

Ansökan om forskningscentrum: Svenskt VindkraftsTekniskt Centrum

Ett förslag från Chalmers tekniska högskola
och företag intresserade av vindkraftverkstillverkning

2009-10-11



Swedish Wind Power Technology Center
Svenskt VindkraftsTekniskt Centrum

Ett forskningscentrum för konstruktion och produktion av vindkraftverk

Innehållsförteckning

Inledning.....	3
1 Bakgrund	4
1.1 Vindkraftsmarknaden.....	4
1.2 Svensk vindkraftindustri idag	5
2 Mål.....	5
3 Metod	6
4 Tidplan	6
5 Resursåtgång	7
6 Finansieringsmodell.....	7
6.1 Totalt finansiellt åtagande.....	7
6.2 Energimyndighetens finansiella åtagande	8
6.3 Chalmers finansiella åtagande	8
6.4 Industriintressenternas finansiella åtagande	8
7 Partners	9
7.1 Universitet/högskola	9
7.2 Industri	9
7.3 Region/kommun.....	9
8 Pågående vindkraftsforskning i Sverige	10
9 Arbetsstruktur inom Swedish Wind Power Technology Center.....	10
10 Temagrupp 1: Elkraft- och styrsystem.....	12
10.1 Teknikbakgrund	12
10.2 Frågeställningar	12
10.3 Mål.....	13
11 Temagrupp 2: Turbin och vindlast.....	13
11.1 Teknikbakgrund	13
11.2 Frågeställningar	14
11.3 Mål.....	14
12 Temagrupp 3: Mekanisk kraftöverföring och systemoptimering.....	14
12.1 Teknikbakgrund	14
12.2 Frågeställningar	16
12.3 Mål.....	16
13 Temagrupp 4: Bärande struktur och fundament	17
13.1 Teknikbakgrund	17
13.2 Frågeställningar och mål	17

Inledning

De senaste åren har marknaden för vindkraftsteknik vuxit med 20% per år och ökningstakten för de kommande åren ser inte ut att minska. Orsaken är i huvudsak att vindkraften är en elproduktionsteknik fri från utsläpp av CO₂, i linje med den politiska målsättningen världen över. I moderna vindkraftverk genereras en maximal effekt på minst 2MW och 4,5GWh elenergi per år vid normal vindhastighet. Dessa verk kan lämpligen placeras i öppen terräng, i skogsmiljö, i fjällen och till havs. Det är teknik runt dessa verk vi avser studera.

Trots starka motiv saknas tillverkning av vindkraftverk i större skala i Sverige. Vidare har Sverige för tillfället en överkapacitet inom verkstadsindustrin. Att starta tillverkning av vindkraftverk skulle vara lämpligt av dessa skäl.

För att stödja svensk industri med kunskap inom vindkraftens konstruktionsfrågor och för att utbilda nya generationer av ingenjörer med god kunskap om ämnet, föreslås att ett forskningscentrum i vindkraftsteknik bildas. Chalmers har tillsammans med företag med intresse i vindkraftverkstillverkning arbetat fram ett förslag till forskningscentrum i vindkraftsteknik kallat Svenskt VindkraftsTekniskt Centrum, eller "Swedish Wind Power Technology Center" (förkortat SWPTC). Vidare har Chalmers en gedigen grundkompetens inom flera relevanta teknikområden, därigenom finns goda möjligheter att snabbt lyfta från grundkompetens till specialkunskap inom vindkraftsteknik.

De tre grundpelare som behövs för industriell utveckling är kunskap, ekonomi och tillverkning. Inom Västra Götalandregionen pågår projektet "Vind-in-Vest" där de finansiella frågorna tas upp och inom industrin görs flera ansträngningar för att komma igång med tillverkning av delar till eller hela vindkraftverk. Inom Svenskt VindkraftTekniskt Centrum skall kunskapen förstärkas så att de bästa vindkraftverken kan tillverkas.

1 Bakgrund

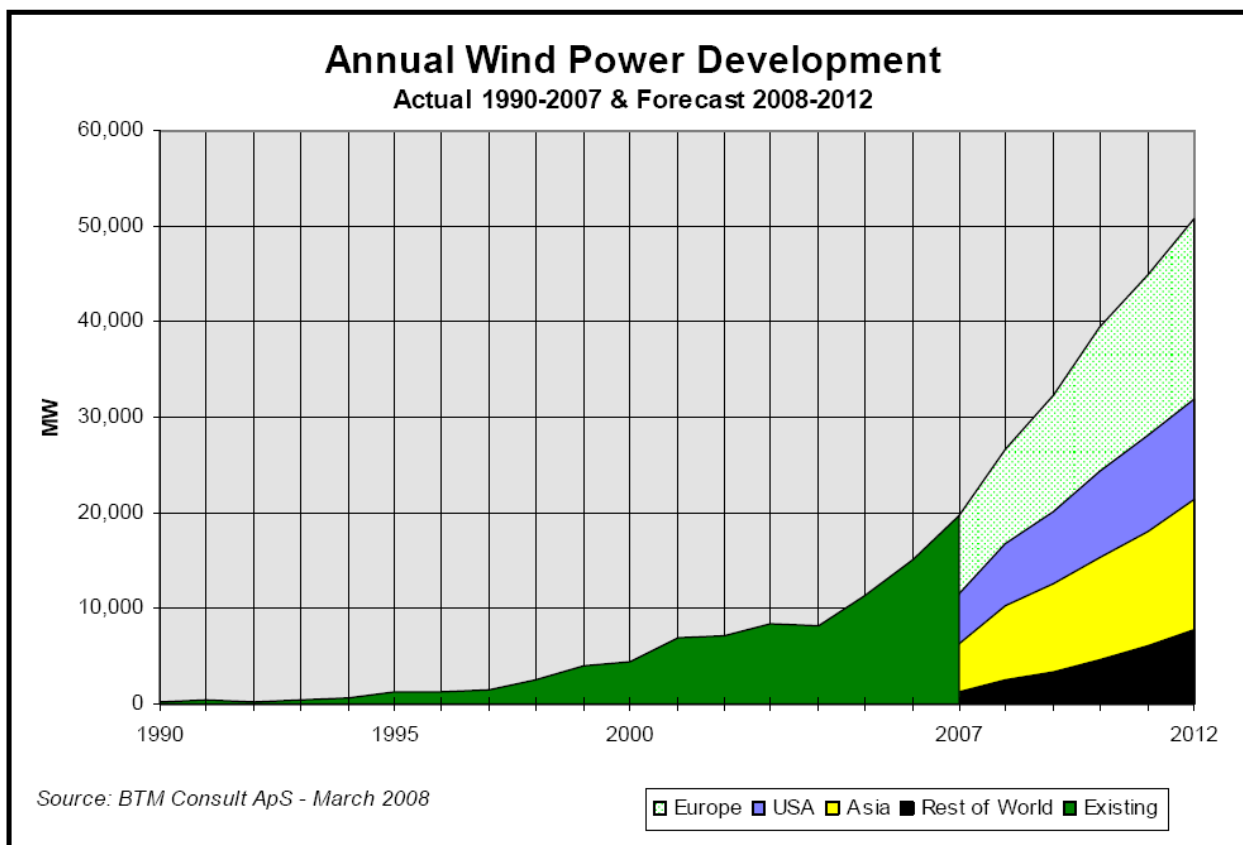
1.1 Vindkraftsmarknaden

Det sker en stark utbyggnad av vindkraftsenergi globalt. Tillväxttakten inom vindkraft är just nu högst i Europa (8.000MW/år) och USA (5.200MW/år), se Figur 1. Även i Kina (3.500MW/år) och Indien (1.750MW/år) växer vindkraften starkt.

