

PILOTPROJEKT VINDKRAFT OXHULT - LAHOLM KOMMUN



Foto: Håkan Nilsson

2009-12-10

SLUTRAPPORT — Arise 2009-1201-SR



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

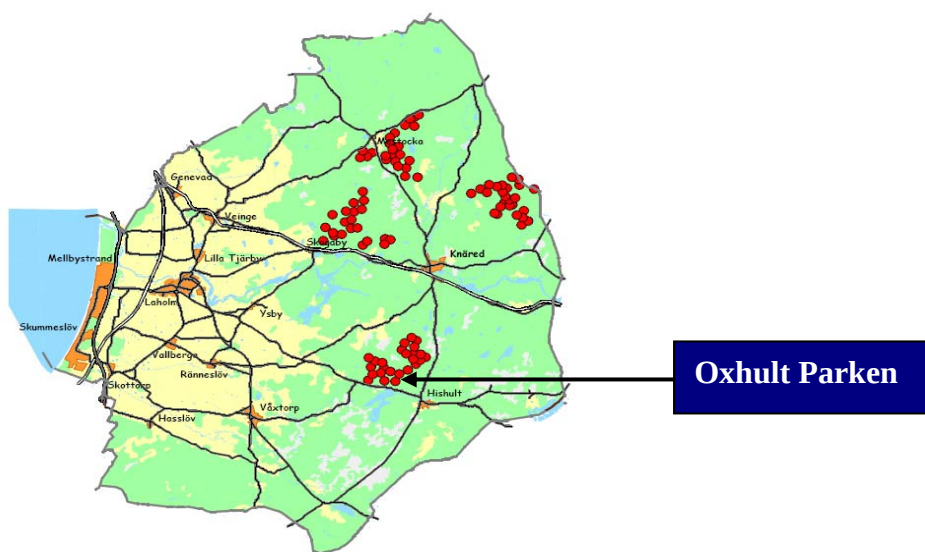
1. Bakgrund
2. Investeringskalkyl
3. Vindpotential
4. Park design
5. Elproduktion
6. Upphandling
7. Genomförande
8. Tekniska problem
9. Tekniska lösningar
10. Efterkalkyl
11. Drifterfarenheter
12. Erfarenhet, slutsatser och förbättringspotential

1. Bakgrund

För att främja utvecklingen av nya vindkraftsetableringar beslutade Riksdagen 2006 att utöka och förlänga det tidigare stödet. Syftet är att genom samverkan med näringslivet underlätta för olika vindkraftsetableringar och vinna kunskap för kommande projekt. Stöd utgår till storskaliga vindkraftsetableringar med goda vindförhållanden till havs och land. För sådana projekt har 350 Mkr avsatts under en 5-års period med start 2008. Arise Windpower AB (Arise) har sökt och beviljats bidrag för tre investeringsprojekt samt ett antal utvecklingsprojekt. Investeringsprojekten omfattade uppförande av totalt 3 st vindkraftparker, belägna på väst, ost och sydkusten i södra Sverige. Projekten är intressanta då värdefulla erfarenheter kan dras från etableringar i skogsmiljö och komplex terräng samt vindkraftpotential i geografiskt åtskilda områden.

En samtidig jämförelse av produktionen på de tre platserna är av intresse dels för att utröna skillnader i energiproduktion över dygnet och dels för att kartera hur skogen påverkar vindpotentialen i de tre områdena. Skillnader i energiproduktion över dygnet områden emellan kan innebära en totalt sett jämnare elproduktion över dygnet jämfört med att installera samma effekt i ett och samma område. Skogen har dessutom olika karaktär i områdena med hög bonnitet och höga träd på västkusten samt lägre dito på näringsfattiga marker vid ostkusten. Karaktäristiken i Karlskrona området får anses vara ett mellanting mellan dessa båda. Skillnader i elproduktion över dygnets timmar, månader och år är av särskilt intresse för att bedöma respektive områdes total potential för större vindkraftsetableringar liksom bedömning om kostnadseffektivitet räknat som elproduktion per investerad krona.

