

Etablering av Vindkraftverk

Anders Abrahamsson

Examensarbete för Agrologexamen
Utbildningsprogrammet för lantbruksnäringarna
Raseborg 2011



EXAMENSARBETE

Författare: Anders Abrahamsson

Utbildningsprogram och ort: Lantbruksnäringarna, Raseborg

Inriktning/alternativ/Fördjupning: Ekonomi och teknik

Handledare: Engelbert Engblom

Titel: Etablering av Vindkraftverk

Datum: 31.3.2011

Sidantal: 29

Bilagor: 4

Sammanfattning

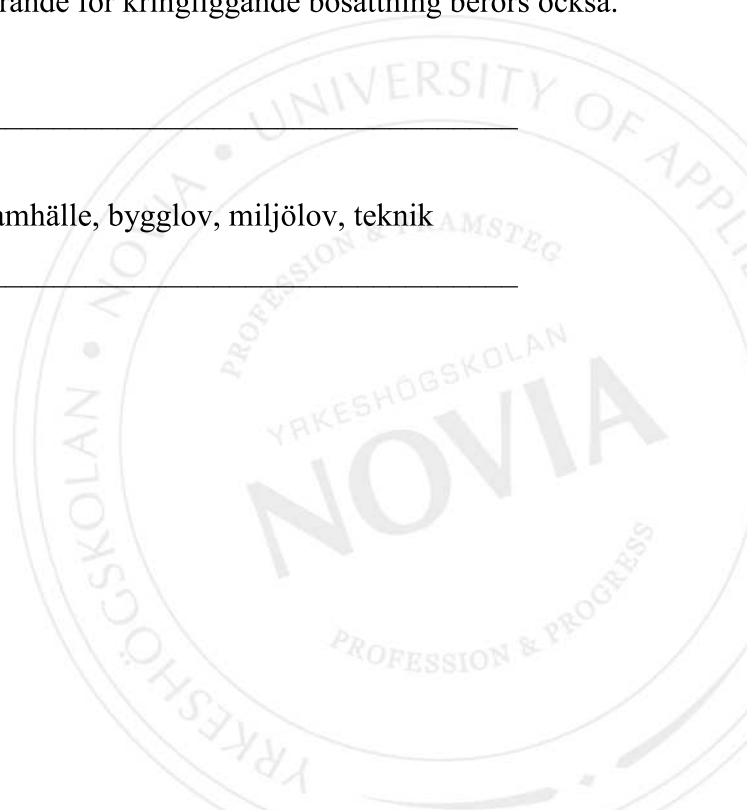
Detta examensarbete fördjupar sig i frågan hur lantbrukare och markägare själva skulle kunna investera i vindkraft. Arbetet är i huvudsak en litteraturstudie, där tekniska, ekonomiska samt samhällsliga aspekter som berör vinkraften behandlas

Examensarbetet är uppbyggt för att läsaren till en del skall kunna använda sig av den som en kontrollista över saker man måste tänka över då man planerar att bygga ett vindkraftverk. Den ekonomiska delen är en genomgång av vilka kalkyler man bör göra före investeringen samt ger också en riktgivande kostnads-beräkning samt återbetalningstid för hela investeringen.

Examensarbetets tyngdpunkt ligger på samhällsliga och ekonomiska frågor kring vindkraft. I detta arbete nämns också diverse organ och instanser som kan ha ett intresse i beviljandet av lov för byggnation. Frågan hur man skall placera ut ett vindkraftverk så att de inte blir störande för kringliggande bosättning berörs också.

Språk: Svenska

Nyckelord: Vindkraft, ekonomi, samhälle, bygglov, miljölov, teknik





OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Anders Abrahamsson

Koulutusohjelma Maataloustiede

Ohjaaja: Engelbert Engblom

Nimike: Tuulivoiman rakennuttaminen/ Etablering av vindkraft

Päivämäärä 31.3.2010

Sivumäärä 29

Liitteet 4

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö syventyy tuulivoimaan maanviljelijöiden ja maanomistajien näkökulmasta ja tarkastelee heidän kiinnostustaan itse rakentaa tuulivoimaa ja investoida siihen. Työ perustuu pääosin kirjallisuuteen ja keskittyy tuulivoiman teknisiin, taloudellisiin ja yhteiskunnallisiin tekijöihin.