Under 2008 installerades mer vindkraftskapacitet i EU än i någon annan teknologi som producerar elektricitet. Statistik visar att 43% av all nybyggd kapacitet för att producera el inom EU förra året var vindenergi.

Sverige producerar i dag ca 1,4TWh vindenergi, vilket motsvarar ca 1% av Sveriges produktionsbehov. EU's mål är att 20% av all energi år 2020 skall komma från förnyelsebara källor och Sveriges riksdag har satt upp som planeringsmål att ha 30TWh vindkraft installerad år 2020 (källa: www.energimyndigheten.se).

För att uppnå detta mål så behöver cirka 6000 stora vindkraftverk installeras i Sverige. Det ger att 2 vindkraftverk måste resas varje arbetsdag från och med nu. Den totala kostnaden för detta beräknas bli 150-200 miljarder SEK.



Figur 1: Statistik samt prognos över utbyggnad av vindkraft globalt. Källa BMT Consult ApS

1.2 Svensk vindkraftindustri idag

Den svenska utbyggnaden av vindkraftverk har tagit bra fart de senaste åren. Många mindre företag har bildats för projektering av nya vindkraftverk. Även våra större aktörer på energimarknaden har kraftigt ökat sina insatser för att etablera en betydande elproduktion med hjälp av vindkraft. Vattenfall är tydligast med detta, ett exempel är Lillgrunds vindpark med 48 verk om vardera 2,3MW. Denna park har varit i produktion i över ett år. Ett annat exempel är satsningen på vindkraft i skogsmiljö.

I Sverige finns det stor kunskap inom delsystem till vindkraftverk, där bland andra ABB och SKF är världsledande leverantörer på generatorer respektive lager. Jämfört med Danmark och Tyskland är den svenska vindkraftsindustrin dock mycket liten. Tillväxtpotentialen är enorm inom området. European Wind Energy Association (EWEA) spår en tillväxt av antalet anställda inom sektorn från 154.000 år 2007 till 377.000 år 2030. Danmark, Tyskland och Spanien står idag för 75% av dessa arbetstillfällen. I Sverige sysselsätts idag ca 2.000 direkt i vindkraftsindustrin.

Trots stor svensk kunskap inom utveckling och produktion av komplexa sammansatta mekaniska och elektriska system, bl.a. inom fordonsindustrin, finns det ännu ingen svensk serietillverkning av vindkraftverk. Tyskland, Danmark och Spanien dominerande i Europa. I Danmark har vindkraft snabbt vuxit till att bli en av landets största exportindustrier. Ett exempel på teknikområde från svensk fordonsindustri där befintlig kunskap direkt kan appliceras inom vindkraften är transmissionsområdet. Inom detta område gäller:

- Tyskland är helt dominerande i Europa. Transmissionen står för 10-15% av värdet på ett vindkraftverk. Tillsammans med mekanismer för pitch av rotorbladen och gir av maskinhuset utgör värdet ca 25%.
- Svensk tillverkning av transmissioner för fordonsindustrin och därmed svensk transmissionskompetens är starkt hotad. Detta är allvarligt då transmission är ett nyckelområde för framtida innovativa drivlinor, exempelvis för hybridbilsdrift.
- I omvärlden väljer man att komplettera sin nuvarande affärsmodell för transmissionstillverkning med transmissioner för vindkraft. Sådana exempel finns att finna från fordonsindustri i Michiganområdet och från gruvdriftsindustri i Ruhrområdet.
- Kan vi lyckas med motsvarande, vore det oerhört lyckosamt även för vår fordonsindustri. Ledande kompetens hos industri och universitet kan då behållas.

2 Mål

Målet med centrets verksamhet är att bygga upp komponent- och systemkunskap kring hela vindkraftverket för att möjliggöra:

- Världsledande utveckling och produktion av kompletta vindkraftverk i Sverige
- Världsledande svensk utveckling och produktion av delsystem. Detta gäller exempelvis mekanisk och elektrisk drivlina samt växellåda. Även gir- och bladvinkel-mekanismer är bra exempel.
- Forskning av högsta klass i syfte att resultera i optimala vindkraftverk
- En ingenjörutbildning av hög kvalitet med examination av vindkraftskunniga ingenjörer
- En fokusering på vindkraftverk med en märkeffekt över 2MW för placering i öppen terräng, i skogsmiljö, i fjällen eller till havs.

Forskningscentrets mer specifika målsättning är att verksamheten kommer att:

- Leda till att nya material används i bladkonstruktionen som kan ge en viktreduktion av 60 % på bladen.
- Leda till en total viktreduktion på kraftverket som motsvarar en 20 % kostnadsreduktion.
- Leda till en ökad livslängd med 40 % på grund av bättre lastprediktering och lägre konstruktionsvikter.
- Leda till en ökning av kraftelektronikkomponenter för att möjliggöra en viktreduktion på transformatorn i kraftverket/upsamlingsnätet på 80-90 %.
- Leda till/medverka till att en eller flera vindkraftverkstillverkare i Sverige kan få en världsmarknadsandel på 5%.

På den akademiska sidan är målsättningen att centret presenterar:

- 4 doktorsavhandlingar efter fem års verksamhet.
- 4 publikationer/år som presenterats på internationella konferenser.
- 3 publikationer/år i internationella tidskrifter.

3 Metod

Nyckeln till att bli en världsledande aktör är att ha bäst kunskap om hela systemet. Inom centret skall de olika grundkompetenserna arbeta i tät samverkan i syfte att skapa en unik systemkompetens för konstruktion och optimering av moderna vindkraftverk. Ett snabbt och effektivt sätt att skaffa kunskap är att använda simuleringsmodeller för prediktering. Därför behövs forskning i Sverige för att utveckla och validera sådana modeller för att bygga kunskap om kompletta vindkraftssystem. Modellerna skapas lämpligen i samarbete mellan ledande företag och universitet/högskolor. Simuleringsmodellerna innefattar hela den fysiska kedjan från vindlast till elnät och inkluderar exempelvis kraftverkets styrsystem. Sådana modeller kan exempelvis användas för prediktion av laster, livslängd, verkningsgrad samt ljud och vibrationer från turbinblad och växellåda.