Denna rapport avser det första investeringsprojektet, en vindkraftpark i Laholms kommun där Arise installerat och driftsatt 12 st vindkraftverk med en sammanlagd effekt om 24 MW (Oxhult Parken). Samtliga placerade i skogsmiljö. Se vidare kartbild nedan.





2. Investeringskalkyl

Investeringskalkylen baserades på bindande offerter från Vestas A/S (vindkraftverk), PEAB AB (mark & anläggningsarbeten) samt en budgetoffert avseende elanslutnings kostnaden från Arise Elnät AB. Övriga kostnader såsom byggränta, projektledning samt en post för oförutsedda kostnader beräknades av Arise.

Initiala kalkyler baserades på en SEK/€ kurs om 9,3 som korrigerades till 10,2 vid tidpunkten för investeringsbeslutet (april 2008).

Efter viss omdesign av PEAB föreslagen fundamentals lösning fastställdes investeringskalkylen, före bidrag, till 417,5 MSEK exklusive mervärdesskatt motsvarande ca 17,4 MSEK per installerad MW.

3. Vindpotential

Bedömning av vindpotentialen baserades på Uppsala Universitet's rapport över vindpotentialen i Sverige (Hans Bergström) kompletterat med mätningar på plats medels en vindmätningmast samt s.k. sodar mätningar under perioden juli 2007 till mars 2008. Enligt Bergström rapport var vindpotentialen i området betydande (7,4 till 7,8 m/sekund) något som senare korrigerades ned med hänvisning till metodfel vid bedömning av vindpotentialen.

Mätresultaten utvärderades av Hans Bergström (Uppsala Universitet) samt Lars Bååth, professor Halmstad Högskola, oberoende av varandra. Gemensamt för dessa två utvärderingar var att vindpotentialen, ett normalår, var väl över 7,0 m/sekund på navhöjd (100 meter, P50).

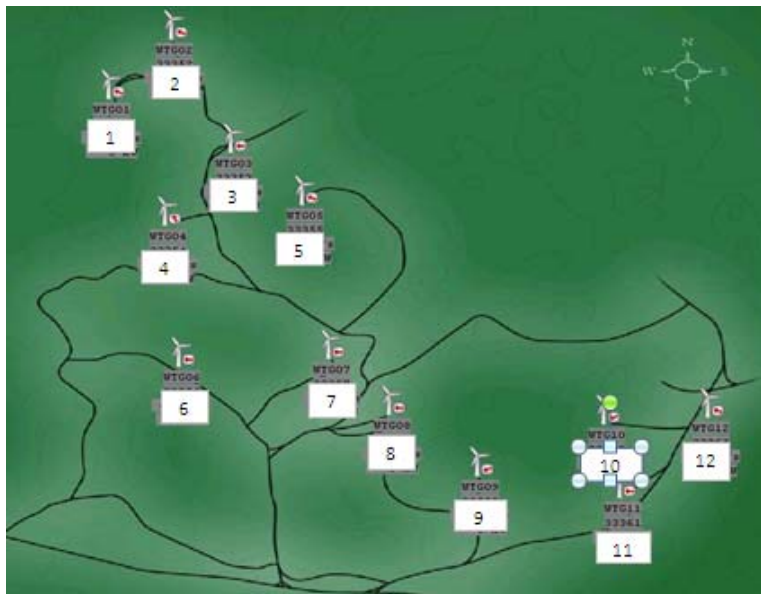
4. Parkdesign

Vattenfall Power Consult anlätades för konfigurering av vindkraftparken och turbinernas inbördes placering. Ljud, skuggor och elproduktion beräknades och vindkraftparkens "ställdes" upp mot förhärskande vindriktning vilket är väst/syd väst, se vidare schematisk bild nedan. Lay- ouden godkändes slutligen av vindkraftleverantören Vestas A/S våren 2008.

