The soil conditions must be documented along the route
 - Based on the above a risk and cost benefit analysis should be carried out
 - => If the analysis shows need for protection the most cost effective solution should be engineered
 - => Areas with too high shear strength, such as rock, are protected by f.ex. rock-dumping
 - => In soils with normal shear strength burial deeper than ~0,5 m is adequate for protection against fishing activities
 - Protection against large anchors are usually untenable
- Burial deeper than 1m is usually counter productive as the cost increases and the cable is derated and an eventual repair is more costly

The laying should not be a hinder during protection



Derating of the cable



Conclusions

- **Production, laying and protection should be Turn-key, to reduce interface costs**
- **Use AC if possible**
- **Do not bury the cable too deep**
- **Analyse the wind statistics before setting the transmission requirements**





HYDRO

Vindkraftseminaret 25. – 26. Januar 2007


Hywind som kraftkilde for offshore installasjoner

Terje Lauvdal
Hydro Olje & Energi

2007-01-04

Hywind – konseptet

- Turbin 80 m over vannlinjen
- Effekt: 3 - 5 MW
- Draft: 120-125 m
- Dyp: 100 – 700 m
- Dynamisk pitch regulering
- Produseres og sammenstilles ved verft, lite installasjonsarbeid på feltet
- Taues ut til feltet
- Designet for Nordsjøforhold
- Kraftproduksjon ~ 22 GWh/yr




Offshore vindturbin


Standard ståltårn

Betongfundament

Tre ankerlinjer

Dato: 2007-01-04 • Side: 2 •





Hywind – Mange fordeler

- Kraftigere vind og høyere brukstid til havs
- Relativt robust og kosteffektiv design
- Minimalt offshore arbeid
- Uavhengig lokasjon, kan styre unna konfliktområder
- Fleksibel nettilknytning

Hensikt med studiene hittil

Våre egne studier har så langt strukket seg til å:

- Identifisere mulige tekniske hindre.
- Indikere en potensiell besparelse når det gjelder NO_x og CO_2 utslipp til luft.
- Identifisere elementer der videre studier er nødvendig for
 - å definere teknisk løsning bedre
 - å etablere et bedre kostestimat

Andre studier:

- Unitec: Offshore wind power for platform supply (OLF)
- Nexans: Cable study for Hywind project

Hva er insitamentet ut fra dagens situasjon

Dagens situasjon:

- Ønske om reduksjon i utslipp av klimagasser.
- Prognoser for kraftbehov på flere plattformer indikerer kraftunderskudd eller dårlig utnyttelse av installerte generatorer.

Hvorfor Hywind:

- Overordnet å redusere utslipp av klimagasser.
- Bidrag til elektrifisering av offshorevirksomheten.
- Fremskaffe teknisk/økonomisk beste konsept for mer kraft til plattformer som i fremtiden vil mangle generatorkapasitet. Hywind kan være en mulig løsning.
- Øke forsyningssikkerheten og fleksibiliteten.
- Mulig samkjøring av en eller flere plattformer med en vindpark.

Dato: 2007-01-04 • Side: 5 •



Elektrotekniske forutsetninger

- Det er antatt at møllene utstyres med turbingeneratorer som kompenserer for eget forbruk av reaktiv effekt (Dobbelmatet asynkrongenerator (DFIG) eller generator med fullskala omformer mot nettet).
- Vindturbingeneratorene er ikke med i regulering av frekvens eller spenning på plattformene (droop).
- Produksjonsfrakobling ved frafall av gassturbingenerator.
- Vindparken skal gi så mye effekt at i deler av året benyttes ikke alle installerte hovedgeneratorer. Vedlikehold og reparasjoner kan utføres uten nedstenging av plattformen.
- Vindturbinene er koblet i ring, slik at en turbin kan feile eller være tatt ut uten at det forstyrrer de andre.
- Parkene ligger tett opp til plattformen (2,5 – 3 km), slik at 11 kV eller 13.8 kV i størst mulig utstrekning kan benyttes. Derved er det ikke behov for transformator på plattformen.
- All hook-up foregår dykkerløst

Dato: 2007-01-04 • Side: 6 •



Elektrotekniske utfordringer

- **Turbinene mater inn på svakt nett. Hvor stor andel av produksjonen må komme fra gassturbinene?**
 - Spenningskvalitet og nettstabilitet
- **Hvor mange vindturbiner er nødvendig for å få en tilstrekkelig forsyning over en viss andel av året? Optimalisering.**
- **Transformatorer er en utfordring på eksisterende plattformer.**
 - Oljefylte transformatorer er ikke ønsket grunnet sikkerhet, vekt, plass og oljebrenn.
 - Muligens vanskelig å få tørrisolerte, støpte transformatorer utover 36 kV og 30 MVA i dagens marked.
 - Ønsker å bruke 11 eller 13.8 kV tørrisolerte, støpte transformatorer.
- **Med et spenningsnivå på 11 kV på nettilknytningen, er 8 – 10 MW max av hva som antagligvis er teknisk/økonomisk mulig å overføre over en avstand utover 10 km.**

Dato: 2007-01-04 • Side: 7 •



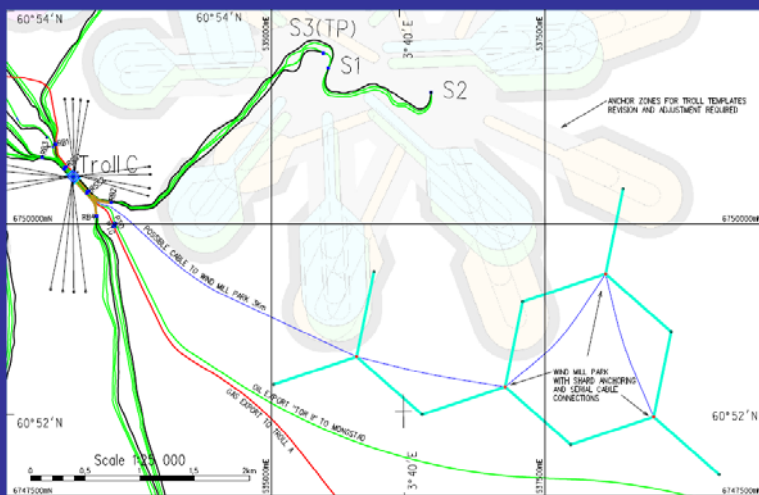
Kabling

- **Kabelinggang i bunnen av turbinsøylen.**
- **Kabling som fritthengende kjede fra balkong.**
- **På plattform:**
 - J – rør
 - Fritthengende
- **S-kurve forlegning over bøye.**
 - Nødvendig ved grunt vann
- **Fleksible kabler.**
- **Stor effekt, lav spenning medfører mange grove kabler inn mot plattformen.**
 - Forlegning
 - Tildekking
- **Ombord trengs enledere grunnet begrensninger på bøyeradius, vekt og håndterbarhet av treledere.**

Dato: 2007-01-04 • Side: 8 •



Lokasjon Troll C



Dato: 2007-01-04 • Side: 9 •



Lønnsomhet

- **Lønnsomhet må sees i forhold til sparte operasjonskostnader:**
 - Brensel
 - Utslipp
 - Avbruddskostnader
 - Fleksibilitet
- **Lønnsomhet må sees i forhold til alternative konsepter for fremskaffelse av mer kraft på de enkelte plattformene.**
- **Isolert sett er kWh pris vesentlig høyere enn på land for en mølle eller liten park, men ved større park, bedres økonomien.**
- **Utbyggings-, drifts og vedlikeholdskostnader må ned gjennom videreutvikling av konsepter og utstyr.**

Dato: 2007-01-04 • Side: 10 •



Arbeid videre - elektrosystemer

- Klargjøre hvilke forskrifter og regler som gjelder.
- Kabelforlegning i sjøen og på plattformene.
- Håndtering av materiell.
- Etablere D&V filosofi, beregne tilgjengelighet.
- Simuleringer og analyser av spenningskvaliteten og nettstabiliteten.
- Integrering med de elektriske systemene ombord på plattformen.
- Etablere styrings filosofi, og integrering med plattform kontrollsystemene.

Dato: 2007-01-04 • Side: 11 •



Hydro is a Fortune 500 energy and aluminium supplier with 33,000 employees in 40 countries. We are a leading offshore producer of oil and gas, the world's third largest aluminium supplier and a leader in the development of renewable energy sources. Our mission is to strengthen the viability of the customers and communities we serve.

www.hydro.com

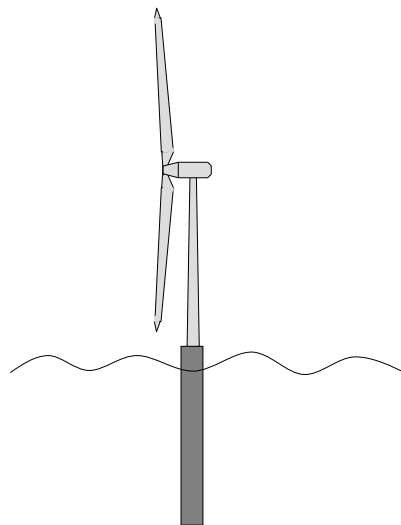


Modelling and control of floating wind turbines – current status

Thomas Fuglseth

Ballast-stabilised, floating wind turbine

- Centre of gravity below centre of buoyancy
- Kept in place by flexible mooring
- Naturally stable
- Can experience oscillatory motions



Modelling approach

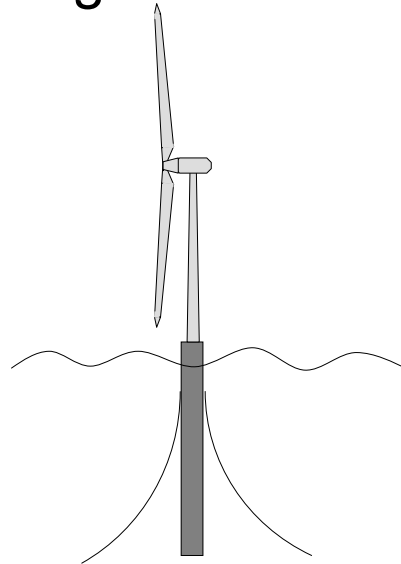
- Use FAST, a wind turbine simulation tool from NREL
 - Can be interfaced with Matlab/Simulink
- Write a subroutine for FAST for modelling hydrostatics, hydrodynamics and mooring forces
 - Represent radiation forces as linear state space systems
 - Based on work done at NTNU
 - Use WAMIT for finding hydrostatic and hydrodynamic coefficients

Modeling in FAST

- Wind turbine simulation software from NREL
- Open source
 - Can be modified to suit the user's needs
- Compatible with Simulink
 - Generator, wind model and controller can be implemented in Simulink
- Platform dynamics must be written in Fortran
 - Framework for subroutines already exists

Wind turbine modelling status

- Data on blades and tower for a 5MW reference turbine from NREL
- Programming of radiation force model mostly done – some debugging still needed
- Still some hurdles with using WAMIT



Wind Turbine modelling status (2)

- Wamit modelling: simple model done, but can need some tweaking and adjustments



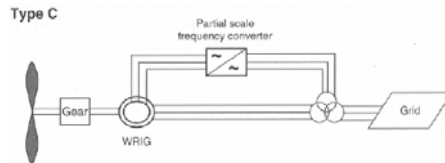
Issues and demands with floating systems

- Floating platform → angular motion
 - Angular motion of the tower will cause the weight of the nacelle to no longer be parallel with the tower central axis
 - This leads to bending moments in the tower
 - Greater wear
 - Can be countered/reduced with
 - Lighter nacelle designs
 - Stabilizing controllers

Generator and gearbox

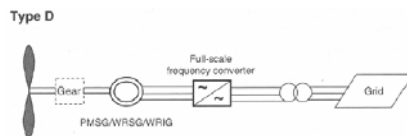
- Several alternatives:
 - Asynchronous generator with gearbox
 - Doubly fed asynchronous generator with gearbox
 - Direct driven synchronous generator with a full converter
 - Field winding or permanent magnet
 - Asynchronous generator with gearbox and full converter?
 - Hydraulic transmission to generator mounted in the base of the tower?

DFIG



- The most popular variable speed design today
- Well-known technology
- Some of the lightest nacelles today use this design
- Gearbox and sliprings → maintenance intensive

Asynchronous generator with full converter and gearbox



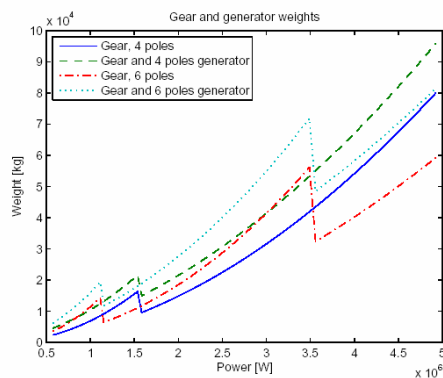
- Approximately same mass as similarly rated DFIG
- More expensive converter, but cheaper generator, and higher reliability
 - No slip-rings
 - Softer response, easier on the gearbox and bearings
- Can be fitted to existing nacelle designs with relatively little effort
 - Reuse of gearbox designs etc.

Direct driven synchronous generator

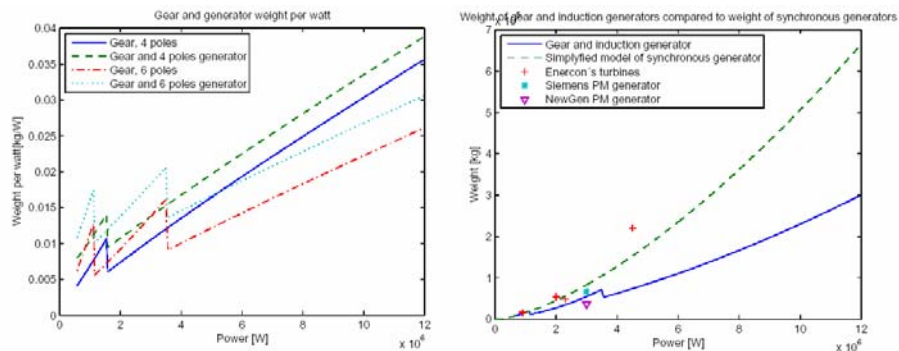
- Reliable
 - Especially PMSM-designs, as these have no sliprings
 - No gearbox required
- Heavy, mass may be a hindrance in offshore designs
- Requires a full converter

Gearbox/no gearbox?

- A question of mass



Gearbox/No gearbox (2)



Hydraulic transmission – a solution for escalating nacelle mass?

- A system that is under development here in Trondheim
- Plans for prototype testing, both in lab environment and at Valsneset

Hydraulic transmission

- Hydraulic pump directly connected to the wind turbine
- Hydraulic motor in the base of the wind turbine tower drives generator
- Can work as a gearbox, and provide different input and output RPM
 - Range of gear ratios not known
- Maximum distance from pump to motor ~ 500 meters

Efficiency questions?

- Power ~ Pressure x Flow velocity
- Losses ~ Flow velocity²
- High pressure, low velocity yields the lowest losses (analogous to high voltage transmission lines)
 - Claimed efficiency of ~ 95%
 - Similar efficiency to a mechanical gearbox

Controller design

- Move away from the traditional power controller
 - Below rated wind speed: constant tip speed ratio/maximum power
 - Above rated wind speed: constant power
- This controller structure introduces negative damping in the angular motion of the platform

Controller design - proposal

- Use Lyapunov theory (minimization of energy function) to design a blade pitch controller that controls rotor axial thrust
 - Reduce angular motion of the platform
- Control generator torque to minimize wear on shaft/gearbox
- Allow more variation in rotor speed than normal

Current plans

- Finish up the radiation force coding and modelling
- Find a decent wave excitation model
- Use said model as a basis for controllers for several different combinations of generator and transmission



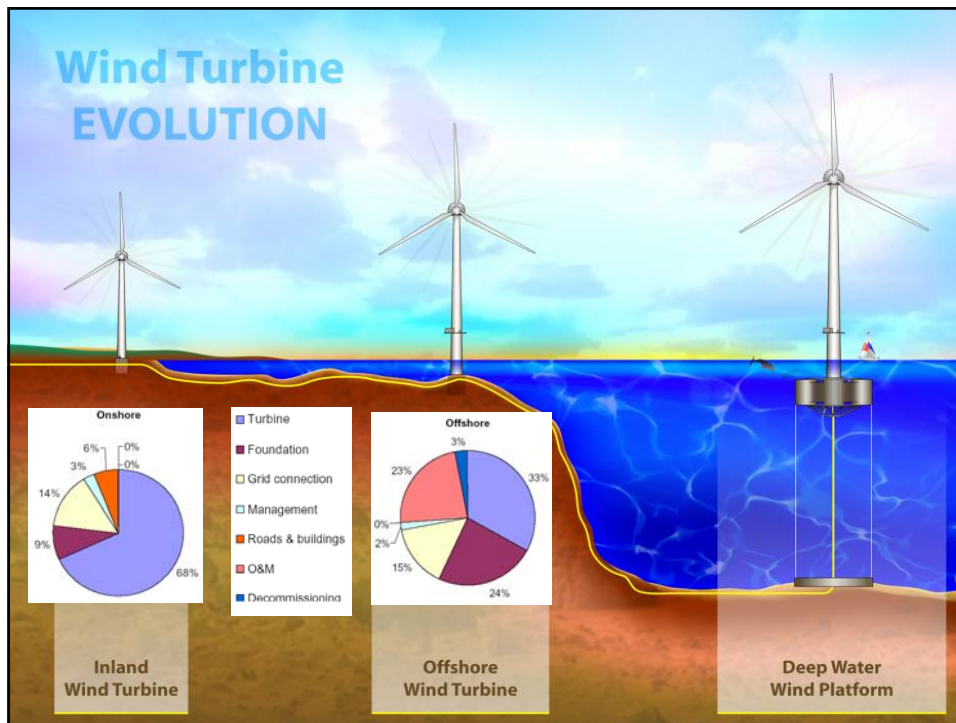
A comparison of tubular and truss towers for a 5MW offshore wind turbine

Haiyan, long
Department of Civil and Transport
haiyan@ntnu.no



Background

- The energy consumption increases quickly over 30 years.
- Wind energy is the most mature among all of renewable energy
- Offshore is a new frontier for wind energy because of its significant advantage:
 - Higher-quality wind resources
 - Proximity to loads
 - Potential for reducing land use and aesthetic concerns
 - Larger units available



An alternative for tubular towers is required for offshore wind turbines.

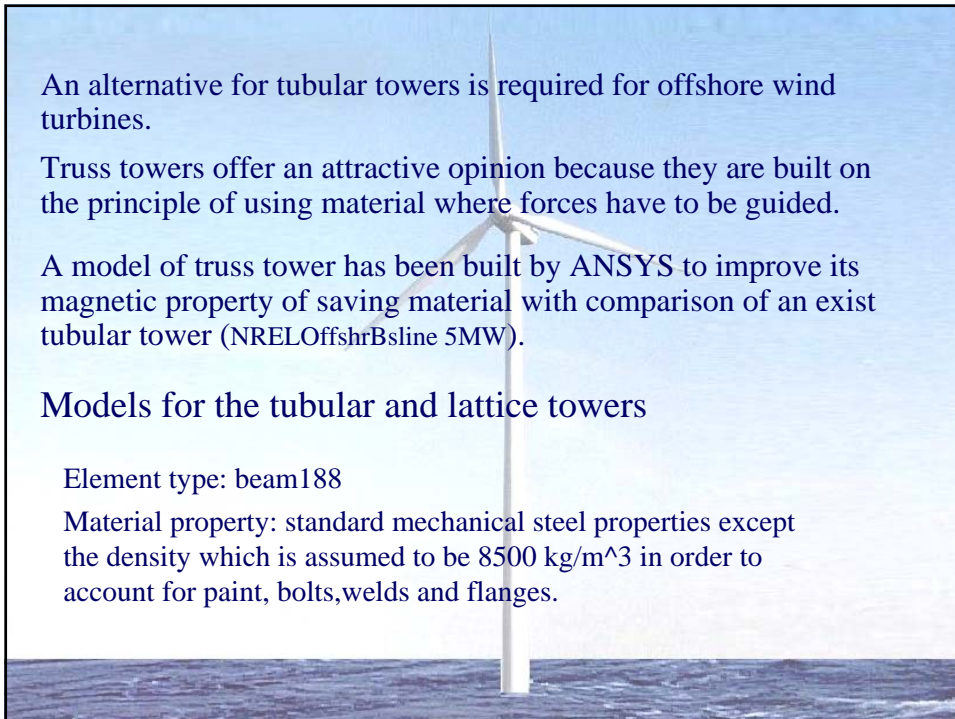
Truss towers offer an attractive option because they are built on the principle of using material where forces have to be guided.

A model of truss tower has been built by ANSYS to improve its magnetic property of saving material with comparison of an exist tubular tower (NRELOffshrbaseline 5MW).

Models for the tubular and lattice towers

Element type: beam188

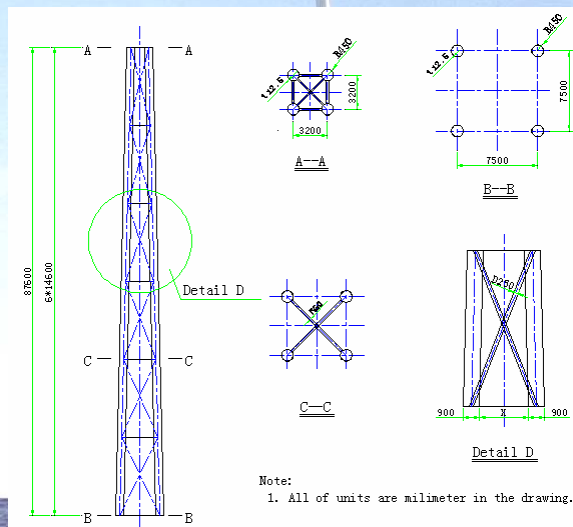
Material property: standard mechanical steel properties except the density which is assumed to be 8500 kg/m^3 in order to account for paint, bolts, welds and flanges.



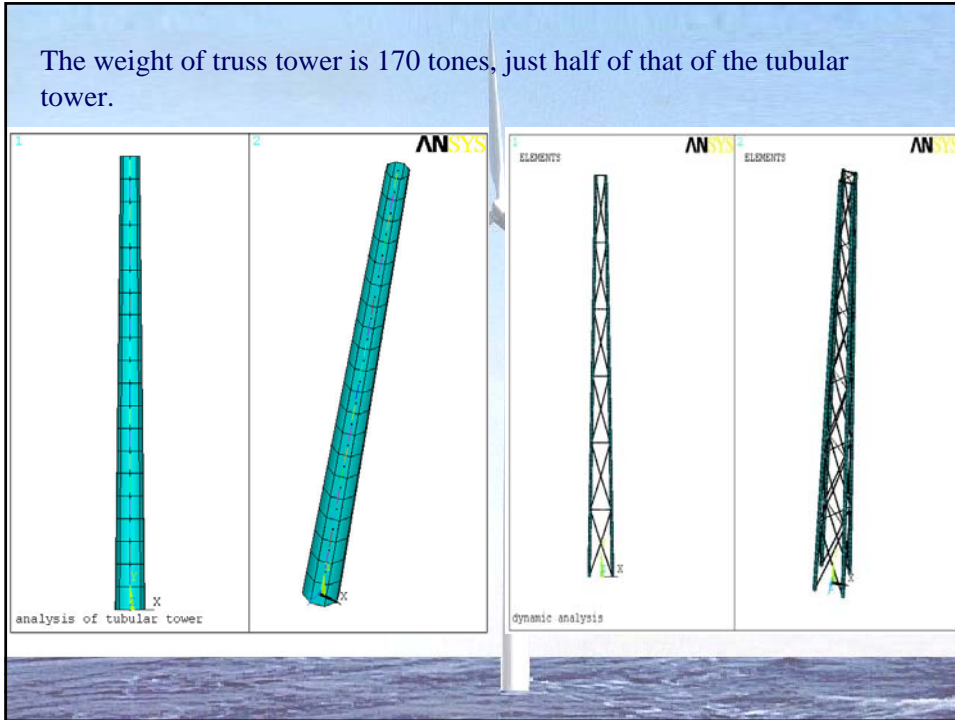
Gross Properties of the NREL 5MW Baseline Wind Turbine Model

Rating	5MW
Control Variable Speed	Collective Pitch
Rotor Diameter / Hub Diameter	126m / 3m
Hub Height	90m
Tower Height	87.6
Maximum Rotor / Generator Speed	12.1rpm / 1,173.7rpm
Maximum Tip Speed	80m/s
Overhang / Shaft Tilt / Precone	5m / 5° / -2.5°
Rotor Mass	110,000kg
Nacelle Mass	240,000kg
Tower Mass	347,460kg

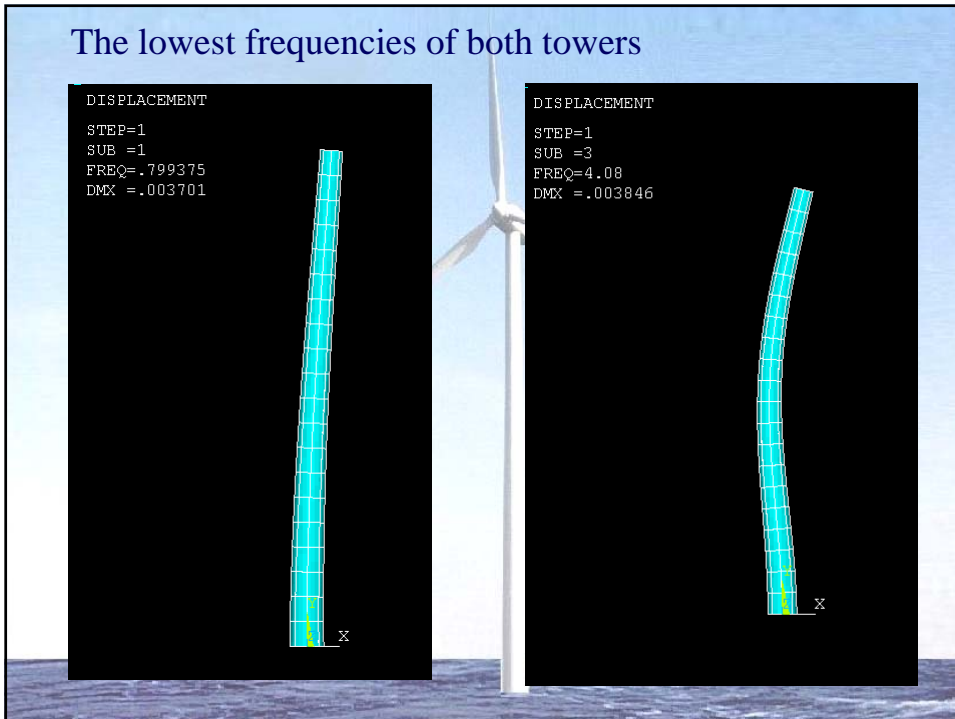
The principle of design is that the lowest nature frequencies of truss tower should be roughly equal to those of the tubular tower. The sizes of components were chosen to meet this demand.