Opinnäytetyö on rakenteellisesti laadittu siten, että sitä pystyy käyttämään muistiona tuulivoiman rakentamista suunniteltaessa.

Talouteen liittyvässä osassa käydään läpi erilaisia kustannuksia, joita pitää ajatella suunnittelun yhteydessä. Kustannukset ovat suuntaa antavia, samoin tuotantotulot.

Opinnäytetyön painopiste on yhteiskunnallisissa ja taloudellisissa tekijöissä. Työssä on myös mainittu eri tahoja, joiden kanssa joutuu tekemisiin rakennuslupaa haettaessa, samoin kuin se, mitä pitää ottaa huomioon, kun suunnittelee tuulivoiman sijoittamista.

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: Tuulivoima, talous, yhteiskunta, rakennuslupa, ympäristölupa, tekniikka.



BACHELOR'S THESIS

Author: Anders Abrahamsson

Degree Programme: Agricultural and Rural Industries

Supervisor: Engelbert Engblom

Title: Constructing wind power / Etablering av vindkraftverk

Date: 31 March 2011

Number of pages: 29

Appendices: 4

Summary

This thesis examines how interesting it would be for farmers and landowners to invest in wind power. The

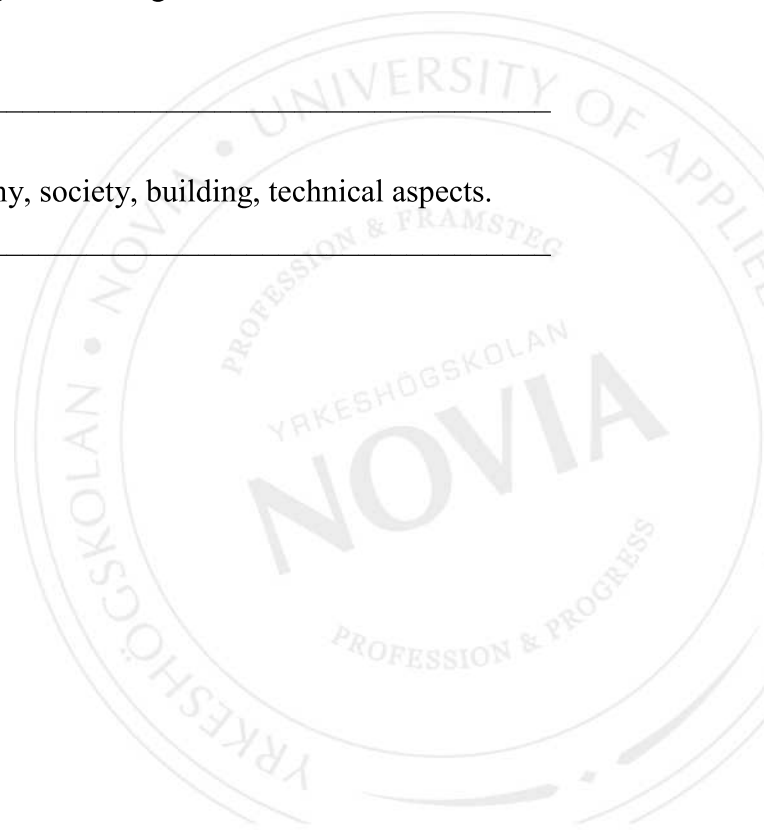
thesis is primarily a literary study based on the technical, economic and social aspects of wind power

This thesis offers a check-list on what to take into account when planning to invest in windpower. An economic estimate of the size and the breakeven point of the whole investment is included.

The emphasis of the thesis is on the economic and social aspects. Apart from these the study presents organisations that are involved in granting building permits. Points to consider when choosing the building sites for windmills are also presented.

Language: Swedish

Key words: Wind power, economy, society, building, technical aspects.



