TR A5939

Vindkraft FoU seminar 26.-27. januar 2004

John Olav Tande

www.sintef.no

SINTEF Energi AS
SINTEF Energy Research

Februar 2004

SINTEF

SINTEF

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 26. – 27. januar 2004

SAKSBEARBEIDER(E)

John Olav Tande

OPPDRAGSGIVER(E)

TR NR.	DATO	OPPDRAGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TR A5939	2004-02-05		12X27801

ELEKTRONISK ARKIVKODE	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
040205RHA13126	John Olav Tande	ÅPEN

ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG	SIDER
82-594-2625-0		Petter Støa P.Støa	10	101

AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS
Energisystemer	Sem Sælands vei 11	73 59 72 50

RESULTAT (sammendrag)

SINTEF, IFE og NTNU samarbeider om vindkraft FoU. Dette gjøres gjennom NFR KMB prosjektet "Utvikling av norsk vindkraftteknologi" (2001-2005), NFR "Strategisk vindkraftprogram" (2003-2007) og gjennom etablering av teststasjon for vindkraftverk på Valsneset i regi av selskapet VIVA AS.

Vindkraft FoU Seminar 26-27 Januar 2004, Royal Garden Hotel, Trondheim presenterte resultat fra disse aktivitetene, samtidig som det også var innlegg vedrørende industriutvikling og utbygging av vindkraft i Norge. Følgende tema ble presentert:

- Vindmodellering
- Strukturdynamikk
- Elektrisk design og styring
- Politikk og planlegging

Totalt ble det holdt 20 presentasjoner som alle er gjengitt i denne rapporten.

STIKKORD

EGENVALGTE		

INNHOLDSFORTEGNELSE

Side

PROGRAM 3
DELTAKERLISTE 4
PRESENTASJONER:

Innledning ved John Olav G. Tande, SINTEF Energiforskning AS
"Estimering av vindenergi over fjellterreng", Karl Eidsvik, SINTEF Anv. Matematikk
"Validering av mikroskalamodellen 3DWind", Ove Undheim, IFE
"Terrengeffekter i vindparker", Kjersti Røkenes, NTNU
"FoU aktiviteter ved Kjeller Vindteknikk", Erik Berge, Kjeller Vindteknikk
"Aeroelastiske simuleringer", Andreas Knauer, IFE
”Avansert pitch kontroll av store vindturbiner”, Jonas Hertel, NTNU
”Tekniske rammevilkår ved utbygging av vindkraft”, A. Skiple, NTNU
”Utvikling av vindturbinblader i Mandal”, Nere Skomedal, Umoe Ryving AS
”Offshore vindkraft på dypt vann”, Finn Gunnar Nielsen, Norsk Hydro
”Modellering av vindkraftverk”, John Olav Tande, SINTEF Energiforskning AS
”Nettilkobling av store vindparker”, Kjetil Uhlen, SINTEF Energiforskning AS
”DFIG Under Transient Faults”, Bjarne Næss, NTNU
”NTNU lab + PM generator”, Robert Nilssen, NTNU
”Statkrafts vindkraftsatsing”, Morten Henriksen, Statkraft
”Elektrisk design av ScanWind turbiner”, Tor A. Myklebust, ScanWind
”Vindkraftens politiske og kulturelle landskap”, Knut Sørensen, NTNU
”Landskapsestetikk og vindmøller i Norge”, Sverre Flack, NTNU
”Enova’s vindkraftaktiviteter”, Viggo Iversen, Enova
”Teststasjon for vindkraftverk”, Per Finden, IFE

Program

Vindkraft FoU Seminar 26-27 Januar 2004, Royal Garden Hotel, Trondheim

26 Januar 2004	
12.00-13.00	**Registrering & Lunsj**
13.00-13.20	**Åpning/innledning v John Olav Tande, SINTEF Energiforskning**
13.20-15.00	**Vindmodellering (ordstyrer Per Finden, IFE)**
(10 min)	Innledning + Diskusjon
(30 min)	”Estimering av vindenergi over fjellterreng”, Karl Eidsvik, SINTEF Anvendt Matematikk
(20 min)	”Validering av mikroskalamodellen 3DWind”, Ove Undheim, phd stud NTNU
(10 min)	”Terrengeffekter i vindparker”, Kjersti Røkenes, phd stud NTNU
(30 min)	”FoU aktiviteter ved Kjeller Vindteknikk” Erik Berge, Kjeller Vindteknikk
15.00-15.30	Kaffe/mineralvann/frukt
15.30-17.30	**Strukturdynamikk (ordstyrer Geir Moe, NTNU)**
(25 min)	Innledning + Diskusjon
(30 min)	”Aeroelastiske simuleringer”, Andreas Knauer, IFE
(10 min)	”Avansert pitch kontroll av store vindturbiner”, Jonas Hertel, phd stud NTNU
(10 min)	”Tekniske rammevilkår ved utbygging av vindkraft”, A Skiple, phd stud NTNU
(30 min)	”Utvikling av vindturbinblader i Mandal”, Nere Skomedal, Umoe Ryving AS
(15 min)	”Offshore vindkraft på dypt vann”, Finn Gunnar Nielsen, Norsk Hydro
18.00-	Middag

27 Januar 2004	
09.00-10.00	**Elektrisk design og styring, del I (ordstyrer Tore Undeland, prof NTNU)**
(10 min)	Innledning + Diskusjon
(20 min)	”Modellering av vindkraftverk”, John Olav Tande, SINTEF Energiforskning
(20 min)	”Nettilkobling av store vindparker”, Kjetil Uhlen, SINTEF Energiforskning
(10 min)	"DFIG Under Transient Faults", Bjarne Næss, phd stud NTNU
10.00-10.15	Kaffe/mineralvann
10.15-12.00	**Elektrisk design og styring, del II (ordstyrer Tore Undeland, prof NTNU)**
(15 min)	Innledning + Diskusjon
(30 min)	”NTNU lab + PM generator”, Robert Nilssen, prof NTNU (30 min)
(30 min)	”Statkraft's vindkraftsatsing”, Morten Henriksen, Statkraft (30 min)
(30 min)	”Elektrisk design av ScanWind turbiner”, Tor A Myklebust, ScanWind (30 min)
12.00-13.00	Lunsj
13.00-14.30	**Politikk og planlegging (ordstyrer Knut Sørensen, prof NTNU)**
(10 min)	Innledning + Diskusjon
(20 min)	”Vindkraftens politiske og kulturelle landskap”, Knut Sørensen, prof NTNU
(10 min)	”Landskapsestetikk og vindmøller i Norge”, Sverre Flack, prof NTNU
(20 min)	”Enova’s vindkraftaktiviteter” Viggo Iversen, Enova
(30 min)	”Teststasjon for vindkraftverk”, Per Finden, IFE
14.30-14.45	Kaffe/mineralvann/frukt
14.45-15.00	**Oppsummering v Per Finden, IFE**

Deltakerliste

Vindkraft FoU seminar 26-27 Januar 2004, Royal Garden Hotel, Trondheim.

Navn:	Firma:	Navn:	Firma:
Viggo Iversen	ENOVA	Sverre Flack	NTNU
Ingunn Ettestøl	ENOVA SF	Lars Norum	NTNU
Per Finden	Inst. for energiteknikk	Tobias Andersson	NTNU
Audun Fidje	Inst. for energiteknikk	Jøran Solli	NTNU
Andreas Knauer	Inst. for energiteknikk	Robert Næss	NTNU
Ove Undheim	Inst. for energiteknikk	Leon E Notkevich	NTNU
Tor Rolv Time	Istad Nett	Torstein Bjørgum	NTNU
Erik Berge	Kjeller Vindteknikk	Jorun Marvik	NTNU
Harald Rikheim	Norges forskningsråd	Amir Messiha	NVE
Kurt Benonisen	Nord-Trøndelag E-verk	Torstein Thorsen	NVE
Hanne Tenggren	Nord-Trøndelag E-verk	Henriette Haavik	NVE
Marianne Jensen	Nord-Trøndelag E-verk	Tor A Myklebust	ScanWind
Tor D. Hanson	Norsk Hydro	Torolf Pettersen	ScanWind
Arne U Bindingsbø	Norsk Hydro	Karl Eidsvik	SINTEF IKT
Finn G Nielsen	Norsk Hydro	Trond Kvamsdal	SINTEF IKT
Jørgen Løvseth	NTNU	Ian Norheim	SINTEF Energiforskning
Per Åge Krogstad	NTNU	John Olav Tande	SINTEF Energiforskning
Espen Hagstrøm	NTNU	Mette Høiseth	SINTEF Energiforskning
Anders Elvebakk	NTNU	Kjetil Uhelen	SINTEF Energiforskning
Kjersti Røkenes	NTNU	Torstein Lange	SINTEF Mat. og tekn
Geir Moe	NTNU	Morten Henriksen	Statkraft SF
Johan F. Bratt	NTNU	Bjørn Hugo Jenssen	Statnett SF
Jonas Hertel	NTNU	Bård Ek	Statnett SF
Asle Skiple	NTNU	Alf Marius Arnesen	Transtech AS
Bjarne Idsøe Næss	NTNU	Tibor Szabo	TrønderEnergi AS
Tore Undeland	NTNU	Kåre Lorås	TrønderEnergi AS
Robert Nilssen	NTNU	Nere G. Skomedal	Umoe Ryving AS
Knut Sørensen	NTNU	Arne Sellægg	Adresseavisen

Vindkraft FoU Seminar
26-27 Januar 2004
Royal Garden Hotel, Trondheim

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

Program Vindkraft FoU Seminar 26-27 Januar 2004

26 Januar 2004	
12.00-13.00	**Registrering & Lunsj (enkel servering)**
13.00-13.20	**Apning/innledning v John Olav Tande, SINTEF Energiforskning**
13.20-15.00	**Vindmodellering (ordstyrer Per Finden, IFE)**
(10 min)	Innledning + Diskusjon
(30 min)	"Estimering av vindenergi over fjellterreng", K Eidsvik, SINTEF Anvendt Matematikk
(20 min)	"Validering av mikroskalamodellen 3DWind", Ove Undheim, phd stud NTNU
(10 min)	"Terrengeffekter i vindparker", Kjersti Røkenes, phd stud NTNU
(30 min)	"FoU aktiviteter ved Kjeller Vindteknikk" Erik Berge, Kjeller Vindteknikk
15.00-15.30	Kaffe/mineralvann/frukt
15.30-17.30	**Strukturdynamikk (ordstyrer Geir Moe, NTNU)**
(25 min)	Innledning + Diskusjon
(30 min)	"Aeroelastiske simuleringer", Andreas Knauer, IFE
(10 min)	"Avansert pitch kontroll av store vindturbiner", Jonas Hertel, phd stud NTNU
(10 min)	"Tekniske rammevilkår ved utbygging av vindkraft", A Skiple, phd stud NTNU
(30 min)	"Utvikling av vindturbinblader i Mandal", Nere Skomedal, Umoe Ryving AS
(15 min)	"Offshore vindkraft på dypt vann", Finn Gunnar Nielsen, Norsk Hydro
18.00-	Middag

Program Vindkraft FoU Seminar 26-27 Januar 2004

27 Januar 2004	
09.00-10.00	**Elektrisk design og styring, del I (ordstyrer Tore Undeland, prof NTNU)**
(10 min)	Innledning + Diskusjon
(20 min)	"Modellering av vindkraftverk", John Olav Tande, SINTEF Energiforskning
(20 min)	"Nettilkobling av store vindparker", Kjetil Uhlen, SINTEF Energiforskning
(10 min)	"DFIG Under Transient Faults", Bjarne Næss, phd stud NTNU
10.00-10.15	Kaffe/mineralvann
10.15-12.00	**Elektrisk design og styring, del II (ordstyrer Tore Undeland, prof NTNU)**
(15 min)	Innledning + Diskusjon
(30 min)	"NTNU lab + PM generator", Robert Nilssen, prof NTNU (30 min)
(30 min)	"Statkraft's vindkraftsatsing", Morten Henriksen, Statkraft (30 min)
(30 min)	"Elektrisk design av ScanWind turbiner", Tor A Myklebust, ScanWind (30 min)
12.00-13.00	Lunsj
13.00-14.30	**Politikk og planlegging (ordstyrer Knut Sørensen, prof NTNU)**
(10 min)	Innledning + Diskusjon
(20 min)	"Vindkraftens politiske og kulturelle landskap", Knut Sørensen, prof NTNU
(10 min)	"Landskapsestetikk og vindmøller i Norge", Sverre Flack, prof NTNU
(20 min)	"Enova's vindkraftaktiviteter" Viggo Iversen, Enova
(30 min)	"Teststasjon for vindkraftverk", Per Finden, IFE
14.30-14.45	Kaffe/mineralvann/frukt
14.45-15.00	**Oppsummering v Per Finden, IFE**

SINTEF, IFE og NTNU samarbeider om vindkraft FoU

- NFR KMB "Utvikling av norsk vindkraftteknologi" (2001-2005) med deltagelse fra Statkraft, Umoe Ryving og Norsk Hydro
- NFR "Strategisk vindkraftprogram" (2003-2007)
- Teststasjon for vindkraftverk på Valsneset (VIVA AS) med støtte fra Enova og TrønderEnergi
- Total ramme er + 40 MNOK og + 10 phd innen 2007

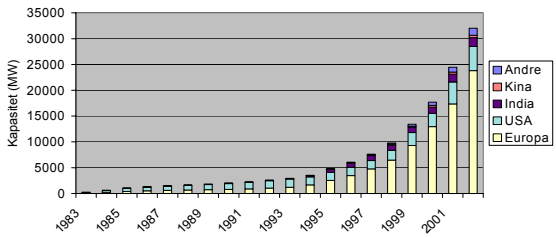
HVORFOR SATSE PÅ VINDKRAFT I NORGE?

- Norge har blant verdens beste vindforhold
  - norske vindparker gir +1,5 x produksjonen av tilsvarende i Tyskland
- Den norske vannkraften er en ideell partner til vindkraft
  - det danske kullbaserte kraftsystemet takler + 10 % vindenergi
- Vindkraft er en ren og fornybar energikilde
  - energi til fabrikasjon, frakt og oppstilling reproduseres på ~ 3 mnd
- Vindkraft er moden teknologi
  - profesjonelle aktører, kort byggetid, sikker drift, forutsigbar kostnad
  - stadig mulig å redusere kostnad ved utvikling av teknologi og kompetanse
- Norsk utbygging gir potensial for utvikling av industri
  - verdensmarket + 50 GNOK i 2003, årlig vekst ~ 30 %
  - norsk eksport ~ 400 MNOK i 2003 (Umoe, Devold, Kristiansand J., mfl)
  - utvikling krever tung & langsiktig satsning – sterk internasjonal konkurranse

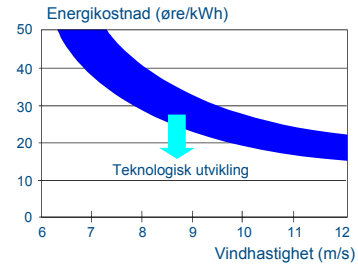
UTVIKLINGS TRENDER

- Fabrikanter:
  lokale (1980) ~ konsern (2000) - Vestas, Enercon, GE
- Samme konsept (HAWT); mer avansert design
- Større:
  50 kW (1980) ~ multi MW i store parker (2000)
- Kostnad:
  +100 øre/kWh (1980) ~ 25-35 øre/kWh (2000)
- Støtteordninger:
  direkte støtte er på vei ut; erstattes med grønne sertifikater
  (Norge 2003: ~10 % investeringsstøtte + ½ forbruksavgift)

INSTALLERT VINDKRAFT



ENERGIKOSTNAD VS VINDHASTIGHET



Overordnet mål er å redusere kostnad for vindkraft

- utvikle norsk industri og kompetanse for rasjonell utbygging og drift
- forbedre vindmodeller for layout av vindparker i komplekst terreng
- øke struktur- og aerodynamikkforståelse for forbedring av vindturbindesign
- utvikling av vindparkmodeller og kontrollkonsept som muliggjør økt andel vindkraft i svake nett, for eksempel store vindparker i Finnmark
- identifisere strategier som styrker folkelig aksept og støtte til vindkraft
- delta i internasjonale fora (IEC, IEA, EU-prosjekt, konferanser, mv)

KONKLUSJON

- Vindkraft representerer moden og miljøriktig teknologi; stadig utvikling gir redusert kWh kostnad
- Internasjonalt satses det kraftig; Norge er i startfasen (ca. som Spania i 1992, nå: ~6000 MW og egen industri)
- Stort potensial for vindkraft i Norge - 3 TWh 2010 realistisk (brukstid Norge + 3000 t/år - Tyskland ~2000 t/år)
- Behov for norsk kompetanse (planlegging og design av prosjekter & industri utvikling)
- SINTEF, IFE og NTNU er aktive (Teststasjon for vindkraftverk, NFR KMB og Strategisk Program, mv)
- Vind og vannkraft er ideelle partnere!
- Utvikling og bruk av modeller, kontrollsystem, generator og kraftelektronikk gir basis for kostnadsreduksjoner og effektiv innpassing av vindkraft
- Vindkraft kan gi et betydelig tilskudd både mht energi og industri i Norge

ESTIMATED WIND ENERGY VARIATIONS IN MOUNTAINOUS TERRAIN.

Karl J. Eidsvik, Professor
SINTEF Applied Mathematics
N-7465 Trondheim NORWAY

.

OPTIMAL WIND ENERGY SITING MORE IMPORTANT IN MOUNTAINOUS TERRAIN THAN OVER FLAT LAND

Flat land reference flow supposed to be given: $\mathbf{u}_0(x_3)$

Terrain induced deviation from reference flow:

$$\triangle\mathbf{u}(x_1, x_2, x_3) = \mathbf{u}(x_1, x_2, x_3) - \mathbf{u}_0(x_3) \tag{1}$$

Terrain induced flow speedup factor:

$$\frac{\mathbf{u}}{|\mathbf{u}_0|} = 1 + \frac{\triangle\mathbf{u}}{|\mathbf{u}_0|} \tag{2}$$

Terrain indused wind energy gain factor:

$$E(x_1, x_2; x_3) = \frac{(\int_A |\mathbf{u}| dA)^3}{(\int_A |\mathbf{u}_0| dA)^3} \approx (\frac{|\mathbf{u}|}{|\mathbf{u}_0|})^3 = (1 + \frac{|\triangle\mathbf{u}|}{|\mathbf{u}_0|})^3 \tag{3}$$

.

Typically:

$0.5 < E < 5.0$ **in mountainous terrain**
$0.7 < E < 1.4$ **over flat land.**

.

HOW OBTAIN INFORMATION ABOUT FLOWS IN MOUNTAINOUS TERRAIN ?

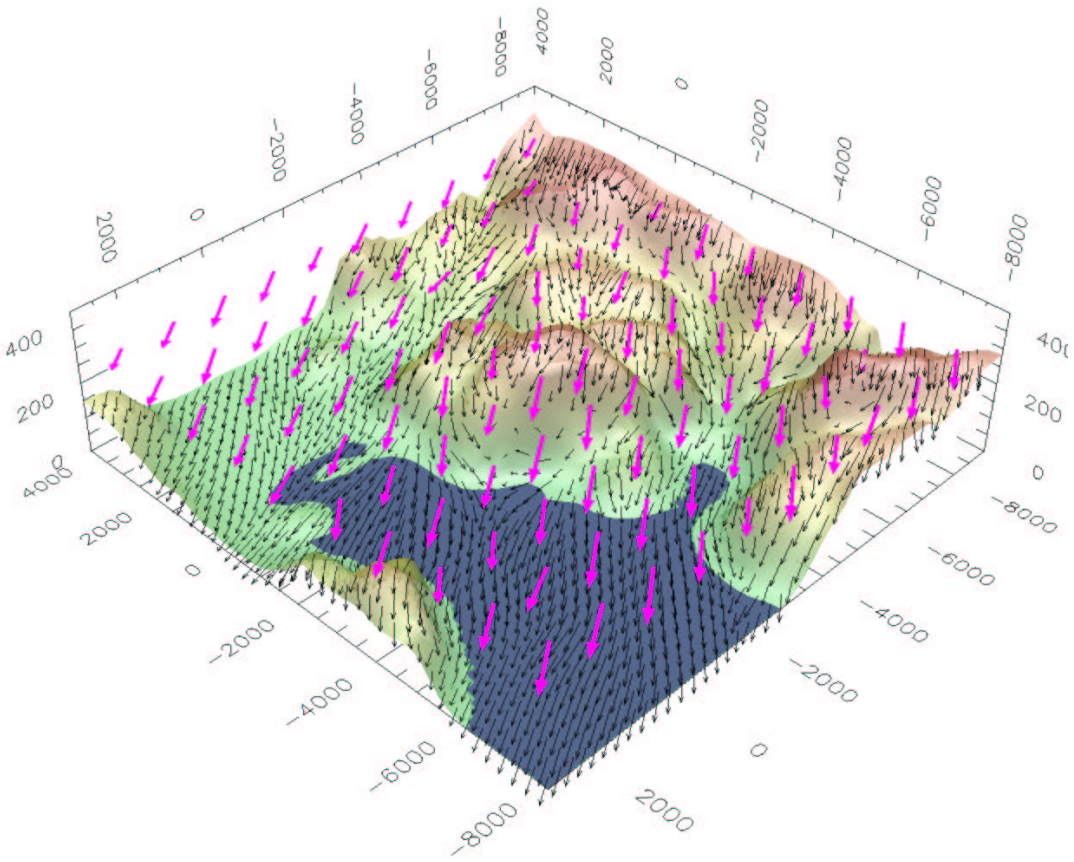


Figure 1: Estimated actual flow over mountains near Værnes Airport

.

LOW LEVEL FLOW HIGHLY TURBULENT AND INHOMOGENEOUS, SO THAT LOW LEVEL DATA MAY CONTAIN LITTLE INFORMATION ABOUT THE FLOW.

INFORMATION FROM IDEALIZED THEORY, LABORATORY SCALE FLOWS AND NUMERICAL SIMULATIONS BEST ALTERNATIVES

.