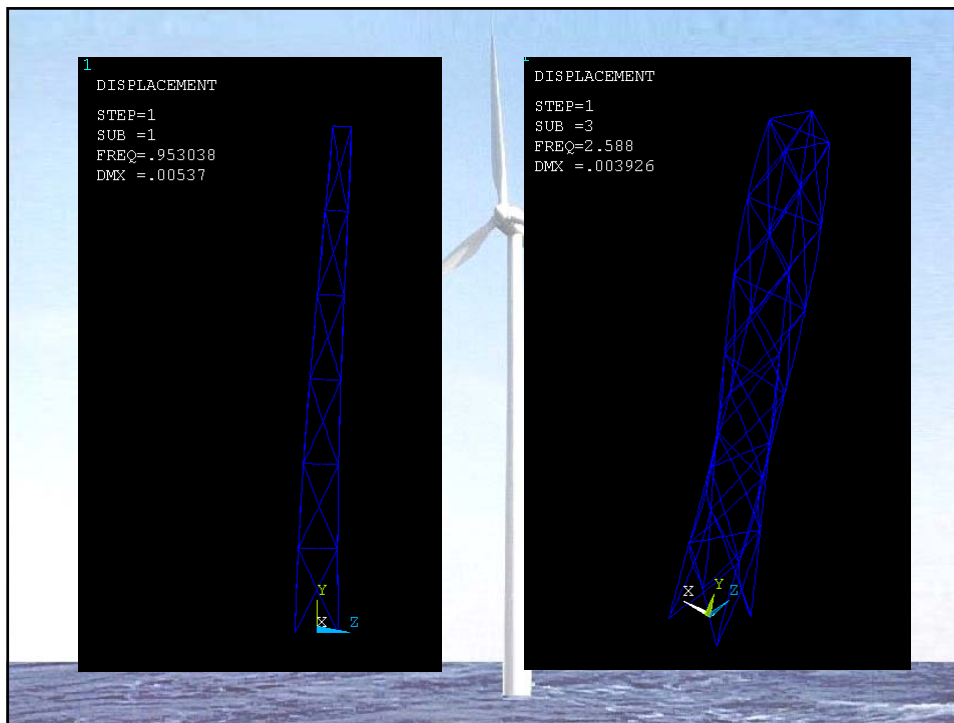


The weight of truss tower is 170 tones, just half of that of the tubular tower.



The lowest frequencies of both towers



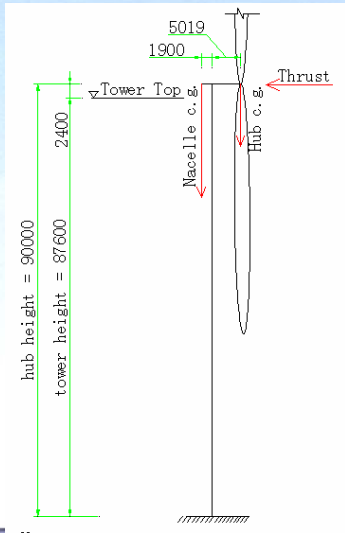


Results of dynamic analysis

1. The first two frequencies of 0.96 Hz for the truss tower were close to those of the tubular tower (0.8Hz).
2. The third frequency of the truss tower was considerably lower than that of the tubular tower, which means that resonance may conceivably be more of a problem for the truss tower if e.g. blade natural frequencies happen to be close to this frequency.
3. The 20% increase of the first frequency of the truss tower from 0.8 to 0.96 is beneficial since the 3P frequency is 0.6 Hz.

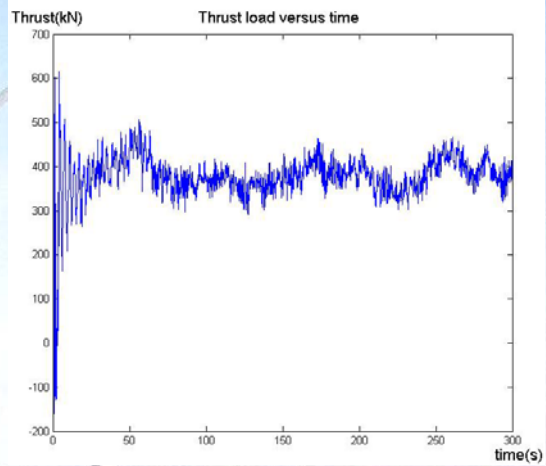
Static analysis

The calculation model



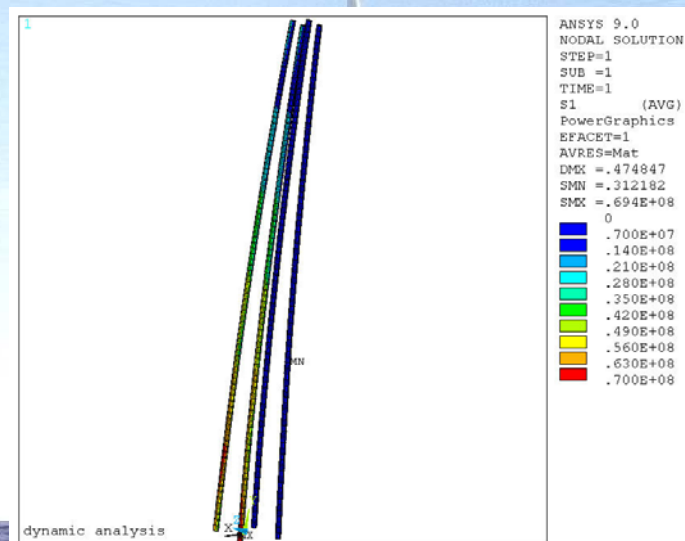
Note:
1. All of units are millimeter in the

Thrust load versus time

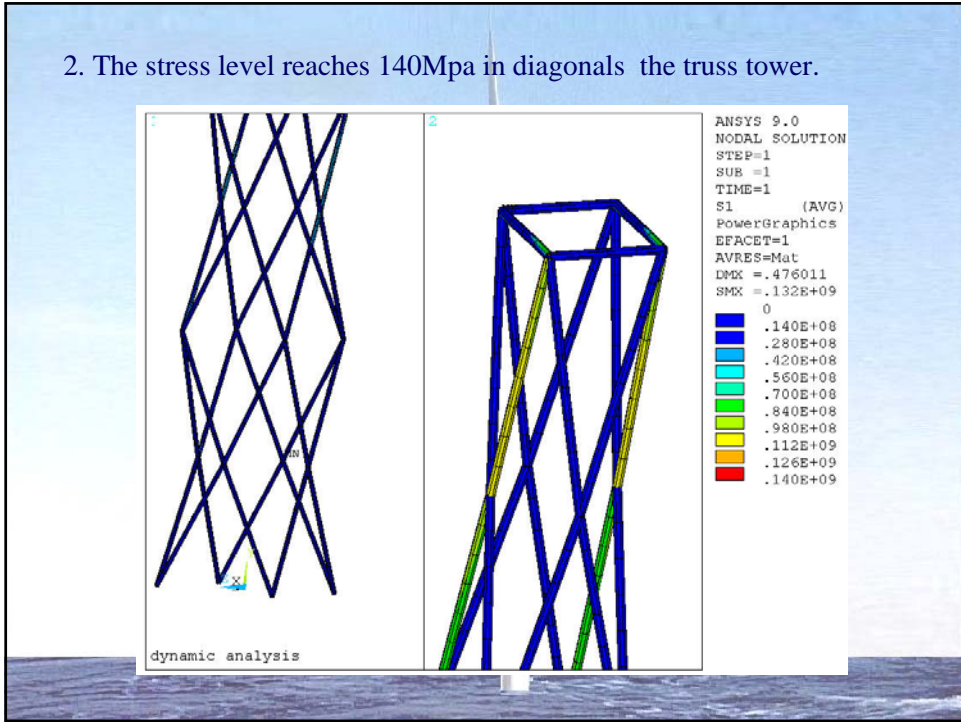


Results of static analysis

1. The stress level reaches 70Mpa in main legs in the truss tower.

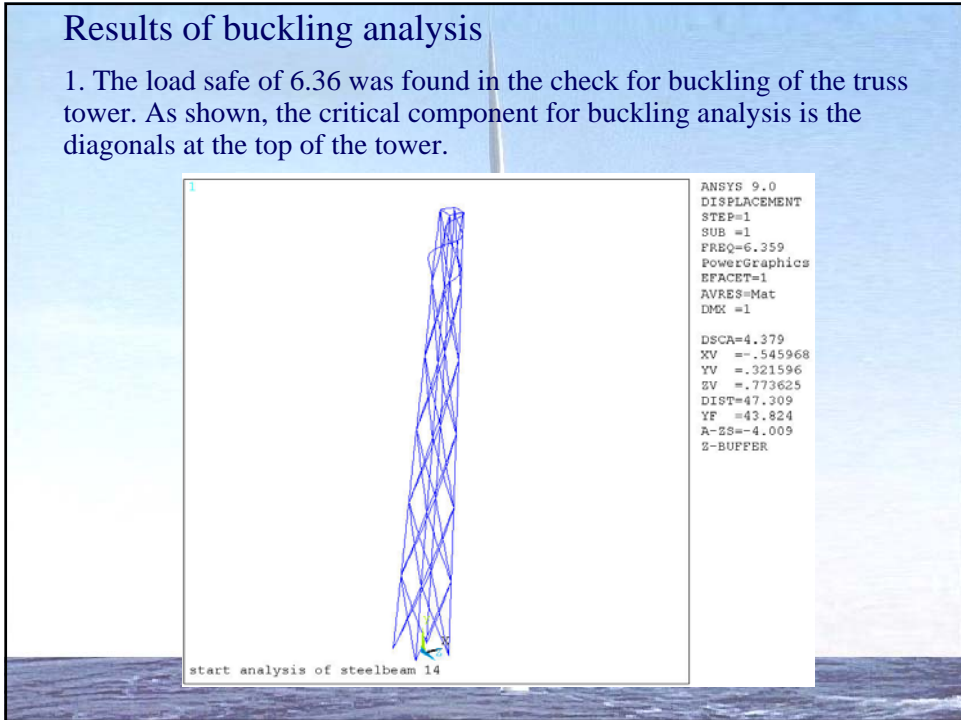


2. The stress level reaches 140Mpa in diagonals the truss tower.



Results of buckling analysis

1. The load safe of 6.36 was found in the check for buckling of the truss tower. As shown, the critical component for buckling analysis is the diagonals at the top of the tower.

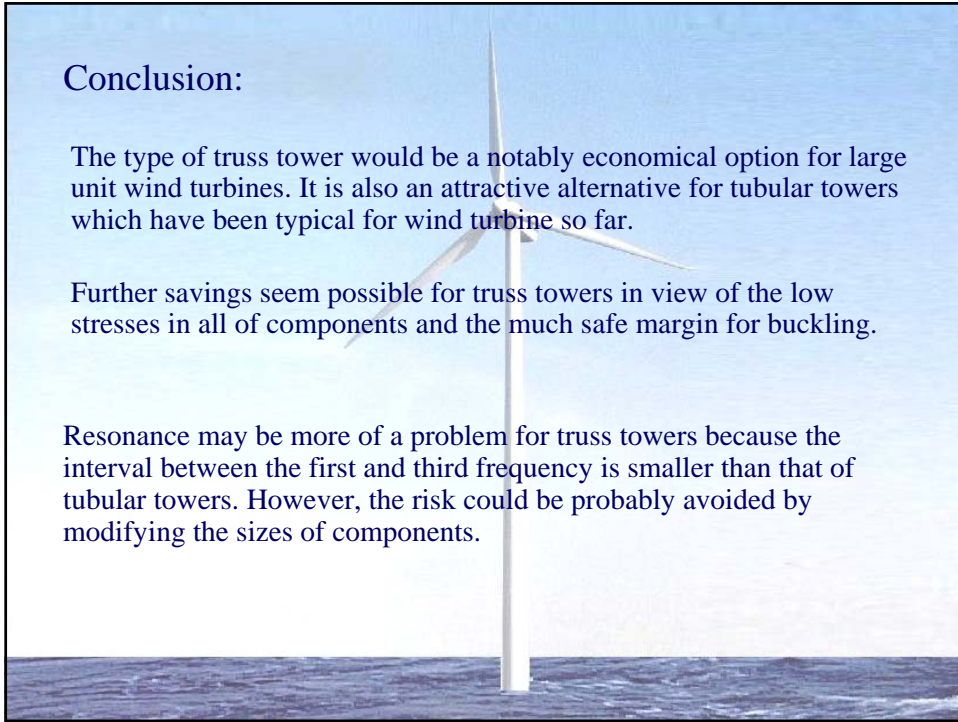


Conclusion:

The type of truss tower would be a notably economical option for large unit wind turbines. It is also an attractive alternative for tubular towers which have been typical for wind turbine so far.

Further savings seem possible for truss towers in view of the low stresses in all of components and the much safe margin for buckling.

Resonance may be more of a problem for truss towers because the interval between the first and third frequency is smaller than that of tubular towers. However, the risk could be probably avoided by modifying the sizes of components.





KJELLER
VINDTEKNIKK

Beregning av vindkraftproduksjonen ved ising

Lars Tallhaug, Øyvind Byrkjedal og Erik Berge

Kjeller Vindteknikk AS

Innhold

- Kort om bakgrunnen for isingsproblemet
- Erfaringer med ising
- Metodikk for beregning av produksjonstap
- Resultater fra et norsk "vindkraftfjell"
- Oppsummeringer



KJELLER
VINDTEKNIKK

Hva er ising?

- Rim
 - Blåis (ice-storms i Nord Amerika)
 - Våt snø
 - Tåkerim
- I Norge er det tåkerim som skaper størst problemer



Erfaringer med ising



Erfaringer fra:

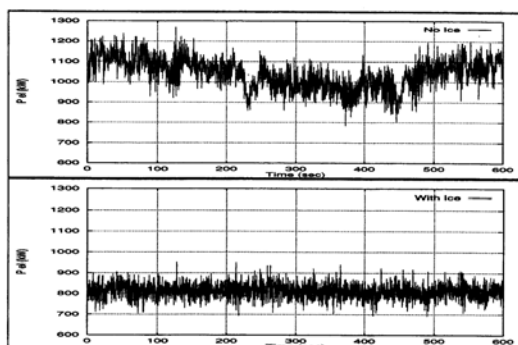
Finland, Sverige,
Tyskland, Østerrike,
Sveits, Canada,
Norge (?)

Produksjonstap:

~ 0-30% på
årsbasis



Produksjonstap (eks fra Danmark, Hentet fra Per Vølund Boreas 1998):



Ingen ising
Vindhastighet: 15,3 m/s

2 cm is på leading edge
Vindhastighet: 15,7 m/s

Produksjonstap ~ 20-25%

Figure 3 Time-track of electrical power with and without ice on rotor.



Norsk vindkraftfjell

■ Utgangspunkt:

Observasjoner av vind (10 min middel, 44 m)
Observasjoner av ising på et standardlegeme for en
vintersesong (10 m)

■ Mål: Beregne produksjonstap som følge av ising



IceMonitor



Noen egenskaper ved ising på vingen av en vindturbin:

- Ising skjer på oppvindsiden av objektet det iser på
- Isingen avhenger av luftens fuktighetsinnhold og av vindhastigheten
- Ising på rotorblad er ulik ising på et standardlegeme
- Rotorbladene har en hastighet som er høyere enn vindhastigheten. Hastigheten i bladtippen er typisk 5-6 ganger vindhastigheten.
- Isen kan gi aerodynamiske forskjeller
- Målingene av ising på standardlegeme er foretatt i 10m høyde. Det vil trolig være kraftigere ising i det nivået som sveipes av rotorbladene



Utnytter Seifert and Richert (1998) sin effektkurve for å estimere produksjon ved ulike nivåer av ising:

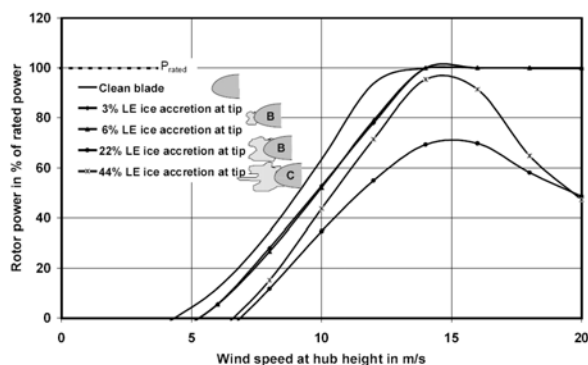


Fig. 11 Calculated power curve for a pitch controlled fictitious turbine with different types of ice accretion. Linear increase vs radius was assumed.



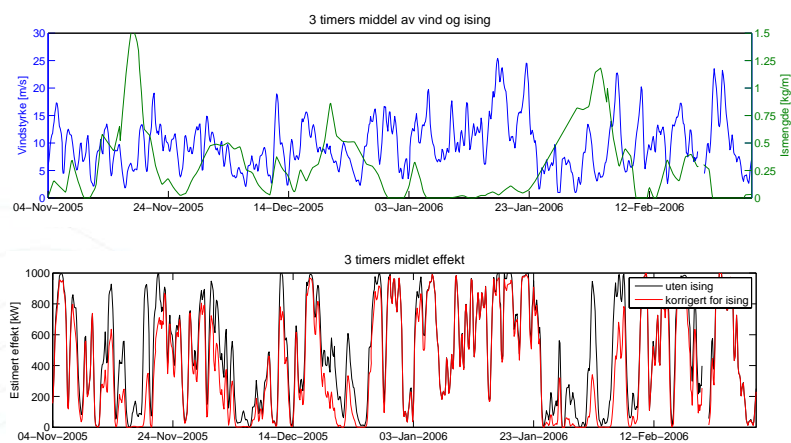
Metodikk:

- Fra målingene av ising på standardlegemet er det estimert hvor mye is som vil legge seg på rotorbladene.
- Effektkurven fra Seifert og Richert er brukt som utgangspunkt (interpolert til en effektflate, $P(v,M)$)

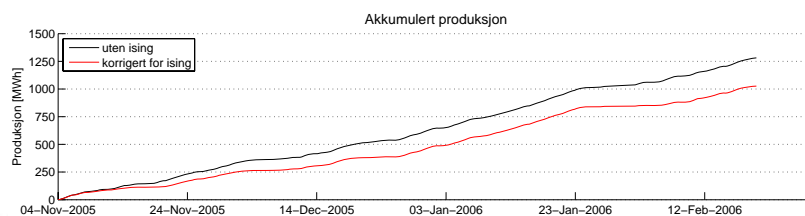


Resultater:

Observasjoner av vindhastighet og ising på et standardlegeme:



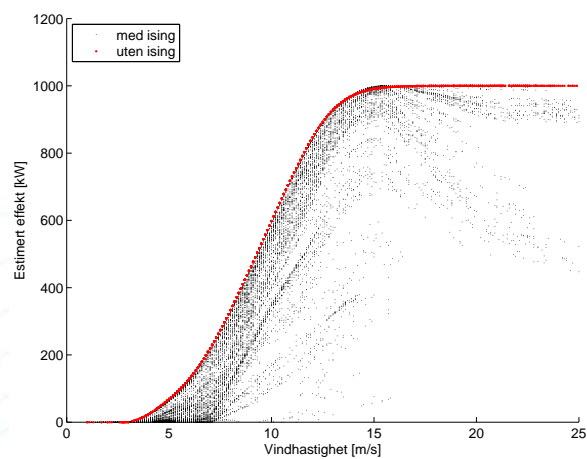
Resultater forts:



Estimert 20% produksjonstap i perioden ~ 1.november til .1 mars som følge av ising. (Basert på observert ising i 10m høyde)



Resultater forts:

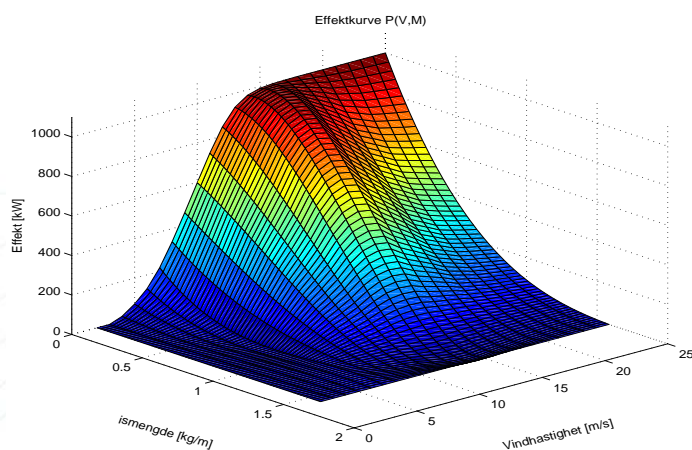


Oppsummering:

- En enkel modell for å beregne energiproduksjon under ising er utviklet
- Isingsdata fra måling på et standardlegeme samt vinddata er gjort tilgjengelige for en norsk vindkraftlokalitet
- Ising i 400-500 m gir 20% produksjonstap for perioden 1 nov. – 1 mars.
- Sammenligning av metodikken med produksjonsdata fra en vindmølle vil være svært nyttig.



Finner en effektflate for en 1 MW turbin:



Lokal vindprediksjon

nestet modellsystem

samarbeid SIMA & MI

T. Utnes & K.J. Eidsvik

Avdeling for Anvendt matematikk
SINTEF IKT

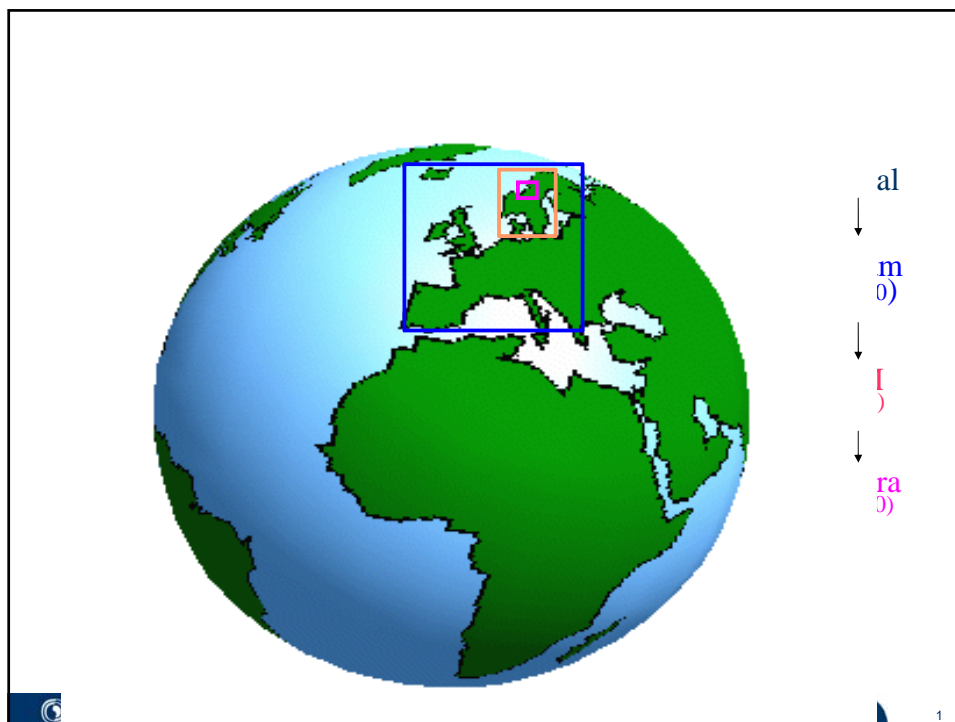
Nestet modellsystem

■ GLOBALT

- Værvarslingsystem (MI)
globalt --> Hirlam --> UM
- Data-assimilasjon (radiosonde, radar, satelitt,...)

■ LOKALT

- (UM1 -->) SIMRA (Sima)
- Videre nesting mulig: SIMRA --> SIMRA



Validering

■ MODELLERING

- Generelle, grunnleggende prinsipper er anvendt

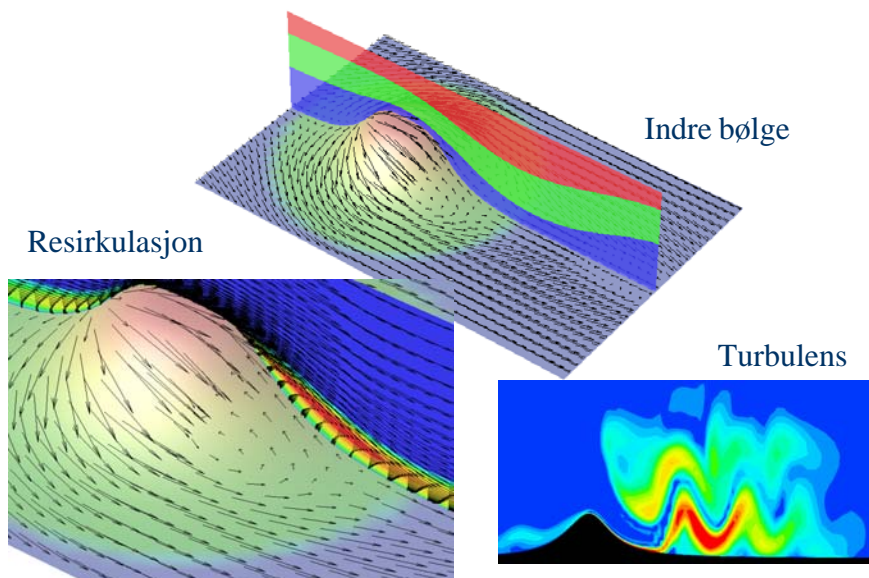
■ TESTING

- Værrvarslingsmodellene utførlig testet
- Lokal modell testet mot data fra laboratorieforsøk & litteratur
- Fortløpende validering av koplet system
- *Unøyaktig* prediksjon vil forekomme, men systemet har en *rasjonell basis for systematisk forbedring*

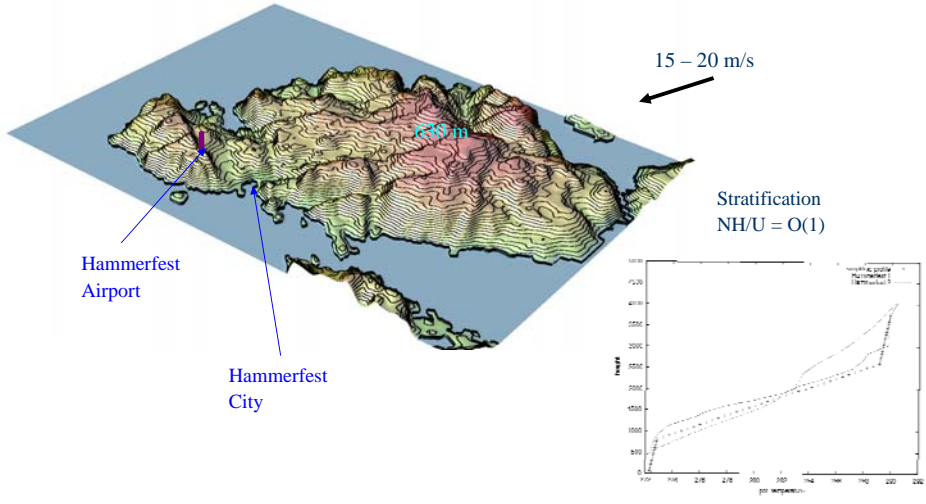
ANVENDELSER

- SPESIELLE UNDERSØKELSER
 - Lokale vindeffekter på konstruksjoner o.l. (eks. Hardangerbrua, o.l.)
- VARSLING: VIND- & TURBULENS
 - Lokale vindeffekter nær flyplasser (eks. Hammerfest, Sandnessjøen,...)