Avståndet mellan de enskilda vindkraftverken var mellan 425 till 550 meter och parken ställdes upp mot förhärskande vindriktning som är väst, syd- väst. Se vidare efterföljande park layout.

Notera särskilt verk nr 12 som kommer i tredje position i förhärskande vindriktning och dessutom är något lägre än framförvarande. Avståndet till verk 10 är ca 425 meter.

I senare utvärdering visade det sig att vakförlusterna för verk 12 är betydande (över 15%) i förhärskande vindriktning. Något som inte kunde utläsas i de beräkningar som konsulten gjorde i beräkningsprogrammet WinPro.



Lay out oxhultparken :

Terrängen i området är relativt jämn med höjdvariation mellan 85 till 105 meter över havsnivå. I samband med byggnation av vindkraftverken jämnades marken ut varför markhöjden för de flesta verken reducerades med 1 till 5 meter mot ursprunglig markhöjd.

Navhöjd över hav (m) för de olika vindkraftverken framgår av tabell nedan.

Verk:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Navhöjd:	190	190	195	200	195	190	205	210	205	205	205	195

Tabell 1: Höjd nacell över hav för de 12 verken i Oxhultparken

5. Elproduktion

Med hjälp av (i) beräknad medelvind, (ii) beräknade parkförluster samt (iii) en antagen tillgänglighet om 96 % bedömdes elproduktionen, ett normalår, komma att uppgå till ca 6 086 MWh per vindkraftverk eller totalt 72 `GWh per år för hela vindkraftparken.

Average wind speed at hub height, m/s	Wind distribution at hub height	Deduction for losses	Production, kW	Energy, MWh
0	0.3%	14.0%	0	0
1	1.4%	14.0%	0	0
2	3.7%	14.0%	0	0
3	6.5%	14.0%	0	0
4	8.8%	14.0%	93	62
5	10.7%	14.0%	203	164
6	12.0%	14.0%	366	329
7	12.1%	14.0%	595	542
8	11.4%	14.0%	900	773
9	9.8%	14.0%	1,271	943
10	7.9%	14.0%	1,655	982
11	5.9%	14.0%	1,914	851
12	4.0%	14.0%	1,990	594
13	2.4%	14.0%	1,999	364
14	1.4%	14.0%	2,000	215
15	0.8%	14.0%	2,000	118
16	0.4%	14.0%	2,000	60
17	0.2%	14.0%	2,000	29
18	0.1%	14.0%	2,000	12
19	0.1%	14.0%	2,000	18
20	0.2%	14.0%	2,000	23
21	0.1%	14.0%	2,000	8
22	0.0%	14.0%	2,000	0
7.25	100.0%			6,086

Tabell 2: Beräknad energiproduktion under ett normalt vindår med ett Vestas V 90- 2,0 MW vindkraftverk i Oxhult parken

6. Upphandling

Turn- key kontrakt tecknades med vindkraftleverantören Vestas A/S innebärande att de, mot fast pris i €, levererar, monterar och driftsätter de 12 vindkraftverken. Upphandlingen föregicks av en omfattande förhandling och utvärdering av ett 10 tal alternativa leverantörer.

Mark & anläggningsarbeten upphandlades enligt ABT 04 innebärande att entreprenören (PEAB) svarade för såväl design, projektering som genomförande av de mark & anläggningsarbeten som erfordrades för tänkt ny vindkraftpark.

Inkoppling till elnätet upphandlades av dotterbolaget Arise Elnät AB.

7. Genomförande

Efter nödvändiga geoteknisk undersökning samt projektering av vägar, kranplatser samt eldragning startades byggnation av desamma i augusti 2008. Målet var att den första vindkraftverket skulle monteras den 28:e november 2008 och att hela parken skulle driftsättas och övertas i februari efterföljande år.