NUMERICAL MODEL FOR THE EXPECTED FLOW

Based upon first principles (conservation of momentum, mass, energy):

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u}\mathbf{u} + \mathbf{f} \times \rho \mathbf{u} = -\nabla p - \rho \mathbf{g} - \nabla \cdot < \rho \mathbf{u}^{'} \mathbf{u}^{'} > \tag{4}$$

$$\nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial \mathbf{C}}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{C}\mathbf{u} = \mathbf{S} - \nabla \cdot < \mathbf{C}^{'} \mathbf{u}^{'} > \tag{6}$$

and generally verified turbulence closures, such as:

$$\frac{\partial K}{\partial t} + \nabla \cdot K\mathbf{u} = P + G - \epsilon - \nabla \cdot < K^{'} \mathbf{u}^{'} > \tag{7}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \nabla \cdot \epsilon \mathbf{u} = \left(C_{\epsilon 1} P + C_{\epsilon 3} G - C_{\epsilon 2} \epsilon\right) \frac{\epsilon}{K} - \nabla \cdot < \epsilon^{'} \mathbf{u}^{'} > \tag{8}$$

.

NUMERICAL MODEL HAVE BEEN ASSIGNED CONFIDENCE relative to:

1): generally validated principles
2): the best and most relevant laboratory scale data
3): the best full scale data from flows over mountains (Askervein Hill).

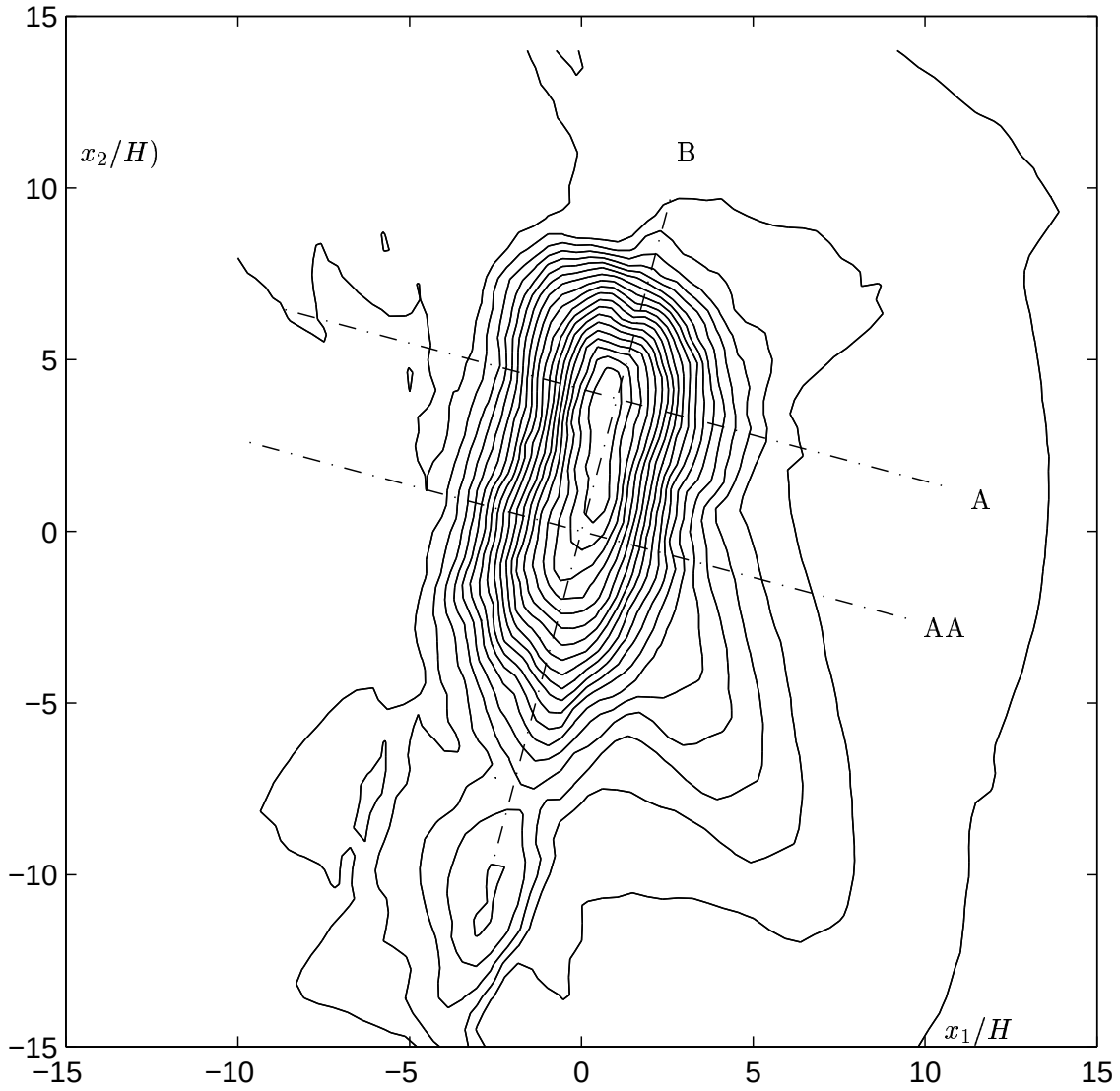


Figure 2: Askervein hill in $(x_1, x_2)/H$-coordinates, aligned for mean wind direction 210 deg. $H = 116m$. Measurements along the lines AA,A and B. The horizontal integration domain is characterized by $-15 < x_1/H < 20$ and $-15 < x_2/H < 15$

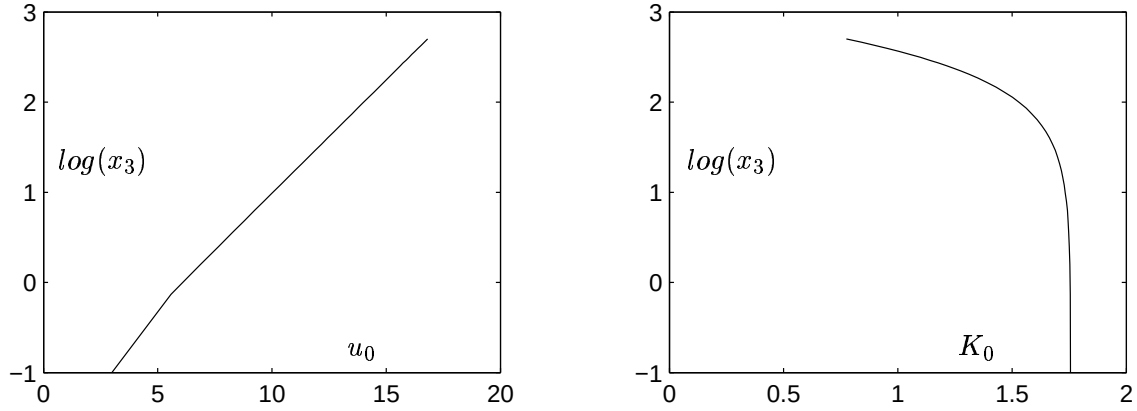


Figure 3: Estimated inflow vertical profiles, D/H≈13. Ordinate: $log_{10}(x_3)$. a): Mean wind speed $u_0(x_3)$ b): Turbulent kinetic energy $K_0(x_3)$, $u_0(10m) = 10m/s$, $K_0(10m) \approx 1.73(m/s)^2$

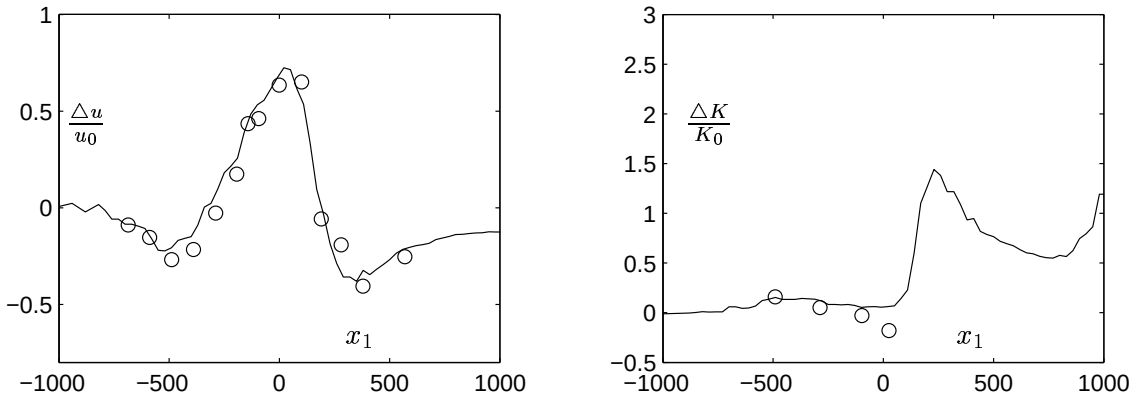


Figure 4: Estimated and measured profiles along AA at 10 m height. D/H≈13. a): Mean wind speed defect,$\triangle|u|(x_3)/u_0(x_3)$ b): Turbulent kinetic energy defect $\triangle K(x_3)/K_0(x_3)$, $u_0(10m) = 10m/s$. Turbulence data normalized with predicted inflow value $K_0(10m) \approx C_\mu^{-1/2} u_{*0}^2 \approx 1.73(m/s)^2$. Data from Castro et al (2003)

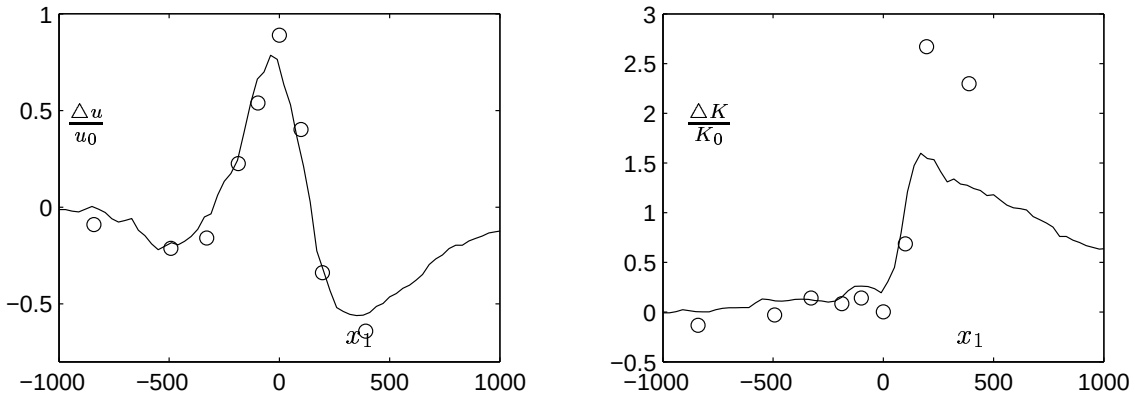


Figure 5: As in Figure 4. Profiles along A at 10 m height.

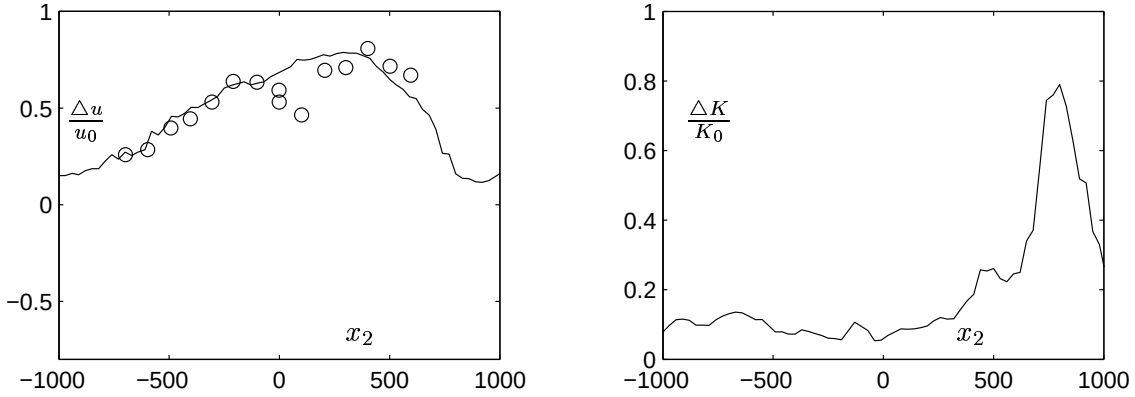


Figure 6: As in Figure 4. Profiles along B at 10 m height. Data from Raitby et al (1987)

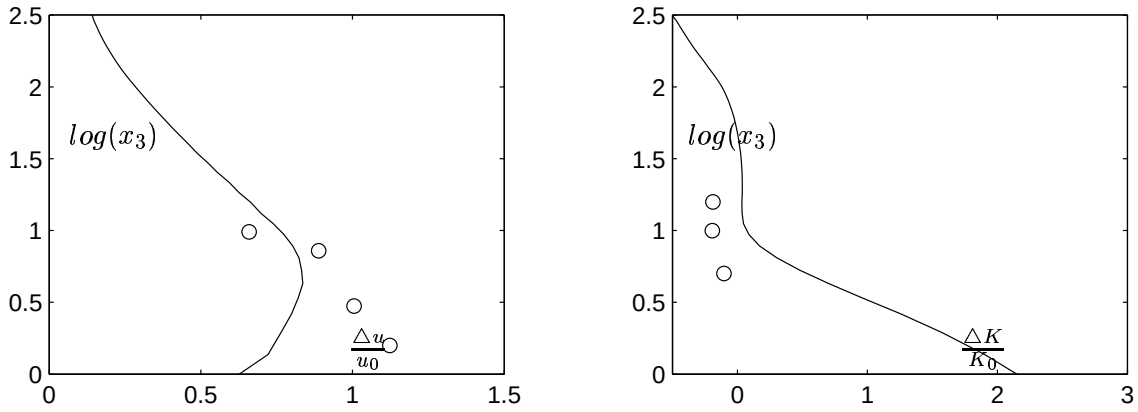


Figure 7: Estimated and measured vertical profiles at hillcrest over AA. D/H≈13. a): Mean wind speed defect,$\triangle|u|(x_3)/u_0(x_3)$ b): Turbulent kinetic energy defect $\triangle K(x_3)/K_0(x_3)$, $u_0(10m) = 10m/s$. Turbulence data normalized with predicted inflow value $K_0(10m) \approx C_\mu^{-1/2} u_{*0}^2 \approx 1.73(m/s)^2$. Ordinates: $log_{10}(x_3)$. Data from Castro et al (2003)

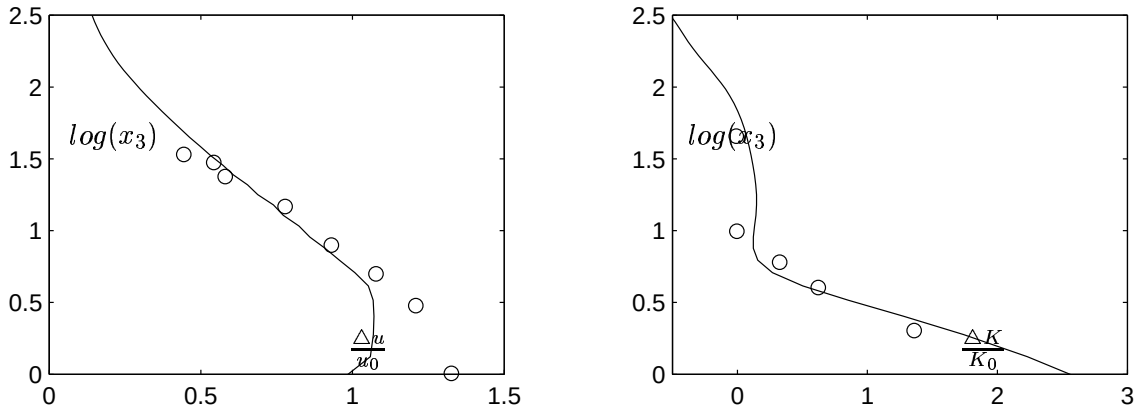


Figure 8: As in Figure 7. Profiles over hillcrest above A.

.

ESTIMATES FROM NUMERICAL MODEL HAVE BEEN ASSIGNED CONFIDENCE

$$E(x_1, x_2; x_3) = \frac{(\int_A |\mathbf{u}| dA)^3}{(\int_A |\mathbf{u}_0| dA)^3} \tag{9}$$

.

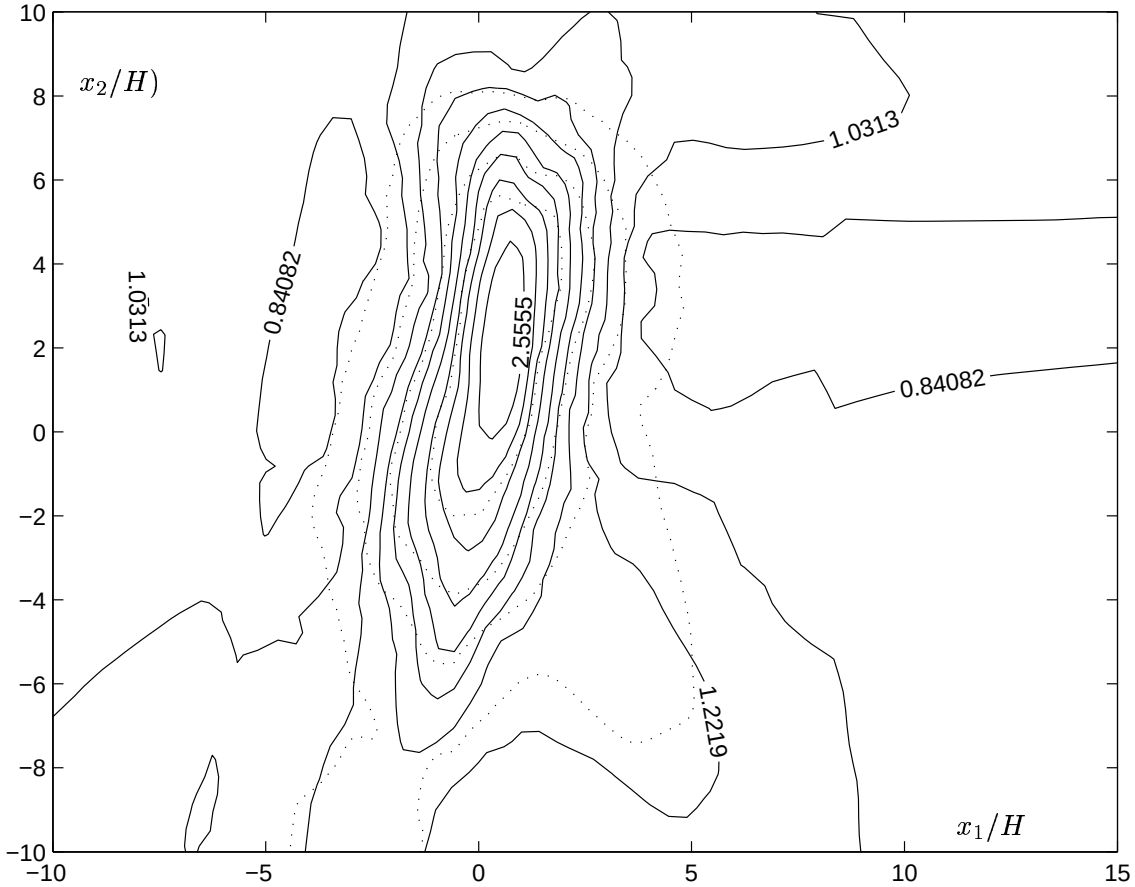


Figure 9: Estimated wind energy gain factor for a windmill with diameter 80m at 70m above the Askervein terrain. Wind direction 210 deg.

For smaller windmills and larger mountains:

$$0.1 < E \approx (\frac{u}{u_0})^3 < 5 \tag{10}$$

.

NORWEGIAN WIND ENERGY SITES ON HILLTOPS WITH CONSIDERABLE WIND SHEAR AND TURBULENCE

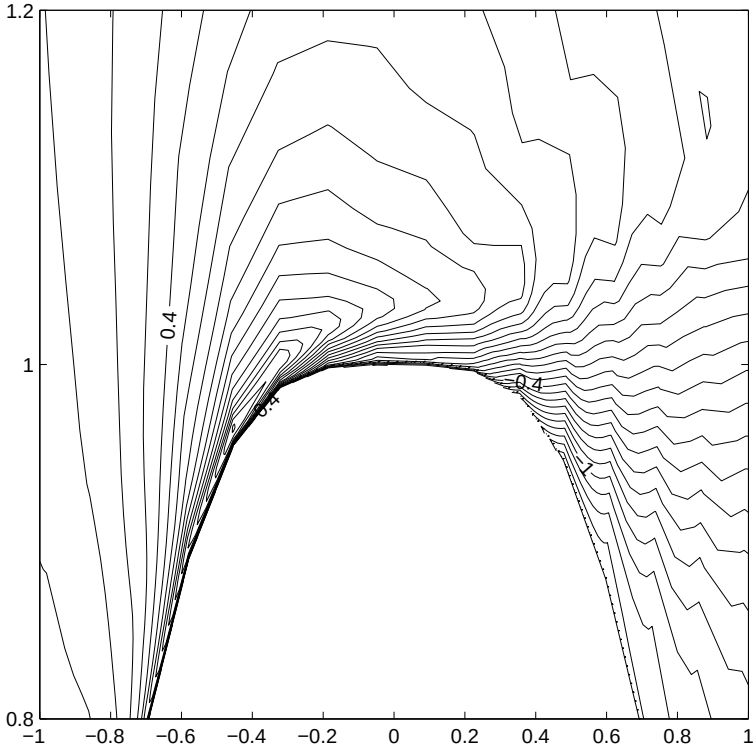
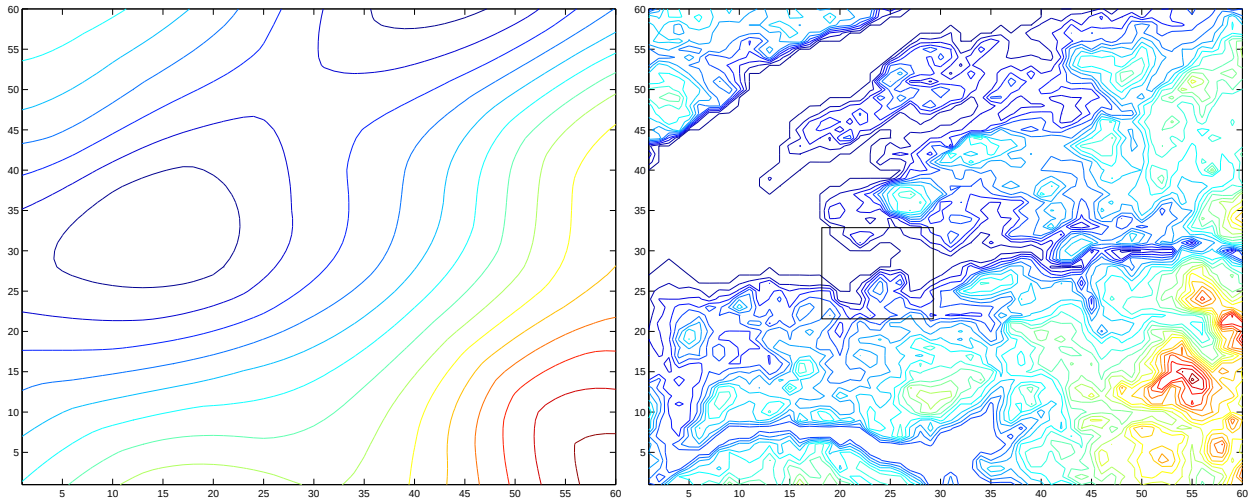


Figure 10: Equilibrium flow over an (Hunt and Snyder 1980)-shaped hill. Vertical variations along the hillcrest senter. Isolines for $\triangle u_1/u_0$ each 0.1.