Lokale prediksjoner: strømningstyper

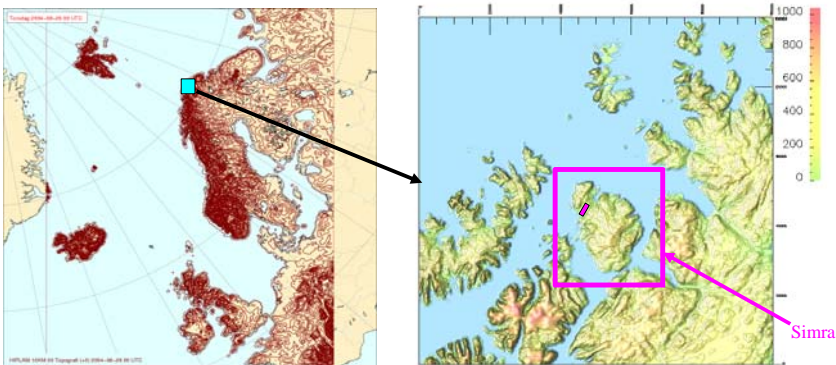


SPECIALSTUDIE: Hammerfest Lufthavn, 1/5 2005

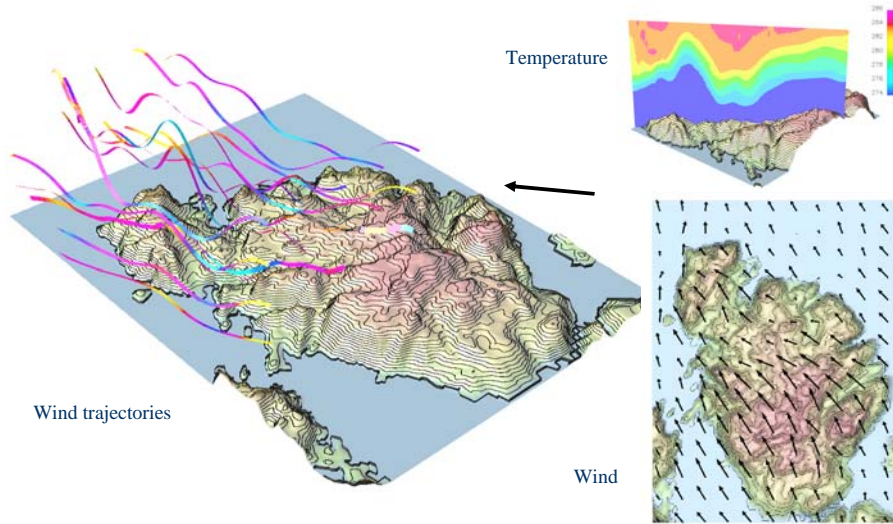


(forts) Hammerfest Lufthavn - nestet modelleringsystem

Hirlam10 ---> UM4 ---> UM1 ---> Simra



(forts) Hammerfest Lufthavn (2005-05-01)
- beregnet vind-trajektorer & temperaturprofil

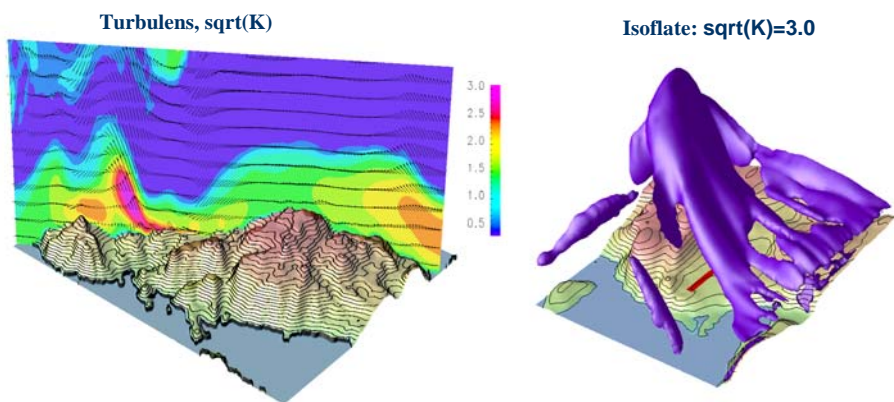


SINTEF

ICT

1

(forts) Hammerfest Lufthavn (2005-05-01)
- beregnet turbulens



SINTEF

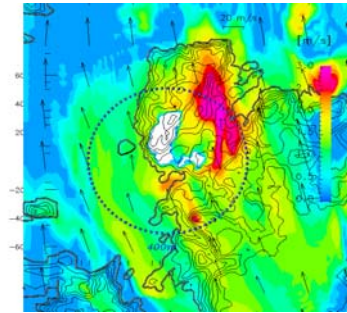
ICT

1

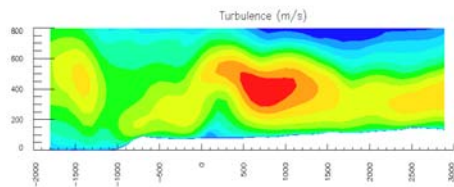
(forts) Hammerfest Lufthavn (2005-05-01)

Kjeglesnitt:

Wind Speed (Arrow)
Turbulence (Colour)



Turbulence



FLYSIKKERHET

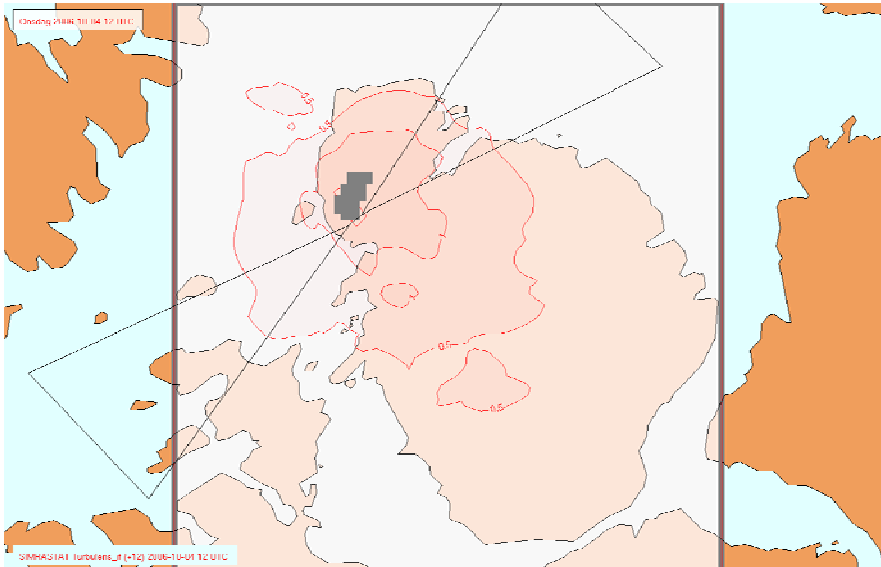
High risk when:
 $\text{sqrt}(K) > 3.5 \text{ m/s}$
&
 $F(K,u,w) < -0.5$

Turbulence intensity:
 $I := \text{sqrt}(K)/U_0$

Restriction on wind speed
 $U \leq 3.5/I$

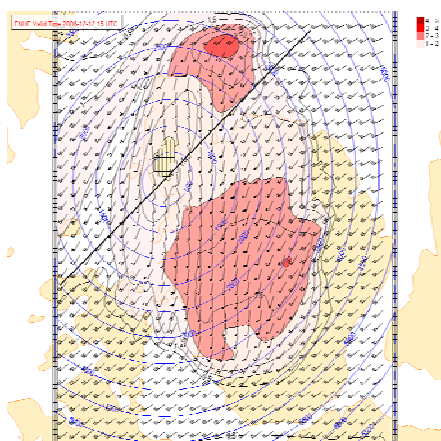
Example: $I = 0.25$
Acceptable wind speed:
 $U \leq 16 \text{ m/s}$

VARSLING: Hammerfest Lufthavn

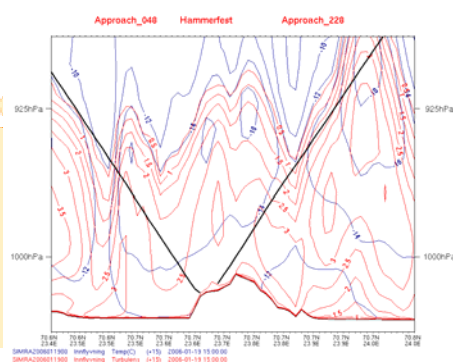


(forts) Hammerfest Lufthavn, varsling

ovenfra (kjeglesnitt)



vertikal seksjon



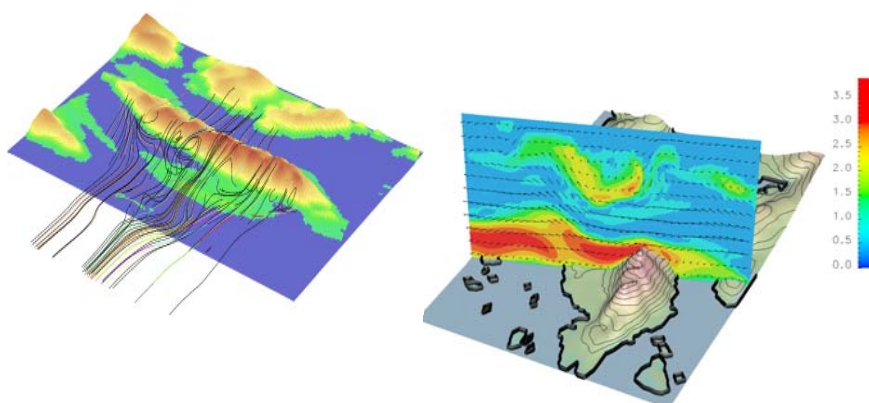
SINTEF

ICT

1

Sandnessjøen Lufthavn

- Typiske vind/turbulenssituasjoner, SE vind



SINTEF

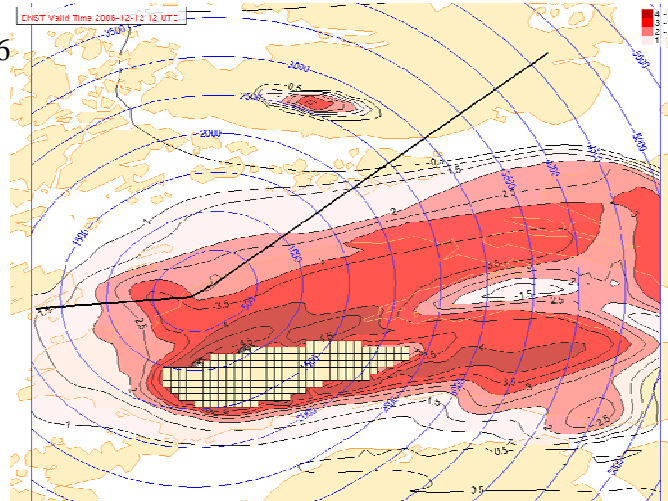
ICT

1

Sandnessjøen Lufthavn, varsling

Kjeglesnitt, ovenfra

12/12-06



SINTEF

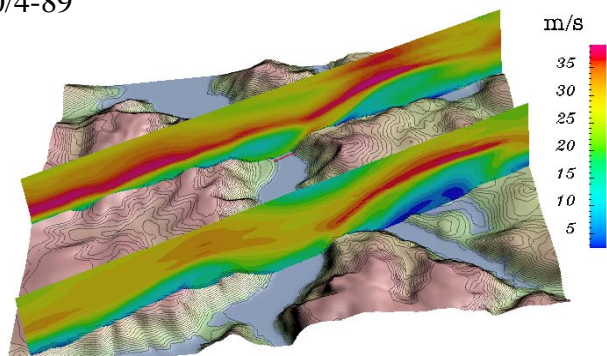
ICT

1

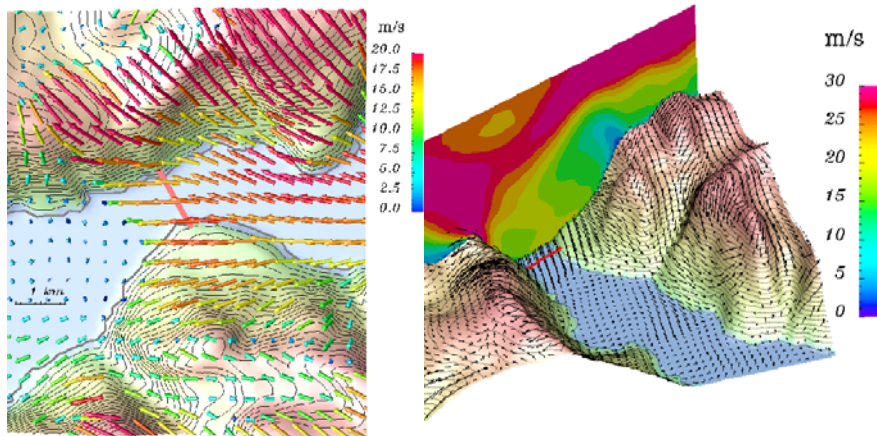
SPESIALSTUDIE: Hardangerbrua

- Stasjonsdata brukt for valg av sim.tilfeller
>> 3 tilfeller simulert

10/4-89



(forts) Hardangerbrua



Relativt bra samsvar med punktobservasjoner

Vindenergi

■ MODELLSYSTEMET:

- har (foreløpig) ikke vært brukt i vindenergi-sammenheng
- kan brukes til å evaluere vindenergipotensiale
- statistikk fra historiske vinddata vha simuleringer mulig
- modellen er godt egnet til å inkludere terrengeffekter
- eksperimenter: forsterkningsfaktor $E/E_0 = O(5)$ mulig

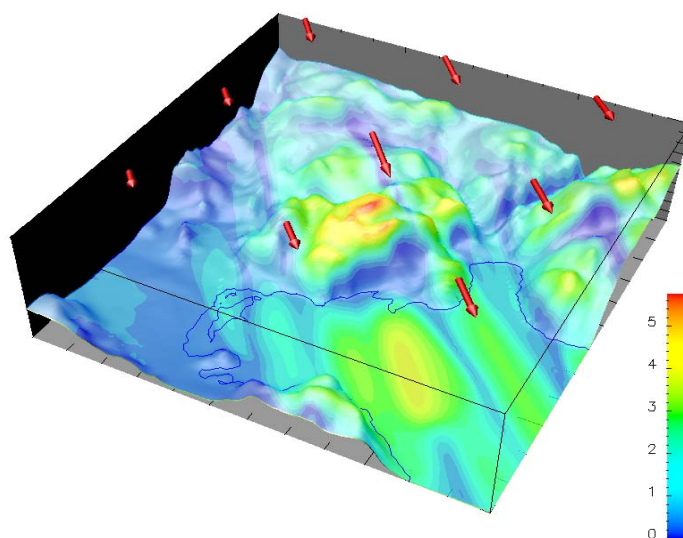
Avsluttende bemerkninger

■ LOKALT MODELLSYSTEM

- er inkludert del av et globalt værvarslingssystem
- er idag operativt for flere flyplasser
- lokal assimilering under vurdering
- generaliseringer av lokal modell (algoritmer, turb.mod.)
- systemet *kan* brukes til å evaluere vindenergi

Vindenergi, forsterkningsfaktor

eksempel Gjevingåsen



Utvikling av SIMRA

■ SIMRA

- Fysikk: geofysikk, turbulent stratifisert strømning
- Numerikk: FEM, paralellisering, F90

■ Prosjekter med **AVINOR**

- Startet i 1992 med Værøy-ulykken
- Simuleringer for flere flyplasser
- Nesting med MIs storskala met.modeller

■ NOTUR-TTP

- **Paralellisering** av lokal modell SIMRA (2002-2005)

**RISØ**

Offshore winds from satellite

Kartlegning av offshore vindforhold ved bruk av satellittobservasjoner

Charlotte Bay Hasager, Merete Bruun Christiansen, Poul Astrup,
Morten Nielsen

Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn?
Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007

Risø's mission is to create new knowledge based on world-class research, and to ensure that our knowledge is used to promote the development of an innovative and sustainable society



www.risoe.dk

**RISØ**


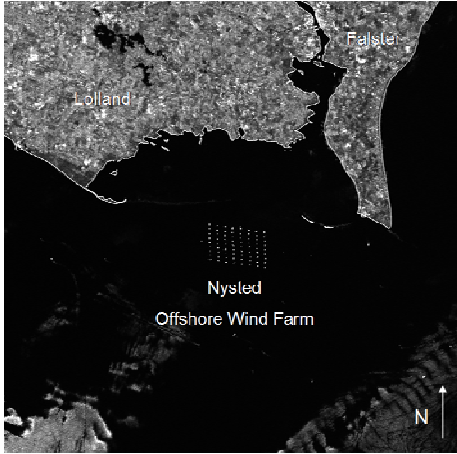
Offshore wind energy





Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn? Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007

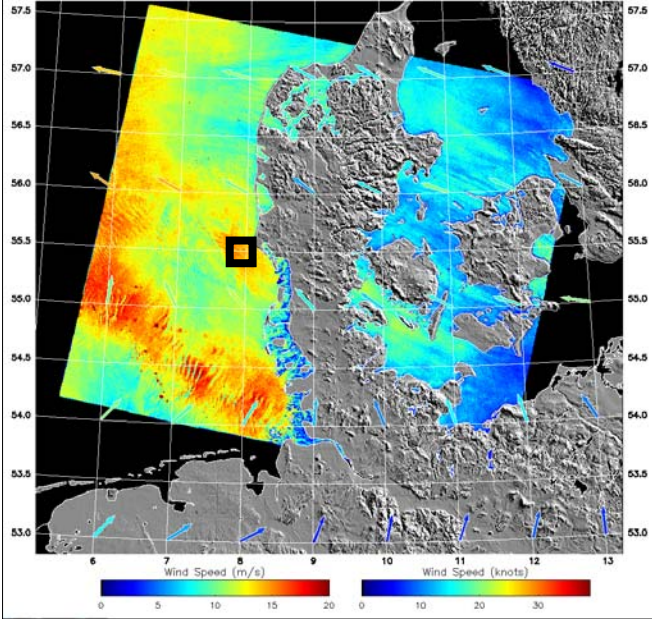
Based on radar satellite images of high resolution

Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn? Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007

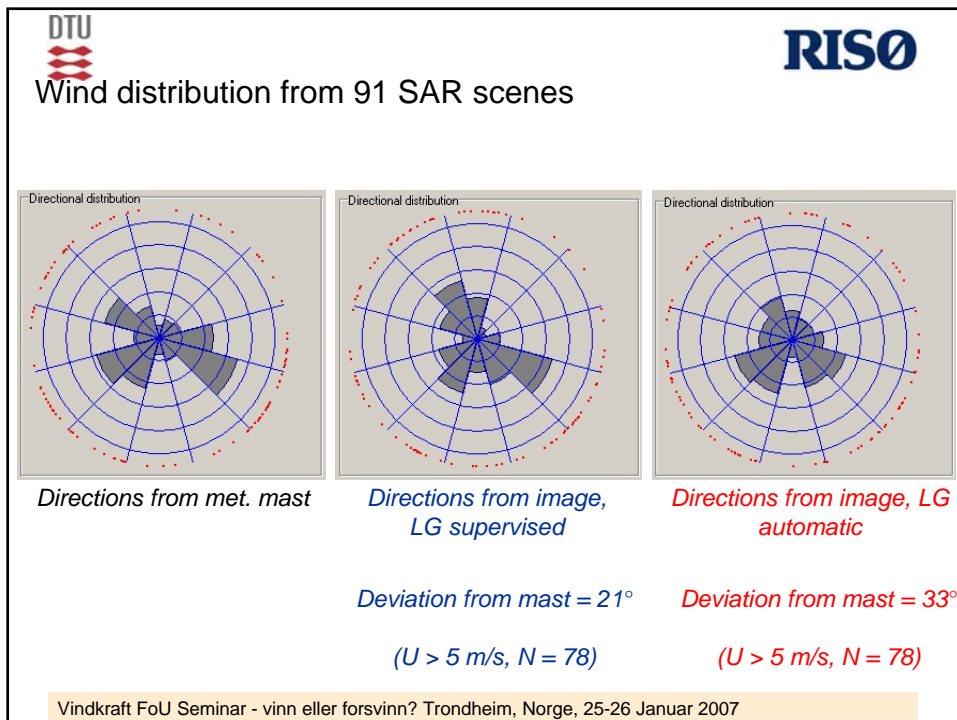
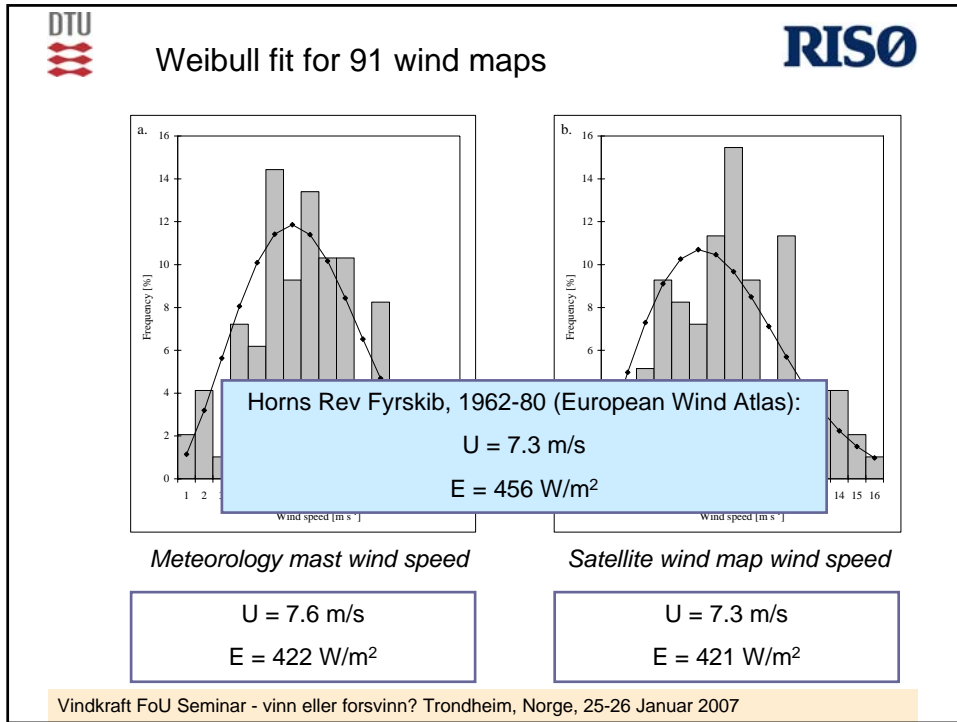
_WSM_1PPIPA20040623_094633_000000672028_00022_12100_0140.N1 with NOGAPS Wind Directi

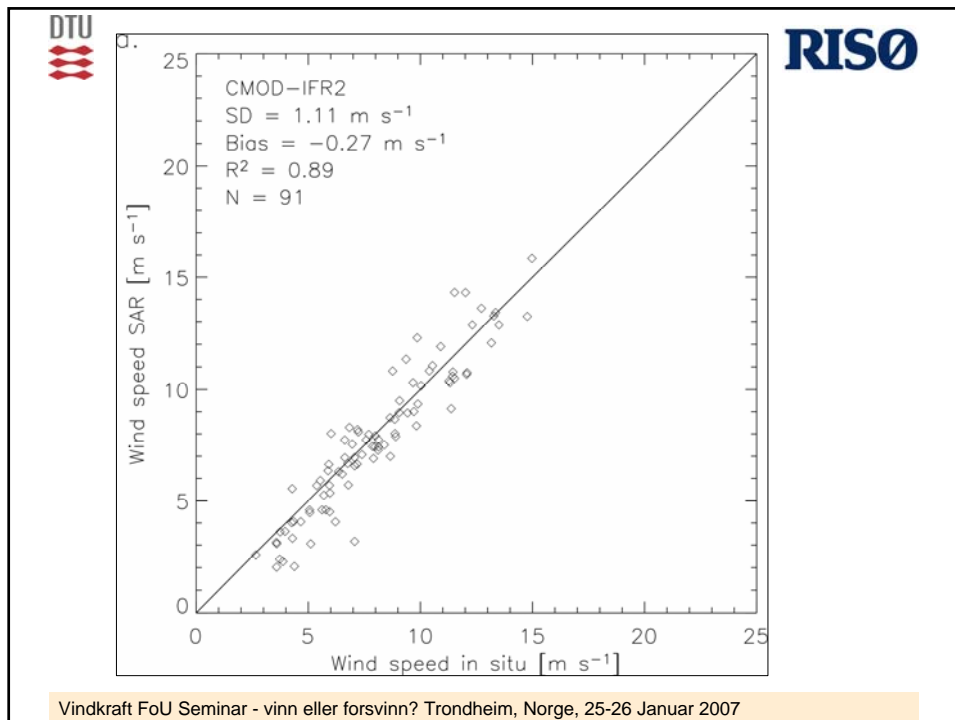


We calculate from radar raw data to satellite wind maps

Envisat ASAR

Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn? Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007