Systemmodellen skall ge förutsättningar för:

- Systemoptimering med avseende på kostnad och vikt för hela systemet inkluderande turbinblad, transmission, generator, etc.
- Utveckling av styrstrategier samt styralgoritmer
- Möjliggöra både skapande och utvärdering av innovativa lösningar och nya tekniker.

Modellvalidering skall ske på befintliga vindkraftverk. Göteborgs Energi har erbjudit möjlighet att utföra mätningar på deras nyinstallerade 2MW kraftverk i Göteborg.

4 Tidplan

Målet är att så snart som möjligt starta upp centret. Sedan mars 2009 har ett intensivt arbete bedrivits mellan Chalmers och industriparterna för att formulera detta forskningscentrums forskningsinriktning samt organisationsform. En inledande kontakt har tagits med Energi-myndigheten om att bilda detta forskningscentrum. Ett eventuellt positivt besked från myndigheten kan ges tidigast i november. En möjlighet ges då till en projektstart i januari 2010. Ett första steg för

centret blir att slutföra överenskommelsen med industriparterna och bilda styrelse och temagrupper. Resultatmässigt planeras att uppnå följande övergripande mål:

- Förslag till examensarbeten ges. Arbetena utförs som del av grundutbildningen i samarbete med industrin med start under det första året
- Inom ett år finns industrikurser tillgängliga från centret
- Inom ett år är sex doktorander och sex seniorer verksamma inom centret
- Inom ett år är undervisning om vindkraftsteknik en del av fyra kurser
- Inom två år är ingenjörer med vindkraftskurser i bagaget ute på arbetsmarknaden
- Inom två år har forskarna inom centret publicerat minst 6 vetenskapliga artiklar
- Inom 3 år har första licentiatuppsatsen presenterats
- Inom 5 år har första doktorn disputerat.

5 Resursåtgång

SWPTC kommer att innefatta minst 10 doktorander, vilka kommer att vara en blandning av universitets- och industrianställda doktorander. Budgetomslutning för det första året planeras att vara minst 100 MSEK, varav ca 33 MSEK bör vara anslag från Energimyndigheten, se finansieringsmodell nedan.

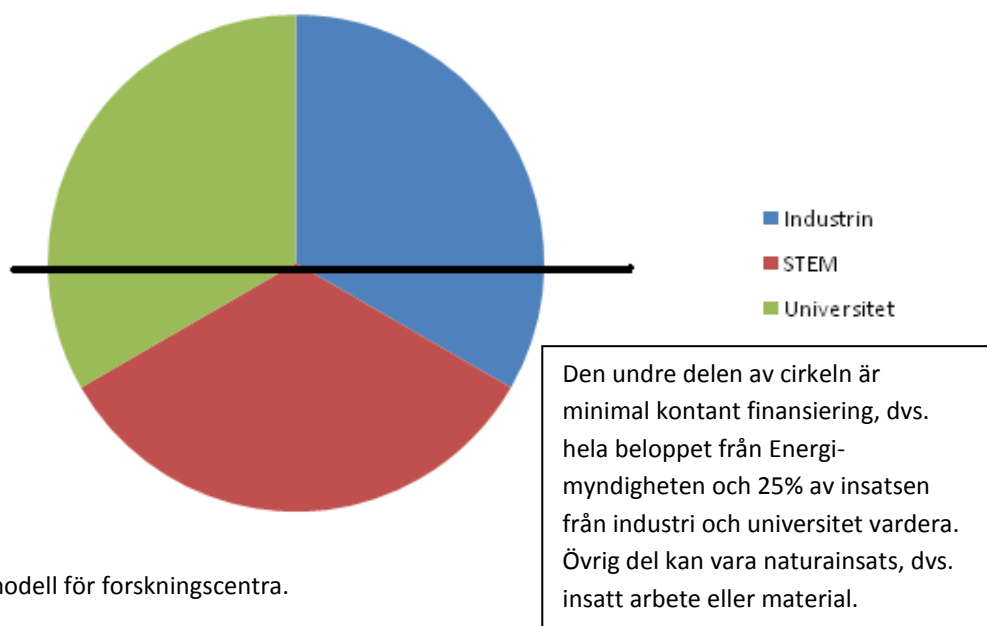
6 Finansieringsmodell

Finansieringen av SWPTC föreslås följa den gängse modell som idag används för andra forskningscentra där universitet, myndighet och industri samverkar. Denna modell bygger på att myndigheten (i detta fall Energimyndigheten) står för 1/3, de involverade universiteten står sammanlagt för 1/3 och de involverande industriparterna står sammanlagt för 1/3 av den totala finansieringen, se nedanstående bild.

6.1 Totalt finansiellt åtagande

Parternas totala finansiella åtaganden, kontanta medel och naturinsatser, för Etapp 1 av verksamheten inom ramen för SWPTC föreslås uppgå till minst 100 MSEK. Dessa fördelas på verksamhetsår ett med 15 MSEK, på verksamhetsår två med 25 MSEK och på verksamhetsår tre och fyra med vardera 30 MSEK.

Finansieringsmodell för forskningscentra



Figur 2: Finansieringsmodell för forskningscentra.

Exempel på åtagande kan vara följande; antag att en industri väljer att gå in med en 20% industriandel, vilket leder till ett kontantbidrag om totalt 1,65Mkr och en naturainsats om 4,95Mkr. Följande tabell visar kontantbidraget per år:

År 1	År 2	År 3	År 3	Totalt
250 kSEK	400 kSEK	500 kSEK	500 kSEK	1.650 kSEK

6.2 Energimyndighetens finansiella åtagande

Energimyndigheten förslås i Etapp 1 finansiera verksamheten med 33MSEK motsvarande en tredjedel av de totala kostnaderna. Dessa medel fördelas på verksamhetsår ett med 5MSEK, på verksamhetsår två med 8MSEK och verksamhetsår tre och fyra vardera med 10MSEK. Energi-myndighetens finansiering utgår i form av kontanta medel.

6.3 Chalmers finansiella åtagande

Chalmers åtar sig att tillsammans finansiera verksamheten i Etapp 1 med 33MSEK motsvarande en tredjedel av de totala kostnaderna. Chalmers finansiella åtagande utgörs av kontanta medel till minst 25% och naturainsatser till maximalt 75%.

6.4 Industriintressenternas finansiella åtagande

Industriintressenterna åtar sig att tillsammans finansiera verksamheten i Etapp 1 med 33 MSEK, motsvarande en tredjedel av de totala kostnaderna. Industriintressenternas finansiella åtagande utgörs av kontanta medel till minst 25% och naturainsatser till maximalt 75%. Intressenterna svarar var och en för sin del av intressenternas sammanlagda finansiering.