.

PREDICTION SYSTEM FOR LOCAL FLOW OVER MOUNTAINS based upon: .

1): Large scale flow data from numerical wether prediction model HIRLAM
2): Small scale terrain data.
3): Non-hydrostatic mesoscale and small scale models MC2 and SIMRA.



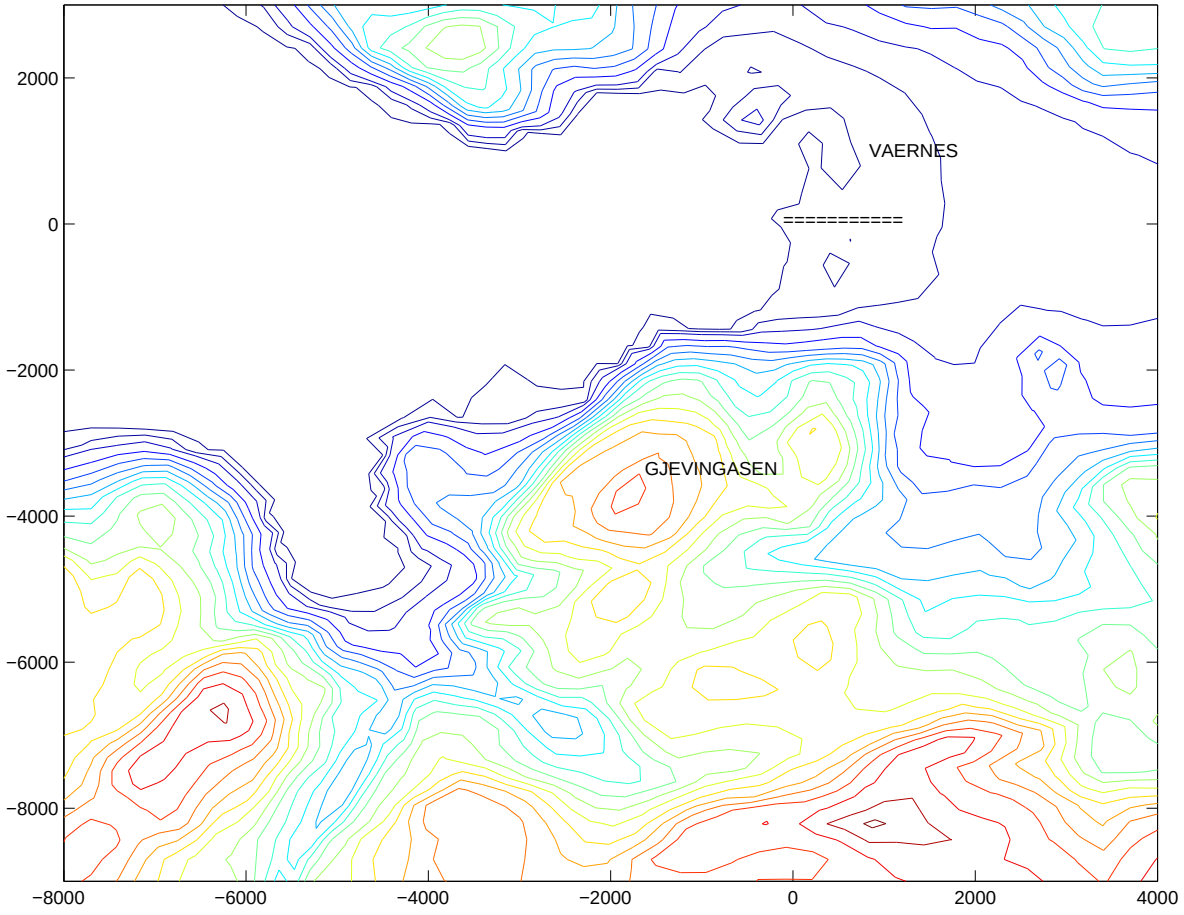


Figure 11: Model topographies. The HIRLAM topography (upper left) is shown over the same domain as the MC2 topography (upper right). The SIMRA topography (lower panel) is for the framed area in the MC2 panel. The hill Gjevingåsen is about 300 m high. Værnes airport is indicated by a stippled line around the origin at the lower panel. Coordinates for the upper figures are in [km], and for the lower figure in [m].

.

PARALLELL INTEGRATION

HIRLAM, MC2 and SIMRA parallell, so that integrations can be done significantly faster than true time, so that forecasting local flows is possible.

DEVELOPMENT COST

HIRLAM:	O(100 manyear)	$\sim$	O(10^8NOK)
MC2:	O(100 manyear)	$\sim$	O(10^8NOK)
SIMRA:	O(010 manyear)	$\sim$	O(10^7NOK)

.

PREDICTED ACTUAL FLOW OVER MOUNTAINS

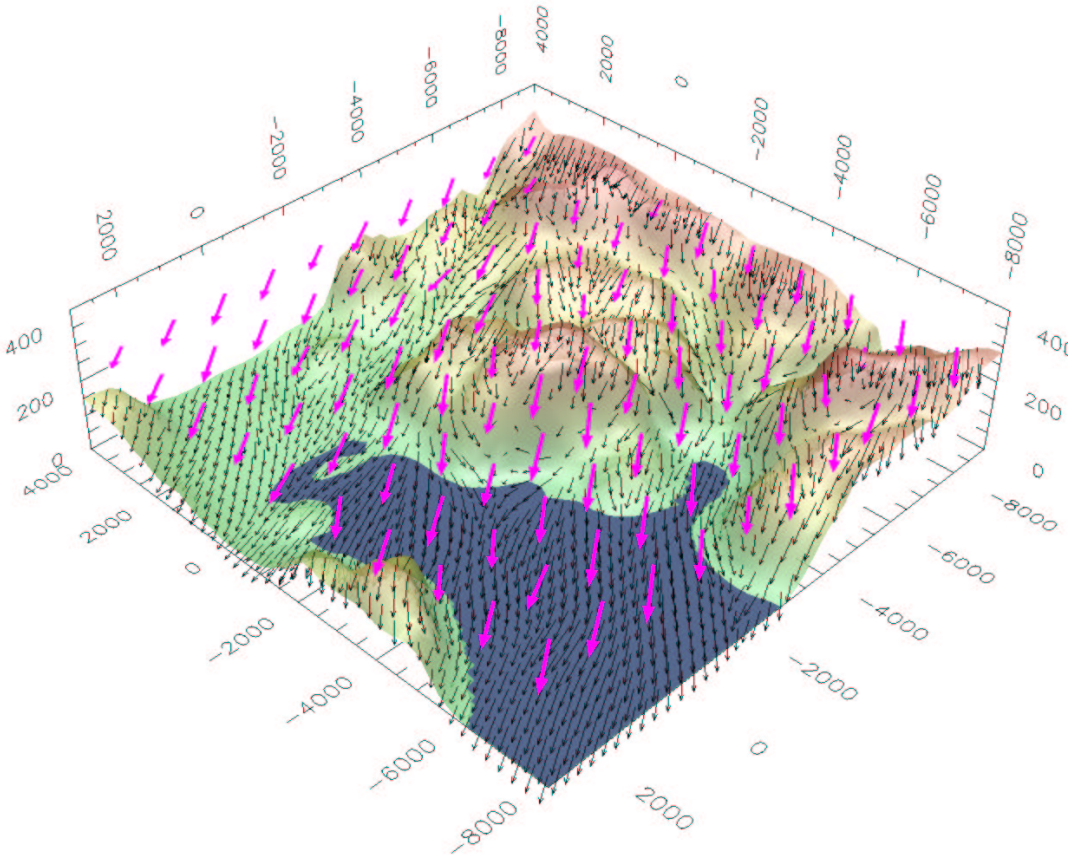


Figure 12: Estimated actual flow over mountains near Værnes Airport 18.11.00 at 12 oclock

.

SYSTEM CAN BE APPLIED WITH SOME CONFIDENCE
OVER ANY TERRAIN.

IMPROVEMENTS

1): Better modelling of stratified turbulence
2): Assimilation of local data
3): Validations, model and assimilation adjustments ?

Validering av mikroskalamodellen 3DWind Trondheim 26.01.04

- Mikroskalamodellen 3DWind
- Motivasjon for å benytte et testcase
- Presentasjon av testcase
- Beskrivelse av simuleringer
- Resultater
- Planlagte oppgaver

Mikroskalamodellen 3DWind

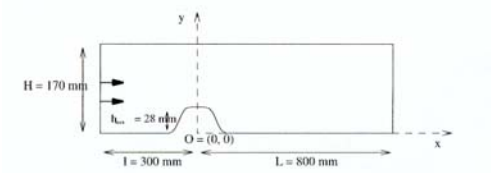
- Løsningsmetode for differensiallikningene som beskriver strømningen (Navier-Stokes likninger)
  - Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS)
  - Finite volume diskretisering
  - Ikke ortogonalt terrengfølgende grid, glatting mot yttergrenser
  - Collocated grid
  - Eksplisitt tidsintegrering
  - Veggfunksjoner (ruhetseffekter)
  - *k-ε, k-l og mixinglength* turbulensmodeller
  - Trykket beregnes ved Chorins metode
  - Filter for undertrykking av høye frekvenser
- Postprocessing
  - Matlab blir benyttet til å visualisere resultatene fra 3DWind

Motivasjon for å benytte et testcase

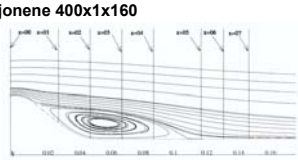
- Strømningslikningene er kompliserte
- Vanskelig å validere modellen uten detaljert informasjon for samtlige variabler
- Vanskelig å oppnå kontrollerte forhold i atmosfærisk strømning
- Strømningslikningene er identiske for både store og små skalaer, og for både luft og vann
- Hensiktsmessig med et case som likner på forhold som modelleres i komplekst terreng (f.eks resirkulasjon)

Presentasjon av testcase

- Case C18 i ERCOFTAC sin database er målinger fra vannkanal med en rygg, utført av Almeida et al
- Laser-Doppler hastighetsmålinger gjøres uten fysisk inngripen i strømning
- Simuleringsoppsett:

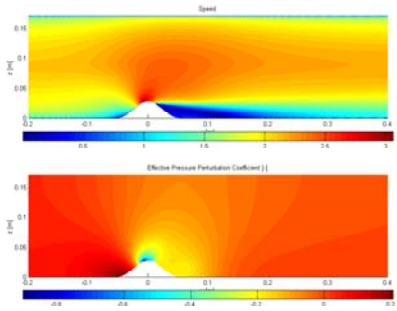


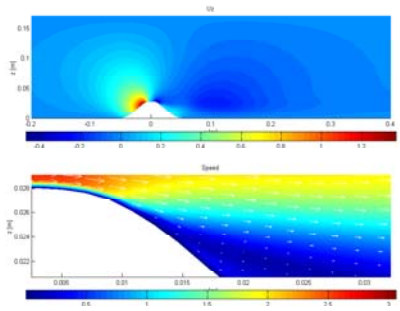
- For dette caset er det også utarbeidet numeriske resultater som fungerer som referanse
- Simuleringene er utført med fire ulike koder, hvorav 2 er store kommersielle
- Det er forsøkt å få en løsning som i størst mulig grad er fri for grid- og kodeavhengighet
- Gridet har her dimensjonene 400x1x160
- Strømningsbilde fra denne simuleringen. Strekene viser hvor vi har eksperimentelle profiler av de ulike variablene

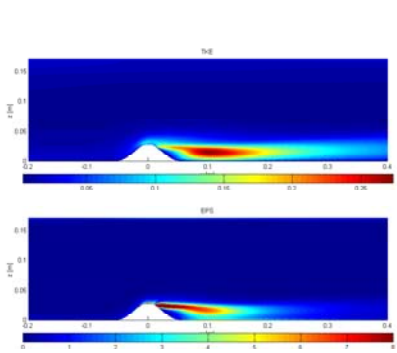


Beskrivelse av simuleringer

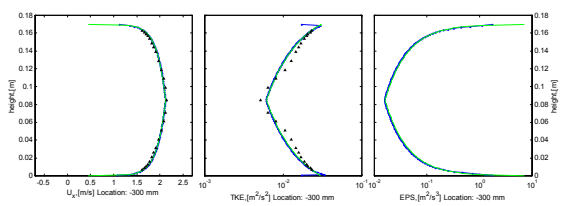
- Simuleringene er utført med et grid som har dimensjonene 140x1x100
- Benytta ruhet er z_0=6.7·10^{-7}m som svarer til u_τ=0.0689m/s berekna i eksperiment
- Periodiske grensebetingelser i y-retning
- *k-ε* turbulensmodell
- Innløpsbetingelse som for referanse simulering
- Resultatene er uten filtrering
- På påfølgende sider er det tatt med vertikale snitt av noen av parametrene

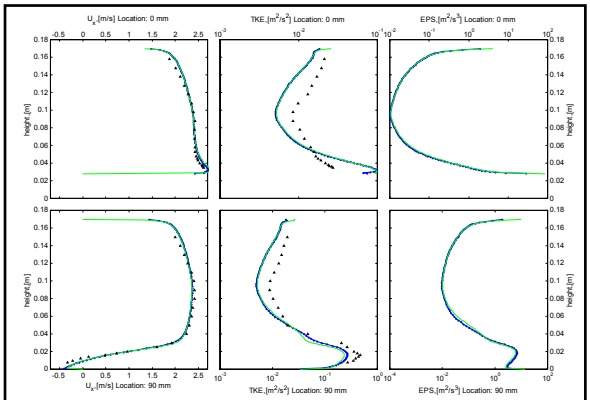






- Under er det presentert profilplott som viser resultat av simulering(blå), sammenlignet med eksperimenter(▲) og annen simulering(grønn)
- På denne sida er innløpsprofilene presentert. På neste side er det profiler fra toppen av ryggen (0mm), og fra resirkulasjonssonen(90mm)





Konklusjon

- Det ble funnet god overensstemmelse mellom simuleringer og målinger, men viktigst er likevel den meget gode overensstemmelsen med referansesimuleringen
- Dette sannsynliggjør at strømningsløseren 3DWind løser likningene riktig numerisk
- Dette er et godt utgangspunkt for også å ha tiltro til resultatene i vindkraftsammenheng

Planlagte oppgaver

- **Stabilisering av Reynolds Stress Modell. Bruke denne turbulensmodellen i simulering av case C18**
- **Publisere resultatene fra simuleringer av case C18. Sammenligne resultater og simuleringstid. Beskrive implementeringen av RSM**
- **Kjøre simuleringer for Askervein-hill. Publisere resultater**
- **Publisere resultater retta mot vindkraft. Hvordan modellen brukes sammen med målinger. Fordeler og ulemper sammenlikna med andre modeller. Se på forskjeller i resultat for de ulike turbulensmodellene, og om dette er av betydning i vindkraftsammenheng**

Reynolds Stress Modell

- **Har implementert eddy-viskositetsversjon**
- **Transportlikning for Reynoldsspenningene**

$$\frac{\partial R_{ij}}{\partial t} + U_k \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_k} = -P_{ij} + \frac{2}{3}\varepsilon\delta_{ij} - \Pi_{ij} - D_{ij} \qquad R_{ij} = \overline{u_i' u_j'}$$

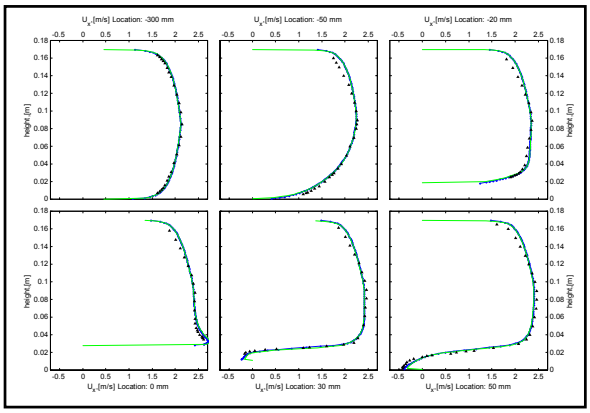
der

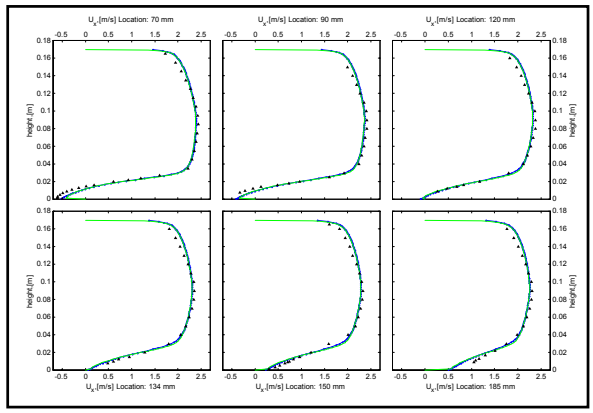
$$P_{ij} = -\left(R_{im}\frac{\partial U_j}{\partial x_m} + R_{jm}\frac{\partial U_i}{\partial x_m} \right)$$

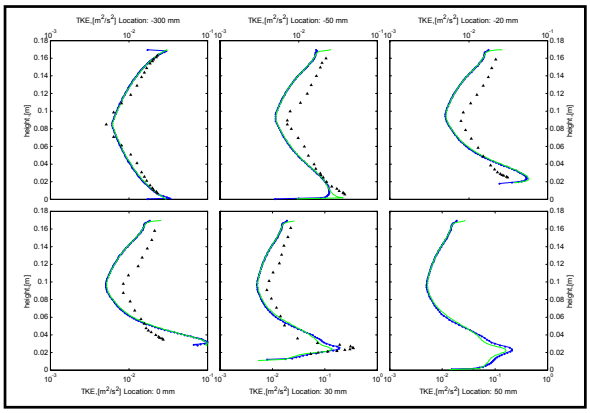
$$\Pi_{ij} = -C_1 \frac{\varepsilon}{k}\left(R_{ij} - \frac{2}{3}k\delta_{ij} \right) - C_2\left(P_{ij} - \frac{2}{3}P\delta_{ij} \right)$$

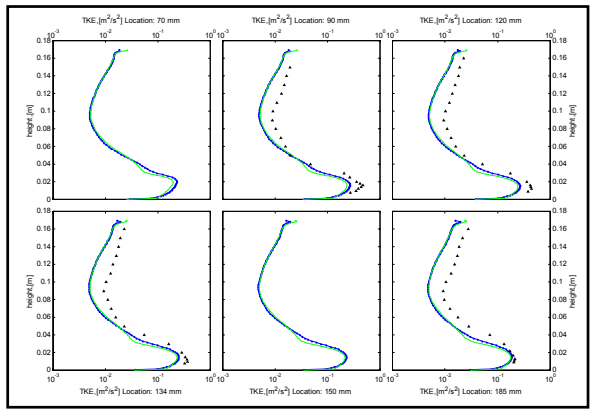
$$D_{ij} = -\frac{\partial}{\partial x_m}\left[\frac{\nu_t}{\sigma_k}\frac{\partial R_{ij}}{\partial x_m} \right] \qquad k = \frac{1}{2}\left(R_{11} + R_{22} + R_{33} \right)$$

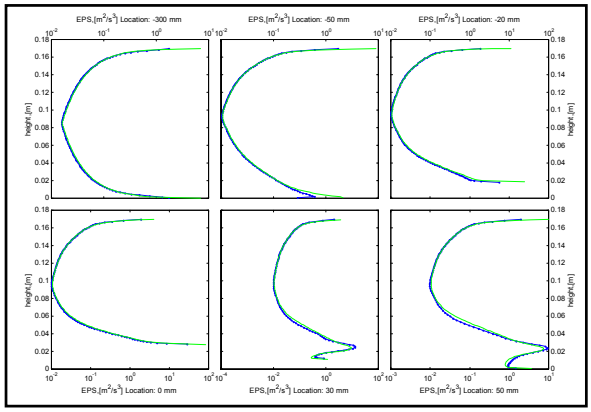
- **ε blir berekna som ved *k-ε* modellen**

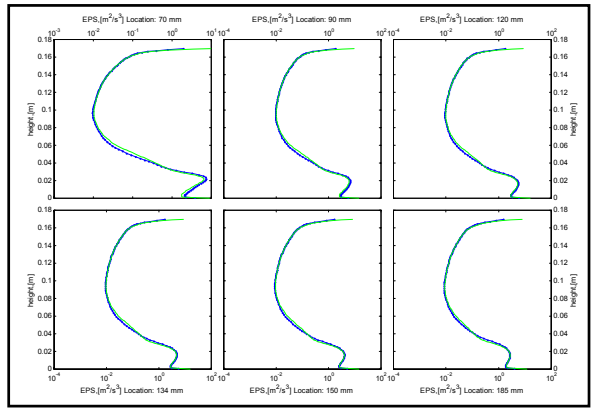









EPS,[m²/s³] Location: -300 mm
EPS,[m²/s³] Location: -50 mm
EPS,[m²/s³] Location: -20 mm
EPS,[m²/s³] Location: 0 mm
EPS,[m²/s³] Location: 30 mm
EPS,[m²/s³] Location: 50 mm
height,[m]


EPS,[m²/s³] Location: 70 mm
EPS,[m²/s³] Location: 90 mm
EPS,[m²/s³] Location: 120 mm
EPS,[m²/s³] Location: 134 mm
EPS,[m²/s³] Location: 150 mm
EPS,[m²/s³] Location: 185 mm
height,[m]

Terrengeffekter i vindparker

Stipendiat Kjersti Røkenes
Strategisk vindkraftprogram
Institutt for energi- og prosessteknikk

26. januar 2004

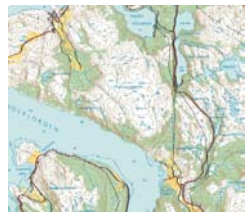
Formål med oppgaven

- Studere komplekst terreng i vindparker
  - Typisk norsk vindpark
  - Belastning på turbiner
  - Betydning for energiproduksjon
- Test av numeriske beregninger
  - Utfordring med denne type terreng
  - Mulighet for videreutvikling og verifisering av modeller

Hva skal gjøres?