DTU

RISO

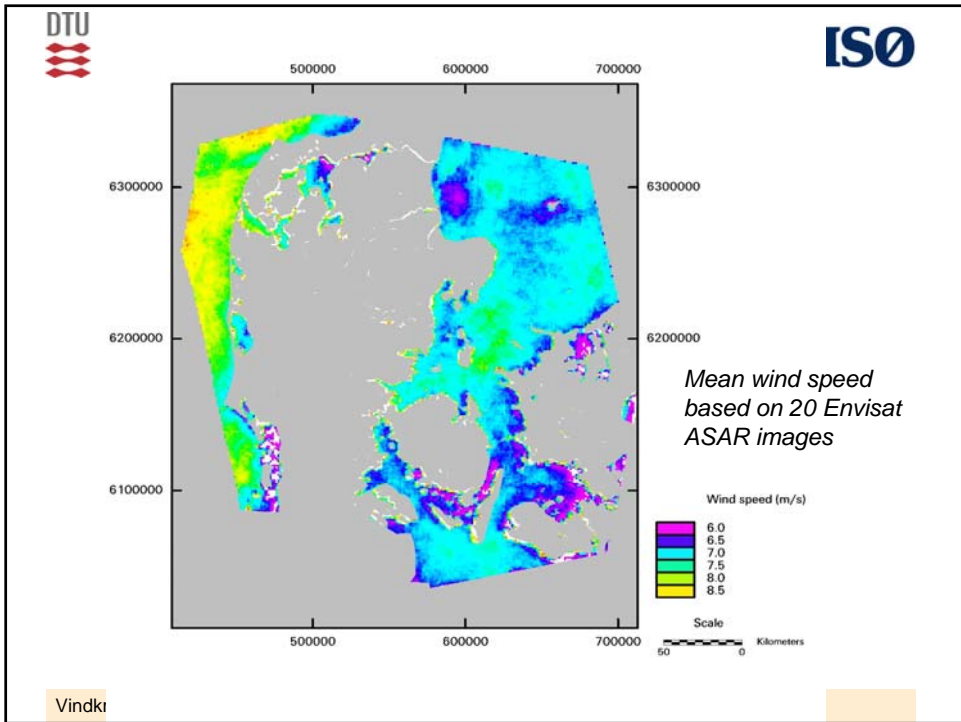
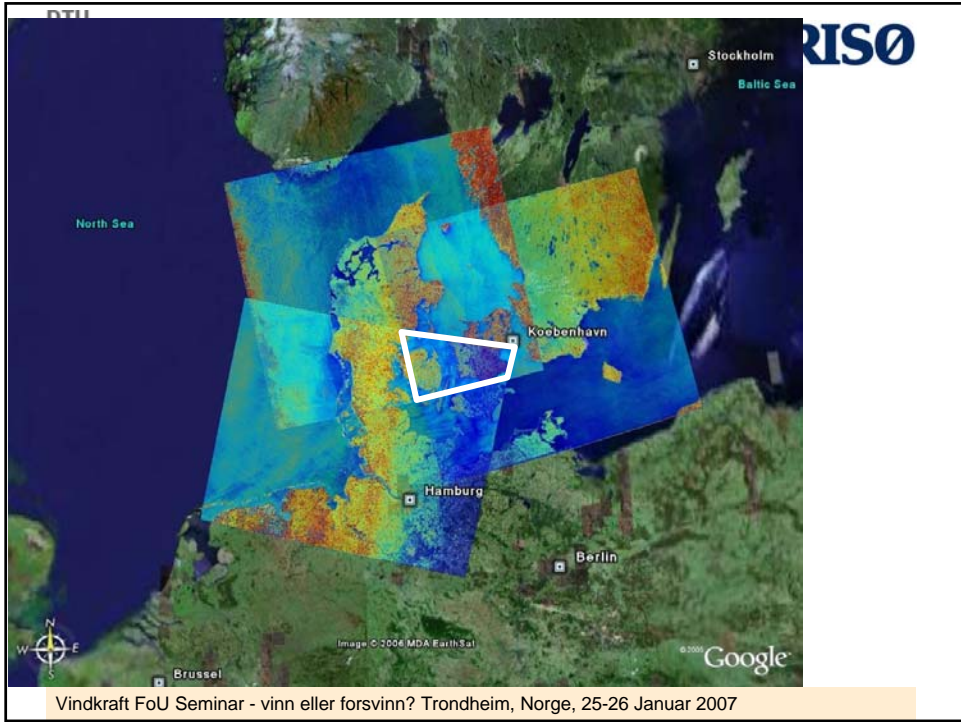
Atmospheric influences
- altering the vertical wind profile

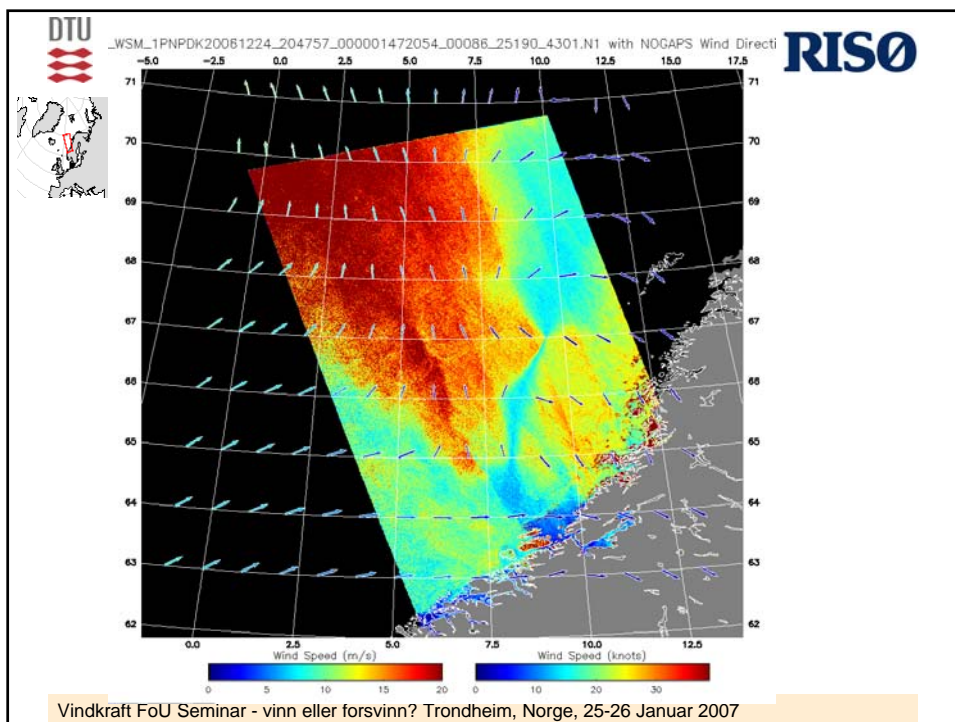
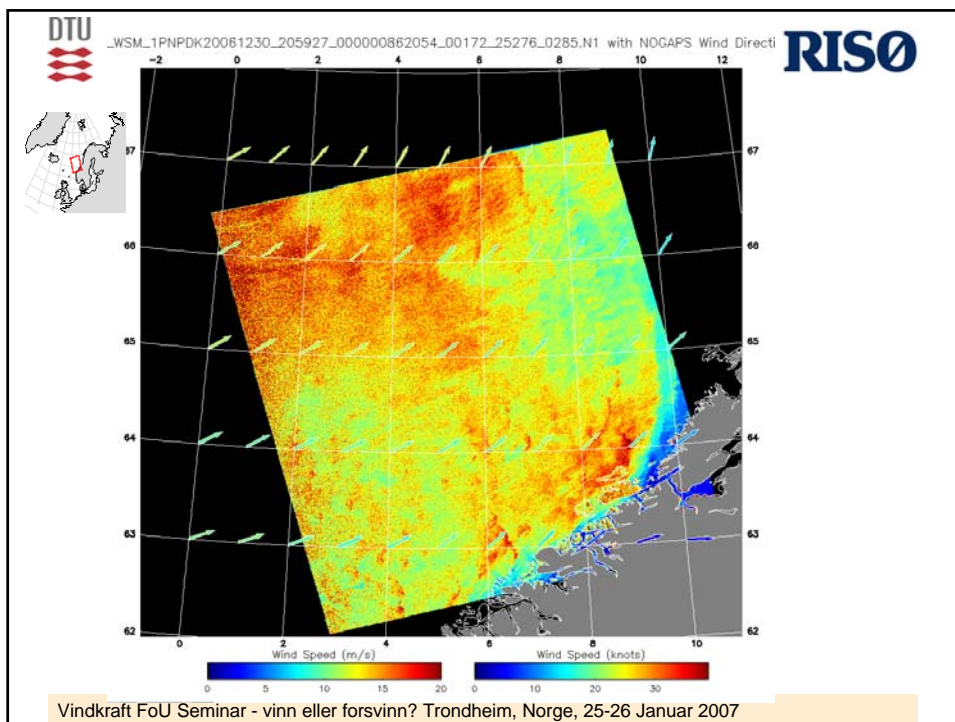
	SD [m s ⁻¹]	Bias [m s ⁻¹]	R ²	N
Onshore winds	1.10	-0.06	0.89	49
Offshore winds	1.08	-0.52	0.88	42

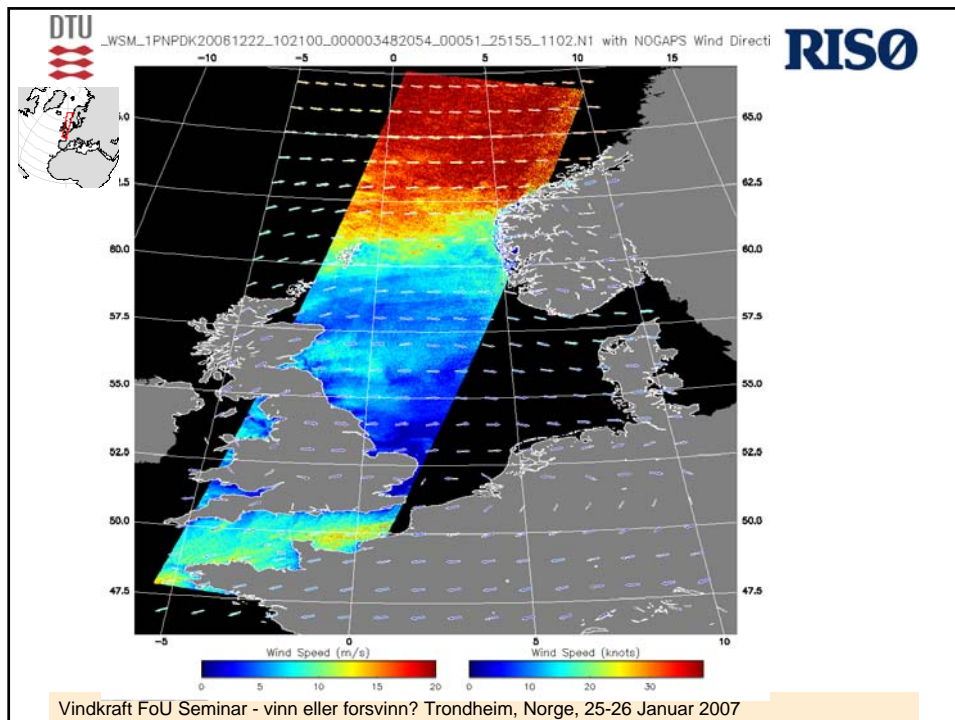


	SD [m s ⁻¹]	Bias [m s ⁻¹]	R ²	N
Stable	1.47	-0.86	0.88	11
Near-neutral	0.95	-0.13	0.93	22
Unstable	1.06	-0.26	0.85	52

	SD [m s ⁻¹]	Bias [m s ⁻¹]	R ²	N
No wind farm	0.93	-0.57	0.90	46
Wind farm	1.20	0.04	0.87	45

Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn? Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007





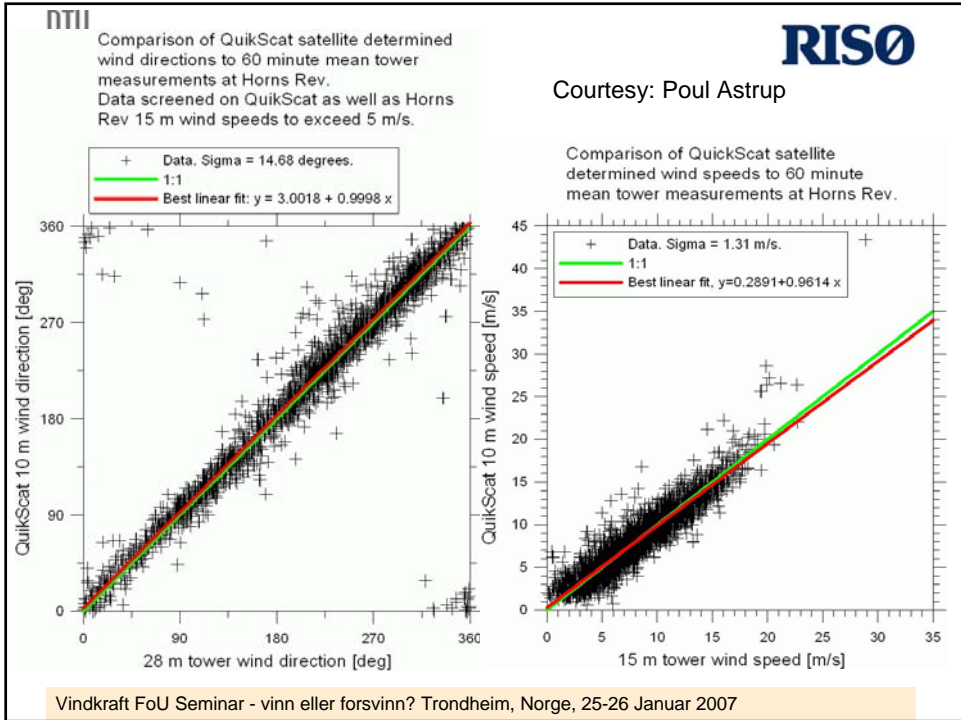
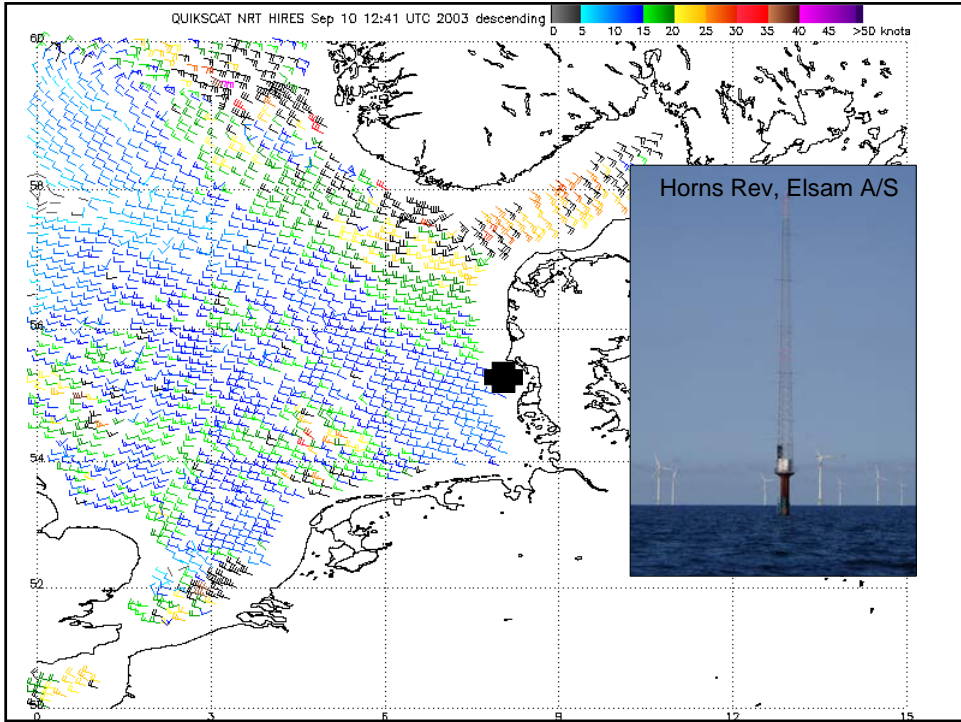




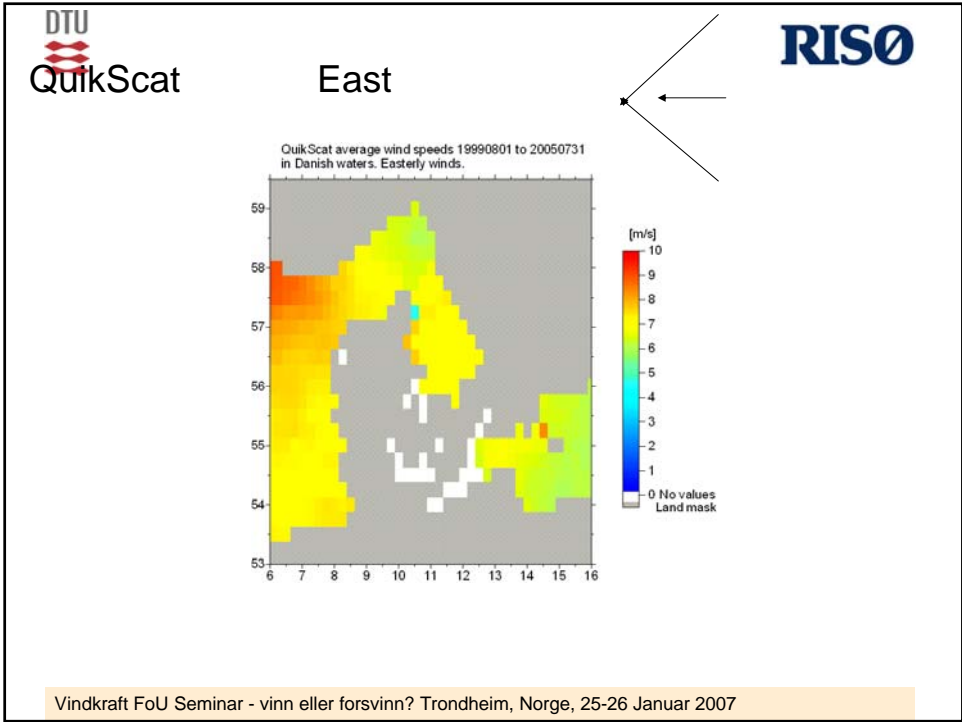
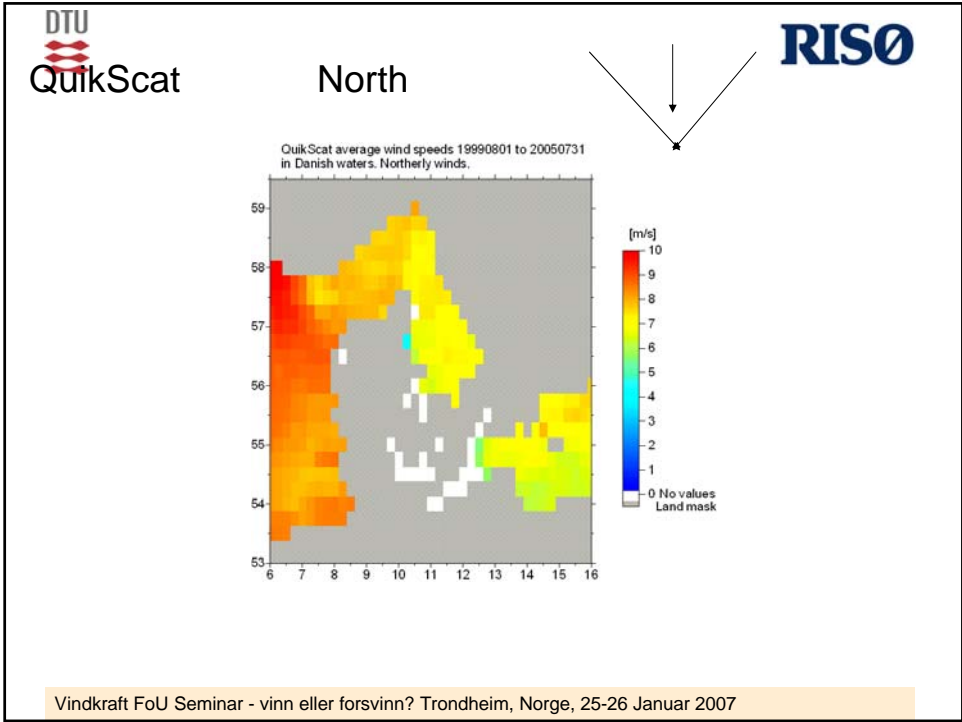
Visit our online wind maps based on Envisat ASAR at

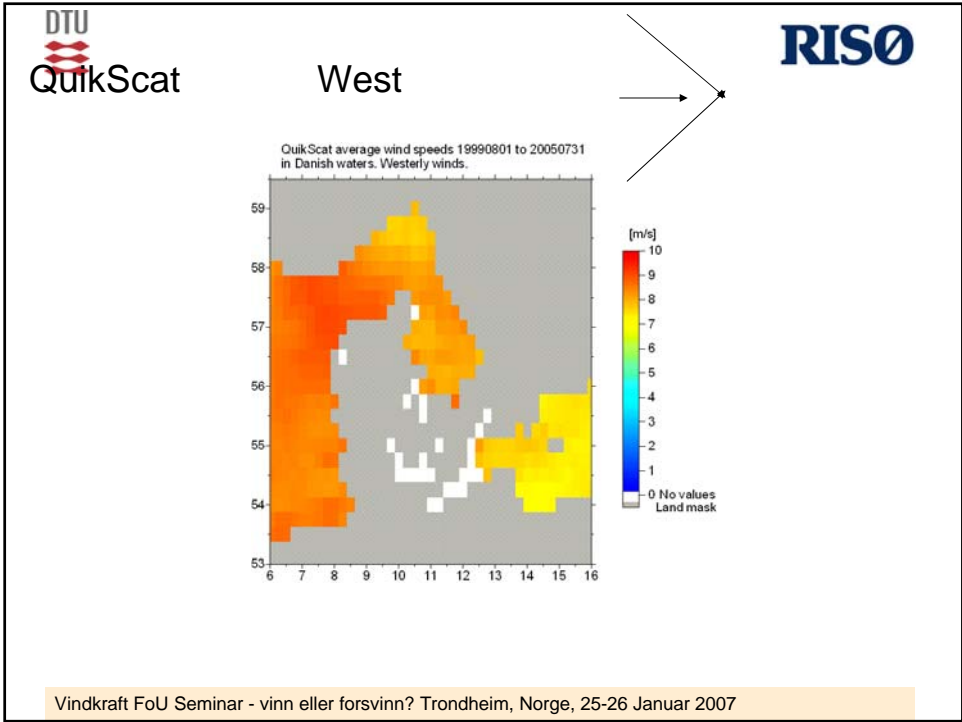
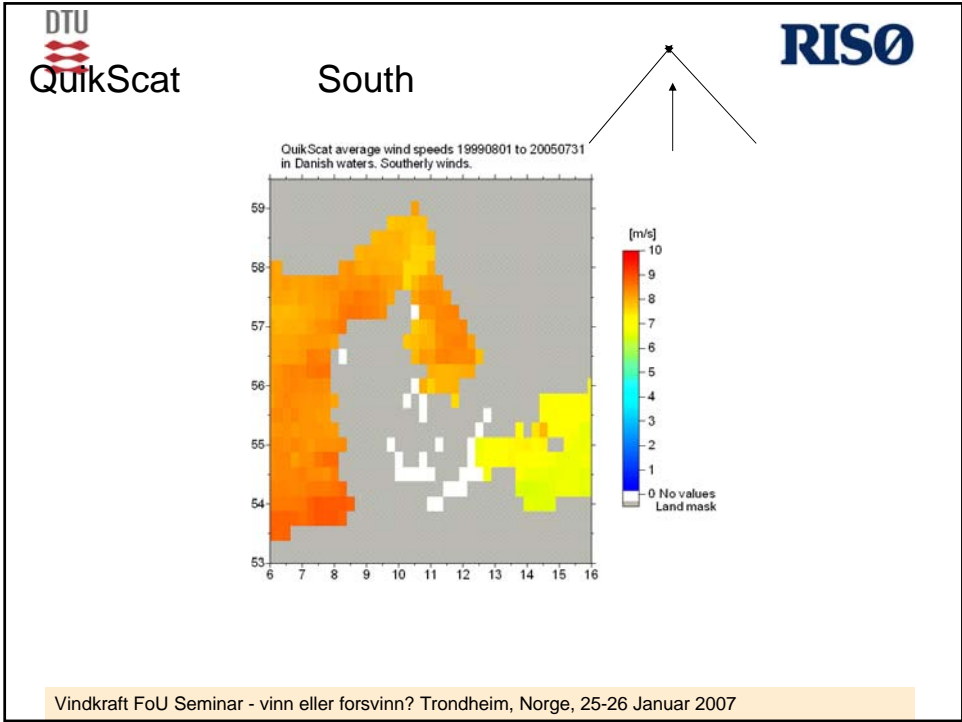
http://www.risoe.dk/galathea/opslag/satellit_arkiv.htm