7 Partners

7.1 Universitet/högskola

- Chalmers
 - Ola Carlson – Docent, Elteknik. Vindsamordnare på Chalmers
 - Lars Davidsson – Professor, Tillämpad mekanik. Strömningsmekanik
 - Viktor Berbyuk – Professor, Tillämpad mekanik. Mekaniska system
 - Thomas Abrahamsson – Professor, Tillämpad mekanik. Strukturodynamik
- Övriga universitet och högskolor är välkomna att delta på projektbasis, även internationellt samarbete kommer att uppmuntras.

7.2 Industri

- ABB – Generatorer & omriktare
 - Robert Chin – ABB R&D Technology
- SKF – Lager, smörjning och övervakningssystem
 - Stefan Karlsson – SKF
- Vattenfall - Kund samt drift och underhåll
 - Sven-Erik Thor, ansvarig för F&U inom Vattenfall Vindkraft AB
- Triventus – Projektering samt drift och underhåll
 - Gert-Olof Holst, Vd
- Dynawind – Torntillverkning och projektering
 - Anders Sjögren
- T Engineering – Mekanisk kraftöverföring
 - Magnus Wall, PM Wind
- ESAB - Torntillverkning
 - Tobias Finndin, Global Wind Energy Segment Manager
- Göteborgs Energi – Kund samt drift och underhåll
 - Per Carlson – Göteborg Energi. Ansvarig för vindkraft
- Mattsson Gruppen – Mål att bli tillverkare av komplett vindkraftverk
 - Sören Forsberg, CEO
- Storebro Maskinrenovering – Renovering samt produktion transmissioner
 - Walter Abdiu, Vd
- Quest AB - Styrssystem
 - Per Stjerneman, Vd
- Najad - Bladtillverkning
 - Jan-Olov Larsson, Platschef Hull Manufactures
- Marström Composite – Bladtillverkning/konstruktion
 - Per Marström, CEO

7.3 Region/kommun

- Västra götalandsregionen
 - Anders Carlberg, Näringslivsenheten

8 Pågående vindkraftsforskning i Sverige

I Sverige bedrivs forskning för vindkraft i huvudsak inom två områden. Ett bedrivs inom Vindforsk III vars forskning huvudsakligen riktar sig mot att etablera och driva vindkraftverk samt elnätsfrågor. Det andra täcks av Vindval som studerar konsekvenserna av vindkraftsproduktion ur ett mänskligt och naturbevarande perspektiv. Dock saknas ett väsentligt område för en stabil utveckling och tillverkning av vindkraften i Sverige; forskning inom tekniken för konstruktion och tillverkning av vindkraftverk. Detta område föreslås täckas genom verksamheten inom det nya forskningscentret för vindkraftsteknik, Swedish Wind Power Technology Center, se figur 3



Figur 3: Samverkan och komplement till Vindval och Vindforsk

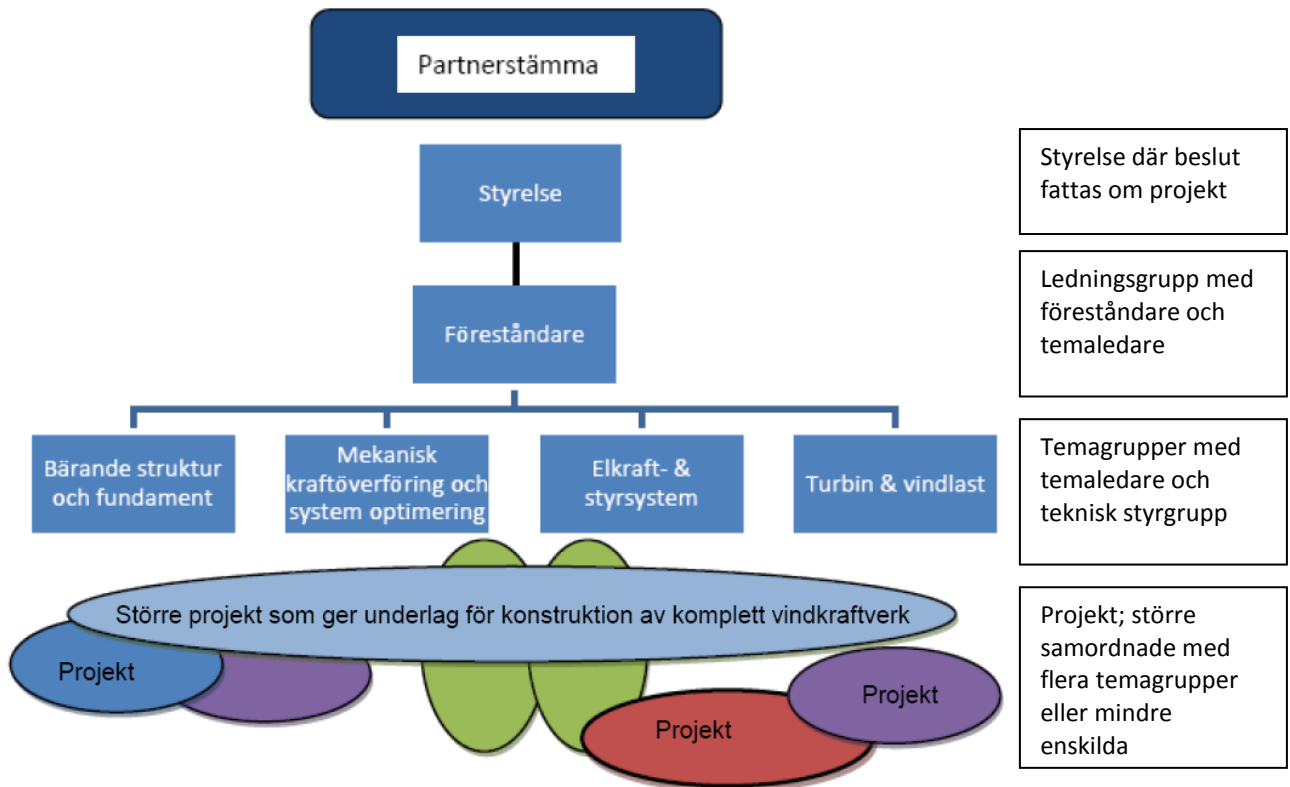
Vidare sker en naturlig samordning med eventuella EU-projekt, Nordiska projekt och Vindforsks tekniska projekt genom respektive partners delaktighet i projekt med extern finansiering. Gemensamma seminarier och informationsutbyte planeras.