- Lage generisk terrengmodell
- Måling i vindtunnell
- Samarbeid med Andreas Knauer og Karl Eidsvik
  - Regner på modellen med ulike programmer
  - Modellen som test
- Forstørre del av terrengmodell
- Sette inn turbinmodeller
  - Effekter som skyldes andre turbiner

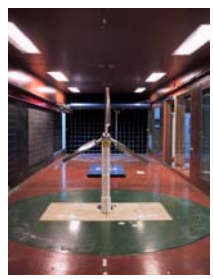
Eksempler på terreng



Terrengeffekter i modellen

- Akselerasjon over bakketopper
- Skrenter
- Skarpe kanter
- Fjell rundt
- Kupert terreng
- Rotere modellen
  - Flest mulig effekter

Vindtunnell og målemetoder



- Vindtunnellen
  - Testseksjon:
    1.8 m x 2.7 m x 11 m
  - Hastighetsområde:
    0.5 m/s – 30 m/s
- Målemetoder
  - Hot-wire Anemometry
  - Laser Doppler Anemometry (LDA)

Terrengeffekter i vindparker

- Spørsmål?

7

FoU aktiviteter ved Kjeller Vindteknikk AS

FoU seminar i Trondheim 26. og 27 januar 2004

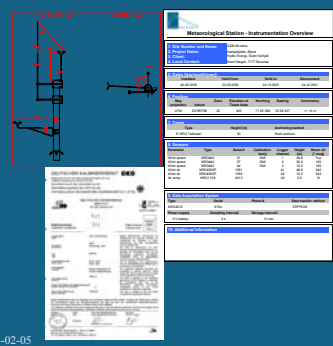
Kjeller Vindteknikk AS

- Etablert i 1998 for å drive med konsulentvirksomhet på vindkraftområdet.
- Er et datterselskap av IFE
- Omsetter for ca 5 mill/år
- Har 4 (5) ansatte

Konsulentvirksomhet

- Stedsvalg
- Leverer lokal vindressurskartlegging som tilfredsstiller internasjonale investorers krav.
  - Feltmåling
  - Dokumentasjon
  - Analyse
  - Simulering
  - Utforming av vindparker
  - Komplette klimabeskrivelser
- 3. Parts verifikasjon av vindressurskartlegging
- Utredninger om vindkraft
- Salg av korttidsprognoser

Dokumentasjon



Forskning og utvikling

pågående aktiviteter

- Vindmåling
  - Utprøving av sensortyper og deres oppførsel under ulike forhold.
  - Utvikling av vindmålinger for kaldt klima og ising
  - Utvikling av analysemetoder
- Atmosfærisk ising
  - NFR prosjekt med Statkraft, Hydro, IFE og met.no
- Korttidsprognoser
  - NFR prosjekt med Hydro, IFE og met.no

Forskning og utvikling

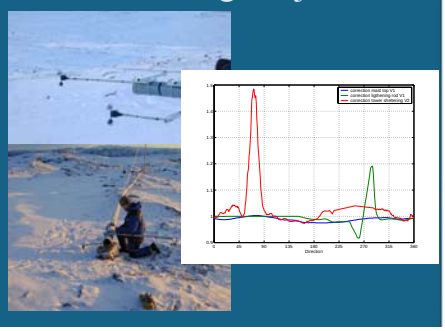
fremtidige behov innefor KVT sitt virksomhetsområde

Vindmåling

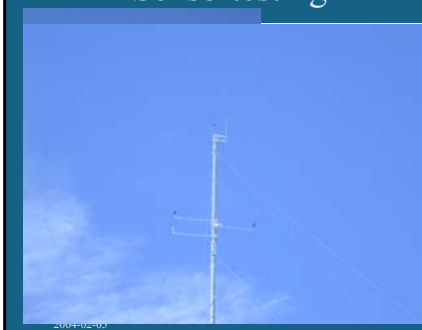
Influens fra mast og annet på vindmålingene.

- Kalibrering.
- Ulike sensortypers oppførsel under ulike forhold.
- Strømforsyning til oppvarmede sensorer.
- Filtrering av data influert av ising.

Felttest av ulike mastekonfigurasjoner



Sensortesting



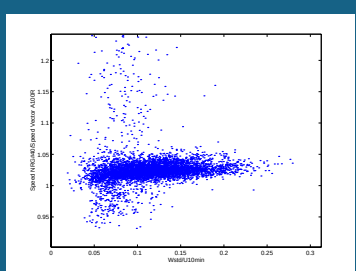
NRG #40, Vector og 3-aksig Gill

NRG #40 og RISØ

NRG IceeFreeII og Vaisala WAA252

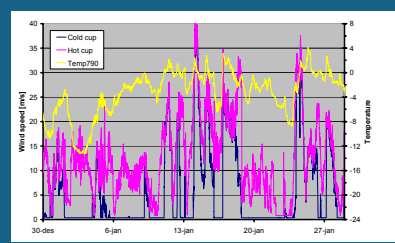
Sensortesting

V_{NRG}/V_{vector} vs vertikal turbulens



 Vertikal turbulens her definert som W_{std}/U_{total}

Oppvarmede sensorer



Atmosfærisk ising

- Forekommer i flere ulike former:
  - Rim
  - Blåis (ice storm i Amerika)
  - Våt snø
  - Tåkerim
  - Rimfrost
- I Norge er det tåkerim som skaper de største problemene.

Tåkerim

- Oppstår når en har tåke og kuldegrader samtidig.
- Opptrer hyppig på kystfjell som ofte stikker opp over skybasis.
- Bygger seg opp på fremkanten av turbinvingene og reduserer produksjonen.
- Skaper også problemer for vindmålinger.

NFR prosjekt - ising

- Samarbeidsprosjekt med IFE og met.no
- Støttet av Statkraft, Hydro og NFR
- Hovedmålet er å forbedre metoder for å kunne beregne forventet ising.
- Delmål er å forbedre vindmålinger under forhold med ising.

NFR prosjekt KVT sin rolle

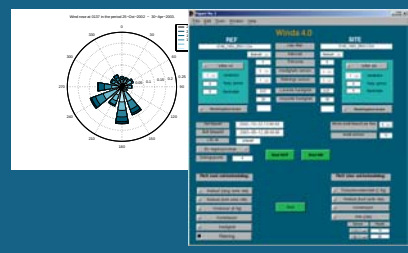
- Prosjektledelse
- Opparbeidelse av målestasjon
- Bidra med vindkraftkompetanse

Prosjektmålestasjon

Ising - eksempler

Ising - eksempler

Analyse av vinddata



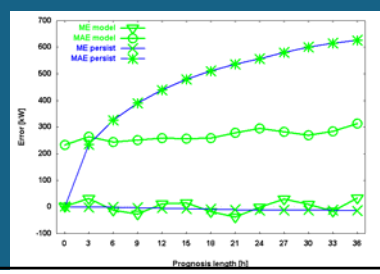
Bruk av modeller

v/Erik Berge
Kjeller Vindteknikk AS

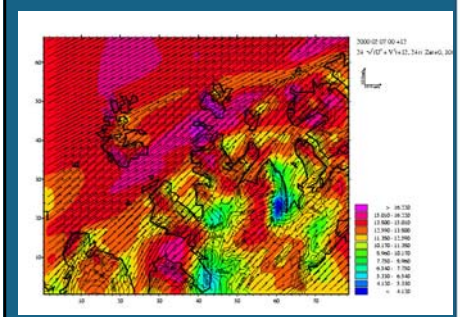
- Varsling av vindkraftproduksjon
- Vindressurskartlegging

Hvorfor trenger vi modeller?

Varsling



Vindressurskartlegging:



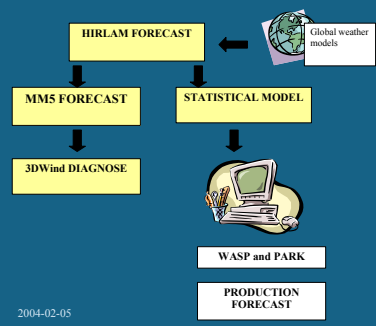
Forbedring av varslingsteknikker for vindkraftproduksjon

Et samarbeidsprosjekt
mellom
Meteorologisk institutt
Institutt for energiteknikk
Kjeller Vindteknikk

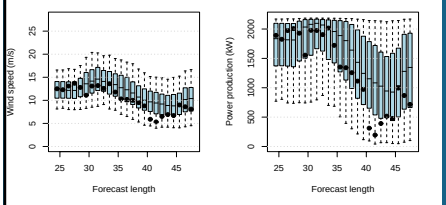
Nytteverdi

- Øke verdien av produsert vindkraft
- Kan brukes i forbindelse med:
  - Innmelding av kraft på NORDPOOL.
  - Produksjonsplanlegging.
  - Sikrere planlegging av vedlikehold av vindkraftverk.
  - Drift av alenestående energianlegg.
  - Annet.

Valg av metodikk



Forecasted wind speed (left) and energy production (right) with probabilities. Dots are observations.



Probabilities are given as 5,25,50,75 and 95 percentiles. 25, 50 (full line) and 75 percentiles are represented by the blue bars. The 5 and 95 percentiles are given by the dotted lines (lowest and highest respectively). Note the reduction in forecast quality with length of the forecast.

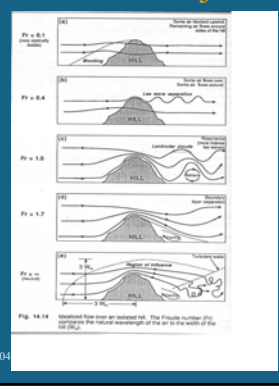
Vindressurskartlegging

Topografiske effekter (fjell av ulik størrelse)
Tyngdebølger
Termiske effekter
Grenselag (friksjonslag)
Turbulens

Modeller som brukes i det norske miljøet

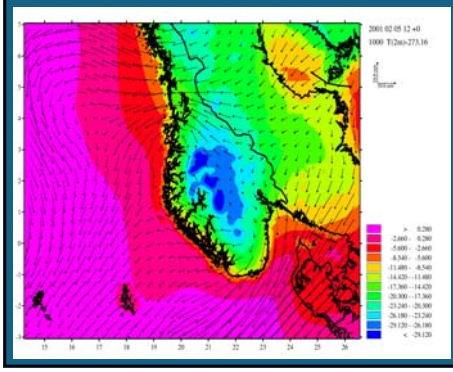
- Meteorologiske modeller: Hirlam, UK-met. office, MM5, MC2
- CFD-modeller:
  3DWind, Phoenics/WindSIM, SAFRA, FLUENT, CFD-Norway
- Forenklete strømningsmodeller:
  WAsP, MS-Micro

Strøm over fjell



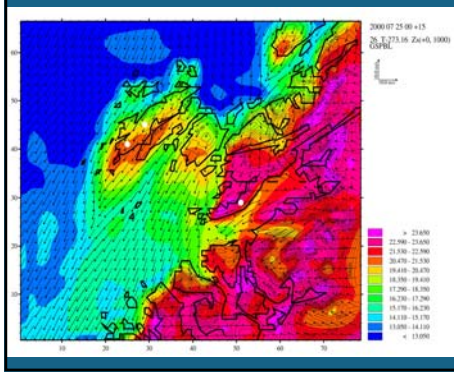
Påvirkning fra fjellkjeder

Rommlig skala 20-200km (midlere meso-skala)



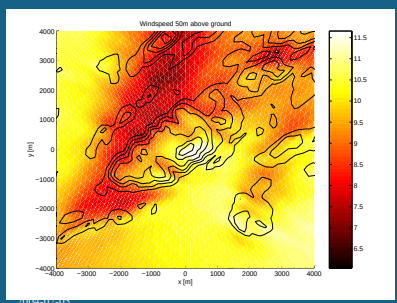
Termiske effekter

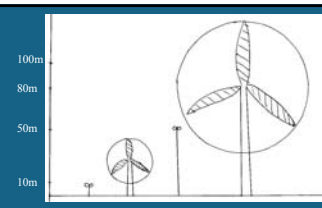
Rommlig skala 2-20km (liten meso-skala)

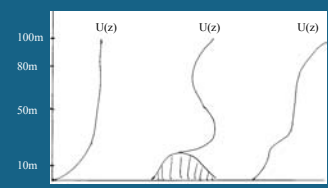


Micro-skala

Rommlig skala ~1m – 2km







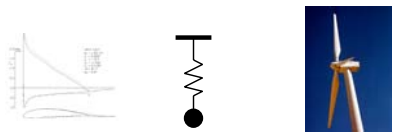
FOU-utfordringer

- Ulike skala må sees i sammenheng
- Forbedre nøyaktigheten av prognosene, samt årsmiddelvind og turbulens.
- Knytte arbeidet med målinger og modellering nærmere sammen

Aeroelastiske simuleringer

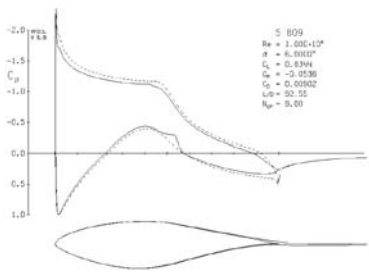
Dr. A. Knauer
IFE

Aeroelastiske simuleringer

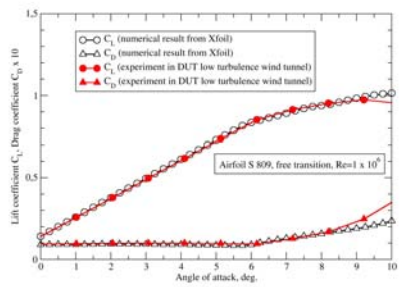


Aerodynamikk + Strukturdynamikk = Aeroelastikk

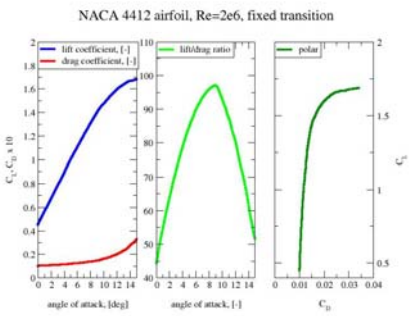
Aerodynamikk



Aerodynamikk



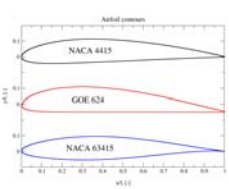
Rotorblad-seksjoner

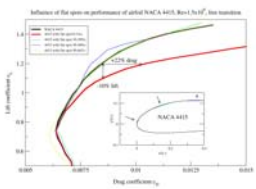


Rotorblad-seksjoner

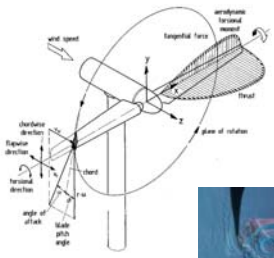
Aerodynamisk design med fokus på:

- **Optimalt løft/drag ratio**
- **Sensitivitet for akkumulasjon av ruheter**
- **'Smooth stall onset'**
- **Lydemisjoner**





Rotorblader



3D-EFFEKTER

Bladspissen:

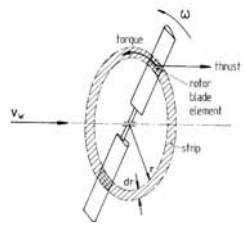
- **Tip virvler**

Indre seksjoner:

- **Løftamplifikasjon**
- **'Stall delay'**

Bladelement metode (BEM)

- Indusert hastighet på seksjoner blir estimert med impulsbalansen for et ringformet kontrollvolum.
- Kalkulasjon av uavhengige seksjoner på rotorblad.
- Aerodynamiske krefter blir estimert med vindtunnel test data.
- Korreksjoner for tip virvler og kaskade effekter.



Aeroelastisk modell FLEX 5

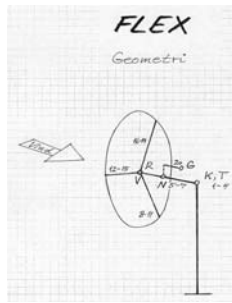
Flex 5 er utviklet av Stig Øye, DTU. Modellen benyttes og modifiseres av IFE i SUP 'Vindenergi' og KMB-prosjekt 'Utvikling av norsk vindkraftteknologi'.

- **Matematisk modell med strukturdata, lokasjon av alle masser i strukturen og eksterne laster.**
- **FLEX 5 består av sub-modeller for simulasjon av vind, aerodynamikk (BEM) og strukturdynamikk (fundament, tårn, nacelle, rotor; med forskjellige koordinatsystemer).**
- **Regelalgoritmer (f. eks. for pitching av rotorblader).**
- **Modellering av systemkomponenter (bremser).**

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

FLEX 5

Modellering av turbinen



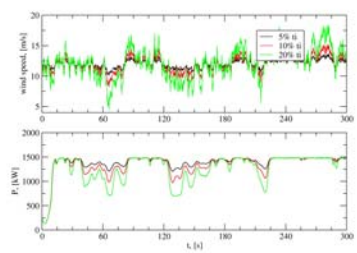

```
Tjh, V=15, Ti=0.1, Vxp=0.14
**** Blade data ****
'Tjh_blad.vda                Blade data filename,  '->' data below
**** Rotor + Nacelle ***
3                            B  (number of blades)
1.0 1.0  1.0 1.0  1.0 1.0    K_flap_fak  K_kant_fak, pairs, blade 1..3
1   1    1                   M_fak, blade 1..3
0.0  0.0   0.0               Pitch offset blade 1..B (deg)
0.0                          X_rod (offset blade data x) (m)
0   3.0                      coning  tilt  (deg, deg)
6.81  2.44                   Zsav  Zm   (rotor overhang + pos. of shaft bend)
42500  -0.54                 Mnac  Zgnav
7E4  7E4  6E4                Insav  Iynav  Imav
1E9  1E9  1.1E8              Kgax  Kgay  Kiaxs  (shaft stiffness, DOF 14,15,28)
170  68.4                    Igenerator  Ngear
156800  0.58  3.61           Mkab  Zgkab  XKK2
1.4E6  1.4E6  3E5            Ikbab  Iykab  Izkab
1E10  1E10                   Kts  KKy  (yaw- and tilt stiffness)
****  tower data ****
**** foundation data ****
**** operational data  ****
**** data for simulation ***
***  data for generator, brake, pitch etc.  ****
*** Inputdata for Flex5 generator version 1.1 **
*** Inputdata for Flex5 brake model version 2.0 ***
*** Inputdata for Flex5 yaw model version 1.0 ***
*** Inputdata for deterministic wind, version 1.1 ***
```

Aeroelastiske simuleringer

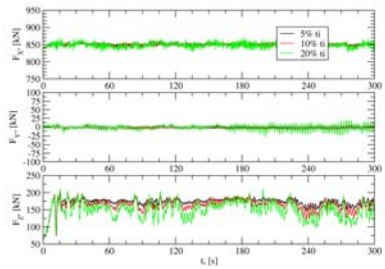
Vindturbin data:

- Pref =1.5 MW
- Variable-speed, pitch-kontrollert turbin
- Rotor diameter 70 m, tre blader, NACA 44xx profiler
- Gamma 3.5 deg., tilt 5 deg.
- Stål tårn, hub-høyde 68 m
- Masser: blader = 4.7 t, nacelle = 71.5 t, tårn = 87.5 t

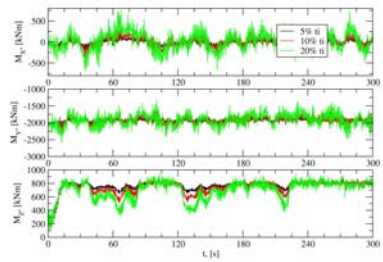
Aeroelastiske simuleringer



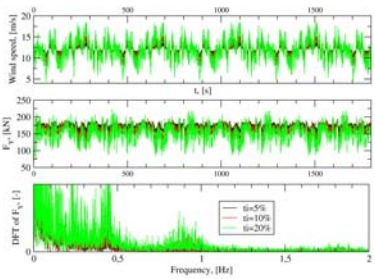
Aeroelastiske simuleringer



Aeroelastiske simuleringer



Aeroelastiske simuleringer



Aeroelastisk modell BLADED

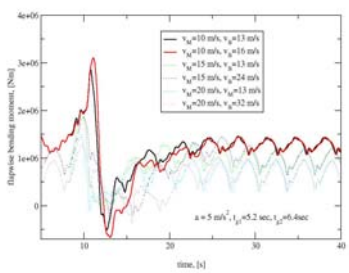
BLADED er utviklet av Garrad & Hassan. Integrert software for beregning av vindturbin ytelser og laster.