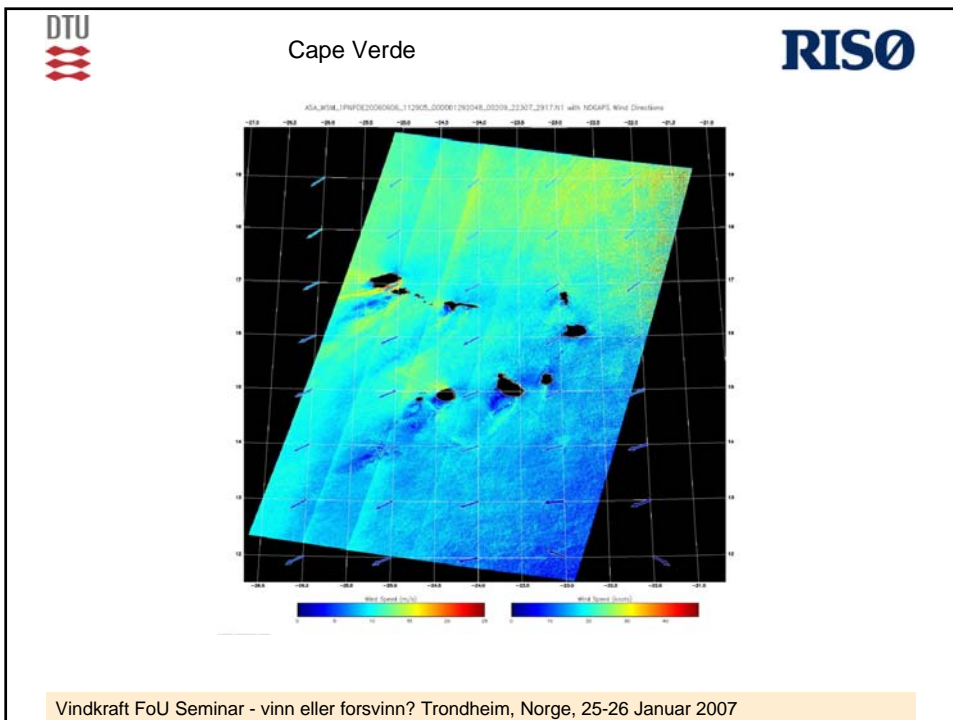
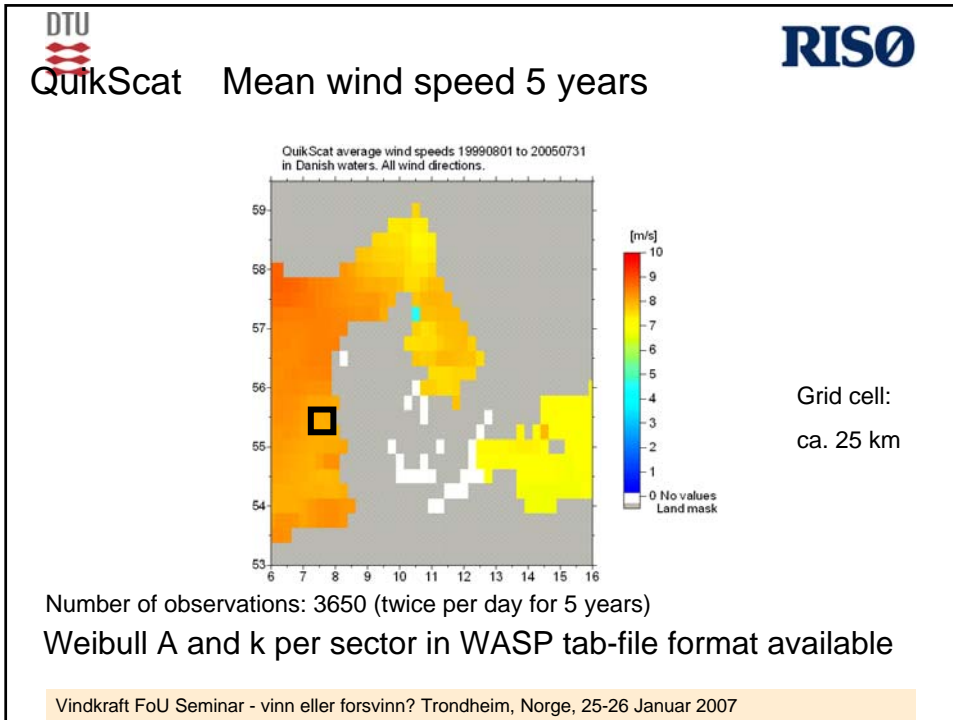
Merete Bruun Christiansen
in cooperation with JHU APL (USA)

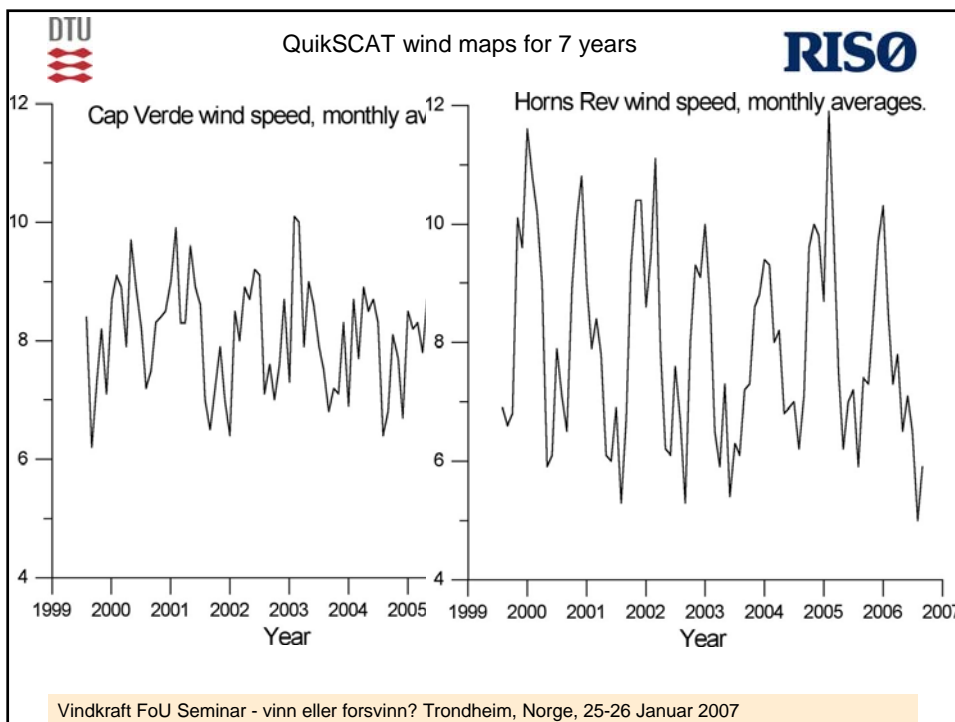
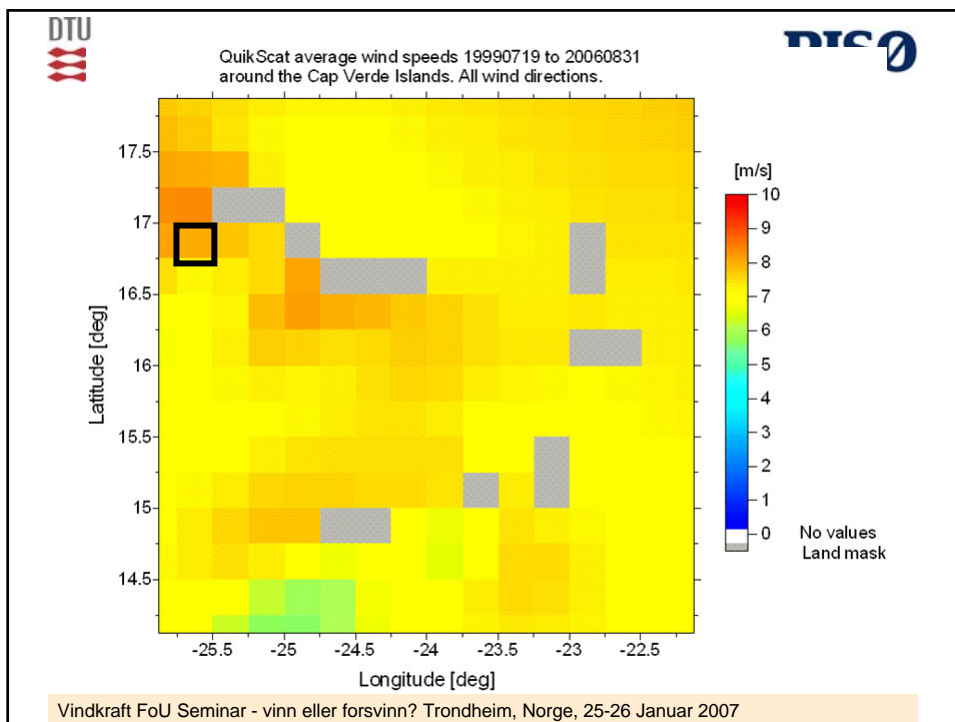
Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn? Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007

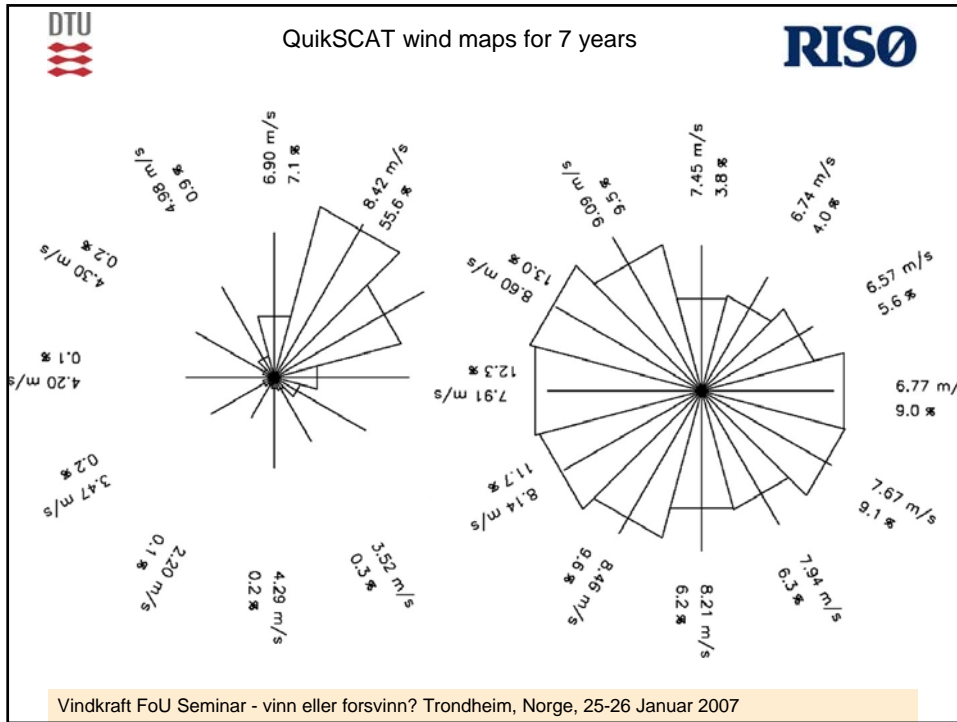












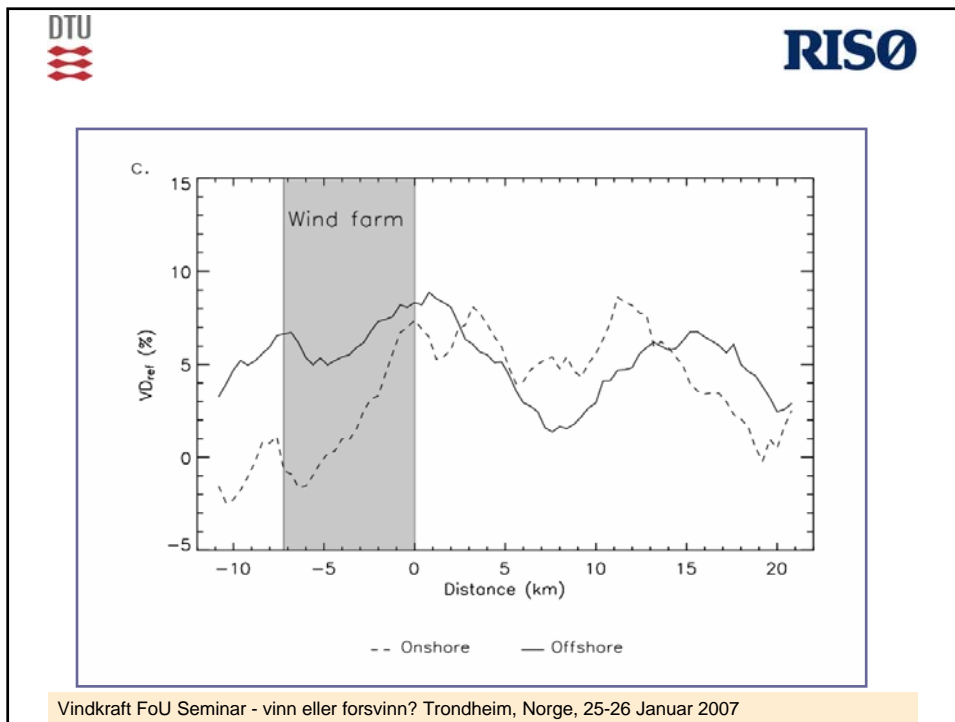
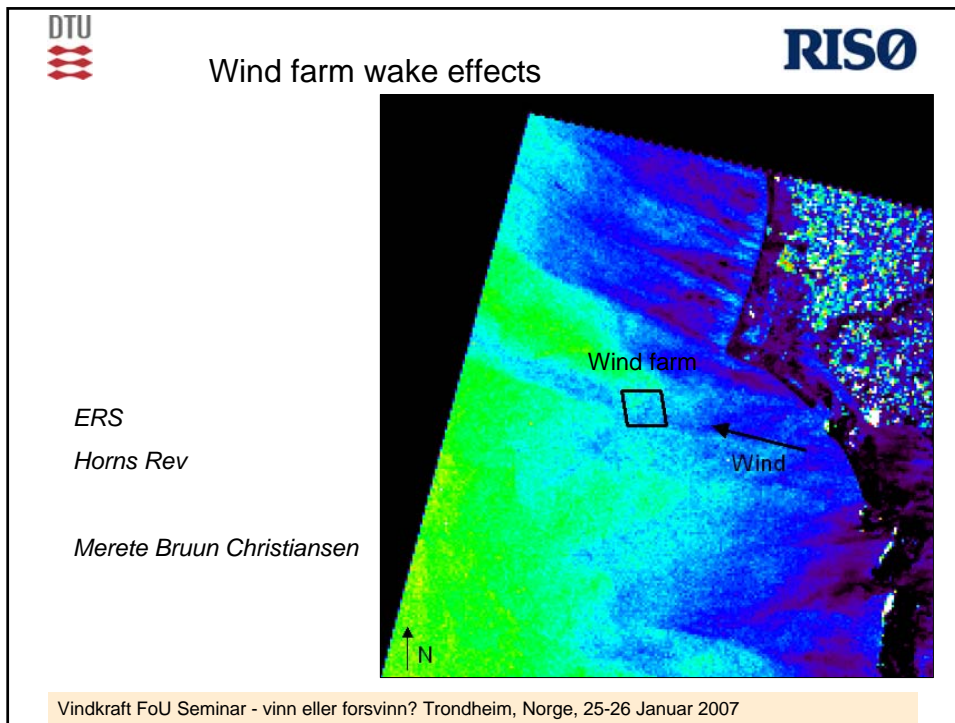
	Longitude and latitude (°)	Mean wind speed (m/s)	Weibull A (m/s)	Weibull k
Cape Verde	334.25 E, 16.75 N	8.04	8.86	4.57
Denmark	7.75 E, 55.50 N	7.95	9.06	2.26
Cape Horn	67.5 W, 56.50 S	11.2	12.88	2.44

DTU


QuikSCAT wind maps for 7 years

RISO

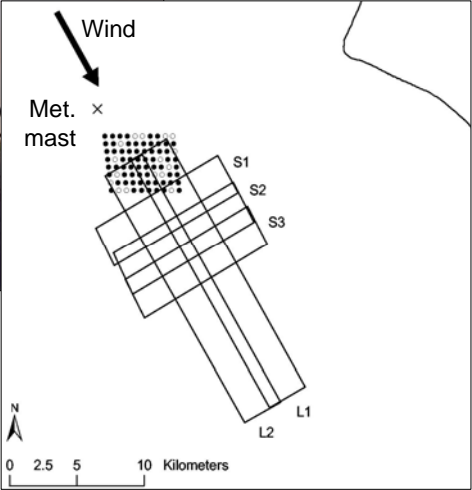
Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn? Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007



DTU Airborne SAR (E-SAR) **RISØ**



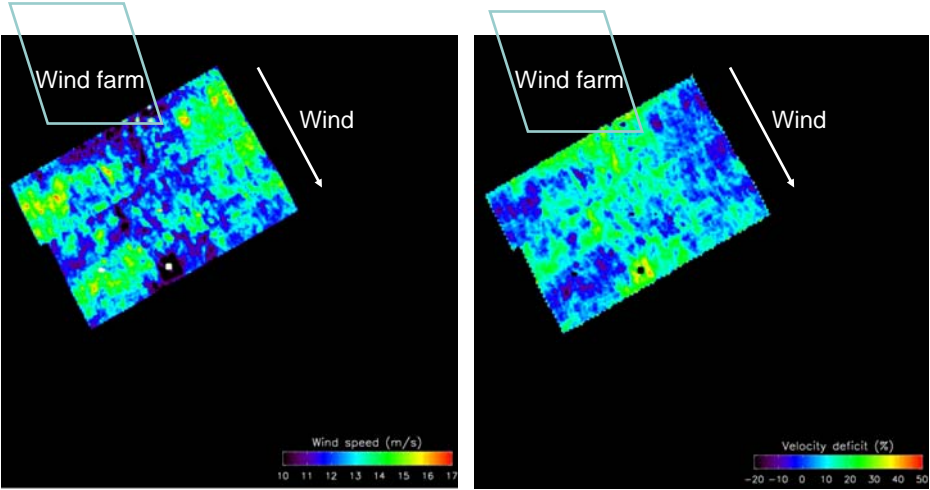
12 October 2003



5 flight tracks in C-band VV

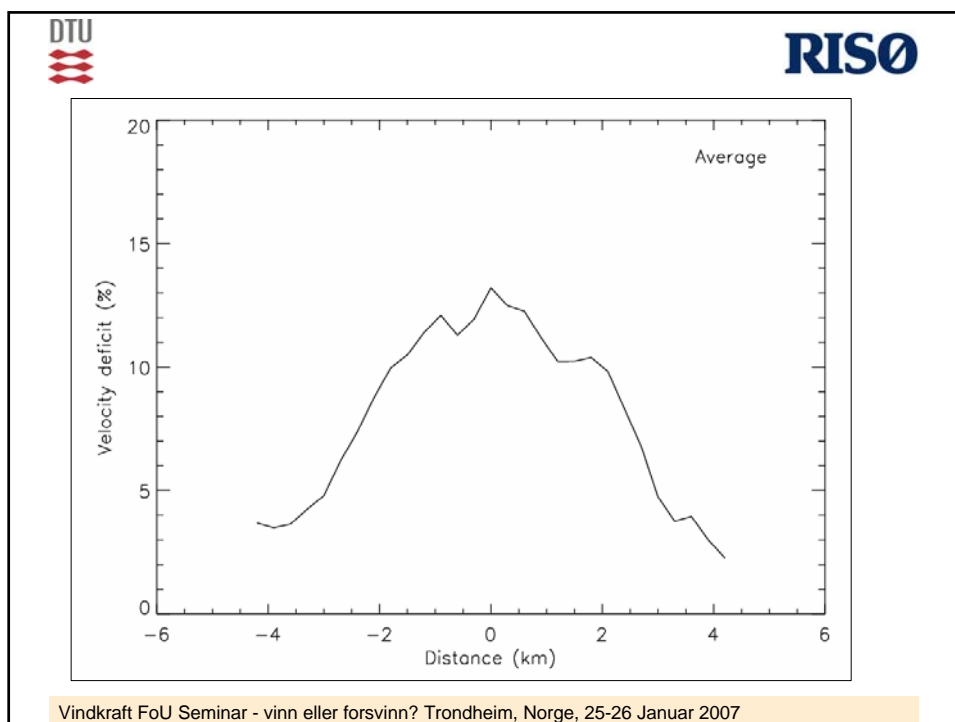
Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn? Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007

DTU Winds from E-SAR in CVV **RISØ**



Merete Bruun Christiansen

Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn? Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007




Conclusions

Wind resources can be estimated from satellite wind maps as a supplement to in-situ data:

- ERS SAR and Envisat ASAR with high spatial but low temporal resolution
- QuikSCAT with medium spatial but high temporal resolution

Wake velocity deficit can be quantified from SAR satellite and airborne wind maps.

Vindkraft FoU Seminar - vinn eller forsvinn? Trondheim, Norge, 25-26 Januar 2007



$$\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial c}{\partial x}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + P - c$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + (1 - c) P - c$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)$$

Energy Optimization

Arne Reidar Gravdahl
WindSim AS

26 January 2007



$$\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial c}{\partial x}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + P - c$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + (1 - c) P - c$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)$$




Content

- WindSim AS
- WindSim
- Energy optimization - Micro-siting



WindSim AS - History

1993	VECTOR AS; CFD consulting
1993 – 1996	Oil & Gas
1997	Wind Energy – Wind resource assessment – Micro-siting
2003	WindSim, PC based software for simulation of local wind fields
2005	VECTOR AS was divided in two companies – WindSim AS; Sale, support and development of WindSim – VECTOR AS; CFD consulting



WindSim office: Jarlsø, 3124 Tønsberg, Norway



WindSim AS - Network

Third party suppliers

CHAM (UK) Developer of the general purpose CFD Package PHOENICS, used as solver in WindSim

Ceetron (Norway) Developer of visualization software used in WindSim

Distribution

China China Electric Power Research Institute, CEPRI

France Arcofluid

Germany VECTOR Deutschland GbR

Greece GSD Ltd.

Italy Studio Rinnovabili

Spain KinTech

Taiwan CHAMPION



WindSim training course in Tønsberg, June 2004


$$\frac{\partial p}{\partial x} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho u \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \rho \dots$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\rho v \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \rho \dots$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\rho w \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \rho \dots$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \dots$$

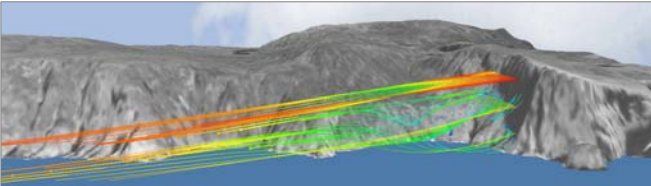


WindSim

WindSim is a software for prediction of local wind fields

WindSim is based on a 3D Reynolds Averaged Navier Stokes solver. Solving the non-linear transport equations for mass, momentum and energy makes WindSim a suitable tool for simulations in complex terrain, and in situations with complex local climatology.

For many industries, precise knowledge on wind patterns and speed is crucial for their business performance.



Lee side recirculation zone at Mehuken in Norway. Model resolution 40x40 meters.


$$\frac{\partial p}{\partial x} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho u \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \rho \dots$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\rho v \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \rho \dots$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\rho w \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \rho \dots$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \dots$$




Micro-siting


Identifies the optimal turbine location for maximum energy production

INPUT


Terrain

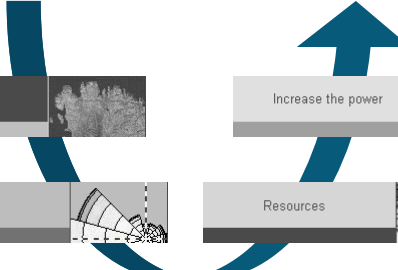


Climatology




Simulations






OUTPUT

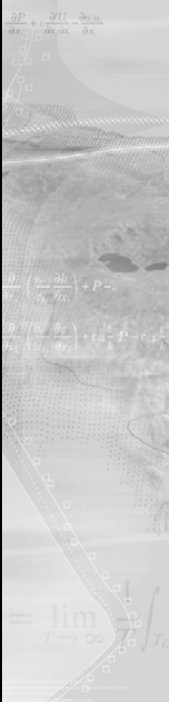
Increase the power




Resources



3





Torrild – Simple terrain

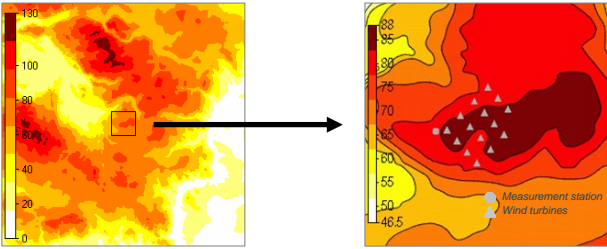
Location: Torrild, Denmark, simple terrain

Wind farm: 15 Bonus 150 kW turbines with 30 meters hub height, height variation within the wind farm is 6 meters

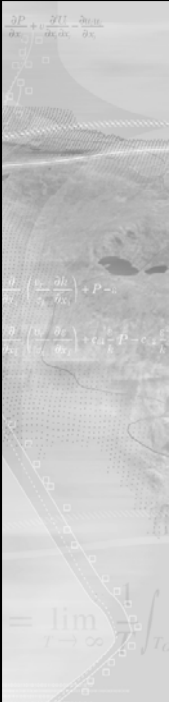
Climatology: February to October 2000, measurement height 30 meters, mean wind speed 5.6 m/s


Models: Nesting, 20x20 km into 2x2 km with resolution 20x20 meters, number of cells is 200 000

Project: VECTOR AS/EMD, 2002

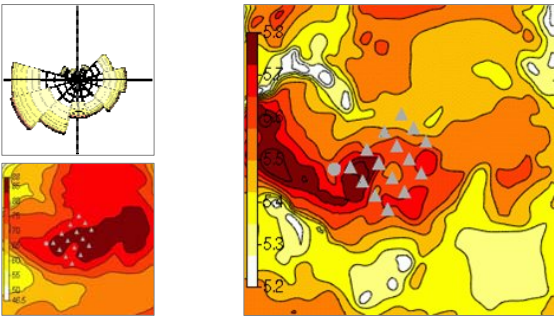


Digital terrain model with elevation in meters. Left side 20x20 km model, right side 2x2 km model with a 20x20 meters grid resolution



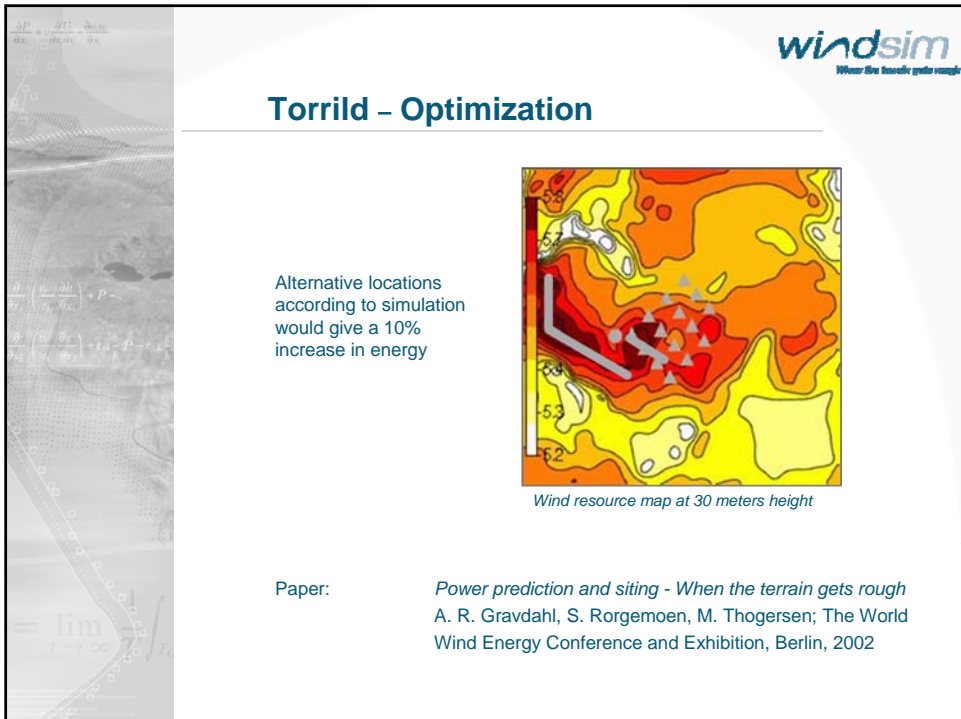
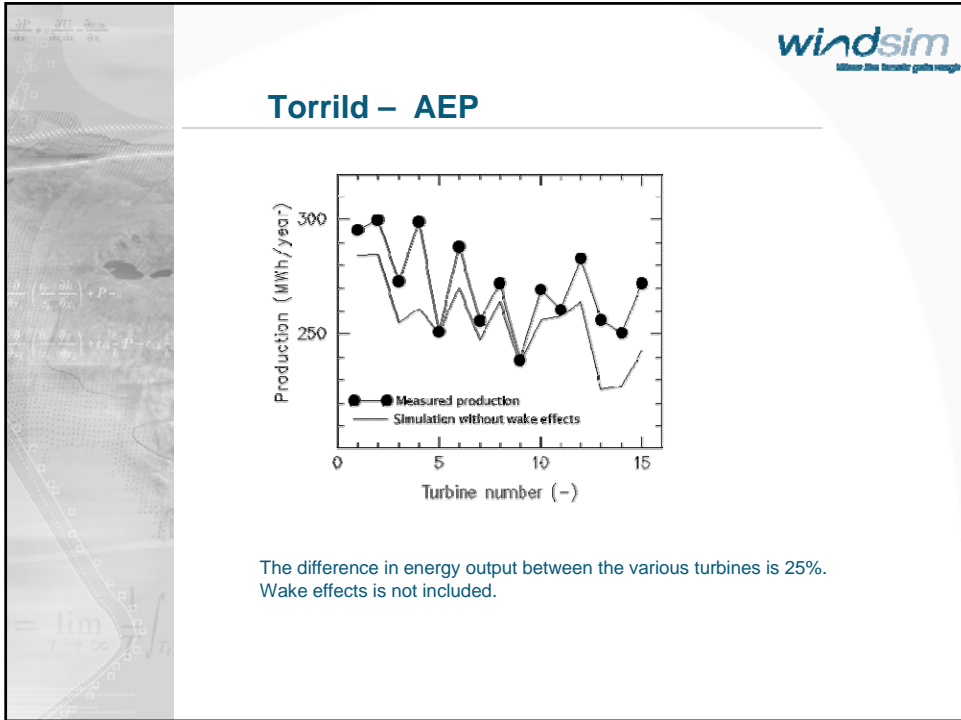


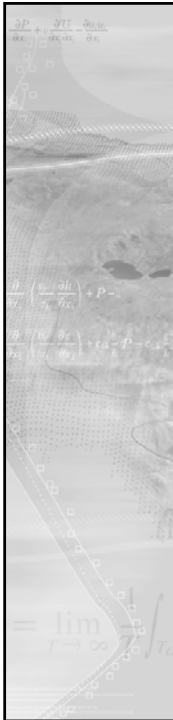
Torrild – Resources




Wind resource map at 30 meters height

There is no simple coincidence between high wind speed areas and high altitude areas. Simulations shows that areas west of the wind farm display the best wind conditions. This area has terrain gradients perpendicular to the main wind directions, giving significant speed-ups.