9 Arbetsstruktur inom Swedish Wind Power Technology Center

Strukturen på forskningscentret föreslås enligt nedan, se Figur 4. Här kan ses att arbetet bedrivs i projektform inom större projekt, samordnade mellan flera temagrupper eller såsom mindre enskilda projekt. Det större projektet har som syfte att samordna de mindre projekten så att ett komplett och optimalt vindkraftverk kan konstrueras: En bärande del av verksamheten blir att skapa modeller för kompletta kraftverk för att simulera den slutgiltiga konstruktionen av kraftverk.

Ansvar för den dagliga driften av centret ligger hos föreståndaren, för respektive temagrupp hos temaledarna och till sist för varje enskilt projekt hos projektledarna. Beslut om vilka projekt som skall startas tas av styrelsen som har en majoritet av industrideltagare. En gång per år hålls en partnerstämma där projekt redovisas och nya projektidéer kan diskuteras.

Forskningen bedrivs inom fyra temagrupper som speglar konstruktion och drift av vindkraftverk, se Tabell 1.



Figur 4: Forskningscentrets struktur.

Tabell 1: Temagrupper.

	Temagrupp 1	Temagrupp 2	Temagrupp 3	Temagrupp 4
	Elkraft- och styrsystem	Turbin och vindlast	Mek. kraftöverföring och systemoptimering	Bärande struktur och fundament
Temaledare från Chalmers	Ola Carlson	Lars Davidsson	Viktor Berbyuk	Thomas Abrahamsson
Industri	ABB Quest T Engineering	Volvo Areo Marström Composite Najad	T Engineering SKF Storebro Maskinrenovering	Dynawind ESAB Mattsson Gruppen

Då den vindkraftsforskning som bedrivs i Sverige på senare år mest har varit inriktad på användarfrågor och inte till så stor grad på tillverkning av vindkraftverk föreslås att Svenskt VindkraftsTekniskt Centrum inriktar verksamheten mot traditionella vindkraftverk med utnyttjande av den senaste materialtekniken och god forsknings- och tillverkningsmetodik. Detta speglas av temagruppernas innehåll. Vidare har vikten av ett effektivt underhåll av kraftverk blivit tydligt när antal verk ökar kraftigt och att de placeras på svårtillgängliga platser såsom i fjällmiljö och till havs. Ett lämpligt arbetsområde för Centrat är att arbeta med konstruktionsfrågor som förbereder för ett effektivt underhåll.

10 Temagrupp 1: Elkraft- och styrsystem

10.1 Teknikbakgrund

På den elkrafttekniska sidan har skett en tydlig utveckling under den moderna vindkraftteknikens livstid. Den traditionella danska vindmöllan var konstruerad för drift med konstant varvtal och så enkelt elsystem som möjligt. Ofta satt det en kortsloten asynkrongenerator i kraftverket som anslöts till elnätet via ett tyristorbestyckat inkopplingsdon. På senare tid har system med variabelt varvtal tagit allt större marknadsandelar. För att möjliggöra det variabla varvtalet används ett flertal olika typer av elsystem. Dagen stora kraftverk kör uteslutande med variabelt varvtal. Huvudskälen till detta är de minskade mekaniska påkänningarna som följer med att kunna variera varvtalet vid hårda vindar. Minskat ljud från kraftverket vid låg vind är också en viktig orsak, låga varvtal vid låg vind gör också att turbinens förmåga att omvandla vindens rörelse till mekanisk rotation blir mer effektiv.

Generatoren har till uppgift att omvandla mekanisk roterande energi till elektrisk energi. Den är ansluten till växellådans högvarvsaxel, eller direkt till turbinen i de fall då kraftverket är direktdrivet, och på den elektriska sidan till elnätet. Energin transporteras sedan vidare i elkraftsystemet till oss konsumenter.

För att åstadkomma drift med variabelt varvtal används idag kraftelektroniska omvandlare, dessa ansluts mellan generatoren och elnätet för att frikoppla generatorns frekvens/varvtal från elnätets fasta 50 Hz frekvens. Det används huvudsakligen två olika system, dubbelmatad asynkrongenerator, DFIG, och fulleffekt omriktare. I det första fallet är generatorns stator direktansluten till elnätet medan rotorkretsen är ansluten till elnäten via en frekvensomriktare för att kunna ha variabel frekvens i rotorlindningarna. I det andra fallet är en frekvensomriktare ansluten mellan statorn och elnätet. I detta fall går all effekt via frekvensomriktaren med följderna att den är kostsam och har relativt stora förluster, 3%. I fallet med DFIG går endast en del av effekten via omriktaren, typiskt 20%, vilket leder till en mindre kostsam omriktare och lägre förluster. De olika elsystemen finns väl beskrivna i Elforsk rapport nr:06-04, (www.elforsk.se).

Idag dominerar DFIG systemet marknaden men trenden är tydlig mot att fulleffekt omriktarna vinner marknadsandelar. De huvudsakliga skälen är att kraftelektroniken i frekvensomriktarna blir mer kostnadseffektiva och att systemet med fulleffektomriktare har större styrbarhet speciellt vid felfall på elnätet. Elnätskunskapen blir allt viktigare då nätbolagen ställer allt större krav på vindkraftverken.

10.2 Frågeställningar

Frågeställningar inom elteknik:

- I vilken omfattning påverkar val av generatorsystem, styrningen av systemet och felfall de mekaniska lasterna i vindkraftverket?
- Hur ser det optimala generatorsystemet ut, med hänsyn till elproduktion, styrbarhet, elkvalitet, underhåll och buller?
- Hur kan utvecklingen av nya magnetmaterial påverka generatorkonstruktionen, kan nya krafthalvledare leda till förbättrad omriktarteknik?
- Kan högspänd likströmsteknik vara ett bra system inne i kraftverket, i uppsamlingsnätet i en vindfarm och för överföring av vindfarmens samlade effekt till stamnätet?

10.3 Mål

Målsättningen inom temagrupp elkraft och styrsystem är att:

- Utveckla elkrafttekniken inom vindenergi så att en kostnadseffektiv elproduktion kan utvecklas
- Utveckla modeller av aktuella elsystem som är anpassade för simulering av drivlinan och hela vindkraftverket
- Anpassa modellerna för olika driftsfall, normal drift, felfall, fel i kraftverket, fel på elnät
- Att i samarbete med mekanisk transmission ta fram ett optimalt drivsystem
- Tydliggöra hur nätbolagens "Grid Code" påverkar konstruktionen av elsystemet och kraftverk
- Bevaka den kraftelektroniska utvecklingen och föreslå utveckling av elsystem med nya kraftelektroniska komponenter
- Visa på hur nya material och beräkningstekniker kan utveckla nya generatorkoncept

11 Temagrupp 2: Turbin och vindlast

11.1 Teknikbakgrund

Längden hos rotorblad på ett modernt 5MW vindkraftverk är drygt 60m och vikten är cirka 18 ton. Tillverkningskostnaden är cirka 3,5MSEK vilket motsvarar 15-20% av vindkraftverkets totala kostnad. De dynamiska krafterna som skapas pga. instationära lyft- och motståndskrafter är avsevärda. Tidsvariationen hos krafterna uppstår i första hand på grund av samverkan mellan strömningen kring rotorbladen och tidsvariationer hos den anströmmande vinden. Karakteristiken hos den anströmmande vinden, dvs. dess turbulens, beror på omgivande miljö, om det är hav, skog, fjäll etc. Turbulensen hos den anströmmande vinden är t.o.m. beroende på typ av skog, t.ex. norrländsk eller småländsk barrskog, lövskog osv.