Tilsiktet bruk:

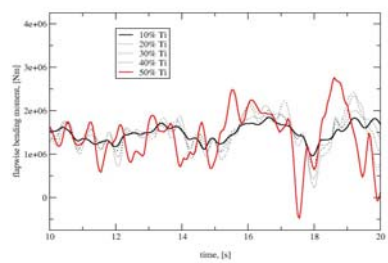
- **Vindturbin design**
- **Detaljert design og komponent spesifikasjon**
- **Sertifisering av vindturbiner**

- **Modelltype: BEM / FEM**
- **Vindfelt generasjon**
- **Modale analyser**
- **Fullstendig aeroelastisk modellering av vindturbin i tidsområdet fra fundamentet til bladspissen, inkludert generator og kontroll algoritmer.**

Laster fra vindkast



Turbulensinduserte laster



IEA Annex XX: HAWT models from wind tunnel tests

Aktiviteter skal forbedre kunnskap om rotorstrømninger, 'engineering rules' for aeroelastiske modeller vil ble testet og verifisert basert på full-skala tester av en vindturbin i NASA-AMES vindtunnel.

Deltakere: USA (OA), Danmark, Nederland, Tyskland, Spania, Hellas, Sverige og Norge.

Mål (SUP/IFE): 'Tip loss' modell analyse og forbedring, estimering av lift amplifikasjoner og av ikke-stasjonære fenomener ved indre rotorseksjoner. Modifikasjon av aeroelastisk modell (FLEX 5).

Tidsramme: 2003 – 2005

Finansiering: SUP (NFR), ENOVA

Avansert Pitch Regulering av Store Vindturbiner

Jonas N. Hertel

Veiledere: Jørgen Løvseth (NTNU)
Andreas Knauer (IFE)

Hovedpunkter

- Prosjekt beskrivelse
- Utfordringer
- Teknologi status
- Framdriftsplan
- Prosjektets samarbeidspartnere

Motivasjon

- Redusere lasten på store vindturbinblader
- Øke levetiden på turbinene
- Forbedre virkningsgraden på turbinene?

Utfordring

- Store rotorer – variert vindbilde
- Lage et kontrollsystem som tar hensyn til det varierende vindbildet over rotordisken
- Kostnadseffektivt og robust

windpower.org

Teknologi Status Pr. Idag

- Individuell pitch regulering
- Disturbance Accomodating Control (DAC)
- PI og PID kontroll på vei ut til fordel for DAC og adaptiv kontroll
- Vestas, Nordex, GE m.fl. Benytter seg av individuell pitch regulering på sine nye store turbiner (~2-3MW)

Sammenlikning for NREL's 600kW Vindturbin (K. Stol, NREL)

	Conventional torque control (constant pitch)	State-space control (max. power)	State-space control (min. fatigue)
Mean shaft power [kW]	170.3	172.2 (+1.1%)	168.4 (-1.1%)
Blade damage equiv. load [kNm]	192	193 (+0.5%)	146 (-24%)
Tower fore-aft damage equiv. load [kNm]	1307	1240 (-5%)	922 (-29%)
Tower side-to-side damage equiv. load [kNm]	1133	994 (-12%)	656 (-42%)

Framdriftsplan

- Gjøre sammenlikninger mellom Bladed® og Flex5
- Utføre last målinger på en stor vindturbin
- Analysere data som grunnlag for design av et kontrollsystem for individuell pitch regulering
- Total systemsimulering

Samarbeidspartnere

- Benytte ekspertise ved SINTEF, IFE og NTNU
- Samarbeid med ScanWind
- Samarbeid med NREL (National Renewable Energy Laboratory)

Tekniske rammevilkår ved utbygging av vindkraft

Asle Skiple
NTNU

Norske forhold. (Bilde M/S Elekron: Statnett Transport)

Vindkraftutbygging Norge innbyr kanskje til større utfordringer enn på Kontinentet når det gjelder:

- Infrastruktur.
- Byggeteknikk.
- El-nettilknytning.

Infrastruktur, eller mangel på dette.

- Utbygger i Norge må foreta nøye vurdering av aktuelle dypvannskaier og beste vegrute til lokalitet.
- Eventuelt kan steinfylling ut i sjø benyttes som midlertidig kai. (Se bilde av M/S Elektron med landgangsrampe.)
- Ingen absolutt vektgrense på hva som tillates på veiene. Myndighetene gjør vurdering i hvert tilfelle på bakgrunn av lokal vegstandard.

Erfaringer fra utbygging av Smøla vindpark. Sett fra veimyndighetene.

- Ved Smølautbygginga satte Statens Vegvesen krav om at tungtransportene ikke på noe sted fikk stanse opp underveis. Veien kunne ødelegges.
- Maksimalvekt på mobilkran som tillates på norske veier er 65 tonn. Det ble gitt dispensasjon for en større kran på Smøla, men denne var likevel ribbet og måtte delvis monteres på stedet. Smølakranen hadde en løftekapasitet på 96 tonn.

Byggeteknikk, og hva kan en gjøre uten kran. (Bilde: Tower Tec, Tyskland)

- "Selvbyggende" løsninger, kan lønne seg ved turbiner større en 1,5 MW (Amerikansk studie)
- Enda bedre ved større turbiner og utilgjengelig terreng.
- ScanWind satte opp sin 3 MW prototype på Hundhammerfjellet med kraner, men satser på en selvbyggende løsning som standard.

Hvilke størrelser kan det bli snakk om ?

- Eksempel på vekter, skalert fra en kommersiell vindturbin.
- 5 MW turbin — Tårn: 307-334 tonn; Nacelle m/rotor: 318-349 tonn
- 10 MW turbin — Tårn: 661-792 tonn; Nacelle m/rotor: 684-819 tonn

Hvis en ikke kan dele dette opp i svært mange seksjoner kan dette bli uhåndterlig på land. For offshore-industrien derimot er dette kjente størrelser.

Hvor store kan de egentlig bli ?

- Belastningen pga. egenvekter øker raskere enn konstruksjonens styrke ved økende størrelser. (rotorblad)
- Produksjonstekniske utfordringer kan også bli viktige rammevilkår. F.eks så blir støpte komponenter (nav) uforholdsmessig dyre ved økende størrelser. Få støperi kan levere de største komponentene.

Fagverkskonstruksjoner. Alternativ til sirkulære ståltårn? (Bilde: www.windpower.org)

- Halvparten av vekten kontra sirkulært ståltårn.
- Mer transparent struktur.
- Innvendninger går på estetikk og muligens større risiko for fugledød.

Betong. Også et alternativ?

(Bilde: Enercon, Tyskland)

- Anerkjent byggematerial. (plasstøpt eller betongelementer)
- Norge har vært ledende på betongteknologi.
- Høy vekt sammenlignet med ståltårn.

Hvorfor bygge få og store…

- Større energiuttak fra høyere tårn.
- Bedre arealutnyttelse ved komplekst terreng.
- Kostnader som er noenlunde uavhengige av størrelsen på turbinen. (F.eks nettilknytning, vedlikehold, regulerings-elektronikk.)

(->Offshore vindkraft)

…og hvorfor bygge mange og små.

- Dårlige veier og mangelfull tilgang på krankapasitet.
- Mindre spenningsfluktasjoner fra park.
- Velprøvde design.

umoe

umoe ryving

Umoe Ryving

High performance wind turbine blades

Umoe Ryving AS
www.umoe-blades.com

umoe

umoe ryving

History of Umoe Mandal

- Leading builder of high speed naval craft in composites
- Utilising experience from 50 years of local high speed shipbuilding
- The yard designed for production of
  - MCMV
  - FPB
- 1989 - Established as Kværner Båtservice AS
- 1991 - Kværner Mandal AS
- 2000 - Umoe Mandal AS
  (Umoe AS - 95%)
- 2002 – Umoe Ryving – spin off
  - Development, design and production of wind turbine blades

umoe

umoe ryving mandal

Umoe Mandal - a professional partner

Professional organisation to handle complex and large naval projects successfully

- 9 minehunters/sweepers
  - 1990-1997: 375 mill EUR turnover
- SKJOLD pre-serial vessel
  - 1996- 1999: 38 mill EUR
- Modernising the the Hauk class
  - 1999-2003: 12,5 mill EUR
- SKJOLD series
  - 2003-2009: 250 mill EUR

umoe

umoe ryving

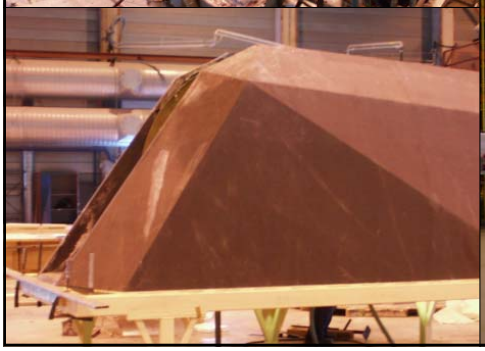
Composite lift fans to Finnish ACV

Largest carbon fibre centrifugal fans ever built

umoe

umoe ryving

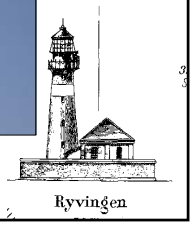
Gun cupola for United Defense Bofors 57mm



US Littoral Combat Ship

Blades for MW wind turbines

- Umoe Ryving established 2002
- Spin off from Umoe Mandal
- Utilising our advanced composite technology in the growing wind power market



Objectives for Umoe blades

- To be an important player in the market
  - Offer blades with high quality and high performance
  - Provide excellent service and flexibility
  - Competitive prices
  - Independent

Products

Blade type:	UM70 and UM77 pitch blades
Nominal power:	1,5 -2 MW
Length:	34,0 m- 37,5m
Mass per blade:	4500kg -5600 inclusive root connection bolts
Bolt circle diameter:	1800 mm
Materials:	Glass/epoxy
Production method:	Vacuum injection i electrical heated moulds.

Development/next generation:

- We expect that the length of blades in series production will grow beyond 50-60 meter the next 2-3 years

umoe ryving

Production facilities

- Capacity planned:
  - 2003: One blade every 2 days
  - Can be increased to one blade every day
  - Vacuum injection in heated moulds

umoe ryving

Blade production

- First set delivered 21 February 2003 to REpower Systems

- Series production started from June 2003
  - Establish service department 2004

umoe ryving

umoe

umoe ryving

umoe

umoe ryving

Blades are shipped from Mandal to Bremen

The wind power market
Rapid changes - new challenges

Industry overview

- Reduced growth in 2003 and 2004
  - Reduced growth in Europe
  - Waiting large future offshore development
- Concentration into few and large companies
  - Vestas/NEG Micon, Enercon, Bonus, GE
  - Larger projects put demand on financial solidity
- Larger turbines – larger blades
  - Increased tooling costs

umoe ryving

The blade market is segmented

- Premier league companies:
  - Vertical integration
  - Own blade **production**
- First division companies:
  - Own blade **design**
  - Partnership with blade suppliers
- Blade producers faced tough times in 2003
  - LM lost 50% turnover?

The Umoe Ryving story

Start-up:

- Technology transfer
  - Proven design and production method
  - Me-too
  - Basis for future development
  - Umoe (= Norwegian naval) reliability, quality and competence
- Launching customer
  - Blade is an integrated part of the turbine (the most important component)
  - Loads are the result of the turbine control system
  - No standard blade anymore

umoe ryving

Challenges with series production

- Training
  - Benchmarking
  - Work practise
  - Efficiency (cost reduction compared to naval shipbuilding)
- Quality and finish
  - What is good enough?
- Verification
  - Is the quality as expected?
  - Achieved mechanical properties
- Series production
  - Volume and product range
  - North European cost level

UR Strategy

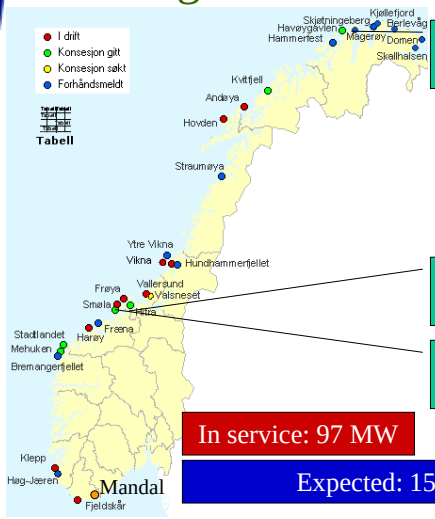
- Partnership
  - Customer relations
    - Deep involvement
    - Customers provide loads and shape
    - Flexibility and co-operation
    - High degree of service
  - Reliability (Technical)
  - Solidity (financial)
- Independence
  - We need more that one customer

umoe ryving

Umoe ambitions

- Offer technology for reduced cost and weight
  - New materials
  - Simpler structural design
  - Automated production
  - Low transport costs
- Be present on the home market
  - Wind energy gives opportunity for creation of new industry and new jobs
  - Norwegian terrain

Large scale development in Norway



Havøygavlen: Norsk Hydro/Nuon
39MW

Hitra: Statkraft, 28 x 2 MW,
56 MW in 2004

Smøla: Statkraft,
40 MW i 2002, 114 MW in 2005

In service: 97 MW

Expected: 1500 MW? within 2009?

Source: NVE May 2003

Reduced material costs and improved properties

- Tough pressure on material costs
  - keep/improve mechanical properties
- Compression strength of carbon laminates
  - Production methods affect properties
  - Fatigue of carbon/glass hybrids
- Bonded joints
  - Elongation and high modulus properties

Simplified structural design

- Large potential for improvements
  - less labour costs
- Structural design for automated production
  - A trend to separate the
    - Load bearing structure
    - Aerodynamic section
  - More prefabrication
  - Flexible (mould independent production)
  - Lightning protection

Automated production

- Tooling costs are probably 10 times blade design costs
  - Fibre placement
  - Prefabrication
  - Vacuum injection
  - Reduce finish work and repair

On-going development

- Vinylester to replace epoxy?
  - Fatigue properties
- New structural designs
  - Large prefabricated structures
- Carbon-fiber load bearing structures
  - Maintain compression strength in production environment
- Robots

New blade test facility

Development of Norwegian Wind Energy technology

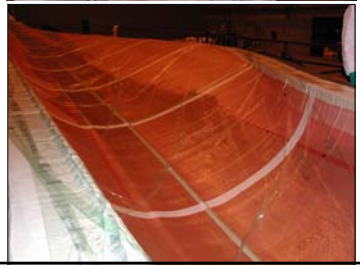
Aerodynamic and structural design

- Analyse wind measurements from actual Norwegian wind parks
- Simulate dynamic loads on rotor blades in Norwegian complex terrain
- Is international standards (IEWC, GL, DS) satisfactory for the design of blades against extreme gusts and high turbulence intensities?
- Umoe will use this knowledge for own/modified blade design adapted to Norwegian terrain
  - Reduce damage/off-hire and maintenance costs
- Projects partners: Statkraft and IFE.

umoe ryving

Next Generation Wind Turbine Blade (BIP)

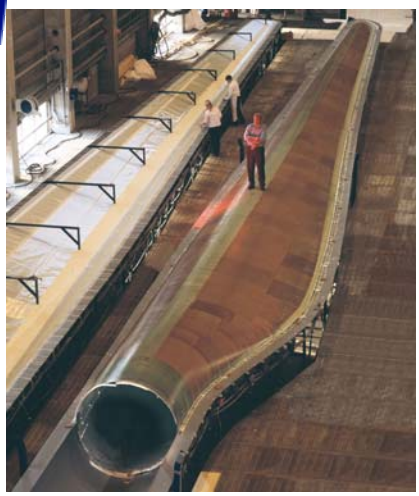
- Financial support from the Norwegian Research Counsel
- Project management: Umoe Ryving
- Partners:
  - TUDelft (NL), NGUp
  - IFE, Kongsberg, Reichhold and Devold AMT
- The aim is to develop and test new material combinations and structural concepts to
  - Reduce material and man hours costs
  - Develop reliable on-site long term measurement methods
- Develop a Norwegian knowledge net-work



Conclusion

- Umoe has started series production
  - First set is delivered and in operation since February 03
  - Blades are shipped from Mandal to Germany
- Umoe aims at being
  - Professional and reliable
  - Flexible
  - Perform more than expected
  - High level of service at the right price
  - Independent

umoe ryving



Umoe Ryving AS

P.O. Box 902
N-4509 Mandal
Norway

Tel: +47 38279200
Fax: +47 38279250

E-mail: nere.skomedal@umoe.no
http://www.umoe-blades.com/

Hydro Oil & Energy

HYDRO

Offshore wind power Activities in Norsk Hydro

Finn Gunnar Nielsen
O&E Research Centre, Bergen

Norsk Hydro involvement in wind power (MW)

- “Meddelte konsesjoner:”
  - Havøygavlen (39)
  - Utsira (1.2)
- “Søknader under behandling”
  - Harbaksfjellet (90)
- “Meldinger under behandling”
  - Haugshornet (60)
  - Båtsfjordfjellet (50 / 100)
  - Bugøynes (100)
- Andre
  - …..

HYDRO

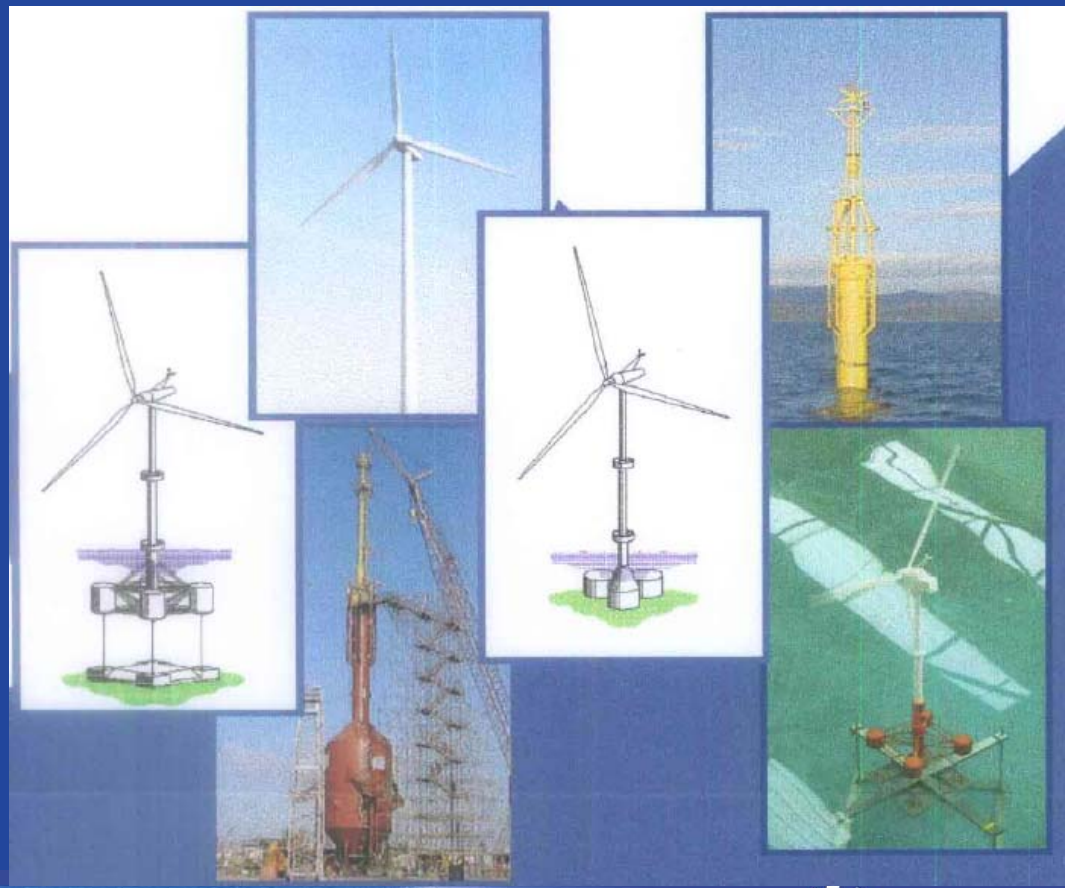
Why offshore?

- Power supply to offshore installations – alternative to electricity from shore
- Involve experience from offshore oil and gas technology.
- Deep water installations simpler than shallow water installations?
- Future market in “deep water”?