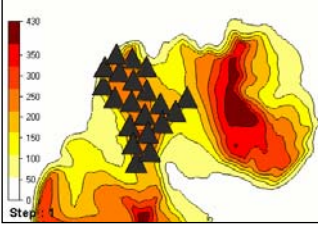




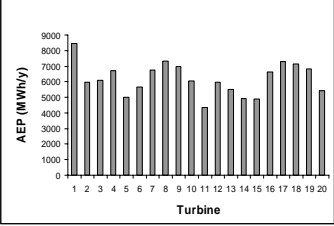


Complex terrain – Min and Max

Location: Complex terrain
 Wind farm: 2 MW turbines with 80 meters hub height, height variation within the wind farm is in the order of 100 meters

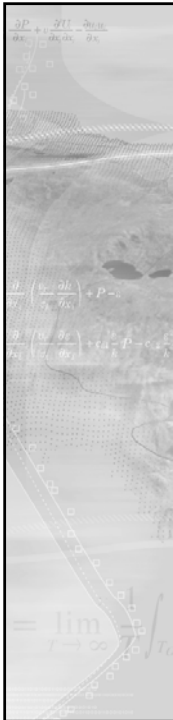



Digital terrain model with elevation (m).



Annual energy production based on simulations, AEP (MWh/y)

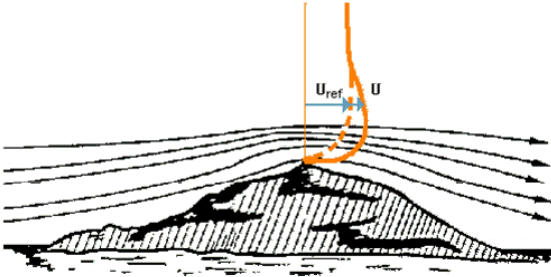
The production varies between 8468 and 4356 MWh/y according to the simulations.





Complex terrain – Speed-up

Speed-ups are observed over hills
 Maximum wind speed near the ground, negative shear
 Reduced need for tall towers



U_{ref} refers to speed over a flat area, U refers to the perturbed speed over a hill top. The speed-up is given as U/U_{ref}


$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \frac{\partial h}{\partial t} \right) + \rho \dots$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \frac{\partial h}{\partial t} \right) + \rho \dots$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \frac{\partial h}{\partial t} \right) + \rho \dots$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \dots$$



Hundhammerfjellet

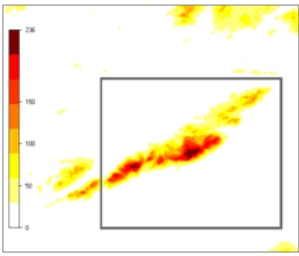

Location: Hundhammerfjellet, Norway

Wind farm: Under construction, 17 turbines, mainly 3 MW, with 80 meters hub height, height variation within the wind farm is 60 meters

Climatology: Two measurement masts, 30 and 50 meters high

Models: Nesting, 15x15 km into 5x3.5 km with resolution 25x25 meters. Refinement, 9x7,5 km with finest resolution of 30x30 meters, number of cells is 800 000

Project: VECTOR AS, 2004

Digital terrain model with elevation in meters. 9x7.5 km model in grey frame


Hundhammerfjellet, photomontage

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}$$

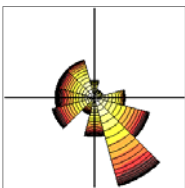
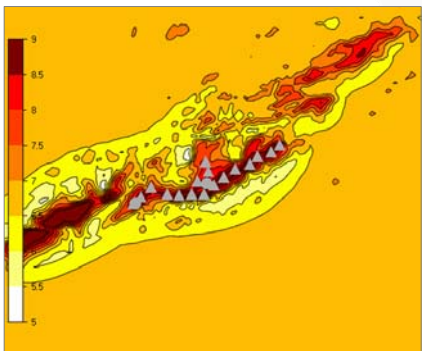
$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \frac{\partial h}{\partial t} \right) + \rho \dots$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \frac{\partial h}{\partial t} \right) + \rho \dots$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \dots$$

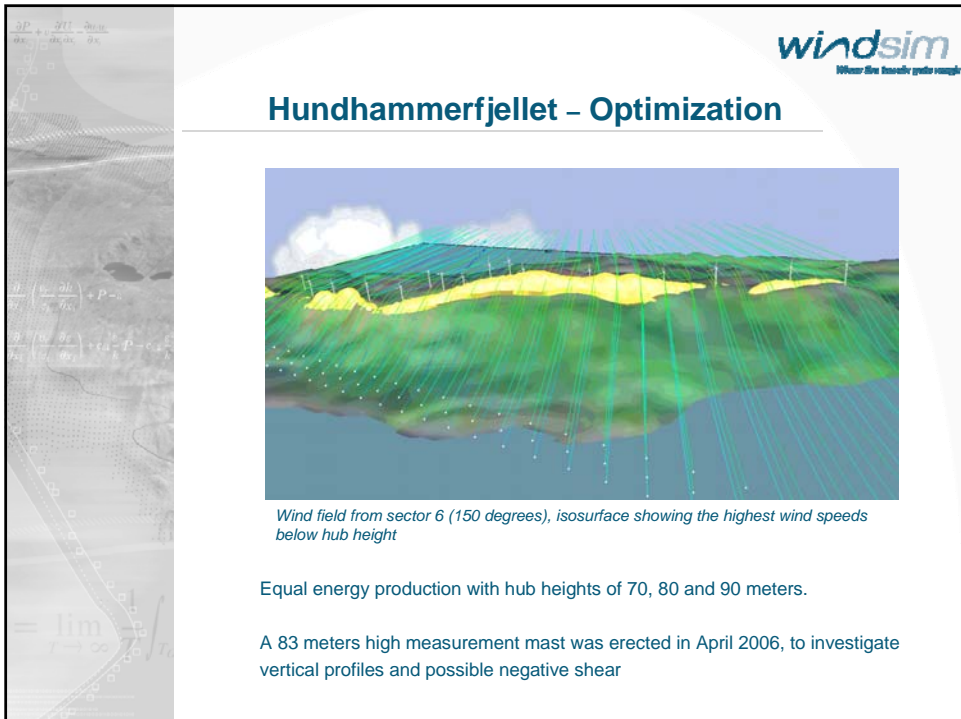
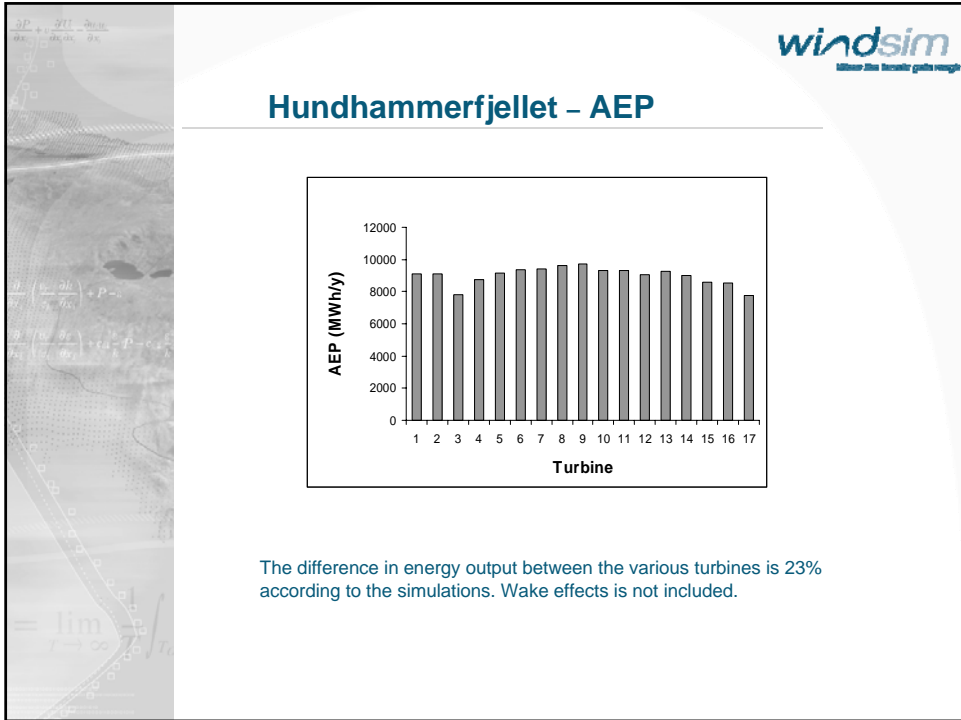


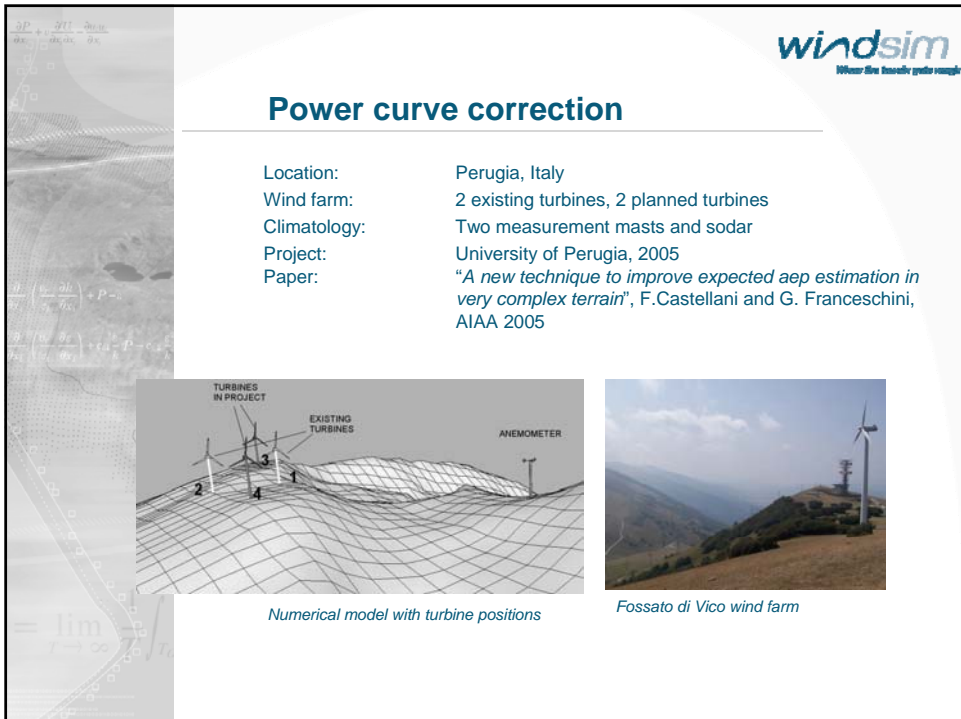
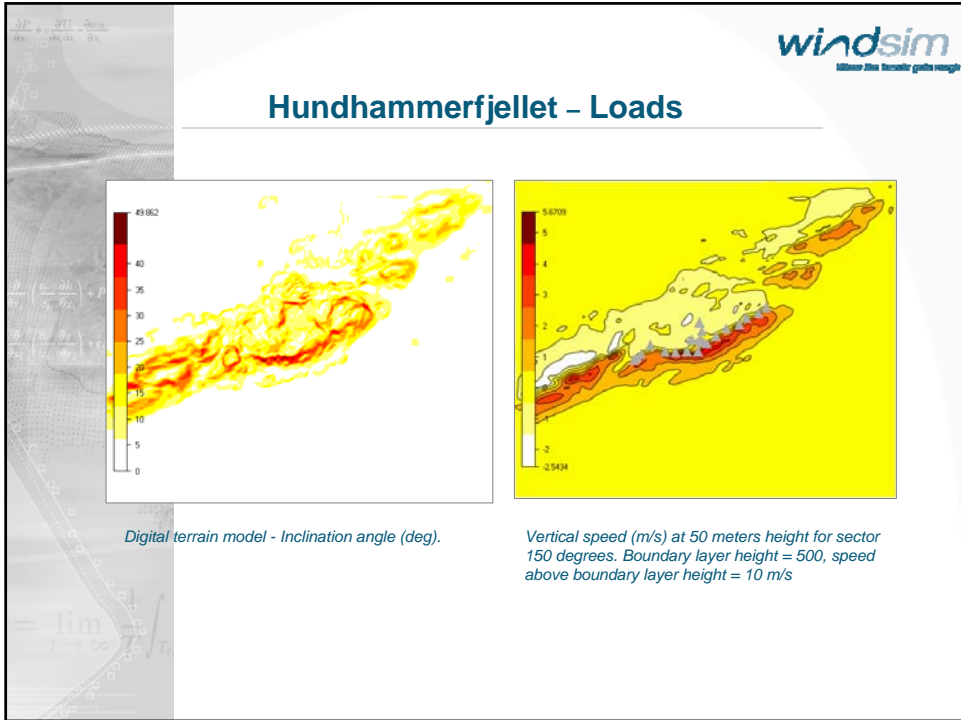
Hundhammerfjellet – Resources

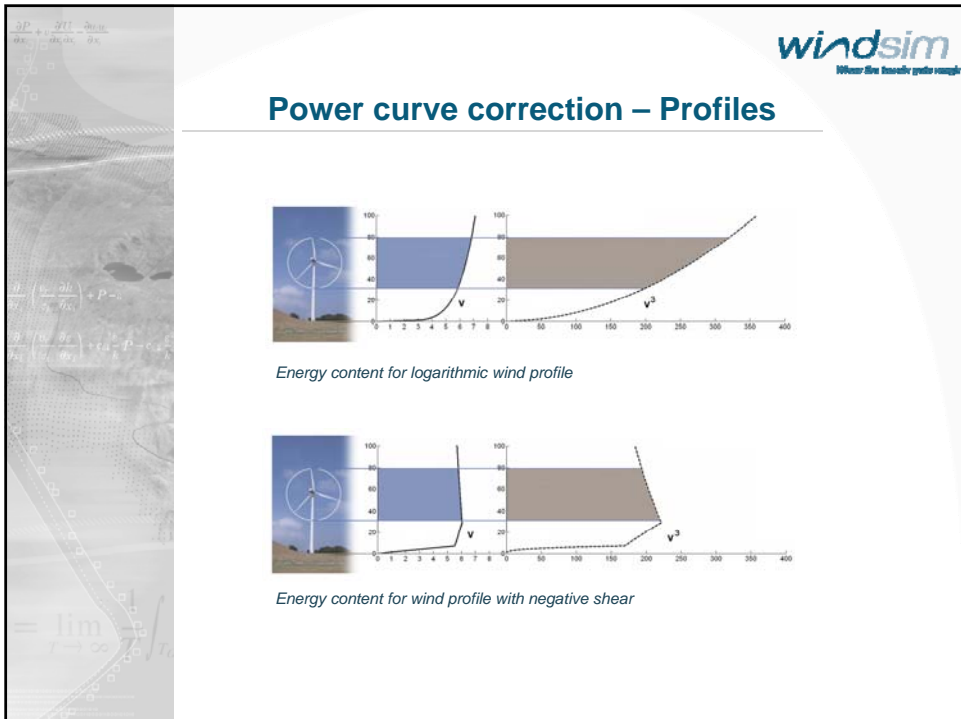
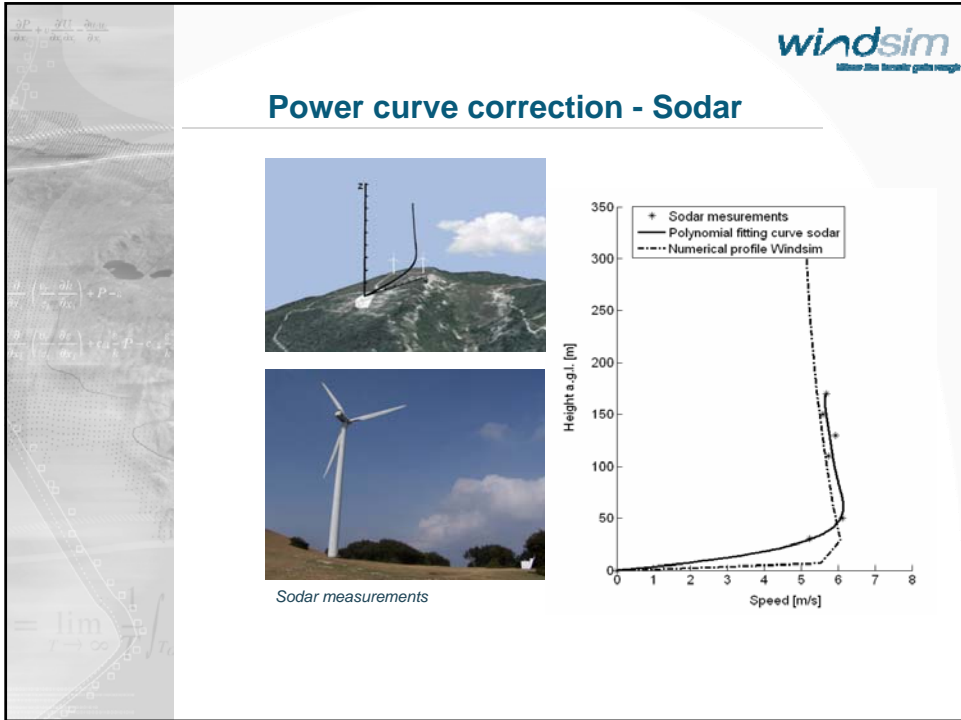



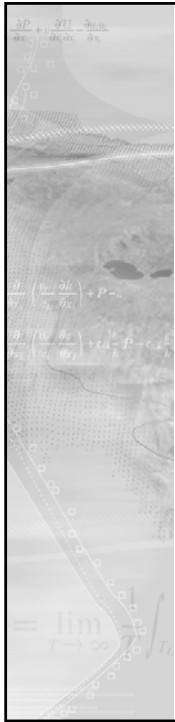
Wind resource map at 80 meters height


Main wind direction from sector 6 (150 degrees) is more or less perpendicular to crest. Small possibilities to optimize the energy due to limited space along the crest





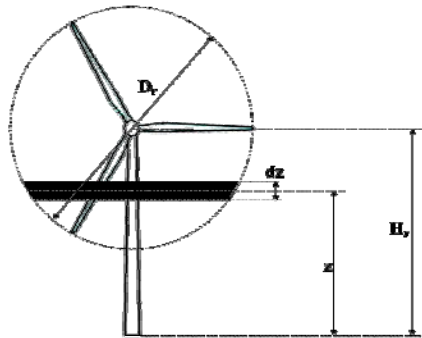






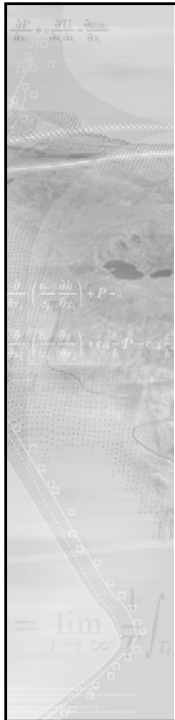
Power curve correction


$$P(v(z)) = \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{27} \cdot \rho \cdot \int_{H_r - \left(\frac{D_r}{2}\right)}^{H_r + \left(\frac{D_r}{2}\right)} 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_r}{2}\right)^2 - (H_r - z)^2} \cdot v(z)^3 dz$$



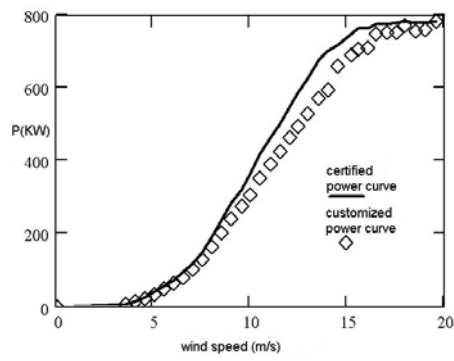
$$R = \frac{P(\text{numerical profile})}{P(\text{exponential profile})}$$


$$P_{\text{cor}}(v, m) = R(v, m) * P_{\text{cer}}(v)$$






Power curve correction






Test site




Complex site

Certified power curve is established at test site in plane terrain

At complex sites the certified power curve is not valid







Power curve correction

	AEP (GWh/y)
WAsP	3.49
WAsP, power curve correction	3.20
WindSim	2.29
WindSim, power curve correction	1.84
Experimental	1.77


Annual energy production, AEP (GWh/y) for turbine 1







Chieti – Complex terrain

Location: Chieti, Abruzzan, Italy, complex terrain
 Wind farm: 164 ENERCON E 40 turbines with 46 meters hub height
 Models: Nesting, 4 micro models with refinement
 Project: AL-PRO, 2005



164 turbines are grouped in 4 locations marked by blue dots

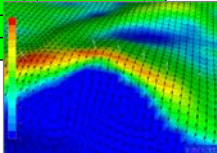




Chieti – Complex terrain

Name	turbulence in %	Maxturbulence in %	Inflowing in °	Stdev inflowing in °	Stdev inclination in °
W-00965-converter_1-Roc	17,8	19,0	-9,9	2,5	2,6
W-00965-converter_2-Roc	17,9	19,0	-9,4	2,5	1,6
W-00965-converter_3-Roc	20,7	22,2	-6,9	3,1	1,9
W-00965-converter_4-Roc	20,8	26,3	-7,1	2,9	2,3
W-00965-converter_5-Fla	85,2	114,9	16,7	9,4	13,2
W-00965-converter_6-Fla	70,2	95,1	12,2	2,7	6,5
W-00965-converter_7-Fla	53,9	59,2	5,8	4,0	4,9
W-00965-converter_8-Fla	41,6	46,0	1,3	3,5	2,6
W-00965-converter_9-Fla	35,0	35,9	-3,6	1,9	2,1
W-00965-converter_10-Fla	14,9	15,4	-0,2	2,6	1,1
W-00965-converter_11-Fla	19,5	22,7	8,7	4,0	0,7
W-00965-converter_12-Fla	19,3	22,2	6,9	3,4	1,5
W-00965-converter_13-Fla	19,8	22,7	7,3	2,2	1,3
W-00965-converter_14-Fla	18,9	21,8	5,1	1,5	1,1
W-00965-converter_15-Fla	20,4	23,6	4,5	0,8	1,1
W-00965-converter_17	19,5	23,4	7,7	1,2	1,9
W-00965-converter_23	19,9	21,8	4,1		
W-00965-converter_16	19,8	21,1	4,5		
W-00965-converter_22	19,4	20,1	0,0		

Produktion log: W-00965-converter 5-9; Massive Probleme bei Nordwind, obere Rotorhälfte viel Wind, unten nichts, hohe Turbulenz, kaum Produktion, stark wechselnde Windrichtungen, ständig Windnachführung. W-00965-converter 5-6; Blattverlust bei Nordwind







More information

www.windsim.com
 Paper and presentations
 WindSim trial version

Training courses
 12-14 February, Tønsberg
 18-20 June 2007, Tønsberg

User meeting
 21-22 June 2007, Tønsberg





FOU-Prosjektet: Vindressurskartlegging i komplekst terreng

Kort beskrivelse av prosjektet:

- **Deltakere:** **Hydro** (prosjektleder)
Kjeller Vindteknikk AS (målinger)
Storm Weather Centre (modellering)
Universitetet i Bergen (modellering)
AQSystems (SODAR-målinger)
- **Finansiering:** **NFR, Hydro + egenandel fra øvrige deltakere**
- **Prosjektperiode:** **2006-2008**
- **Hovedmål:** Å gjøre norsk vindkraftmiljø i stand til å beregne energiproduksjonen i komplisert terreng med en usikkerhet som aksepteres som grunnlag i en investeringsbeslutning.