Kostnaden per installerad kWh för vindkraft har halverats mellan 1985 och 2000. Uppskattningar visar att 60% av denna kostnadsreduktion beror på uppskalning, dvs. större kraftverk. En begränsande faktor för att bygga större kraftverk är rotorbladens storlek vilka vanligtvis tillverkas i glasfiber, GPRS (*eng.* Glass Fiber Reinforced Plastic). Idag finns det möjlighet att tillverka rotorblad i kompositmaterial, CPRS (*eng.* Carbon Fiber Reinforced Plastic). Marströms Composite AB, en av de industriella parterna i det föreslagna forskningscentret, är världsledande att använda CPRS som material vid konstruktion och tillverkning. I dag pågår forskning och utvecklingsarbetet för att tillverka rotorblad av CPRS med längder upp till 200m. Rotorblad tillverkat i CPRS är 60% lättare än

motsvarande rotorblad i GPRS. Ett lättare rotorblad får stora positiva konsekvenser för resten av vindkraftverket: belastningarna på torn, hus (med växellåda och lager) och grund blir mindre i motsvarande grad. Detta leder till att tillverkningskostnaden för hela vindkraftverket blir minst 15% lägre.

Underhålls- och driftskostnader för ett 2MW vindkraftverk uppskattas till 0,10-0,15 SEK/kWh varav cirka 30% härrör från rotorbladen. Livslängden för ett vindkraftverk beräknas idag vara 20 år. Den begränsande faktorn anses vara mekanisk utmattning av rotorbladen. Om rotorbladen tillverkas av CPRS istället för GPRS kan livslängden antagligen ökas till 30 år. I synnerhet om man lyckas kontrollera de dynamiska vindlasterna.

En viktig begränsande faktorn för utbyggnad av vindkraften är buller vilket ofta avgör lokalisering av såväl landbaserade som marina vindkraftsparker. Ljudet kan upplevas störande av både djur och människor. Det har visat sig att strömningsinducerat ljud vid bakkanten av rotorbladspetsen är den största ljudkällan för vindkraftssystem pga. av rotorbladspetsens höga hastighet (210-250km/h).

Slutsatsen av ovanstående bakgrundssammanfattning är att det behövs mer forskning relaterad till rotorbladen.

11.2 Frågeställningar

Frågeställningar inom turbin och vindlast:

- Hur stora är de dynamiska lasterna? Amplitud och frekvens?
- Vilka vindförhållanden är mest kritiska? Amplitud och frekvens? Vilken typ av terräng?
- Hur propagerar de dynamiska lasterna från rotorblad till växellåda och lager?
- Vilket material ska rotorbladen tillverkas i? Hur påverkar materialvalet och dess vikt konstruktion av övriga delar av vindkraftverket? Nya konstruktionslösningar pga. nya material med ökad styvhet?
- Hur kan man reducera bullret från rotorbladen? Kan nytt materialval ge möjlighet till att tillverka rotorblad som ger lägre buller?

11.3 Mål

Det övergripande målet är att analysera rotorbladens effekt på vindkraftverkets prestanda på systemnivå. Forskningen inom denna temagrupp ska ge kunskap, resultat och metoder om:

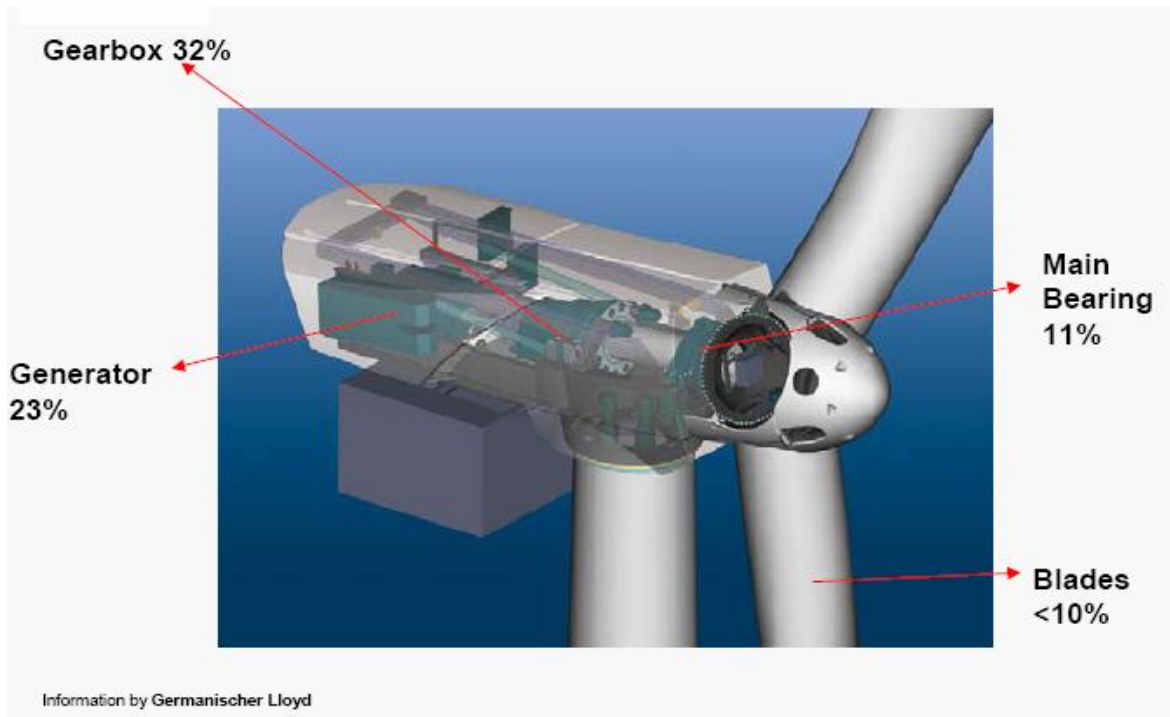
- Strömningsinducerat buller
- Vindlaster och deras påverkan på lager och växellåda
- Inverkan av materialval på strömning och utvunnen effekt