Innehållsförteckning

1. Inledning	1
2. Historia	2
3 Planering av vindkraft	4
3.1 UNDERSÖKNING AV VINDLÄGET	4
3.2 Förstudier	6
3.2.1 NÄRBOENDE	6
3.2.2. LJUDSTÖRNING	7
3.2.3 ELNÄTET	9
3.2.4 MARKÄGANDET	10
3.2.5 Tillstånd	11
3.2.6 Skyddsområden	11
3.2.7 Motstående intressen	12
4. Olika typer av vindkraftverk	13
4.1 Funktionsprinciper	13
4.2 Vindkraftverk med och utan växellåda	14
4.2.1 Vindkraftverk med växellåda	14
4.2.2 Vindkraftverk utan växellåda	15
5 Aerodynamik	17
5.1 Aerodynamiska krafter	18
5.2 Vindförhållanden i Finland	18
6 Ekonomi	20
6.1 Kalkyler	20
6.1.1 Produktionskalkyl	20
6.1.2 Investeringskalkyl	20
6.1.3 Beräkning av avkastning	21
6.1.4 Känslighetsanalys	21
6.1.5 Finansieringsplan	22
6.2 Inmatningstariff	22
6.3 Försäljning av vindproducerad elektricitet	23
6.4 Vindelproduktion ur teknisk synpunkt	23
7 Avslutning	26
Källförteckning	29

Bilagor:

Investeringskalkyl	Bilaga 1
Nuvärdeskalkyl	Bilaga 2
Payoffkalkyl	Bilaga 3
Arrendekalkyl	Bilaga 4

1. Inledning

Mitt slutarbete är en teoretisk studie kring etablering av vindkraft. Jag riktar mig snarast till jordbrukare och markägare, med information om hur de kunde gå till väga för att bygga egna vindkraftverk eller arrendera ut marken för ändamålet. I slutarbetet tar jag också upp saker som kan vara bra att veta om man på allvar funderar på vindkraft.

Arbetet innefattar en genomgång av olika typer av vindkraftverk både historiskt och i nutid samt hur de passar i olika vind- och terrängförhållanden och hur vinden påverkas av hinder. Jag behandlar också hur man får tillstånd för ett vindkraftverk och hur man kan komma in i tariffsystemet. I slutet görs en lönsamhetsberäkning på vindkraft och räkna ut hur lönsamt ett vindkraftverk kan vara.

Slutarbetet är tänkt att kunna användas som en guide för vad man skall fundera på då man börjar planera att bygga eller arrendera mark för vindkraft.

2.Historia

Väderkvarnar eller vindmøllor har länge funnits i en eller en annan form, hur länge är inte klarlagt. Man har dock hittat tecken på att man redan för 3000 år sedan använt sig av någon typ av vindmølla i Kina och Japan. Den första väldokumenterade vindmøllan hittades i Persien och har daterats till 947 e.kr. Den använde sig av en vertikalaxel och hade bastmattor som vingar och använde liknande princip som vattendrivna skvaltkvarnar. (Wizelius 2007:23)

Europa låg dock mycket efter i utvecklingen och det dröjde ända till 1100-talet innan de första vindmøllorna började synas till i Medelhavstrakterna och i norra Europa. Dessa var dock konstruerade med horisontal axel, vilket också innebar att de var mycket mera tekniskt utvecklade. Med de horisontalaxlade møllorna måste man nämligen överföra den horisontella kraften till vertikalkraft och då var man tvungen att använda sig av kugghjul.

På 1200-talet blev vindmøllorna mycket populära och de var en av de viktigaste energikällorna ända tills ångmaskinen gjorde sitt intåg på 1800-talet. Historiker har beräknat att det som bäst funnits upp till en halv miljon fungerande vindmøllor i Europa. En delorsak till dess stora popularitet var att klostren och godsägarna under 1300-talet hade monopol på vattendrivna kvarnar, medan vinden var gratis för alla att använda. Vindmøllorna utvecklades också mycket under århundradena och som bäst kunde de ha en höjd på 20-30 meter och en rotordiameter på 25-30 meter. Dessa møllor producerade en effekt på 25-30 kW och man har räknat ut att som bäst producerades ca. 1500 MW effekt med vindkraft i Europa, något som man inte åstadkom igen förrän 1988.(Wizelius 2007:24-26)