Å gjøre norsk vindkraftmiljø ledende internasjonalt innen beregning og måling av vindressurser i komplekst terreng.



Gurskøy i Møre og Romsdal er valgt som prosjektområde (Hydro-prosjekt):



Resultater fra målingene i prosjektet Gurskøy FOU høsten 2006

Erik Berge, Peter Rothmund, Lars Tallhaug og Ove Undheim

Kjeller Vindteknikk AS

Bakgrunn

■ Ulike vindkartleggingsmodeller var ikke i stand til å predikere de store forskjellene i vindmålingene innenfor området.

Mål

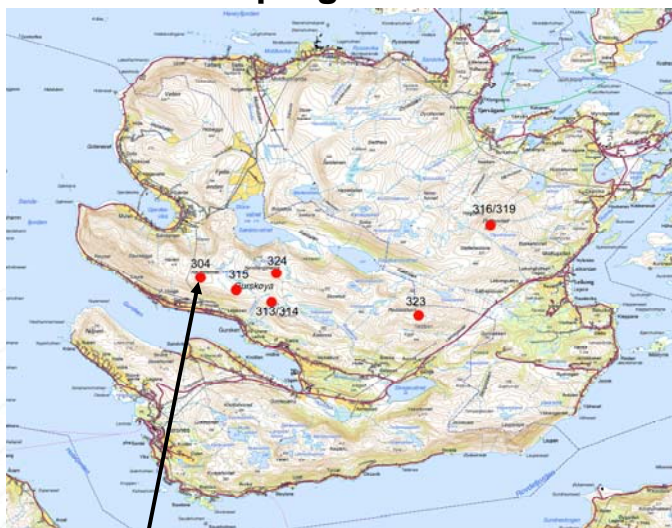
■ Avanserte vindmålinger og modelleringer for å redusere usikkerhetene ifm vind i komplekst terreng.

Innhold

- Kort om måleprogrammet og milepæler.
- Resultater fra målemast Nørdbergsheida.
- Resultater fra SODAR Røddalshorn.

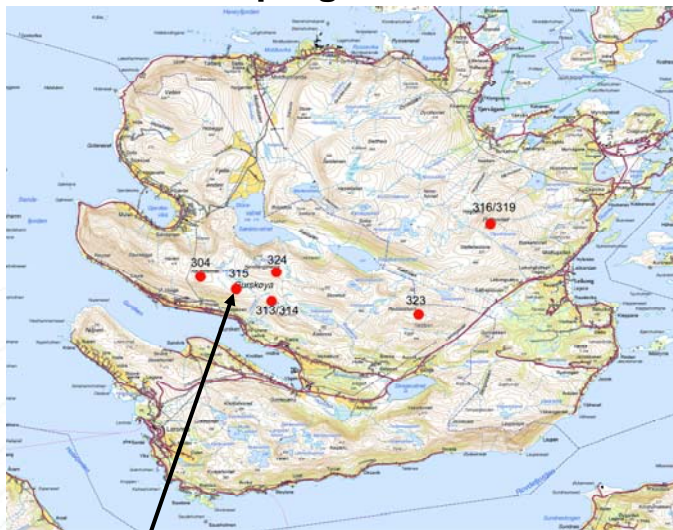


Oversikt måleprogram



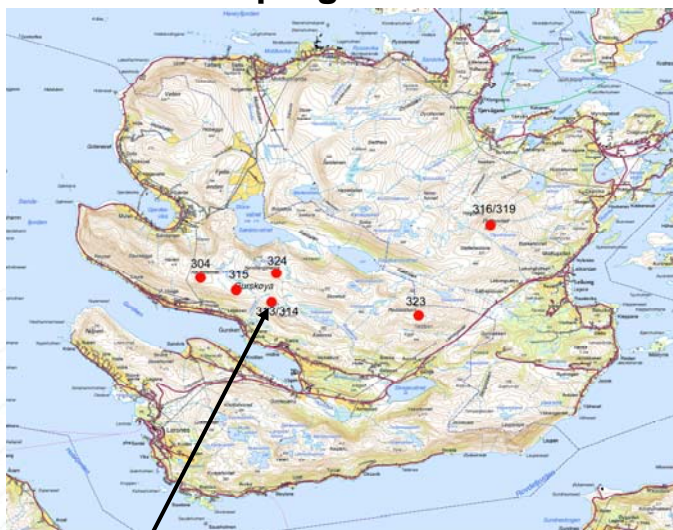
Haugshornet (424moh): 10m høy mast. Målinger fra mars 2000. Nye sensorer fra mai 2006.

Oversikt måleprogram



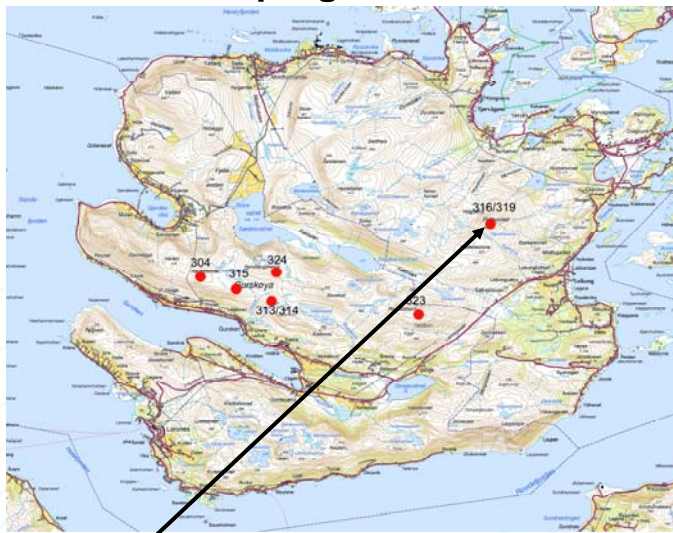
Litlabøhornet (390moh): 50m høy mast. Målinger fra april 2002 til juni 2003 (demontert). Evt SODAR i 2007.

Oversikt måleprogram



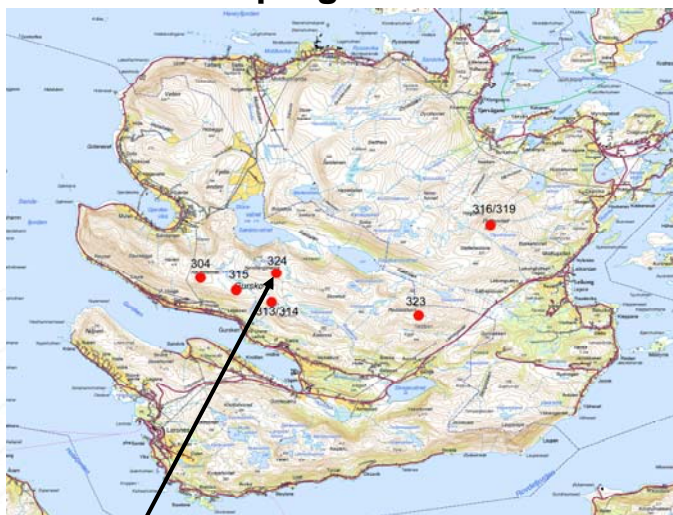
Hornelva (352moh): 50m høy mast. Målinger fra april 2002 til juni 2003 (demontert).

Oversikt måleprogram



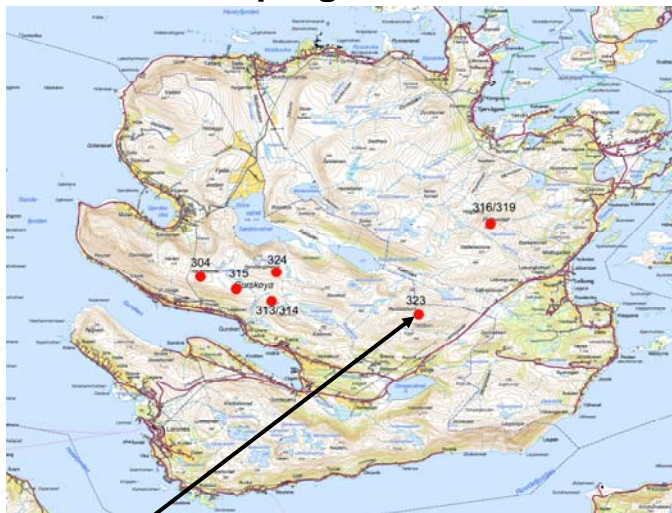
Rjåhornet (595moh): 20m høy mast. Målinger fra jan 2003.
Nye sensorer fra juni 2006. Isfri sensor i 10m.

Oversikt måleprogram



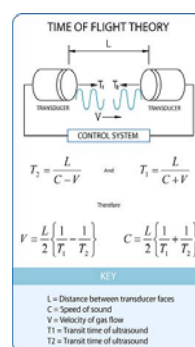
Nørdbergsheida (475moh): 50m høy mast. Målinger fra mai
2004. Nye sensorer fra mai 2006 (Thies, Risø og sonisk + ΔT).
Planlagt demontert og instrumentert med SODAR i 2007.

Oversikt måleprogram



Røddalshorn (550moh): 50m høy mast. Målinger fra mai 2004 til september 2005. SODAR målinger fra september 2006. Ved flytting av SODAR i 2007: Mast med sonisk anemometer.

Gill Ultrasonic sensor (Nørdbergsheida)



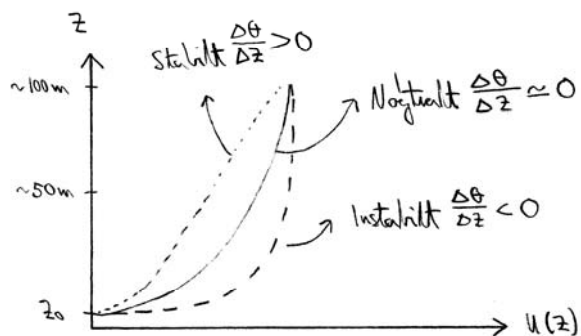
2 Hz på datalagring. Gir mulighet for detaljert turbulensanalyse og sammenligning av Ultrasonisk anemometer, Risø og Thies.

Hva bestemmer vertikalprofilet?

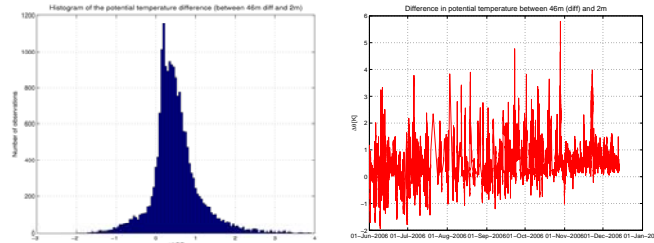
- Statisk stabilitet (sesongvariasjon)
- Dynamisk stabilitet
- Terrenget (vindretning)
- Ruhet og ruhetsskift (vindretning, sesongvariasjon)



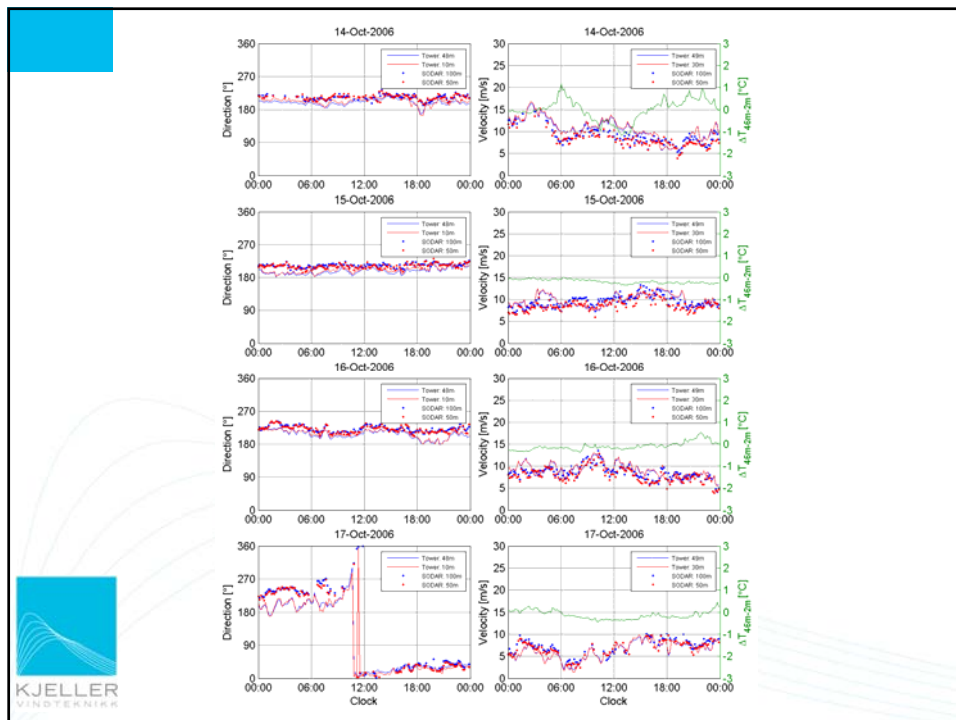
Statisk stabilitet ($\Delta\theta/\Delta z$) (vertikale temperaturforskjeller)



Stabilitet og vindskjær

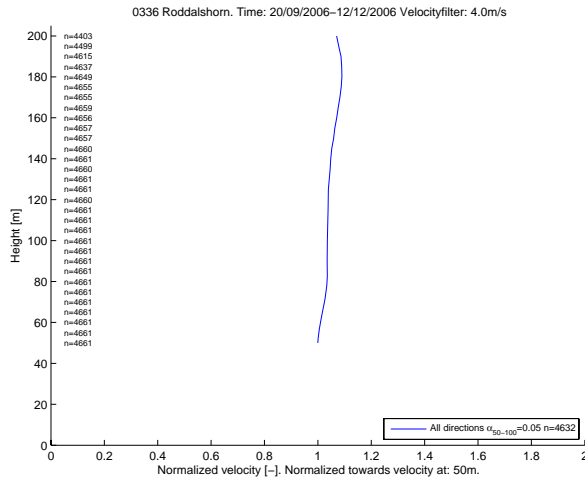


	Frequency	$U_{ave} (49m)$	$\sigma_{10m-49m}$	$\sigma_{10m-49m}(norm)$
Stable: $\partial\theta/\partial z > 0.2$ K/100m	47.0%	9.6 m/s	0.050	0.048
Neutral: $\partial\theta/\partial z \in [-0.2, 0.2]$ K/100m	48.4%	9.3 m/s	0.030	0.037
Unstable: $\partial\theta/\partial z < -0.2$ K/100m	4.6%	8.0 m/s	0.002	0.006
Stable: $\partial\theta/\partial z > 0.5$ K/100m	11.3%	6.7 m/s	0.096	0.074

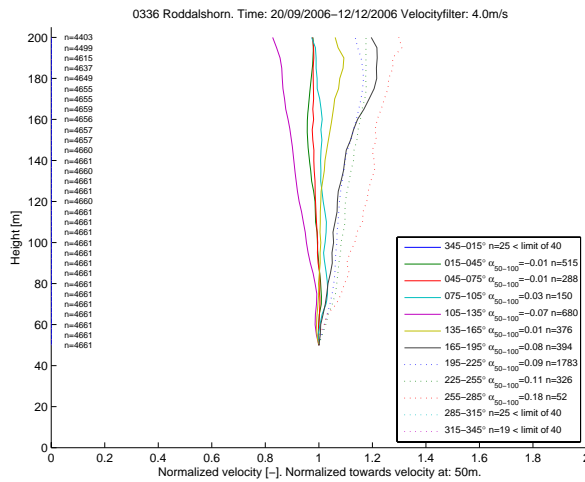




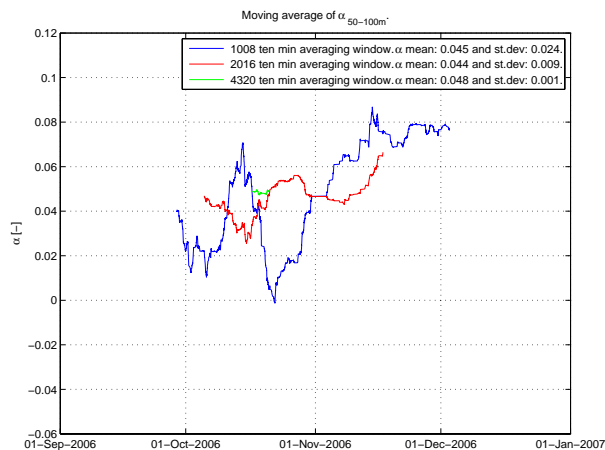
Midlere vertikalprofil:



Sektorvise normaliserte vertikalprofil:



Tidsvariasjon av vindskjær (α) :



Oppsummering:

- Forholdsvis vanskelige driftsforhold for SODAR på Gurskøy pga sterk vind og snø.
- Vertikalprofil viser kraftig speed-up
- Vindskjæret øker med økende stabilitet (Nørdbergsheida), betydelig sesongvariasjon kan forventes.
- Betydelig statisk stabilitet (stort avvik fra nøytral sjiktning) også i sterkvindstilfeller
- Videre analyser av turbulensmålinger vil komme i 2007.
- Flytting av SODAR til nytt sted i løpet av 2007.



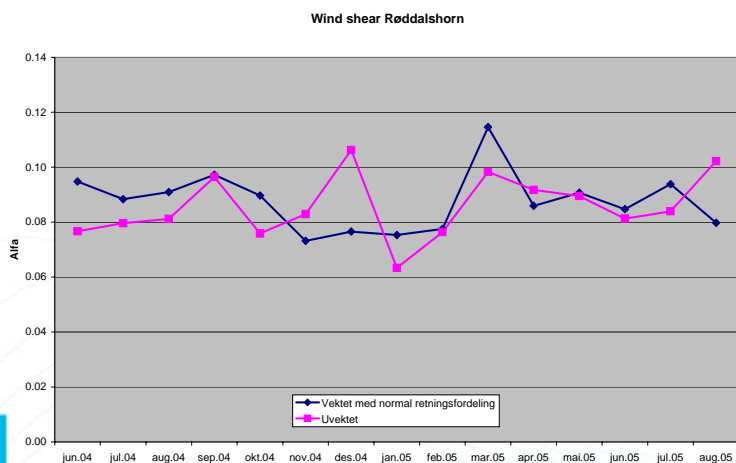
Resultater fra SODAR-målinger 21/9 – 12/12 2006:

Filtreringsteknikker:

- Signal-to-noise ratio (SNR): Data utenfor [3 30] fjernet
- Liten tilgjengelighet av data vertikalt: Hvis mer enn to nivåer mangler, fjernes hele profilet
- Fjerning av "outliers"
- Manuell filtrering: 31.10.2006 0800 til 03.11.2006 og 11.11.2006 til 12.11.2006.
- Ca. 60% av dataene fjernet, skyldes høy vind, snø på senderene, nedbør etc.



Vindskjær fra mast Røddalshorn (10-50 m) (α):



Vindressurskartlegging i komplekst terreng

Modeling aspects

Astrid Holstad & Ivar Lie

Storm Weather Center

Vindressurskartlegging i komplekst terreng

Two main activities within modeling:

- Construct a verification system for models with high resolution

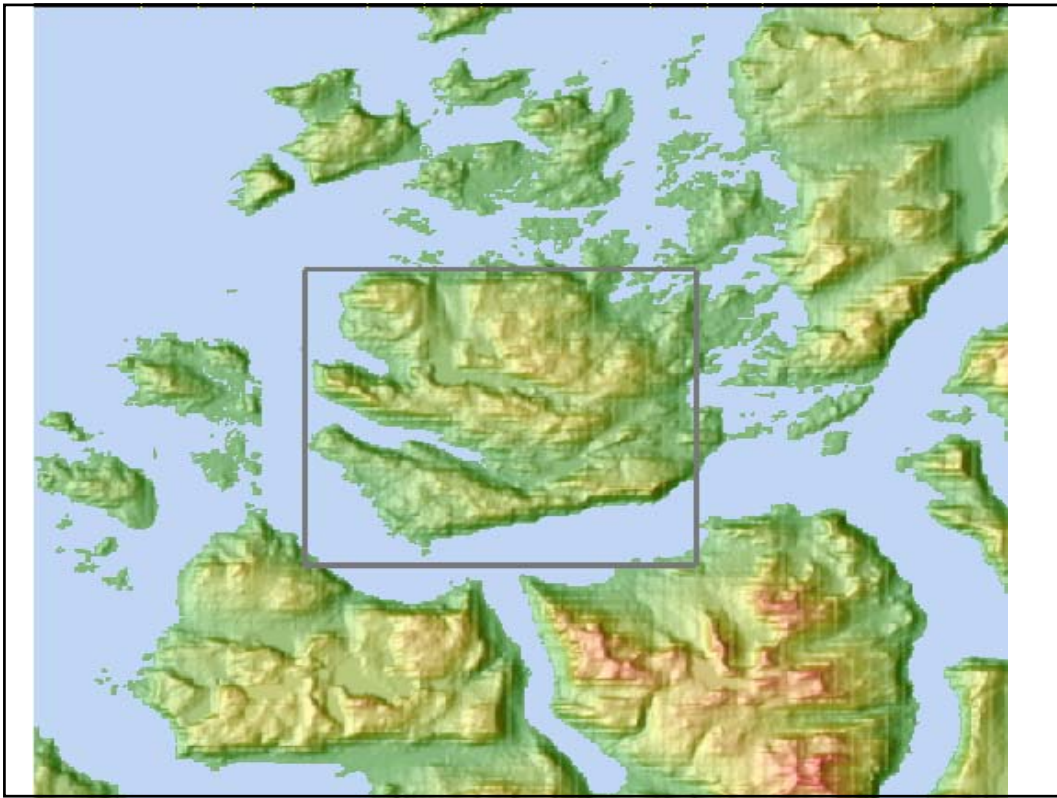
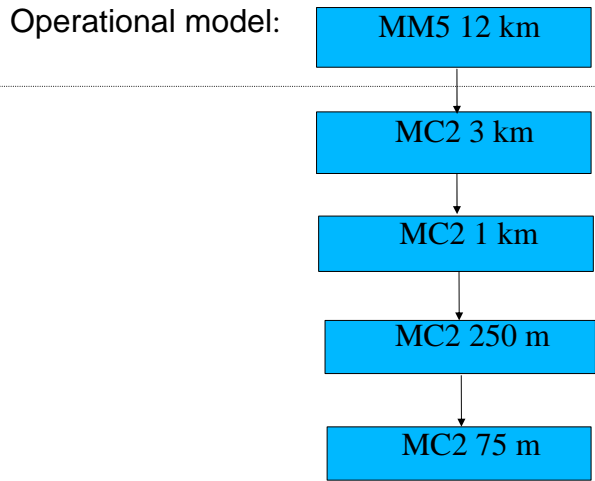
Traditional verification systems are not adequate

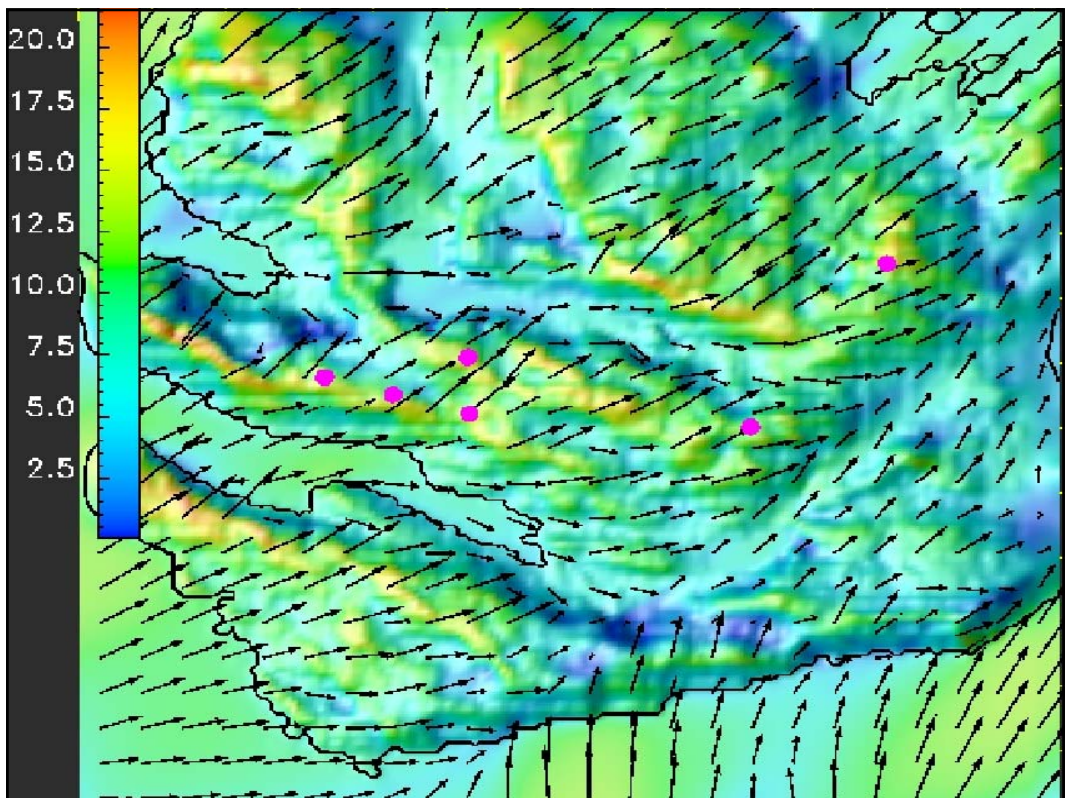
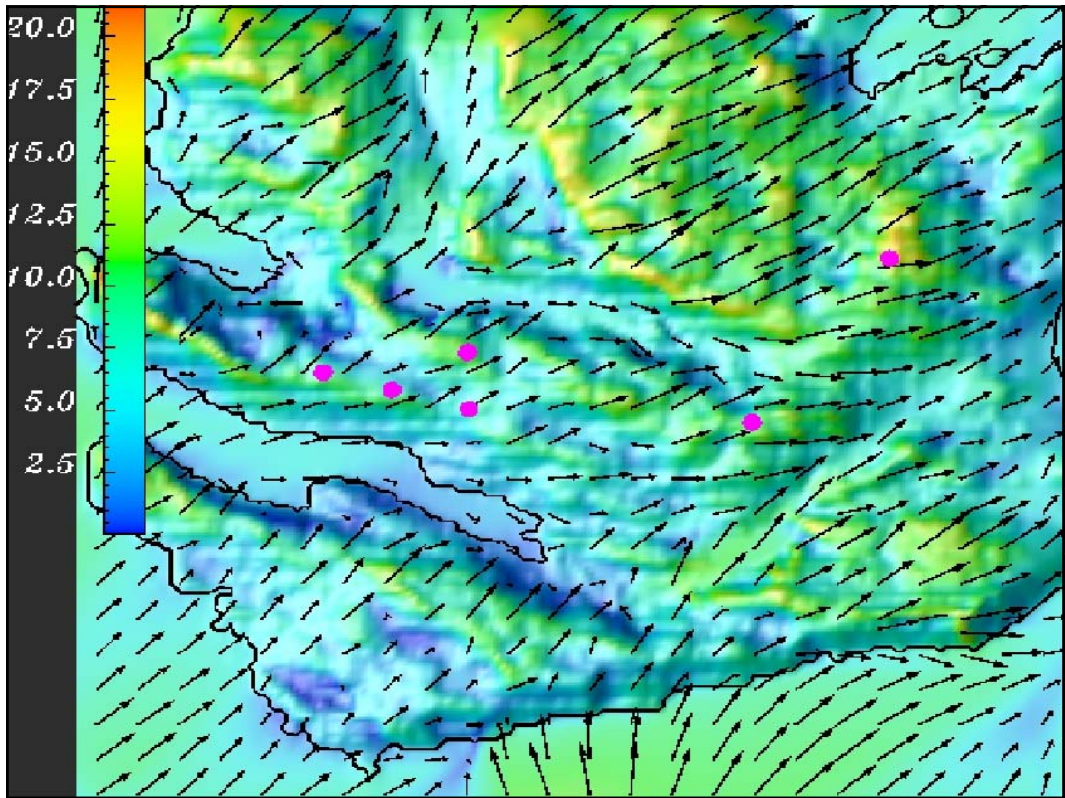
- Construct a (simple) data assimilation system