Byggnation av nya vägar samt breddning av befintliga dito utfördes enligt Vestas anvisningar och kranplatser förbereddes. Samtliga kör- ytor dimensionerades för ett axeltryck av 15 ton med en vägbredd av ca 5 meter. Se vidare bilder nedan.



Bild 1: Breddning & förstärkning befintlig väg.



Bild 2: Ny väg & kranplats.



Bild 3: Ny väg & kranplats från ovan.



Bild 4: Fundament & kranplats från ovan.



Bild 5: Fundament & kranplats från ovan. Notera vägens sträckning vilken används för montering av kranarmen (120 meter ca).



Bild 6: Kabelförläggning 36 kV * 4 kablar



Bild 7: Undergjutning fundament



Bild 8: Formning & armering för fundament



Bild 9: Kantarmering



Bild 10: Gjutning fundament av ursprungsdesign. Notera insert ringen i mitten av fundamentet på vilket vindkraftverket skall monteras.



Bild 11: Gjutning fundament av ursprungsdesign.



Bild 12: Fundamentet klart för montering



Bild 13: Kranarmen monteras



Bild 14: Lyftkroken förbereds



Bild 15: Transport av torndel. Trailers styrs av den gående med joy stick.



Bild 16: Lyft bottendel påbörjas



Bild 17: Fortsatt lyft bottendel



Bild 18: Montage bottendel



Bild 19: Torndel 2 lyfts på plats



Bild 20: Inpassning torndel



Bild 21: Stort lokalt intresse



Bild 22: Nacellen lyfts på plats



Bild 23: Och monteras



Bild 24: Vingarna förbereds



Bild 25: Vingarna fästs i navet



Bild 26: Anslutning av 36 kV kabel



Bild 27: Oxhults parken sedd från Oxhultasjön



Bild 28: Oxhults parken i drift



Bild 29: Oxhults parken i morgondimma



Bild 30: Driftövervakning

8. Tekniska problem

Arise strategi är att äga och driva verken under dess teknisk/ekonomiska livslängd och om möjligt byta ut detsamma efter det att det tjänat ut. De arrendeavtal som tecknats med markägaren är långa, i vissa fall 49 år, och möjliggör ett dylikt utbyte. Infrastruktur i form av vägar och elnät, fundament och torn kan med fördel återanvändas medan rörliga delar såsom maskinhus och rotorerna byts ut. Att öka livslängden på ett fundament från 20 års livslängd till 50 år kan dessutom göras till en marginell merkostnad.

Efter gjutning av det första fundamentet i Oxhult parken uppstod tvivel huruvida fundamenten skulle klara extrem och utmattningslasterna. Som framgår av bild 10 och 11 tas lasterna från vindkraftverket upp av den insertring som gjutits in i fundamentet. Lasterna förs sedan vidare till gravitationsfundamentet. De problem som identifierades med ursprunglig design var följande:

- (i) Skjuv armering saknades i fundamentet vilket minskade konstruktionens vridtålighet
- (ii) Infästningen av insert ringen bestod endast av ett antal (100 st ca) armeringsjärn instuckna i hål i ringen vilket inte var tillfredsställande.
- (iii) Vindkraftverkets tyngd vilade på en mycket smal fot fäst i insert ringens botten. Se bild 10. Lastpåkänningen på underliggande betong blir här för hög.

Dessutom uppstod det ett stort antal (100- tals) mindre sprickor i fundamentets över- yta under hårdningsförloppet. Risken är här att vatten tränger ned i fundamentet med följd att armeringen rostar och försvagas.

Arise beslutade sig här för att stoppa fortsatt byggnation samt tillsätta en grupp externa experter för att analysera bristerna i tänkt konstruktion samt förbättringar av densamma. Efter omfattande arbete och analys samt ca 7 veckor stillestånd var slutligen en teknisk lösning på plats.