12 Temagrupp 3: Mekanisk kraftöverföring och systemoptimering

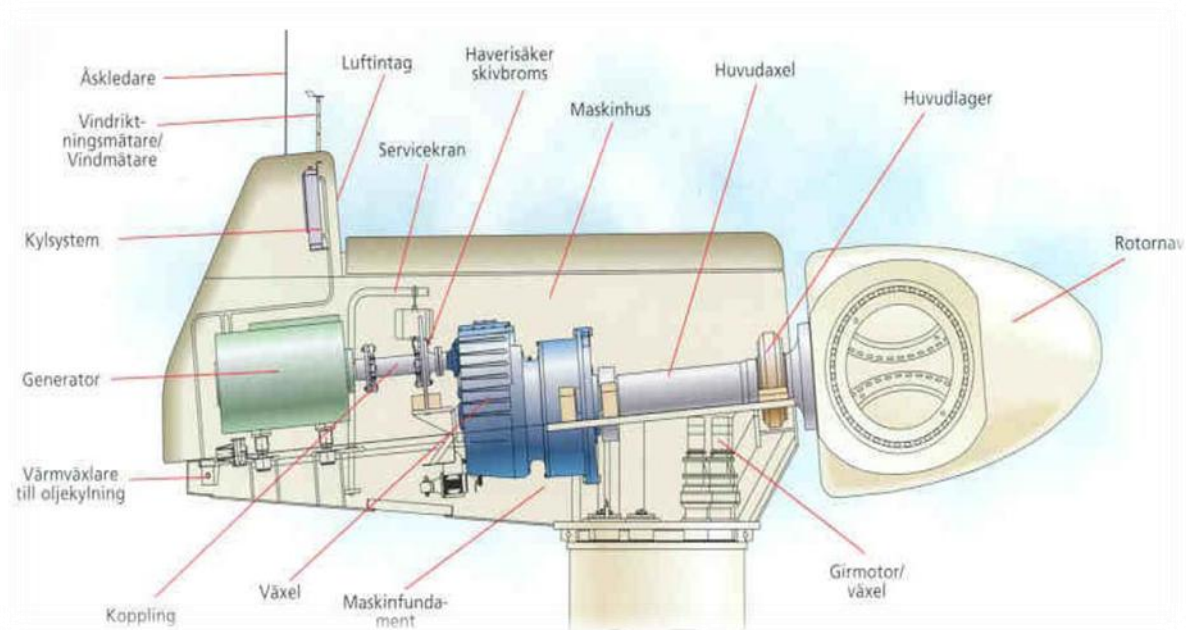
12.1 Teknikbakgrund

Förståelse av driftsbetingelser och förutsättningar för systemunderhåll är viktiga för utveckling av kostnadseffektiva vindkraftverk. Speciellt viktigt är att hänsyn tas till underhållsbehovet när verken är svåra att nå, till exempel i havsbaserad vindkraft och i fjällmiljö. Orsaker till brister i danska och tyska vindkraftverk (2008), och stilleståndstid i svenska vindkraftverk (2007) har i många fall visats bero på

problem i växellådan. Detta bidrar till minst 20% av stilleståndstiden för moderna vindkraftverk. Det skotska företaget MACOM Technologies har analyserat fördelningen av vindkraftsverk fel, se Figur 5. Problem i växellådan har i deras analys visats bidra med 32% av stilleståndstiden i moderna vindkraftverk. Detta är en av anledningarna till att forskningen om växellådans prestanda och drivlinas dynamik måste prioriteras.



Figur 5: Fördelning av typiska felutfall i vindkraftverk.



Figur 6: Delsystem av vindkraftverk.

Området vindturbindesign, analys och optimering är ett multidisciplinärt område vilket inbegriper utnyttjandet av resultat från ett antal discipliner. Turbomaskinteori och aerodynamik etablerar de grundläggande relationerna mellan energin i vinden och den utformning av vindturbinen som är nödvändig för att generera den eftersökta eleffekten. Strukturdynamiska och mekaniska modeller kan därefter användas för att etablera resulterande mekaniska laster i torn, växellåda och lager. En relativt komplex materialmodellering är också nödvändig för att etablera rotns mekaniska egenskaper, vilken normalt är konstruerad av kolfiberkomposit. Ett exempel på vanliga delsystem i ett vindkraftverk visas i Figur 6.

12.2 Frågeställningar

Följande områden skall forskningen behandla:

- Avancerad ingenjörsanalys och optimering av kraftöverföringssystem i vindkraftverk
- Aktiv vibrationsdämpning för vindkraftverk
- Systemanalys och multikriterieoptimering av vindkraftverk

12.3 Mål

Övergripande mål är att bygga upp systemkunskap kring hela vindkraftverket för att möjliggöra världsledande svensk utveckling och produktion av delsystem som mekaniska drivlinan växellåda, ingående axel, utgående axel, gir- och pitchmekanism.

- Inom kraftöverföringssystem i vindkraftverk är det första målet att utveckla datorbaserade metoder för analys av den integrerade drivlinas dynamik i vindkraftverk. Detta mål omfattar skapande av nya matematiska och numeriska modeller för modellering av prestanda av komponenter samt den integrerade drivlinas dynamik. Verifiering och validering av utvecklade modeller sker med hjälp av experimentella data. Det andra syftet är att genomföra sådan analys av dynamiken i drivlinan med hjälp av utvecklade modeller, algoritmer och metoder. Detta mål omfattar avancerad analys av vibrationsdynamik i drivlina, känslighet för olika kvalitetsfunktioner (livslängd, kostnader, sannolikheten för misslyckanden, etc.) med avseende på drivlinas designkoncept, konstruktionsparametrar, osäkerhet i indata för kraft/vridmoment och andra egenskaper. Det tredje målet är att få kunskap om orsakerna till bristerna i vindkraftverk baserat på erhållna resultat. Detta mål omfattar också framtagning av rekommendationer till förbättringar av befintliga drivlinor och komponenter. Ett mål är också att ge en tydlig förståelse för optimeringsförslag framtagna genom multikriterieoptimering och förståelse av optimalitet hos drivlinor i vindkraftverk. I det slutliga målet är att utveckla algoritmer och lösa problem genom multikriterieoptimering av drivlinor för vindkraftverk. I det slutliga målet ingår även validering av erhållna resultat med hjälp av fysiska prototyper och verkligt experimentella data.
- I aktiv vibrationsdämpning ingår först och främst studier av vibrationsdynamik i vindkraftverk och dess delsystem (drivlina med fokus på systemdynamik, rotorblad och andra delar) genom att använda både avancerade matematiska modeller med datorsimuleringar och experimentella data från befintliga vindkraftverk. Här genomförs också en utveckling av algoritmer och simuleringsverktyg för aktiv dämpning av vibrationer i hela vindkraftverk i avsikt att minska maskinens komponentvibrationer, tornsvängningar och maximalt vridmoment i axlar. Detta har potential att ge större drivlinetillförlitlighet, minskade underhållskostnader och längre livslängd för turbinen.
- Inom systemanalys och multikriterieoptimering av vindkraftverk föreslås det att genomföras ett antal studier. Känslighetsuppskattningar kan etableras, t.ex. hur kommer en reduktion av

rotorbladets korda i toppregionen att påverka extremlaster i torn och dynamiska vindlaster? Hur stor är kapitalkostnaden i relation till livscykelkostnaden? Hur stor är påverkan av dragstyrka i fiberkompositen på den ackumulerade vikten hos ett komplett vindkraftverk. Tillgången på en systemmodell tillåter att verktyg för optimering utvecklas. Olika optimala lösningar kan beräknas som en funktion av hur optimalitet definierats. T.ex. kan konstruktioner vilka maximerar vinsten hos operatören bestämmas för olika antaganden om elpris, vindtillgång, underhållskostnader etc