HYDRO

Main activities

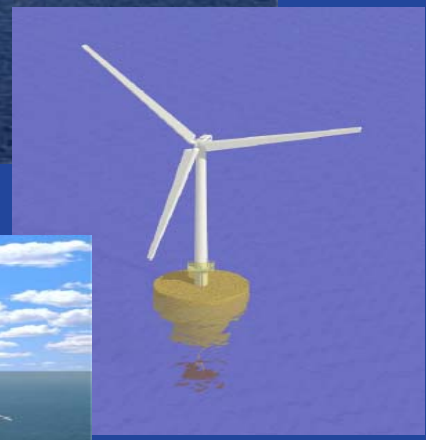
- Conceptual overview
- Technological challenges
- Wind conditions & data



HYDRO

“Deep water”

- Past studies:
  - Offshore: < 30 m (Horns Rev: 6 – 14 m)
  - “Deep water”: 50m

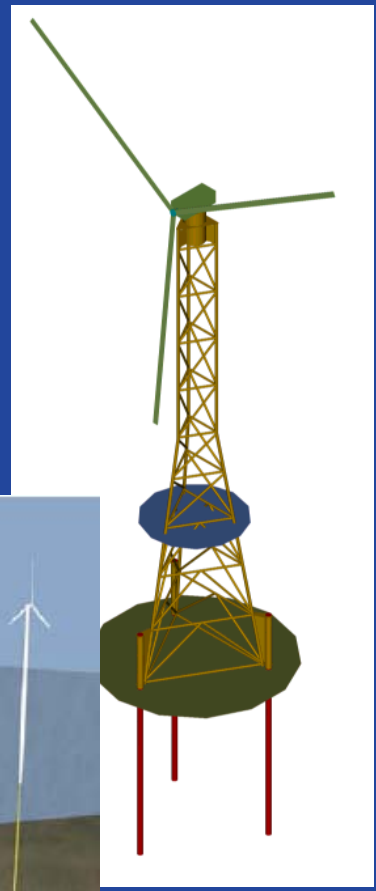


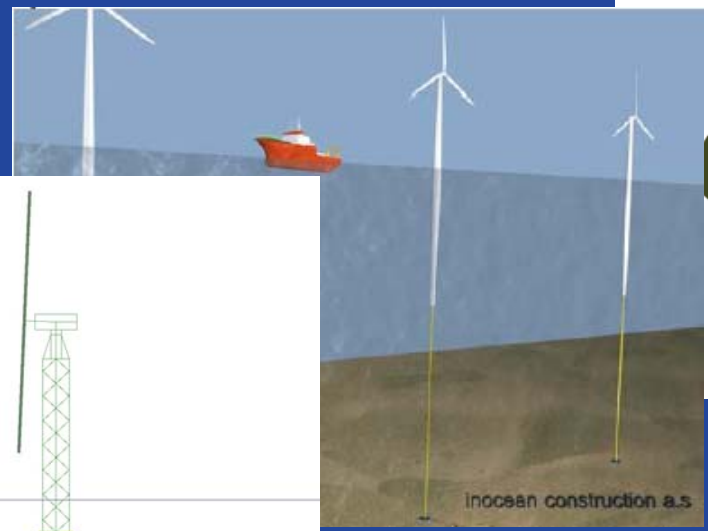
- Present study:
  - Offshore, Oseberg area, 120m WD
  - Make deep water an advantage.
    - Assembly
    - Installation
    - Foundation

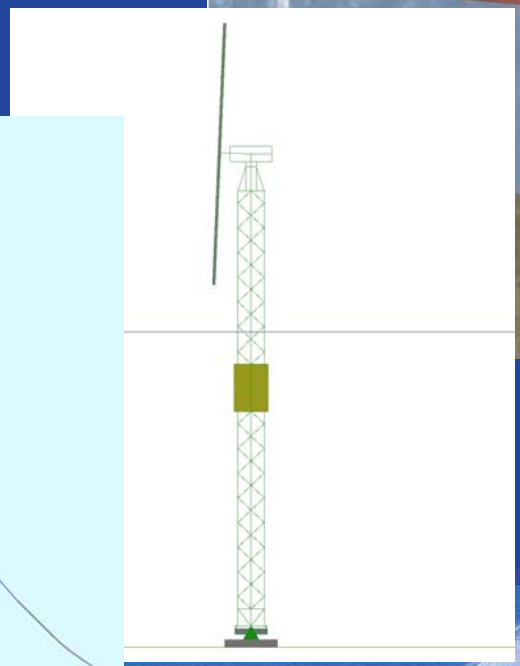
HYDRO

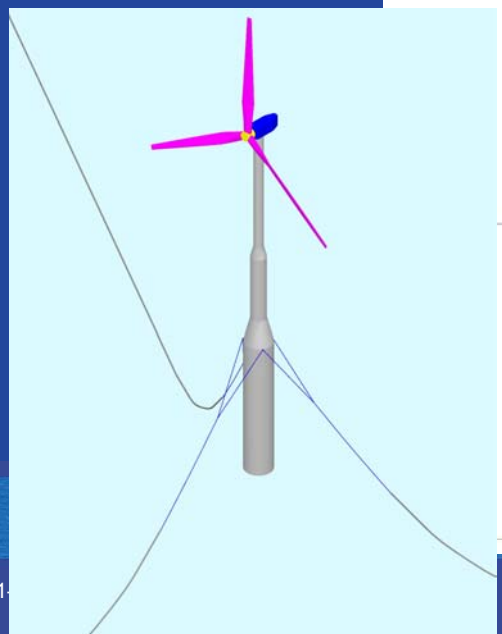
Concepts considered

- Fixed structures. (OWEC Design)
- Floating tethered “spar” (Inocean)
- Compliant tower (Hydro)
- Catenary moored “spar”
- ….









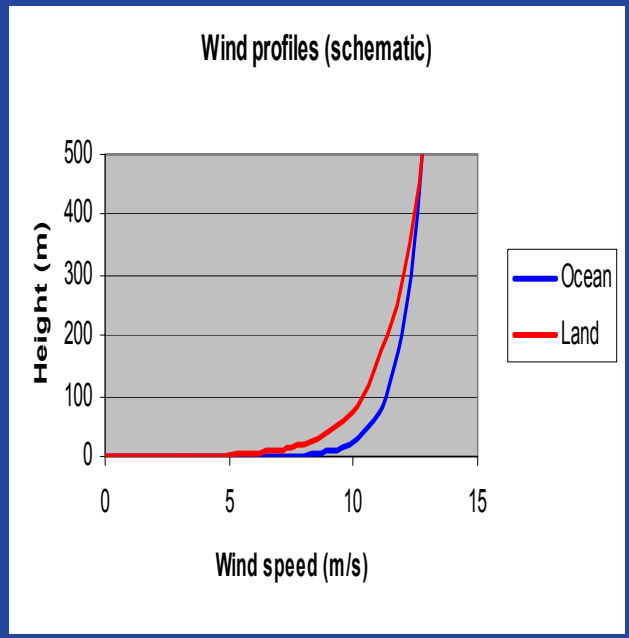
HYDRO

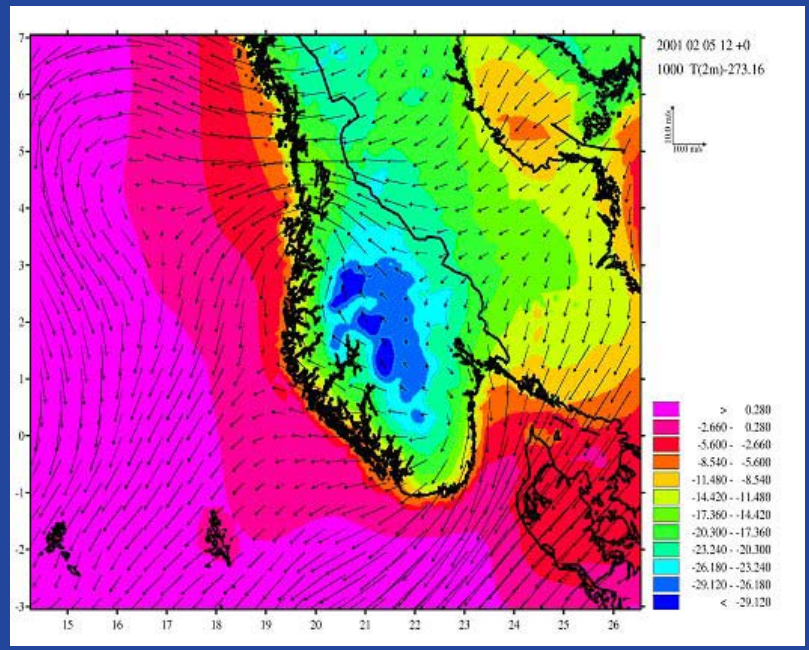
Key issues

- Dynamics: Combined wind – waves and control system
- Fatigue.
- Installation
- Operation and maintenance.
- Mass production
- Power integration
- Costs

Wind conditions

- Simpler conditions far offshore. (Higher average output).
- Use existing measurements from platforms.





HYDRO

Available wind measurements

Table 1. Available wind data from Norwegian platforms (Source: met.no).

Station no.	*Name*	*Position*	*From*	*To*
E77051	EKOFISK	56.5°N, 03.2°Ø	1980-06-01-00	2003-08-31-23***)
E77052	SLEIPNER A	58.4°N, 01.9°Ø	1994-10-08-00	2003-09-30-23***)
E77055	GULLFAKS C	61.2°N, 02.3°Ø	1990-11-01-00	1992-11-30-00**)
E77055	GULLFAKS C	61.2°N, 02.3°Ø	1993-01-01-00	2001-08-31-23***)
E77056	DRAUGEN	64.3°N, 07.8°Ø	1995-01-01-00	2003-09-30-23***)
E77057	HEIDRUN	65.3°N, 07.3°Ø	1996-01-01-00	2003-08-31-23***)
E77058	FRIGG	59.9°N, 02.1°Ø	1979-01-01-00	1979-12-31-21*)
E77058	FRIGG	59.9°N, 02.1°Ø	1980-01-01-00	1989-05-31-23***)
E77058	FRIGG	59.9°N, 02.1°Ø	1991-01-01-00	1999-12-31-23***)
E77062	STATFJORD	61.2°N, 01.8°Ø	1981-01	1990-12****)
E77062	STATFJORD(STRØM)	61.2°N, 01.8°Ø	1978-02	1983-02****)
E77063	NORNE	66.0°N, 08.1°Ø	2000-01-01-00	2003-08-31-23***)
E77064	TROLL A	60.6°N, 03.7°Ø	2002-01-01-00	2002-02-28-23***)
E77065	HEIMDAL	59.8°N, 02.3°Ø	2003-01-01-00	2002-08—2003-09 2003-09-30-23***)

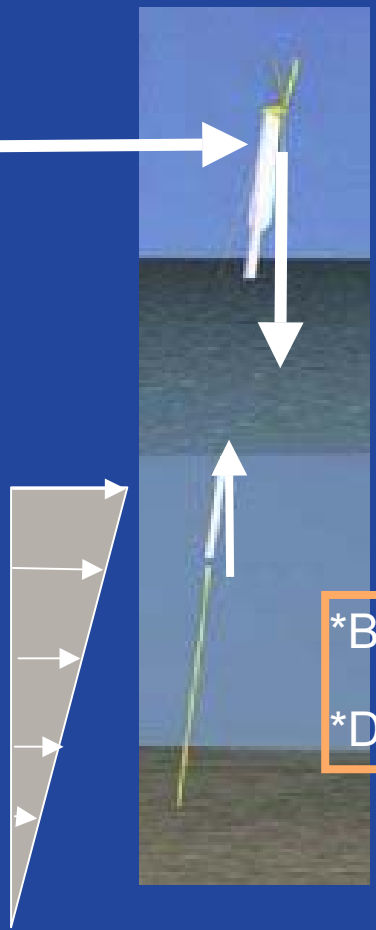
HYDRO

Loads:

*Dynamic wind thrust (function of relative wind velocity)

*Acceleration of Nacelle mass

*Gyroscopic forces



*Nacelle & rotor weight

*Gravity components

*Dynamic wave forces
*Current (static & VIV)

*Buoyancy

*Distributed weight

HYDRO

Summary, deep water offshore wind power

- Technical feasible, but challenges related to:
  - Dynamics
  - Fatigue
  - Optimisation
  - Installation
  - Operation and maintenance
  - Grid connection
  - COSTS

HYDRO

Wind conditions at offshore O&G fields

Table 2. Comparison of the hindcast data with observed wind speed (from Reistad and Iden, 1998). The results in parenthesis at Frigg are for the period 1986-1997.

Station	Period	Mean observed (m/s)	Mean modelled (m/s)	Correlation coefficient
Ekofisk	1980-1997	8.3	8.8	0.83
Frigg	1980-1997	9.2 (8.6)	9.1 (9.0)	0.83
Statfjord/Gullfaks	1980-1997	8.5	9.3	0.85

HYDRO

Modellering av vindkraftverk

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

Motivation

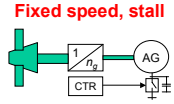
- Large wind farms +100 MW are now being planned
- Power system dynamic studies are required
- Well developed models of “conventional components” (gas/coal fired power stations, cables/lines, transformers)
- Wind farm models need to be developed and verified

Modellering av vindkraftverk

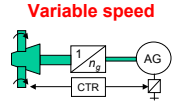
- Mål:
  - redusere kostnad for vindkraft
  - utvikling av modeller/konsepter for økt andel vindkraft i svake nett
- Aktiviteter:
  - maskinoppstilling (styrbar drivmaskin og generator ~50 kW)
  - implementering og gjennomføring av målinger ved Smøla vindpark
  - verifikasjon av dynamiske vindparkmodeller til bruk ved nettanalyser
  - PhD'er vedr. utvikling/bruk av kraftelektronikk i fob m vindkraftverk
  - nettanalyser/konseptutvikling for kostnadseffektiv innpassing av vindkraft
- Aktivitet koordinert med
  - NFR Strategisk vindkraftprogram (2003-2007) & KMB (2001-2005)
  - IEA Annex 21: Dynamic models of wind farms (2002-2005)
- Utføres i samarbeid SINTEF Energiforskning AS (SEfAS), NTNU og norsk industri (Statkraft)

Wind turbine technology

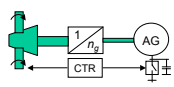
Fixed speed, stall



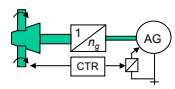
Variable speed



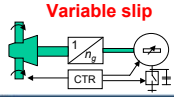
Fixed speed, pitch



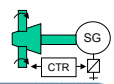
Doubly-fed IG



Variable slip



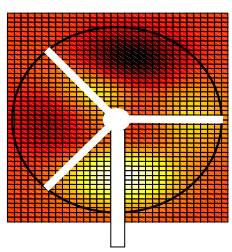
Direct driven

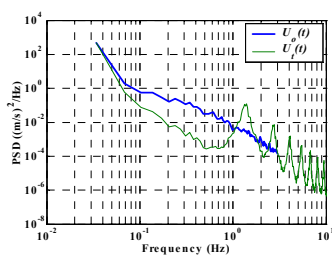


Modellering av vindkraftverk - modellkomponenter

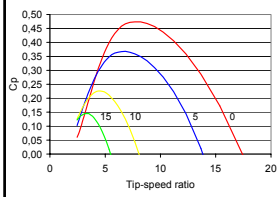
- Vindfelt over turbinareal
- Turbineffektivitet og kontroll
- Mekanisk drivsystem
- Generator og kraftelektronikk
- Nettilkobling
- Vindpark - aggregering

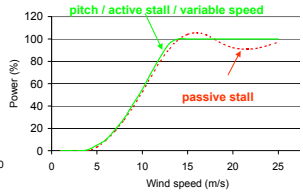
Vindfelt over roterende turbinblader





Turbineffektivitet og kontroll Cp(λ,β)



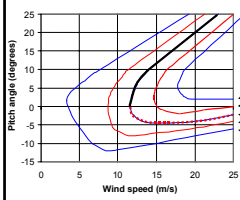


Overordnet kontrollstrategi:

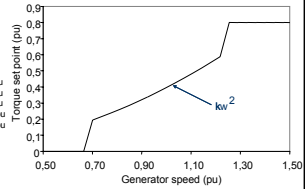
- maksimer effektivitet for vindhastighet < rated
- konstant effekt = nominell for vindhastighet >= rated

Turbineffektivitet og kontroll Cp(λ,β)

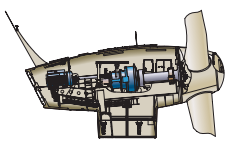
Fixed speed



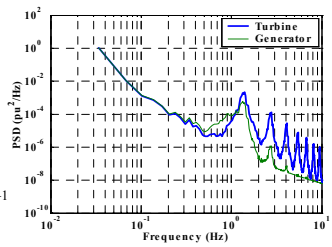
Variable speed



Turbine and generator torque

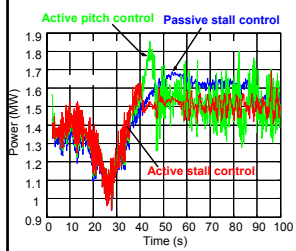


$$T_t = 0.5\rho A u_t^3 C_p(\lambda,\beta)\omega_t^{-1}$$

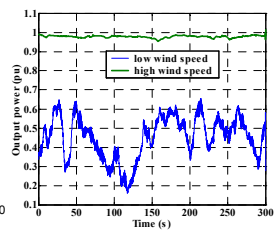


Effektvariasjon avhenger kontrollstrategi (1)

Fixed speed

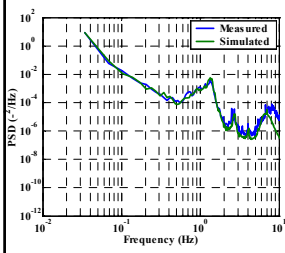


Variable speed

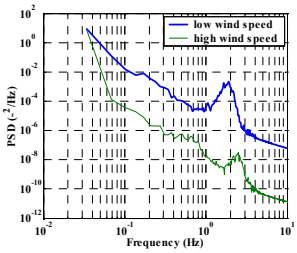


Effektvariasjon avhenger kontrollstrategi (2)

Fixed speed (passive stall)



Variable speed



Effektvariasjon avhenger kontrollstrategi (3)

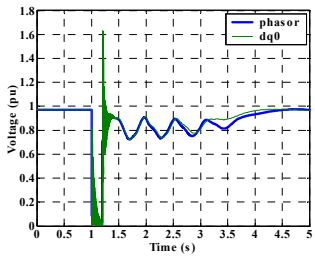
Fast turtall:

3p effektfluktuasjoner kan dempes ved bruk av individuell pitching

Variabelt turtall:

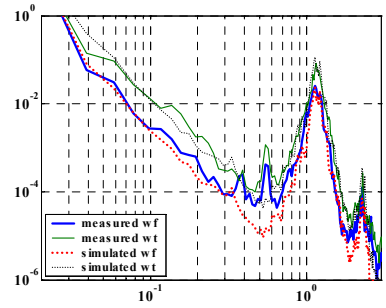
3p effektfluktuasjoner kan dempes ved bruk av dempetilsats på turtallkontroll og/eller individuell pitching

Simulering av respons på nettfeil



- respons avhenger av type vindturbin & detaljert virkemåte av kontrollsystem og vern (fabrikant spesifikk)
- respons kan være avgjørende mht dimensjonering av nett & tillatelse for park
- mulig tiltak (?): krav om standardisert prøving av respons (tillegg til IEC61400-21)

Vindpark aggregering - måling & simulering



Konklusjon

- Innpassing av vindkraft i svake nett krever nettanalyser for valg av riktig teknisk løsning og verifisering av stabil drift
- Stabilitet avhenger av nettkarakteristika, type vindkraftverk og kontrollsystem
- Stor internasjonal aktivitet; SEfAS leder aktivitet i regi av IEA
- Modeller av vindkraftverk med fast turtall er verifisert mot målinger – tilsvarende planlegges for vindkraftverk med variabelt turtall
- Bruk av utviklede modeller gir basis for design & test av nye kontrollkonsept, for eksempel bruk av dempetilsats eller individuell pitchregulering

Vindkraft FoU seminar
26-27. januar 2004
Royal Garden Hotell,
Trondheim

Nettilkobling av store vindparker – Utfordringer og kontrollmuligheter

Magni Þ. Pálsson, Trond Toftevaag,
Kjetil Uhlen, John Olav G. Tande
SINTEF Energy Research
Trondheim, Norway

Outline

- Introduction (approach to the problem)
  - Objectives and constraints
  - Network and Model descriptions
- Control concepts - Case studies on wind integration in a regional power grid:
  - Case 1: Coordinated voltage control
  - Case 2: Coordinated generation control
- Economic assessments (preliminary results)
- Discussion / Conclusions

Introduction

- Suitable sites for large wind farms are often located far from load centres and strong grid infrastructures
- This represents a challenge for the wind farm developer that wants to install as much wind power as possible

- The aim of this presentation is to demonstrate that:

1. Grid restrictions may be relaxed by use of control systems
2. Large wind farms may be safely operated at weak grids

Objectives..

- Integrate as much wind power as possible
- Exploit the possibility of coordinating local wind and hydro generation

..and constraints

- Existing transmission lines can be loaded to thermal rating at full wind power production (with proper system protections)
- Voltage profile at the wind farm must be kept within ± 5% of rated voltage
- Keep acceptable power quality at all buses where ordinary customers are connected
- No net exchange of reactive power between the regional network and the main transmission grid
- (Minimise electrical losses)

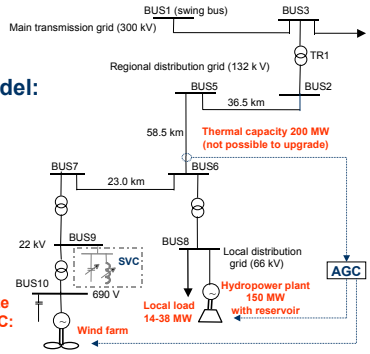
Case studies

Two simulation studies are presented to demonstrate proposed control concepts

- Wind farm rated at 50 - 200 MW, modelled as aggregated wind turbine generators
- Realistic network modeling
- Connected to the main grid through a regional distribution grid (132 kV). Total distance between wind farm and the main grid is 120 km
- Fixed capacitors for compensation of reactive power consumption of inductive generators at zero active power production included at the 0.69 kV level of the wind farm
- SVC for continuous voltage control (modelled as a variable susceptance with max and min limits on the reactive power output)

Case study, regional power system

Network model:



Max wind farm size without AGC & SVC: 50 MW

Wind power modeling

Types of wind turbine generators

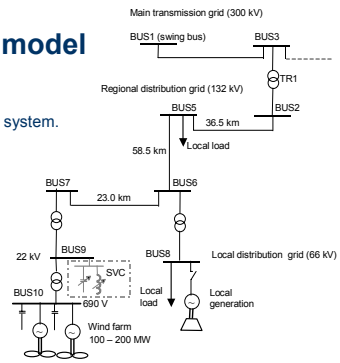
- Induction generator, without extra reactive compensation (worst case)
- Induction generator, with extra reactive compensation (SVC)
- "Modern type" (fully compensated), cosφ=1.0 irrespective of active wind power production.
  Additional assumption: Capable of local voltage control.

Case studies
(Proposed control concepts)

- **Voltage control and reactive power**
  - Coordinated control of voltage and secondary reactive power control
- Coordinated generation control
  - Avoiding thermal overload
  - Coordination to maintain production plans

The network model

Single-line diagram
of the modelled example system.
SVC shown at BUS9

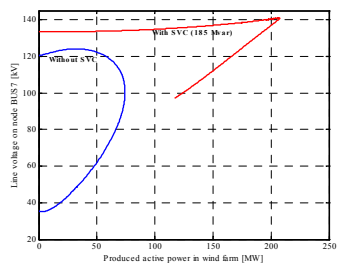


Procedure for analysis

- Load flow studies applied to establish initial conditions for dynamic simulations
- Dynamic simulations comprise the main part of the work presented. These include:
  - linear increase (slow ramping) of wind turbine shaft torque to identify voltage stability limits
  - simulations applying realistic wind speed time series and wind turbine modelling to study control systems

Results
(and motivation for coordinated control)

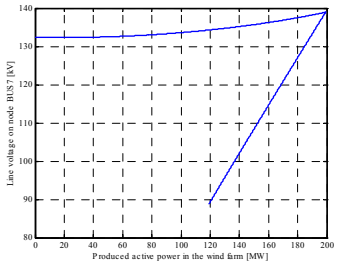
– Using induction generators



- Linear increase of wind turbine shaft torque from 0 to voltage stability limit (in MW).
- Base case – No extra stabilizing controls (e.g. SVC).
- Worst – case scenario.
- Raising voltage stability limits:
- One SVC (185 Mvar) located at BUS9 controlling the voltage at BUS6 (PCC).