9. Teknisk lösning

Teknisk lösning är enligt följande:

- (i) Fundamentet förses med skjuv armering
- (ii) Över och underarmering fördubblades
- (iii) Totalt ökades armeringsvolymen från ca 20 ton till 60 ton
- (iv) Volymen betong ökades från ursprungliga 340 m³ till ca 550 m³
- (v) Inser ringen inspändes med 120 st järnstag. Vart stag fästes i en 6 cm tjock stålplatta i botten av fundamentet samt i dess överyta. Stagen förspändes med ca 70 tons tryck.
- (vi) Insert ringens infästning i gravitationsfundamentet förbättrades avsevärt.
- (vii) Efterbearbetning av fundamentets överyta efter slutförd gjutning förbättrades

Med ovanstående lösning ökade fundamentets hållfasthet betydligt. Risken för utmattningslaster och att insert ringen skall ”stampa” i fundamentet undviks. Den nya konstruktionen är dimensionerad för 50 års livslängd vilket borgar för en säker konstruktion under vindkraftverkets tekniska livslängd samt möjliggör utbyte av detsamma efter 20 år utan att fundamentet behöver åtgärdas eller bytas.

10. Efterkalkyl

Total kostnaden för uppförande av Oxhult parken är 427,4 MSEK, en fördyring med 9,9 MSEK jämfört med investeringskalkylen. Merkostnaden är i huvudsak hänförlig till (i) forceringskostnader, (ii) merkostnader p.g.a. kall väderlek samt (iii) en svagare SEK/€ kurs.

Post	MSEK
Vindkraftverk	317,7
Markarbete, fundament, tillstrånd, projektering	58,7
Anslutningskostnad el	31,8
Ränta under byggtiden	10,2
Övrigt	9,1
Summa	427,5

Tabell 3: Investeringskostnader

11. Drifterfarenheter

Det är svårt att dra några långtgående slutsatser från den korta tid vindkraftparken varit i drift (ca 5 månader). Tendensen är dock att parken producerar något mindre än beräknat. Huvudskälet till detta är sannolikt vindkraftverkens inbördes placering samt det faktum att marken schaktats ned 1 till 5 meter vid byggnation av vart verk. Avståndet mellan vindkraftverken i vindriktningen bör ökas något jämfört med konfigurationen i Oxhult där avståndet var mellan 425 till 550 meter. Detta gäller särskilt verk som hamnar i tredje eller fjärde position i vindriktningen. Ett avstånd på ca 600 meter eller mer i förhärskande vindriktning rekommenderas medan avståndet i övriga vindriktningar möjligen kan reduceras något. Detta gäller större och medelstora parker med mer än ca 8 vindkraftverk i en grupp. För mindre grupper kan avståndet minskas.

Noteras bör också att det är av absolut vikt att höjdpunkterna i terrängen utnyttjas. En höjdskillnad på 10 meter innebär ofta att medelvinden ändras med 0,1 meter/sekund. Det innebär samtidigt att särskild vikt bör läggas på valet av lyftkran. I fallet Oxhult valdes en kran med lyftkapacitet 125 meter ca. För att klara torhöjen (105 m), nacellens höjd inklusive lyftok och krok var kranen tvungen att placeras inom ett avstånd av 28 meter (centrum/centrum) vindkraftverket. Höjdskillnaden mellan kran och tornets fot var också bestämt till några få meter. Följaktligen var ytan där vindkraftverket och kranen monterades tvungen att vara relativt plan varför kullar jämnades till. En kran med längre lyftarm kan istället placeras en bit från vindkraftverket samt en större nivåskillnad jämfört med vindkraftverkets fot. Terrängen kan

utnyttjas bättre med högre medelvind och elproduktion som följd. En enkel tumregel är att en höjning av vindkraftverket med 5 meter innebär ett ökat diskonterat nuvärde om ca 0,5 MSEK per installerad MW under verkets livslängd, 20 år.