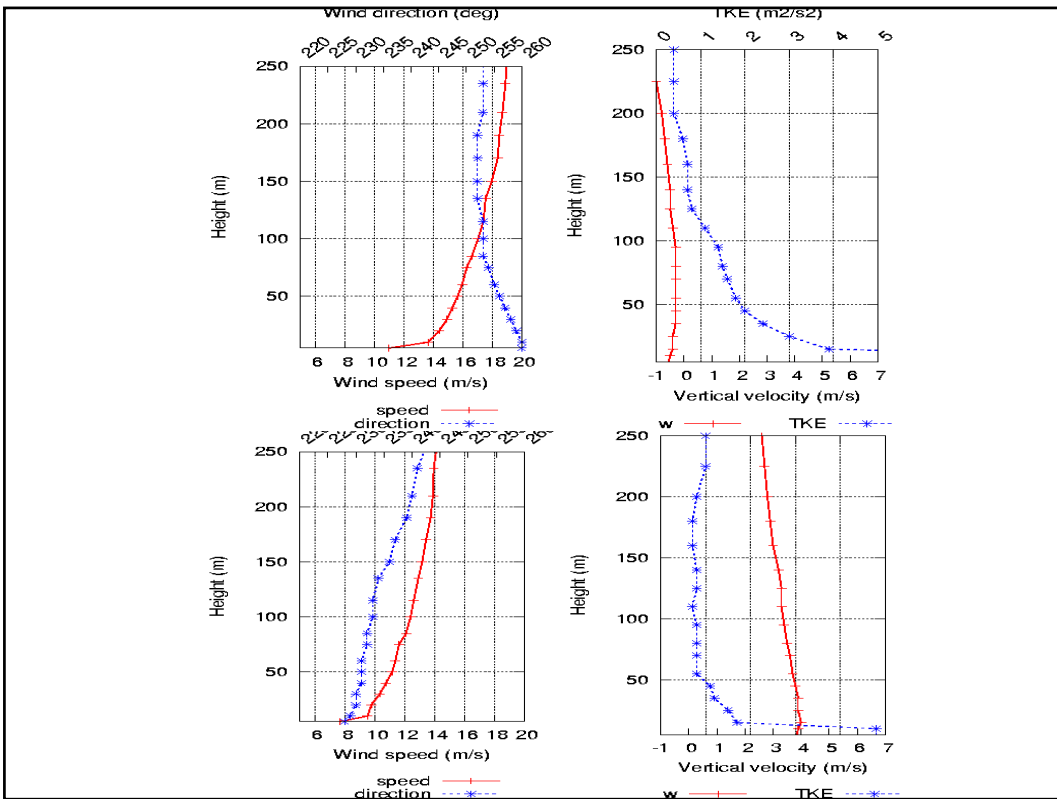
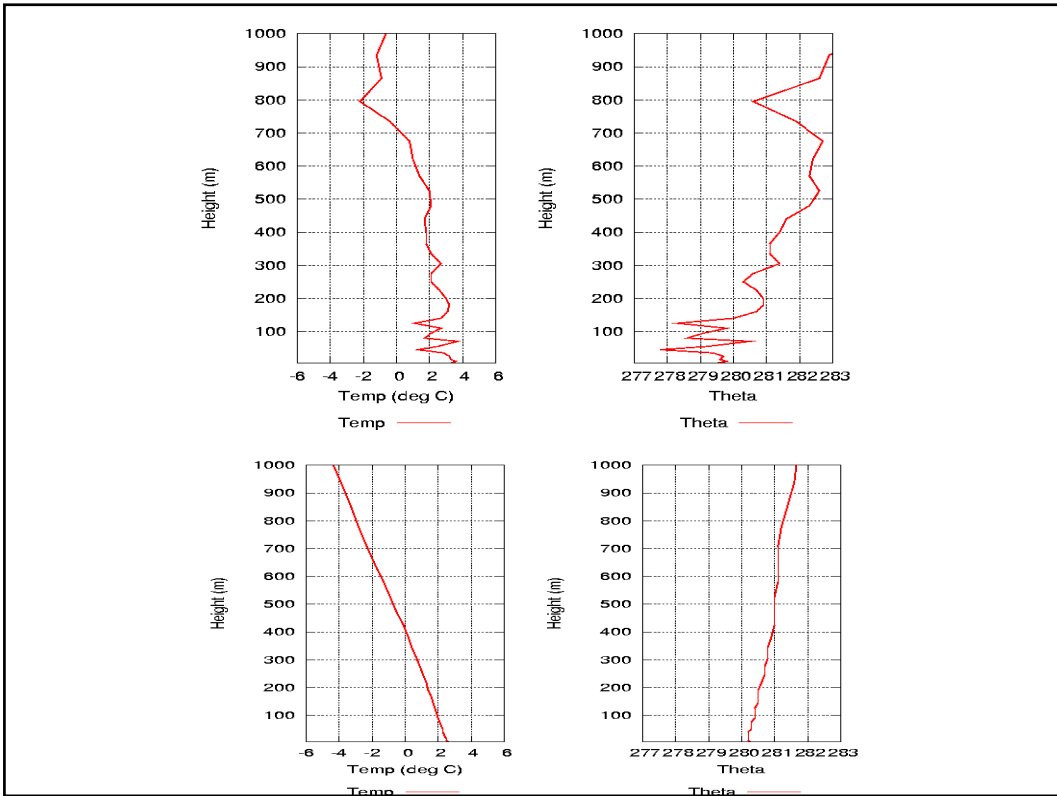
Must take both initial and boundary values into account

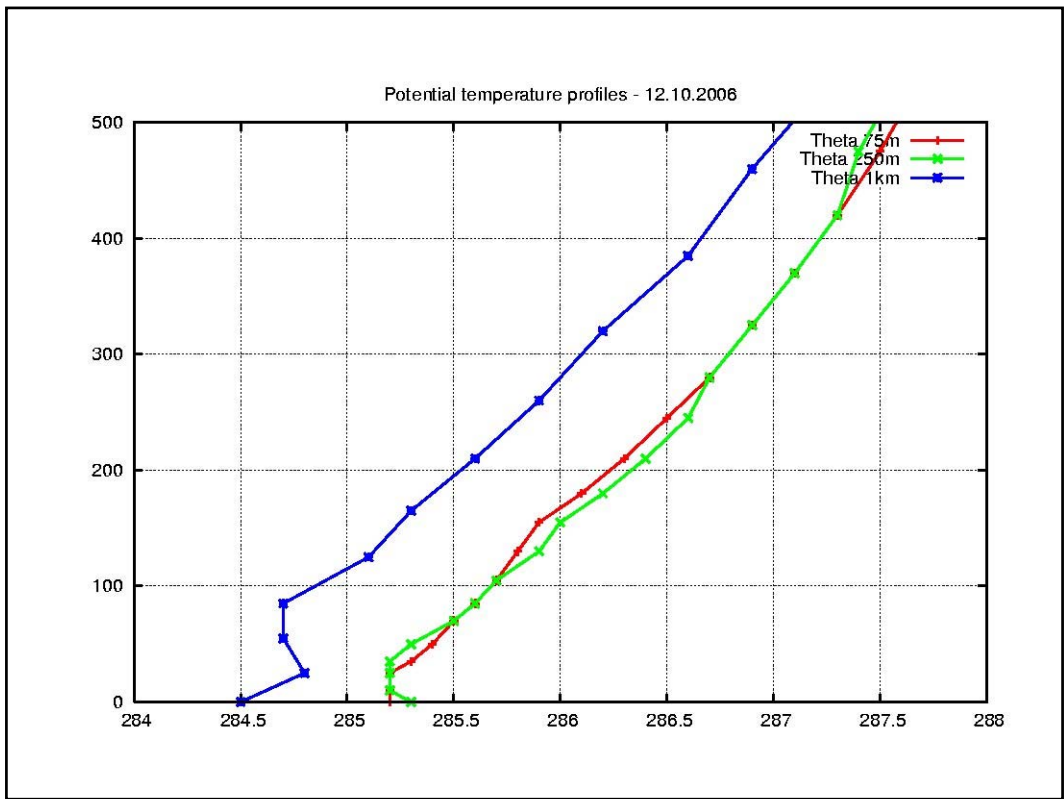
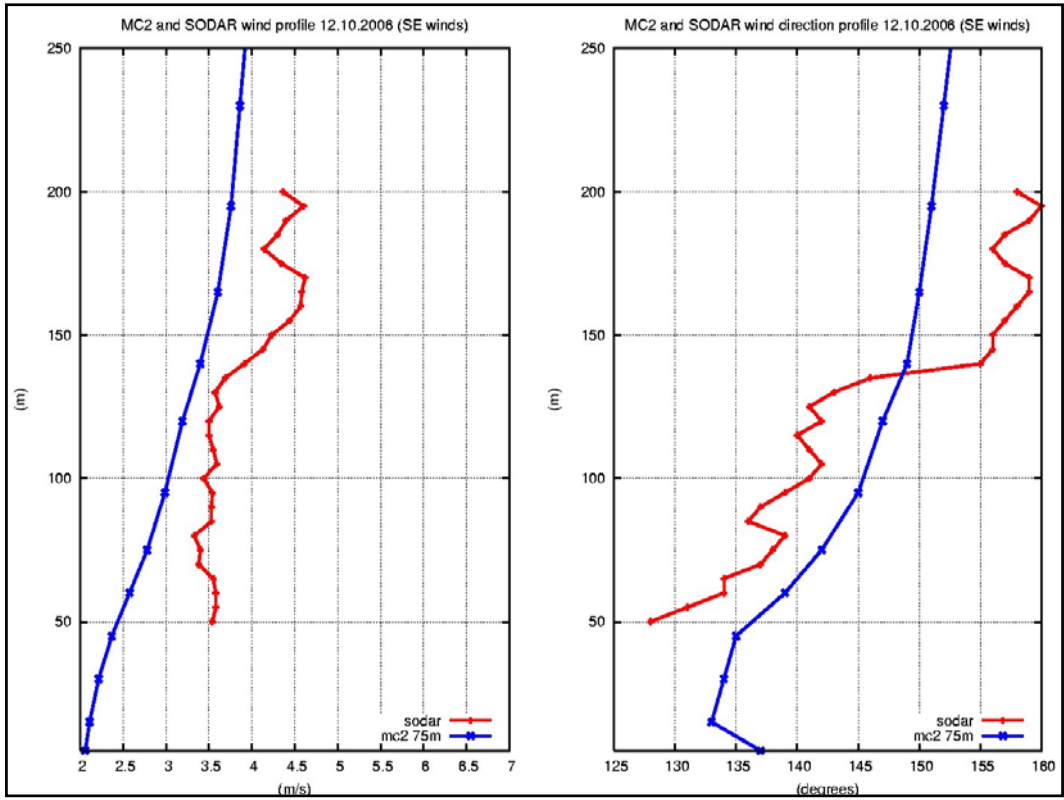
In addition: Accurate modeling of vertical velocities and TKE.

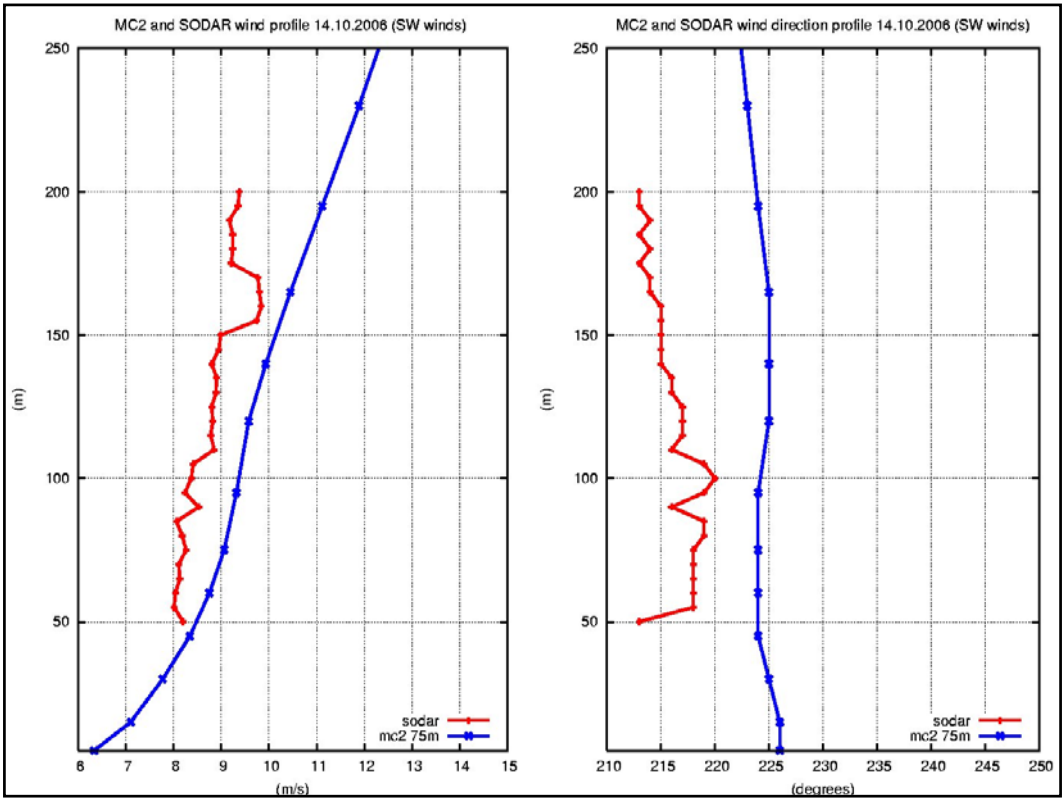
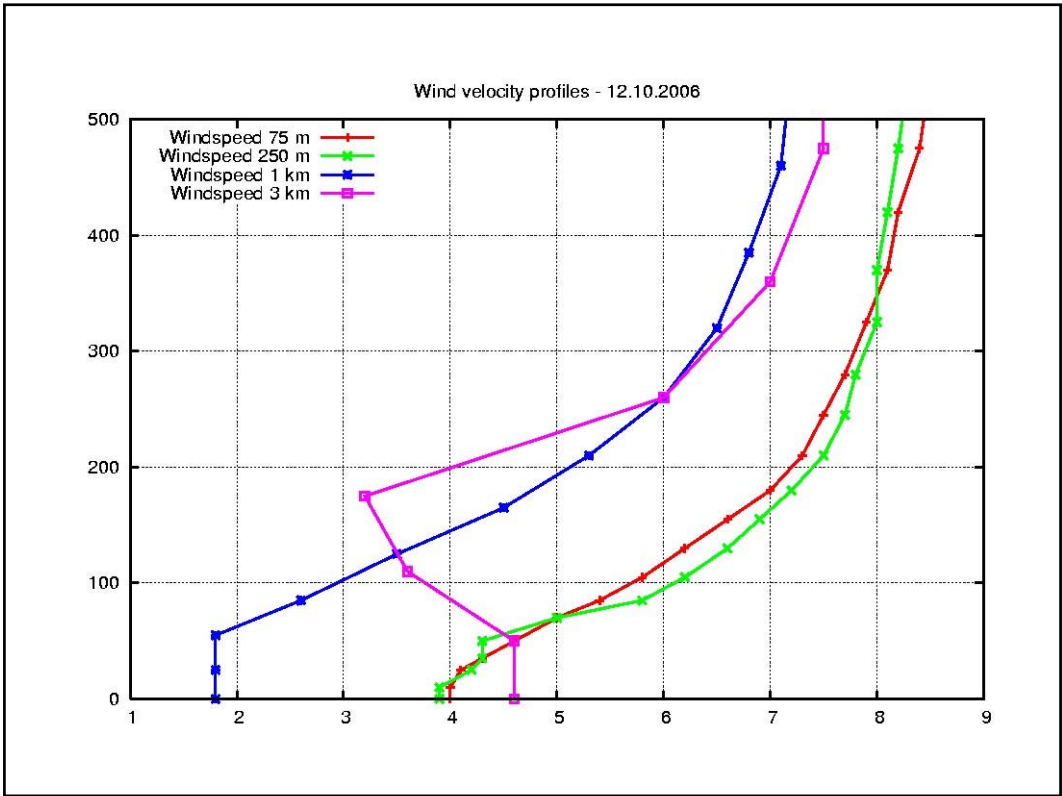
Nested model system

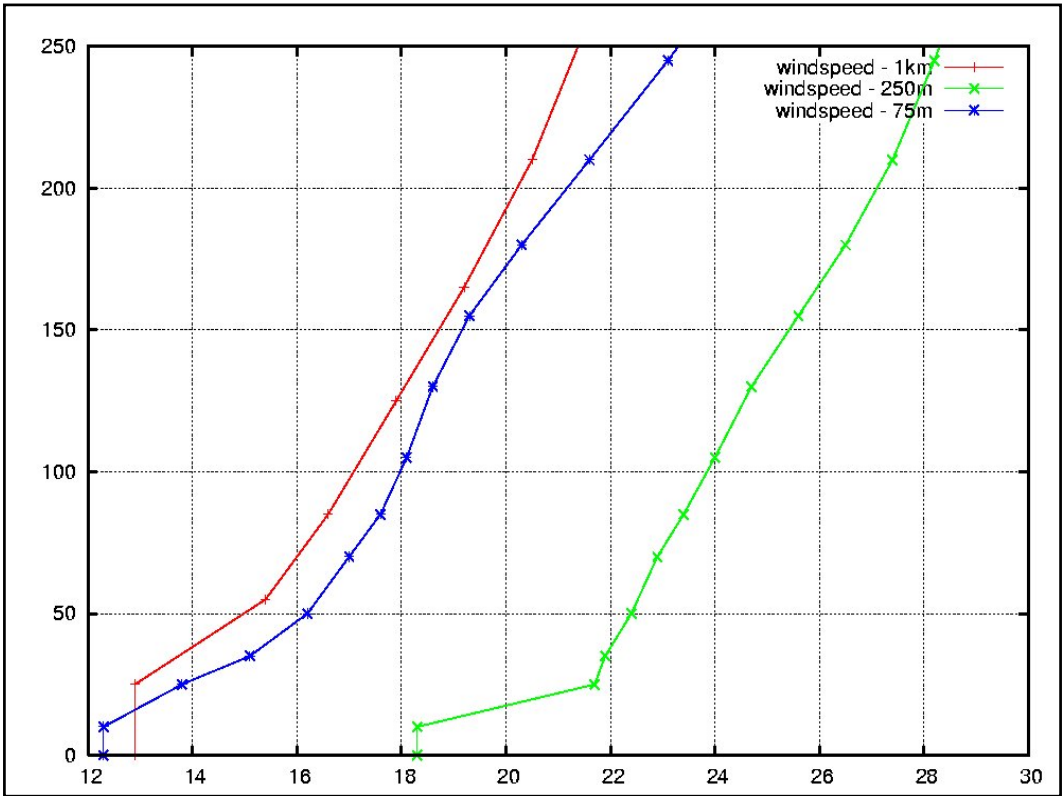
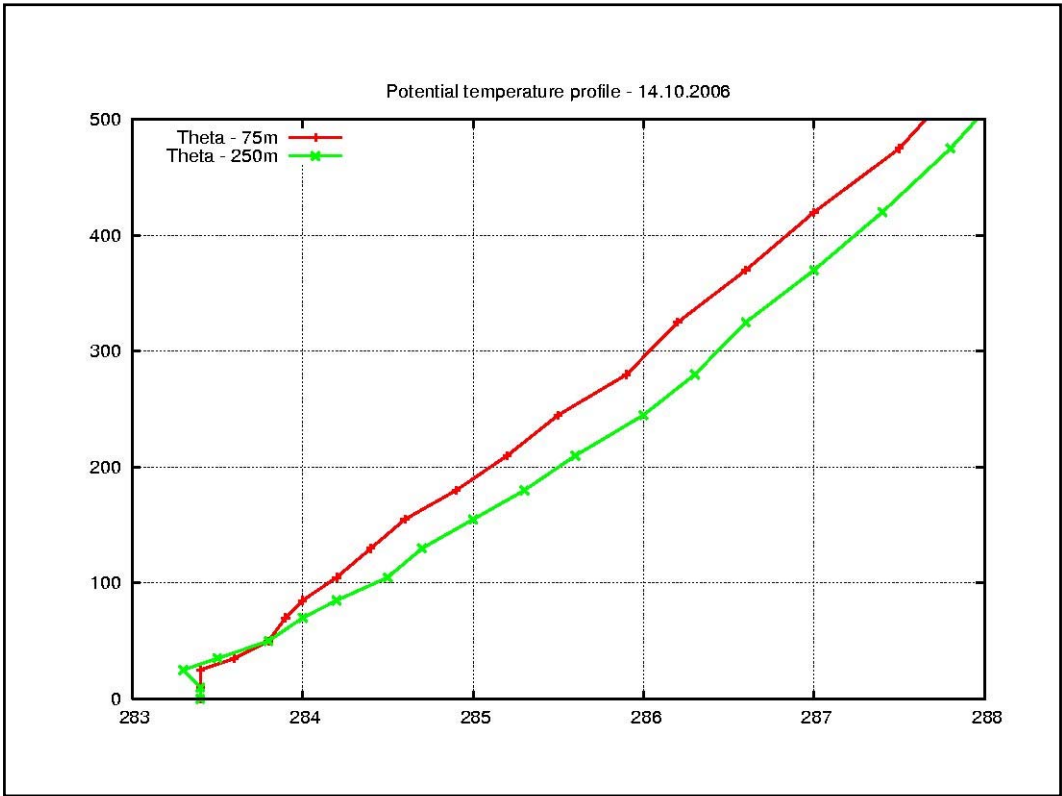


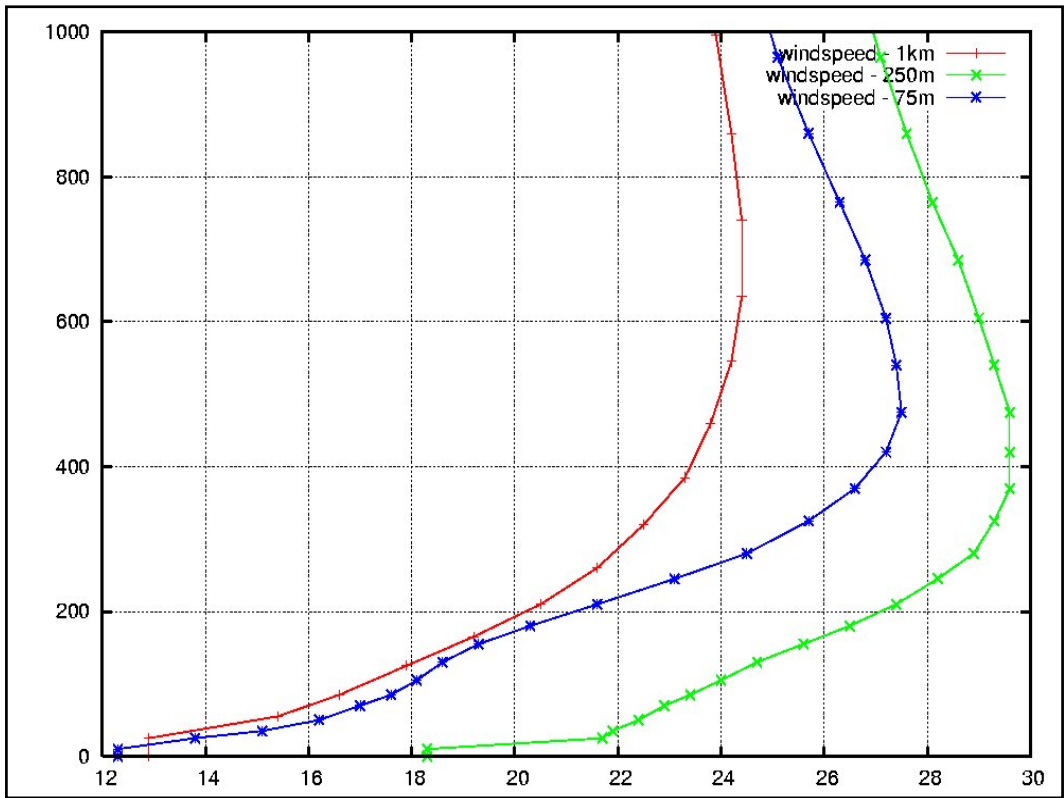












SINTEF Energiforskning AS
Adresse: 7465 Trondheim
Telefon: 73 59 72 00

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