Results

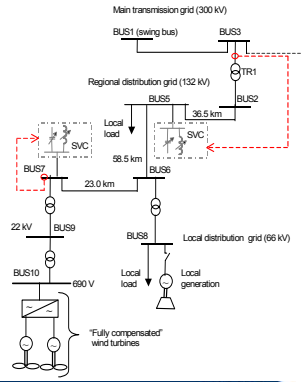
– Using fully compensated wind turbine generators



- cosφ=1.0 irrespective of active wind power production.
- One SVC (85 Mvar) at BUS9 controlling the voltage at BUS6.

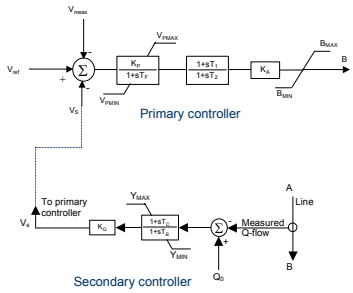
Proposed solution

- Fully compensated wind turbines ("modern solution"). Local voltage control at the wind farm obtained by placing an SVC at BUS7, controlling the voltage at BUS7.
- One SVC at BUS5 equipped with secondary controller to limit reactive power exchange with main grid



Control structure

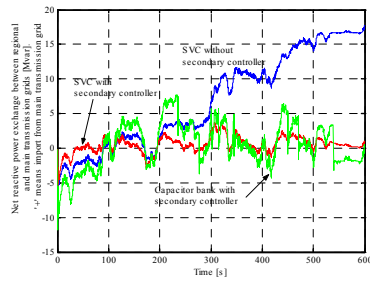
Controller for SVC at BUS5 to control the exchange of reactive power with main grid



The primary controller provides fast voltage control and reactive compensation (to avoid voltage collapse).

The secondary controller observes the Q-flow between the regional and main grids and manipulates the set-point of the primary controller of the SVC so that the net exchange of reactive power is kept at a set value (Q_0).

Reactive power from main transmission grid



- Wind turbine generators with cosφ=1.0 irrespective of active power generation.
- Two SVCs; at BUS7 and BUS5 respectively.
- No net exchange of reactive power with main grid.
- SVC at BUS5 equipped with secondary controller to control the exchange of reactive power with main grid.
- Realistic wind power variations.

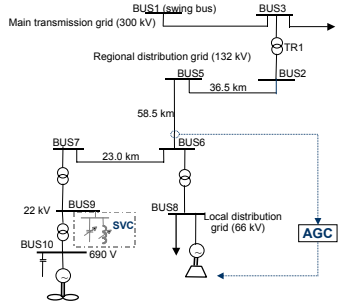
Summary

- It is technically possible to operate the given system beyond the traditional voltage stability limits, up to thermal limits.
- Possible to both keep a stable voltage profile at the wind farm and keep the net exchange of reactive power with the main grid at zero.
- This requires one SVC (alternatively switched capacitor banks) to control the reactive power exchange with the main grid and a "modern" wind turbine generator to control the voltage at the wind farm.
- The SVC (or capacitor banks) must be equipped with a secondary controller, monitoring the exchange of reactive power with the main grid.

Case studies (Proposed control concepts)

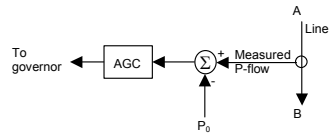
- Voltage control and reactive power
  - Coordinated control of voltage and secondary reactive power control
- **Coordinated generation control**
  - Avoiding thermal overload
  - Coordination to maintain production plans

Coordinated generation control
Network model:

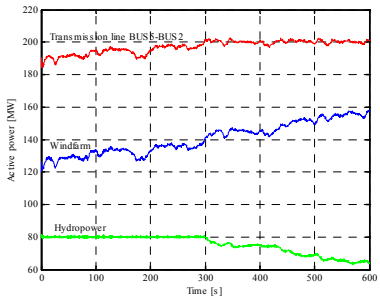


Modelling the AGC as a load following controller

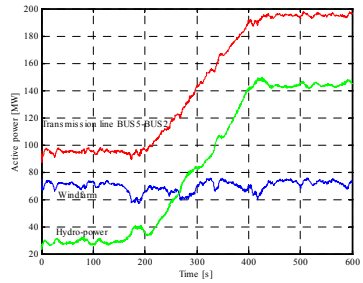
- to avoid network congestions
- to maintain production plans



Coordinated generation control to avoid thermal overload (use of AGC)



Coordinated generation control to maintain production plans



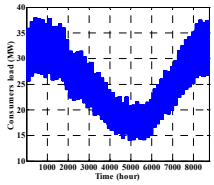
Summary

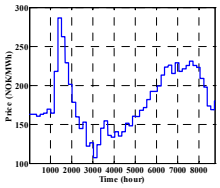
- Technical possibilities have been demonstrated on the use of coordinated generation control in a system with both wind and hydropower generation.
  - grid congestions can be avoided
  - and market obligations with respect to maintaining generation plans can be fulfilled
- The proposed control concepts can be effective means to enable increased wind power penetration.

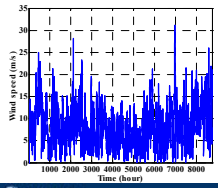
Approach to study economic impacts

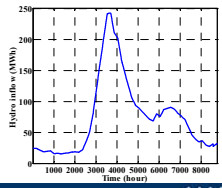
- Simulate one year operation on an hour-by-hour basis
- Model inputs includes:
  - time series with consumer load, market price of electricity, inflow to hydro reservoir and wind speed
  - specification of the regional power system components like wind farm power curve, maximum storage capacity of reservoir,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

Case study input time series data



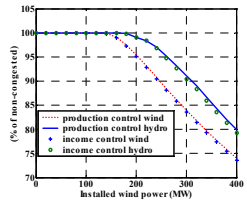


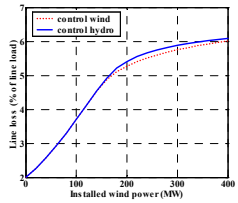




Annual inflow: 657 GWh
Storage capacity: 460 GWh

Simulation 0 - 400 MW wind farm





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

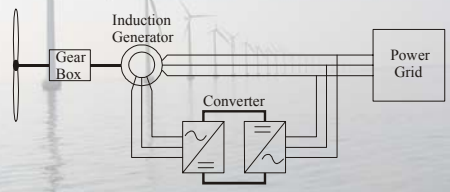
Conclusion

- Connection of a wind farm to a regional power system with a weak link to the main grid has been assessed
- The study shows that grid restrictions may be effectively relaxed by use of AGC and coordinated reactive control
- Future wind farms should be designed as power plants with capabilities to respond to power system needs
- It is important for utilities, planners and developers to understand that the amount of wind power that may be connected to a given grid is not a fixed number, but is depending on the applied wind farm technology & control
- For the case study presented the max wind farm size range from 50 to 200 MW depending on technology & control

Doubly Fed Induction Machine

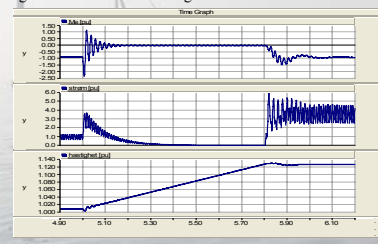
Under Transient Failure

PhD student: Bjarne I. Næss Advisor: Tore M. Undeland



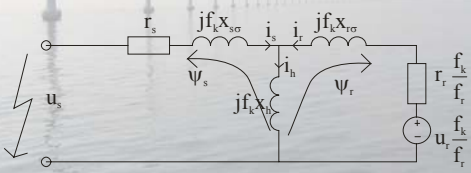
Short Circuit Near the Generator

- Large currents when the short circuit occur
- Large currents when the voltage reestablishes



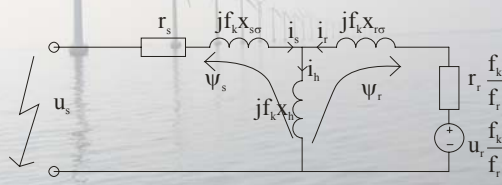
Short Circuit Near the Generator

- Large rotor and stator currents
  - Induced from the inductances when the short circuit occurs
  - As a function of the slip when the voltage reestablishes
- Protecting the power electronics
  - Rating the power electronics to withstand the shortcurrent
  - Bypass the power electronics
  - Control actions to protect the power electronics



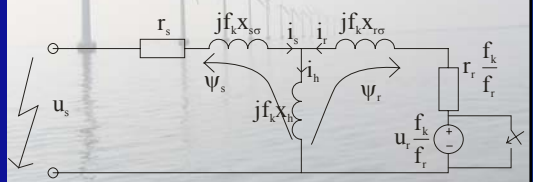
Control Actions and Large Rated Converter

- Max output voltage from the converter to limit the current
  - The transistors must withstand the limited overcurrent
  - The high output voltage requires a large DC-voltage



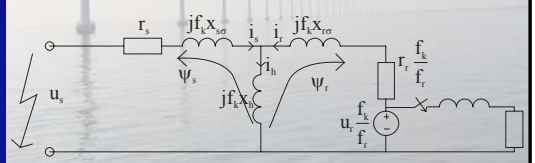
Bypass the Power Electronics

- Shortcircuit the rotor windings
  - Large active and reactive currents will occur
  - The rapid change in torque may damage the mechanical equipment
  - If the slip is large the demand of reactive current can lead to voltage collapse



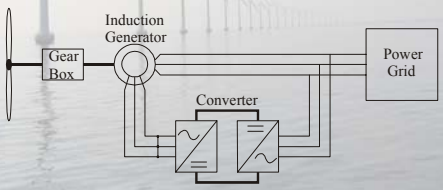
Resistor and Inductor in Parallel with the Converter

- When large rotor currents:
  Connect a resistance and an inductor in parallel with the converter
- The voltage over the impedance must not make a shot trough condition in the converter



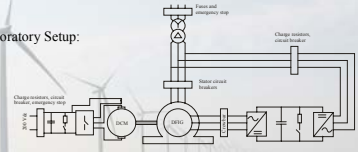
Compensating for reactive current

- When the rotor coupled converter is bypassed, the grid connected converter may be controlled as a STATCOM
  - A part of the reactive current demand of the generator will be supplied by the converter
  - The generator could withstand a longer transient failure

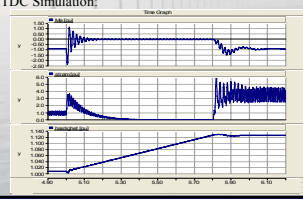


How to Carry Out the Investigation

- Laboratory Setup:



- PSCAD/EMTDC Simulation:



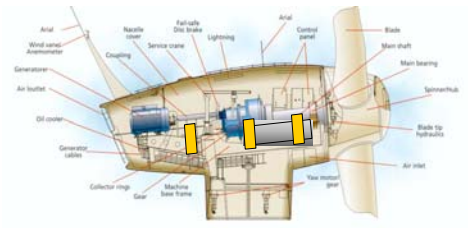
Litt om oppbygging av en elektrisk vindkraftlab ved NTNU og SINTEF?

Prof-. Robert Nilssen; NTNU Elkraft

NTNU-elkraftteknikk ønsker å styrke seg innen vindkraft

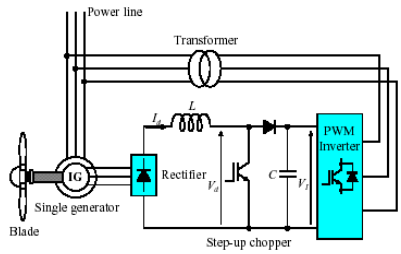
- PhD-forskningen økes
- Eget strategisk prosjekt ved NTNU (tverrfaglig)
  - ledet av Tore Undeland
- Sintef-styrt prosjekt i samarbeid med NTNU
  - Ledet av Jon Tande
- Oppbygging av et elektroteknisk laboratorium
  - Ledet av Robert Nilssen og Roy Nilssen, i samarbeid med Sintef
- Satsing i samarbeid med blant andre ScanWind for å sikre seg folk og kompetanse for framtiden.
- NTNU engasjerer seg sterkt for å bygge opp kompetanse og delta i både forskning og kommerisell utvikling av teknologien.

De fleste anlegg har gir og asynkrongenerator

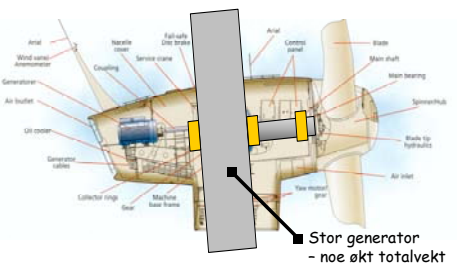


Eksempel på asynkrongeneratorløsning:

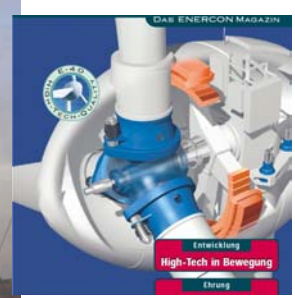
Viklet rotor og styring av rotorstrøm



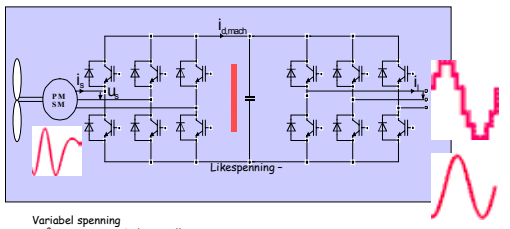
Hva om man fjerner giret og innfører en direktedreven generator??



Direktedrevne generatorer finnes allerede i markedet



Direktedrevne anlegg med varierende turtall krever noe mer kraftelektronikk



Variabel spenning
- på grunn av variabelt turtall

Vekselspenning mot nett
- med fast amplitude og frekvens

7

Laboratorium der en kan teste komponenter, styring og systemegenskaper

- effektnivå 5o KW.

SEFAS- bygger opp:

- - asynkrongenerator
- - med bruk av gir
- - mulighet for styring av asynkrongenearatorer
- Dette er påbegynt og kan snart tas i bruk

NTNU – bygger opp:

- - avansert permanentmagnetgenerator
- - direktedrevne anlegg
- - kraftelekronikkstyrt drivmotor
  - omformer for oppkopling mot nett
- Designarbeid påbegynt. Ferdig juni/juli. Kostnadsramme ca 3 mill.

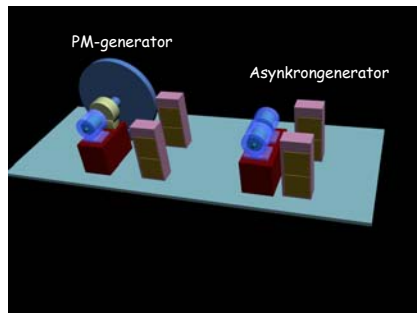
8

Bruk av laboratoriet - Samarbeid mellom NTNU og SINTEF

- Testing/demonstrering av enkeltkomponenter. Eksempelvis demonstrasjon av nye typer generatorer
- Styring/Software kan verifiseres og prøves i kritiske tilfeller og normaldrift
- Sammenligning av teoretiske simuleringsmodeller og praktiske målinger
- Driftsformer som kan prøves:
  - Autonom drift
  - Generator i svake nett
  - Parallelldrift med to generator i både svakt og sterkt nett
- Laboratoriet kan brukes både kommersielt og i undervisningen. Master og PhD arbeider.

9

Skisse over den elektriske vindkraftlabben



10

Hvilken type generator skal en bruke i laboratoriet?

- Labmaskinen skal være Permanent Magnetisert
- Moderne type - Aksialmagnetiserte maskiner synes å ha størst potensiale
- Mange anbefaler disse – noen advarer mot vanskeligheter
- Labmaskinen vil bli "skallert" med mange poler og stor diameter. Prøver å få maskinen til å bli "lik de store"
- Samarbeidspartnere:
  - Scanwind
  - SmartMotor
  - SINTEF
  - Andre (Statkraft,+++mulige brukere)

11

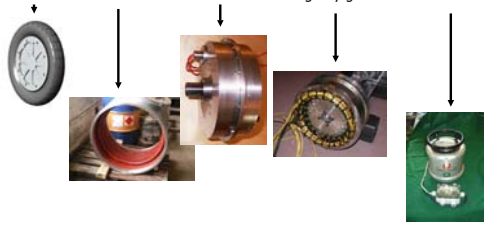
We have a product/technology – the Job is scaling

12

NTNU

Unique core technology

Wheelmotor Thruster AUV motor Emergency generator Actuator

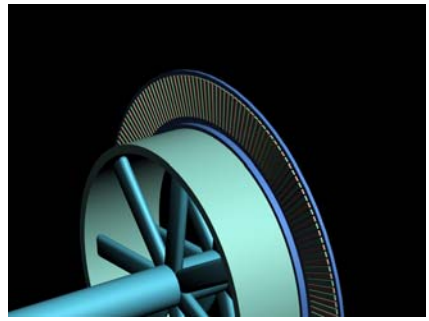


A DEMONSTRATOR for Wind generator application is next!

13

NTNU

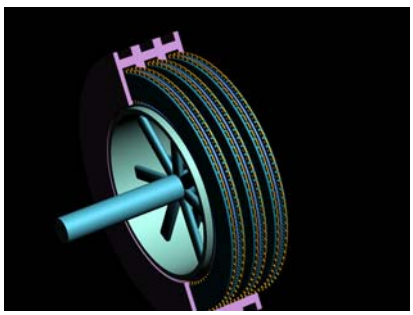
Vi er i gang med å utforme en multidisk aksialmaskin



14

NTNU

Multidisk stator og rotor
- svært energieffektive generatorer



15

NTNU

Norsk fremtidsrettet teknologi

16

NTNU

Det ligger mange utfordringer i denne teknologien

- Vi skal eie
- Vi skal betjene
- Vi skal fornye
- Vi skal produsere
- Vi skal selge

17

Vindkraft i Statkraft

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 1

Mål for utbygging av vindkraft

- **Myndighetens mål:**
  - 3 TWh innen 2010
  - Mulig potensial: 12-15 TWh
- **Statkrafts mål:**
  - 2 TWh innen 2010
  - 3 TWh innen 2015
  - 1 TWh i utlandet innen 2010

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 2

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 3

Smøla Vindpark - Trinn I - 40 MW

- 20 vindmøller á 2 MW (Bonus)
- Interne grusveier
  - 7,6 km lengde / 5 m bredde
- Transformatorstasjon v/ Gammeldamstua
  - 80 MVA - 22/66 kV
  - Omkoplbar til 22/132 kV
- Ny 66 kV luftlinje til Rangnes
  - Utføres teknisk som 132 kV linje
  - T-tilkopling til eksisterende 66 kV v/ Rangnes

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 4

Smøla Vindpark

Trinn 2

- + 110 MW
- + ca. 330 GWh
- + 48 møller (Bonus 2.3 MW)
- + 20 km interne veier
- + 16 km overføringslinjer
- + 1 stk. 22/132 kV trafo
- + Areal 11 km^2
- Investeringskostnad:
  - underkant av NOK 1 mrd

Trinn 1 + trinn 2

- 150 MW
- ca. 450 GWh
- 68 møller
- 28km interne veier
- 29 km overføringslinjer
- 2 stk. 22/132 kV trafo
- Areal 15 km^2

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 5

Status Smøla 2, januar 2004

- **Vindmøllene, fundamentene og veiene**
  - **Kontrakt: Bonus Energy, underleverandør AF Ragnar Evensen, Sweco Grøner er underleverandør til AF**
    - Mottatt KS-, HMS- og designdokumentasjon
    - Bygget 600 m vei vestover fra transformatorstasjonen
    - Start fundamenter i mars 04, start montering møller mars 05
- **Utvidelse av transformatorstasjonen**
  - **Kontrakt: Alstom**
    - Startet byggearbeider i april 2004

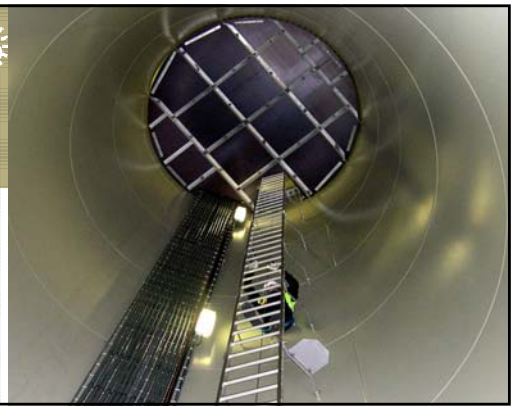
Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 6

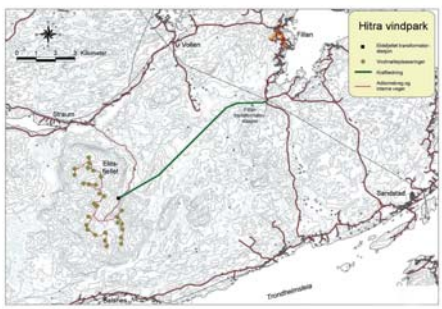
Status Smøla 2, januar 2004. Forts.