13 Temagrupp 4: Bärande struktur och fundament

13.1 Teknikbakgrund

För den bärande strukturen finns flera generella tekniska frågeställningar. En högst relevant fråga är val av teknisk lösning, en annan rör materialval, en tredje rör dimensionering och en fjärde rör prestanda. Val av teknisk lösning och materialval styrs mycket av ekonomi, estetik och tillverkarens preferenser. Dessa två val behandlas med fördel i den kreativa utvecklingsprocessen av det utvecklande företaget och kräver ringa forskningsbehov. Vad gäller dimensionering och evaluering av prestanda finns idag välutvecklade simuleringsverktyg som hjälp. Med hjälp av finita elementmetoden kan materialpåkänningar beräknas, även för såpass geometriskt komplexa strukturer som vindkraftverket representerar. Välrenommerade kommersiella program såsom NASTRAN, ABAQUS eller ANSYS har den funktionalitet som krävs. Modelleringen underlättas av att vindkraftverk inte utsätts för extrem temperaturpåverkan eller extrema belastningsnivåer. En komplikation i sammanhanget är vindkraftverkets rotordynamik. Dock finns även här välutvecklade kommersiella simuleringsprogram till stöd för dimensionering, såsom ADAMS, VIRTUAL.LAB eller SIMPACK.

I anslutning till dimensionering och prestanda finns dock öppna frågeställningar för vilka en samverkan mellan forskningsutförare, utvecklare och operatörer skulle vara till stor hjälp.

13.2 Frågeställningar och mål

För en ekonomioptimal dimensionering av vindkraftverket är det av största vikt att lastunderlaget är av god kvalitet. Vindkraftverkets laster utgörs i huvudsak av egentyngd, luftlaster, obalanslaster, oregelbundna laster från kraftöverföring och elaggregat, tryckstötter vid bladpassager samt eventuella våglaster och jordbävningslaster. Flera av dessa måste anses väl kända, men de dynamiska luftlasterna anses vara behäftade med störst osäkerhet. Ett alternativ till turbulensmodellering av vind samt analys av struktur-fluidinteraktion för att bestämma dessa luftlaster kan vara identifiering av luftlasterna med inversa metoder. Med hjälp av en god strukturmodell och data från vibrationsmätning skulle de luftlaster som orsakar sådan vibration kunna bestämmas. Med monitorering av dessa laster kan ett förbättrat lastunderlag tas fram för dimensionering av framtida vindkraftverk. En frågeställning är härvid ifall metoder för lastidentifiering är tillräckligt robusta för att generera ett högkvalitativt luftlastunderlag med målsättning att kunna genomföra en optimal dimensionering.

I samband med detta bör vikten av validerade strukturmodeller påtalas. I dagens moderna program för simulering är det relativt enkelt att sätta upp analysmodeller, men det finns ingen garanti för att dessa är fysikaliskt sunda. Det är upp till användaren att kvalitetssäkra sina analysmodeller. Detta sker med fördel genom jämförelse med testresultat från system i drift eller mot prototyper. Från en

sådan jämförelse kan validering (eller falsifiering) av strukturmodellen göras. Skulle avvikelserna mellan mätresultat och analysresultat vara alltför stora krävs att modellen förbättras med det som brukar kallas modelluppdatering. I en sådan modelluppdatering görs försök att modifiera modellen med fysikaliskt välförankrade förändringar så att kriterier för validitet uppnås. Erfarenhetsmässigt brukar stora modelleringsfel förekomma vid systemets ränder och i kopplingen mellan komponenter, d.v.s. för vindkraftverk i kopplingen mellan fundament och torn samt i strukturella kopplingar och plötsliga geometriövergångar. En frågeställning i samband med detta är ifall moderna metoder för modelluppdatering kan tillämpas på vindkraftverk med målsättning att bygga upp modelleringsanvisningar baserade på sunda fysikaliska principer.

En viktig aspekt i driften av vindkraftverk är åtgärder vid extrema situationer. Detta kan vara extrem blåst, ispåväxt, stark förslitning eller partiella haverier. För att monitorera sådana extremtillstånd kan metoder för såkallad Health Monitoring komma ifråga. Moderna metoder för monitorering av variationer i vibrationsegenskaper kan ske med såkallad Operational Modal Analysis (OMA). Fördelen med dessa metoder för övervakning av systemets hälsotillstånd är att de använder endast naturliga exciteringsmekanismer för att detektera förändrade systemegenskaper. Eftersom vindkraftverk i bruk kontinuerligt exciteras av dynamiska laster torde dessa vara goda kandidater för övervakning med OMA. En frågeställning är då tillämpbarheten av OMA på vindkraftverk med målsättning att använda sådana metoder för systemövervakning. Potentiellt kan då observerade förändringsutfall behandlas med driftstopp, bladflöjning, larmgivning, etc.

Moderna beräkningsresurser möjliggör analys med tekniker för robust probabilistisk dimensionering. Dessa baseras på statistiskt underlag för fysikaliska fenomen som kan anses behäftade med osäkerheter. Detta kan röra sig om osäkerheter i materialegenskaper, i tillverkningsnoggrannheter, i markförhållanden, etc. Stora osäkerheter är ofta förbundna med de laster som verkar på systemet. I kombination med ovanstående lastidentifiering borde ett statistikunderlag kunna genereras för att på sikt kunna medge en probabilistisk dimensionering. En frågeställning är då ifall ett skifte till probabilistisk dimensionering kan ge ett mer ekonomioptimalt kraftverk.

I sammanfattning är målen för temagrupp 4:

- Att verifiera att metoder för lastidentifiering kan användas för laster på vindkraftverk och att vidareutveckla dessa
- Att pröva metoder för kalibrering och uppdatering av simuleringsmodeller på vindkraftverk samt att dra slutsatser för framtida modelleringsarbete
- Att pröva alternativa monitoreringsmetoder för övervakning av vindkraftverkets hälsostatus
- Att pröva undersöka besparingspotentialen genom användning av probabilistiska dimensioneringsmetoder.