Under uppstart av parken upptäcktes övertoner genererade av vindkraftverkens frekvensomvandlare. Övertonerna skapade plötsliga strömpikar med följd att lågspänningsutrustning (400 V) till det slogs ut. Problemet löstes genom att elfilter installerades vilka filtrerade bort skadliga övertoner.

Under höststormarna (2 st) har vissa av vindkraftverken stoppats p.g.a. höga vindhastigheter vilket är fullt normalt och sker vid vindhastigheter över 24 m/sekund. Återstart sker automatiskt då vindhastigheten sjunkit ned till ca 20 m/sekund. I vindkraftverken finns också rörelsesensorer som övervakar tornets svängningar. I det fall svängningarna överskrider maximalt tillåtet värde stoppas verket och måste därefter återstartas manuellt. Detta har skett i några fall vilket lett till onödigt driftavbrott och utebliven elproduktion. Detta gäller särskilt i det fall stopp skett under eller strax före helg. Som framgår av tabell 2 på sid 5 är elproduktionen i intervallet 20 till 21 m/sekund försumbar (ca 8 MWh). Det kan därför vara bättre att stänga av vindkraftverken automatiskt redan vid 20 m/sekund för att på så sätt undvika tvingande avstängning av verken p.g.a. svängningar samt manuell återstart. Förlorad produktion motsvarar 4 timmars extra stilleståndstid för en 2 MW maskin av nu aktuell typ att jämföras med faktisk stilleståndstid vid de två höststormar som varit betydligt längre. Alternativet är att ha jourpersonal i beredskap för snabb utryckning och återställning av verken vilket sannolikt är mer kostsamt.

I övrigt har vindkraftparken fungerat bra undantaget ett driftstopp på ett av verken under en höststorm med kraftiga vindbyar. Kuggkransen på verket skadades varefter verket stoppades och reparerades. Driftstoppet varade i ca 25 dagar och skadan täcktes av leverantörens tekniska garantier samt försäkringsbolagets produktionsförsäkring.

12. Erfarenheter, slutsatser och förbättringspotential

- I. Fundamentets design bör uppmärksammas för att uppnå problemfri drift under vindkraftverkets livslängd samt möjliggöra utbyte av ett vindkraftverk efter det att det tjänat ut.
- II. Vindkraftverkens bör inte placeras närmare än 500 meter i sidled från varandra och med ett inbördes avstånd i vindriktningen på ca 700 meter. Detta gäller större grupper (> 10 verk). I mindre parker (5 – 6 verk) kan verken placeras tätare.
- III. Det är av absolut vikt att verken placeras på högpunkter. En nivåskillnad om endast 5 meter kan innebära 1 MSEK i förlorade intäkter (diskonterat) under verkets livslängd.

- IV. Vägar & kranplatser kan göras betydligt enklare än i Oxhult där dessa anläggningsarbeten var överdimensionerade. Dessutom schaktades kullar bort för att kran och vindkraftverket skulle hamna på samma nivå. Skälet till detta var för att kranen skulle kunna lyfta nacellen på plats. Anläggningskostnaden fördröjades i och med detta samtidigt som 2 till 5 meter tappades i höjdled per vindkraftverk.

Medelvinden minskade med detta med ca 0,1 meter (per 5 meters höjdskillnad) vilket fick till följd att parkens totala produktion reducerades med ca 1,5 till 2 GWh per år.

Kostnaden för bergskross kan halveras genom att hyra in en transportabel kross för tillverkning av krossat material på plats. Detta är lönsamt givet ett behov av ca 10 000 ton per projekt samt givet att berg och/eller sten finns tillgängligt. Besparingen är ca 100 till 200 kkr/verk.

- V. Ett av verken (verk 12) har hamnat lägre än framförvarande (ca 10 meter) och ligger som tredje verket i förhärskande vindriktning med höga förluster som följd.
- VI. Vindkraftparken kan intrimmas i efterhand vilket ger stora effektivitetsökningar (1 till 3 %).