- **Kraftlinjen**
  - **Kontrakt: Hafslund Entreprenør, underleverandører Mesta og Kraftmontasje**
    - Start med både graving av kabelgrøfter (8400 m) og mastereising for luftledningen (3200 m) i februar 2004
- **Sjøkabelen**
  - **Kontrakt: Nexans**
    - Sjøbunnsundersøkelser i janauar 2004
    - Legging av kabelen (4800 m) i august /september 2004



Hitra vindpark - lokalisering

Hitra vindpark - lokaliseringskart



Hitra vindpark

- 55 MW installert effekt
- Ca. 150 GWh årsproduksjon
- 24 vindmøller á 2,3 MW (Bonus)
- 10 km overføringslinje (66 kV)
- 22 km interne veier
- 1 stk. 22/66kV transformator
- Areal: 1,6 km^2
- Investering: Underkant av 500 mill. kroner
- I drift høsten 2004

Status Hitra, januar 2004

- **Turn-key kontrakt, Bonus Energy**
- **Underleverandører:**
  - **Veier, fundamenter kabelarbeid, linje: Reinertsen Anlegg med Nord Trøndelag E-verk som underleverandør på kabel og linje**
    - Arbeidene startet juli 03 og ca 16 km vei er ferdig kjørbar, av totalt ca 22 km
    - Linjebygging starter uke 2
    - Bygging av fundament starter uke 6

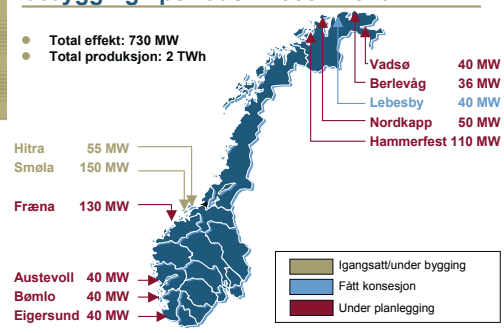
Status Hitra, januar 2004

- **Underleverandører forts:**
  - **Transformatorstasjon/Servicebygg:; Alstom med Volda Bygg som underentreprenør**
    - Tomt er klargjort for bygging. Grunnarbeid starter uke 2
- **Start montering av møller juli 2004, ferdigstillelse av anlegget høst 2004**

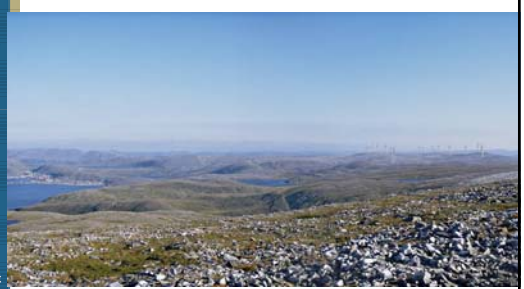
Hitra vindpark fra Trondheimsleia

Statkrafts prosjektportefølje for utbygging i perioden 2005 - 2010

- **Total effekt: 730 MW**
- **Total produksjon: 2 TWh**



Kjøllefjord vindpark – Lebesby kommune



Kjøllefjord vindpark – Lebesby kommune

Skallhalsen vindpark – Vadsø kommune

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 19

Skallhalsen vindpark – Vadsø kommune

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 20

Magerøya vindpark – Nordkapp kommune

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 21

Magerøya vindpark – Nordkapp kommune

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 22

Offshore windpower in the UK - Barrow

Barrow is a part of 1st round of offshore wind in UK

Co-operation between Dong, Centrica and Statkraft

Statkraft share – 37,5 %

Approx 100 MW

Naturen i arbeid

Statkraft

2004-01-23 s. 23

Vindkraftens politiske og kulturelle landskap

Knut H. Sørensen
NTNU, Institutt for tverrfaglige kulturstudier

Innlegg på Vindkraft FoU seminar, Royal Garden, Trondheim, 26-27.1 2004

Utgangspunkt:

a. Forprosjekt ang. avisomtale av vindkraft i Norge (Bye 2003).
b. Doktorgradsprosjekt om økonomiske argumenter i utviklingen og ibruktakingen av nye fornybare energiteknologier (Solli 2004)
c. Doktorgradsprosjekt om politiske strategier og bedriftsstrategier for nye fornybare energiteknologier i Norge og Kina (Buen)

NB! Ufullstendig kunnskapsgrunnlag

Mål for nytt prosjekt

- Analysere pågående aktiviteter for å planlegge og utforme vindkraftprosjekter i Norge med vekt på
  - Planmyndigheter, nasjonalt, regionalt og lokalt
  - Miljøorganisasjoner, nasjonalt og lokalt
  - Energiselskap og vindkraftutbygningsselskap
  - Forskningsorganisasjoner
- Gjøre en nærstudie av et konkret vindkraftprosjekt
- Sammenlikne norske forhold med Danmark og Skottland

Noen foreløpige synspunkter på utfordringene for vindkraft i Norge: Fra øre til ørn?

- Hvorfor ble det ikke noen vindkraftsatsning i "pionerfasen":
  - Vannkraften som "gullstandard"
    - Pris
    - Størrelse
    - Systemtilpasning
  - Marginal plassering
  - Neglisjering av industrielle muligheter
  - Feilvurdering av potensialet for teknologiutvikling (lærekurve)
- Hva kan vi lære?

Tre faser

- 70-tallet: Vindkraft som alternativ teknologi
  - Uinteressant
- 90-tallet: Vindkraft som grønn drøm
  - Prinsipiell mulighet, men svake aktører
- 00-tallet: Vindkraft som politisk-økonomisk mulighet
  - Aktørutvikling
  - Nye argumenter og allianser

Vindkraftens nye landskap

- Fire overraskelser:
  - Energiubalansen i det ansvarsfrie energimarkedet
  - Troen på lønnsomhet
  - Miljøtvilen
  - Lokaliseringsproblemet

Nye aktører … og gamle

- Energiverkene – på utprøving
- Statlige institusjoner med forsiktige oppmuntringer
- Industri på jakt etter nisjer
- Miljøbevegelsen – som nesten har ombestemt seg
- Lokal opinion som er blitt skeptiske
- Forskere med litt mer penger

→ Vindkraft – eller gasskraft med CO_2-deponering?

Kort om noen av utfordringene

- Teknologiske veivalg:
  - Størrelse
  - Utseende
  - Beliggenhet
- Systemtilpasning
  - El + Hydrogen = sant
- Miljøbelastninger
- Lokalisering
- Regional energiplanlegging
- Relativ lønnsomhet

Hva er det vakre?

På 15-hundre-tallet var Albrecht Dürers hekser det mest sensuelle en kunne tenke seg.

Men dette høyner i dag pulsen betraktelig mer!

Vi lærer:

Skjønnhetsidealer endrer seg drastisk over århundrer

Åge Aleksandersen

Prudence rundt 1970

Ja, bare tiår er nok! Dette var idealet blant ungdom på 70-tallet? Utenkelig på 80-tallet.

I dag OK!

Vi kan kanskje konkludere med:

Det vakre er det vi synes er vakkert! Det er en verdi – en merkelapp vi utmerker deler av omgivelsene med!

Det vakre er gjerne intersubjektivt – altså felles for mange subjekter.

Det vakre er tids-og kultur-betinget!

Spørsmål:

Når alt er subjektivt...hva kan da arkitekter bidra med når det gjelder vindmøllers estetiske plassering i landskapet?

Svar:

De kan gi egnede begreper til en felles diskusjon om hva som er akseptabelt eller enda til vakkert !

Denne diskusjonen synes å ha fire tema:

1. Turbinens form eller gestalt.
   Hva passer best i landskapet?
2. Turbinenes plassering i landskapet.
   Hvordan ordne turbinene i forhold til landskapet?
3. Turbinbladenes hastighet
   Hva er mest akseptabelt i de gitte omgivelser?
4. Turbinenes infrastruktur, veier o.a.

Spørsmål:

Er ikke denne diskusjonen for lengst ført i land der en har hatt vindkraft i mange tiår?

Svar:

Jo, men Norge er "anderledeslandet" med et utall ulike landskapstyper som ikke er vurdert eller beskrevet med tanke på vindturbiner.

Her har vi en jobb å gjøre!

Ulike landskapstyper i Norge.

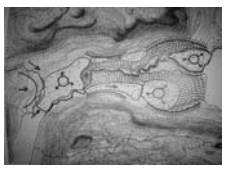
Vi bør med våre fire tema kunne si noe generelt om vindmøllers estetiske relasjon til disse landskapstypene!

Hvordan så definere formale landskapstyper?

Vi vet hvordan vi mentalt strukturerer våre omgivelser !

Eksempel: Innbyggernes "mentale" kart av Boston.

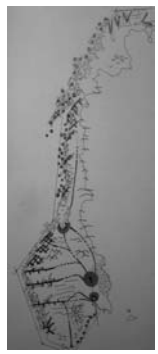
Kevin Lynch 1963



Samme teknikk brukt på landskap !

Eksempel: Tolkning av den mentale landskapsstrukturen rundt Sykkylven

Anne Marit Vagstein 1993



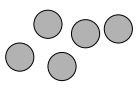
En grov tolkning av landskapstyper i Norge – Vagstein 93

Kan vi bruke liknende teknikker for å beskrive en overordnet landskapstypologi i Norge?

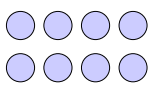
Kan vi dernest si noe om våre preferanser for vindmøllers (1) gestalt, (2) plassering, (3) rotorbladers hastighet og (4) turbinenes infrastruktur i forhold til disse landskapstypene?

Turbiners innbyrdes relasjonsprinsipper

Rekke



Klynge



Raster

Turbiners relasjon til landskapsformasjoner

To hovedprinsipper:

1. Tilpasning til overordnede landskapsstrukturer (dvs. tilpasning til vår intersubjektive mentale landskapsstrukturering)

2. Klart og entydig brudd med de fremherskende landskapsformasjoner.

Vindmøller som et selvstendig kunstverk i landskapet?

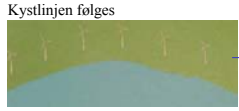
Kan vindturbiner oppleves som en berikelse av landskapet i likhet med et kunstverk?

Kanskje !!

Turbiners relasjon til ulike landskapsformasjoner

Eksempel:

Kystlinjen følges



Kystlinjen følges ikke

Kystlinjen følges – eksempel fra Danmark

Turbiners relasjon til ulike landskapsformasjoner

Eksempel:

Horisontlinjen følges ikke som overordnet linje

Horisontlinjen følges som overordnet linje

Spørsmål:

Finner vi ikke her det ene bedre enn det andre? Kan vi altså likevel si noe om det "objektivt" vakre?

Svar:

Neppe….Allmenngyldig formingsregler er det store stridsspørsmål i arkitekturen. Turbinenes relasjon til landskaps-formasjoner er kun et diskusjonstema der vi må enes om det vakre.

Vindturbinens gestalt og farge

Spørsmål:

Kan en bestemt form eller farge være mer tiltalende enn en annen?

Svar:

Så avgjort!!

Spørsmål:

Hvilken gestalt eller farge passer da best i de ulike landskapstypene i Norge?

Svar:

Dette er en diskusjon hvor vi trenger alternativer, kunnskap og begreper!

I Finland er det vanlig å tenke ny form bl.a. på høyspentmaster!

Limtre

Hvorfor ikke åpne opp for noe slikt også med vindturbiners form – tilpasset eller i kontrast til et mangslungent norsk landskap?

Vindturbiners farge kan være så mangt!

Eksempel:

Flerfargede vindturbiner tilpasset landskapets grønnfarge i Australia

I Norge ligger snøen store deler av året! Hva da?

Et siste tankekors om vindmøller

Spørsmål:
Hvorfor anses disse som vakrere…..

enn disse ?

Noen mulige svar:

- De er gamle og utviklet over århundrer.
- De er bygget i en tradisjonell og forståelig teknologi.
- De bruker materialer som en finner i omgivelsene.
- Vi lever i en omskiftelig tid der fortiden er tryggere enn fremtiden. Det gamle synes derfor vakrere enn det nye.

Konklusjonen i dag …mange spørsmål, men få svar.
Arbeidet står altså foran oss!

Enovas aktiviteter innenfor vindkraft

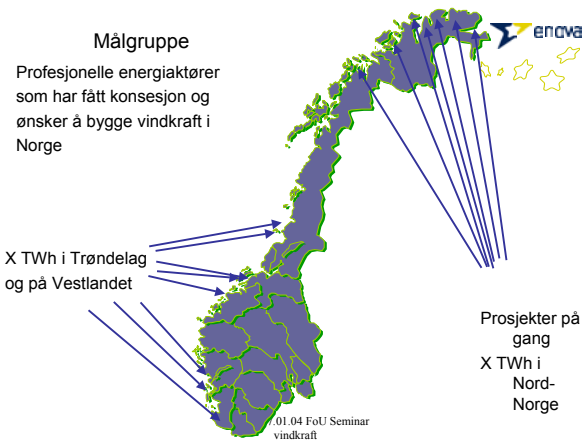
Viggo Iversen
Investeringsrådgiver
Enova SF

Målsetninger

- Øke elektrisitetsproduksjonen fra vindenergi med 3 TWh innen 2010 (ref. år 2001)
- Bygge ut kostnadseffektive prosjekter som gir Norge god avkastning av statlig investerte støttekroner

Målgruppe

Profesjonelle energiaktører som har fått konsesjon og ønsker å bygge vindkraft i Norge



Status vindkraft

Januar 2004

- **I drift:**
  - Ca 70 vindmøller
  - Installert effekt på ca 100 MW
  - Smøla I og Havøygavlen
- **Gitt konsesjon, ikke bygd:**
  - Ca 260 vindmøller (565 MW)
- **Søknader**
  - Ytre Vikna (249 MW)
  - Bessakerfjellet (50 MW)
  - Harbaksfjellet (90 MW)
  - Høg-Jæren (80 MW)
  - Skallhalsen (65 MW)
  - Magerøya (50 MW)
  - Totalt ca 590 MW
- **Meldinger**
  - Ca 2000 MW - 20 lokaliteter
- **Samlet mulig installasjon:**
  - Ca 3300 MW
  - Ca 10 TWh/år

Enovas støtteprogrammer for vindkraft -investeringsstøtte

Åpning av Smøla vindpark 5 sept. 2002

Investeringsstøtte vindkraft - Prioriterte prosjekter

- Kostnadseffektive prosjekter som gir høy elektrisitetsproduksjon per støttekrone.
- Prosjekter med kort realiseringstid.
- Prosjekter fra søkere som kan vise til erfaringer.

Følgende prosjekter prioriteres ikke

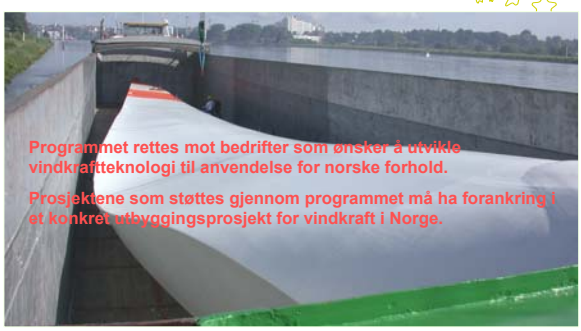
- Prosjekter med turbiner mindre enn 500 kW og samlet effekt mindre enn 1500 kW.
- Søknad om støtte til utarbeidelse av konsesjonssøknader og konsekvens-utredninger.
- FoU-prosjekter innen vindkraft.
- Prosjekter som er bedriftsøkonomisk lønnsomme uten tildeling av støtte.

Støttebeløp

- Investeringsstøtte gis ut fra investeringskostnader per beregnet energiproduksjon per år, med maksimalt 20 øre/kWh.
- Inntil 10 % av godkjente prosjektkostnader.
- Godkjente prosjektkostnader er inntil seks millioner kroner per installert MW.
- DVS: Maks støttebeløp er 600.000 kr/MW

Program-Teknologianvendelse vindkraft

Målgruppe



Programmet rettes mot bedrifter som ønsker å utvikle vindkrafteknologi til anvendelse for norske forhold.

Prosjektene som støttes gjennom programmet må ha forankring i et konkret utbyggingsprosjekt for vindkraft i Norge.

Prioriterte prosjekter

- Prosjekter som kan sannsynliggjøre en teknologi som er mer kostnadseffektiv enn gjeldende teknologi i markedet.
- Teknologianvendelse av turbiner på 2 MW eller større
- Prosjekter som er nær realisering og som har fått konsesjon/snarlig får svar på konsesjonssøknad av Norges-vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Måloppnåelse for Enova

- Investeringstilskudd: 366,6 MNOK
- Avkastning: 3,9 kWh vindkraft per støttekrone
- Ca 1,41 TWh – 47% måloppnåelse
- I tillegg så har Enova bidratt til å utvikle ny og mer kostnadseffektiv vindkraftteknologi tilpasset norske forhold som kan anvendes av norske vindkraftaktører. Verifikasjon av teknologien gjenstår

Utredning av overgangsordning Hovedpunkter i mandat fra OED

- *En overgangsordning skal hindre at investeringer stopper opp*
- *En overgangsordning må ivareta følgende mål*
  - *Bidra til økt produksjon av fornybar el inntil et grønt sertifikatmarked kan tre i kraft*
  - *Tilrettelegge for et visst tilbud av grønne sertifikater (GS) ved innføringen av markedet*
  - *Forutsigbarhet, stabilitet og enkelhet i rammer*
- *Internasjonale forhold*

Mulige overgangsordninger

- Anbudsordninger
  - I forhold til en garantert sertifikatpris
  - I forhold til garantert elpris
- Statlige subsidier
  - "Status quo" – dagens ordning
  - Driftsstøtte
  - Investeringsstøtte
  - Kombinasjon av inv.støtte og driftsstøtte
- Feed in tariffer

Vurdering

- Enova mener at en teknologinøytral anbudsordning er den av ordningene som vil kunne gi den mest formålseffektive og kostnadseffektive ivergangsordningen til et pliktig grønt sertifikatmarked

Konklusjon

- Stor aktivitet for etablering av vindkraft i Norge
- Om lag 50 % av målet om 3 TWh er kontraktsfestet
- Valg av overgangsordning vil bestemme aktivitetsnivået fram til et eventuelt grønt sertifikatmarked er etablert

VALSNESET

Location of Valsneset

Test Station for Wind Turbines at Valsneset

The company VIVA AS was established in 2000

The site, Valsneset on the coast in the middle of Norway, offers excellent conditions for performing high-quality tests of wind turbines for type approval, documentation and support to industrial development.

Concession for installation and operation of three wind turbines for testing were granted January 2002 as applied for, i.e. one 50 kW wind turbine and two MW-sized wind turbines.

Test Station for Wind Turbines (VIVA)

Partners:

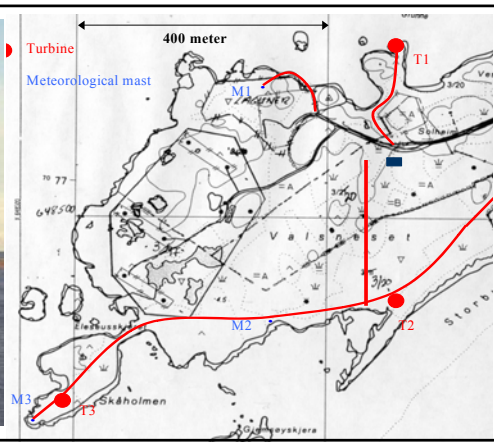
Institute for Energy Technology (IFE)

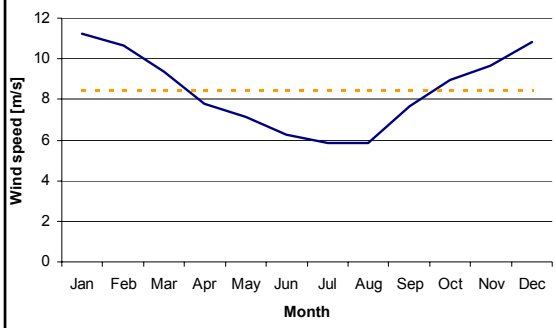
SINTEF Energy Research AS

Norwegian University of Science and Technology

Valsneset Energi og Industriselskap

Campus Kjeller AS





Facilities at the Test station

The meteorological masts will be equipped with:

- anemometers, direction, air temperature and density sensors

The measurement equipment includes in addition :

- equipment for registration of mechanical loads, power performance, acoustic noise and power quality.

The equipment will as a minimum be in agreement with the international standards or extended according to client specifications.

Facilities at the Test station

The planned installations include:

- **One small wind turbine for R&D (~25 kW)**
- **Two MW-sized wind turbines (each max 2.5 - 3 MW)**
- **Three meteorological masts, one upfront each wind turbine**
- **Service building and measurement equipment**
- **Internal roads and areas for erection of the wind turbines**
- **Grid connection to existing 22 kV grid**

Services to be offered by VIVA

VIVA plans to offer tests of wind turbines for type approval, documentation and support to industrial development.
The tests may be carried out at Valsneset or at other sites pending on client requirements.
It is a goal to achieve international recognized accreditation on selected measurementprocedures using staff and competence from SEfAS, IFE and NTNU on a project basis

Services to be offered by VIVA

The tests may be performed according to international standards or extended according to client specifications. Other tests and measurements may also be negotiated, e.g. *safety system tests* and *other system tests* and *various components tests*.

Services to be offered by VIVA

- Power performance measurements
- Power quality measurements
- Structural load measurements
- Acoustic noise measurements

Fremdriftsplan for VIVA					2003				2004				2005			
Periode	Fra:	jan.03	Til:	des.05	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Prosjekt/aktivitet																
VIVA AS:																
1. Testhus																
2. Kabelgater og veier																
3. Skalamølle																
4. Akkreditering																
5. Måleutstyr																
6. Fundament for mølle til TEK																
7. Planlegging																
Trønder Energi Kraft AS (TEK):																
1. Oppføring av byggeprosess MW- mølle																

VIVA-mesta-5.1.04

Vind-fou-strategi

IFE, Sefas og NTNU tok i 1999 initiativ til etablering av et nytt forskningsprogram innen vindenergi og undertegnet en intensjonsavtale.

Dette skulle baseres på tre hoved-elementer:

- Et testsenter og laboratorium for vindturbiner
- Et strategisk forskningsprogram (SIP/SUP)
- Et kompetanseprogram (KMB) med deltagelse fra norsk industri

NTNU, IFE og SEFAS inngikk 07.05.2001 en samarbeidsavtale som avklarer partenes ansvar og arbeidsdeling i denne forbindelse.

RESULTATET BLE

- VIVA AS ble etablert i desember 2000 med IFE, SEfAS, NTNU, Campus Kjeller og Valsneset Energi og Industriselskap som eiere, med 20 % eierandeler hver. NVE/Enova bevilget 10 mill.kr i støtte.
- Norges forskningsråd bevilget i 2001 kr 6 mill. i støtte til en KMB (2001-2005) med Statkraft, UMOE, ScandWind og Norsk Hydro som industripartnere og SEfAS og IFE som forsknings-institusjoner.
- Norges forskningsråd bevilget i 2002 kr20 mill. i støtte til en SUP/SIP (2003-07) hvor NTNU, SEfAS og IFE er samarbeidspartnere

SINTEF Energi AS
SINTEF Energy Research

No-7465 Trondheim
Telephone: + 47 73 59 72 00

energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energy