Vindmøllan eller vindhjulet spelade en nyckelroll då man började bruka och befolka den vida prärien i Nordamerika. Då var vindhjulets roll att pumpa vatten och förse boskapen med dricksvatten. Detta ledde till att det i slutet av 1800-talet fanns 77 företag som tillverkade och utvecklade dessa. (Wizelius 2007:28-30)

Dansken professor Poul la Cour var den första som konstruerade en vindmölla som producerade likström till ackumulatorer. Den togs i bruk år 1892. Efter detta konstruerades fram till andra världskriget 72 vindkraftverk med effekten 10-20 kW och 18 stycken med en effekt på 45 kW. 1957 byggde man i Gedser det första verket på 200 kW som producerade växelström direkt till nätet. Efter detta stod dock utvecklingen av elproducerande vindkraftverk mera eller mindre stilla ända tills slutet av 1970-talet då oljekrisen inträffade. Det fick vissa länder att börja söka nya lösningar för att bli av med beroendet av olja. 1980-talet blev det stora startskottet för utvecklandet vindkraften och en helt ny industri kring detta föddes. (Wizelius 2007:33-34)

3 Planering av vindkraft

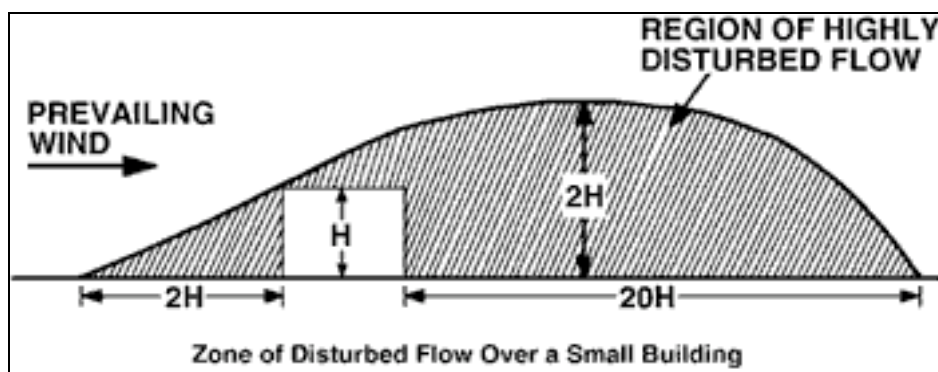
3.1 UNDERSÖKNING AV VINDLÄGET

Då man bestämt sig för att bygga ett vindkraftsverk skall man börja med att utforska vindläget och hur bra det blåser i medeltal. Då kan man först gå till kommunen eller länet och gå genom historiska vindmätningar för att sedan kunna se närmare på mindre områden som kunde vara intressanta ur vindsynpunkt. Då kan man göra en platsundersökning med hjälp av en mätmast. Vindens styrka och energi undersöks på flera olika höjder, liksom dess riktning. Sedan lagras informationen i en s.k. datalogger. Mätningarna kan man göra till exempel i ett års tid och då få exakt data för denna period. Problemet är dock att vindmängd och styrka kan variera upp till 30% på årsbasis och då måste man jämföra det mot ett normalår. Sedan måste man också hålla sig lite reserverad till hur jämförbara de olika mätningarna är. Det stora problemet är att man måste göra prognoser för 20-30 år framåt i framtiden, eftersom det är livslängden för dagens moderna vindkraftverk. (Wizelius 2007;71-76;305-306; Vindturné 2009 ;1; Enberg 2010, Peltomaa 2010)

Man kan också bestämma vindens kraft genom att studera en vindatlas, detta instrument lanserades hösten 2009. Vindatlasen är dock endast ett riktgivande medel där man kan söka upp platser och områden som kunde vara intressanta för vidare forskning. Att basera ett helt vindprojekt på enbart vindatlasens uppgifter är dock inte att rekommendera. (Wizelius 2007;71-76;305-306. Vindturné 2009 ;1. Mats Enberg, Heikki Peltomaa)

Då man väljer en plats där det planerade verket skall byggas skall man också se på topografin, med det menas markens konturer. Områdets konturer kan nämligen spela en mycket stor roll med tanke på en säkerställd vindproduktion. Till exempel om ett berg skulle resa sig mot sydväst samtidigt som den vanliga

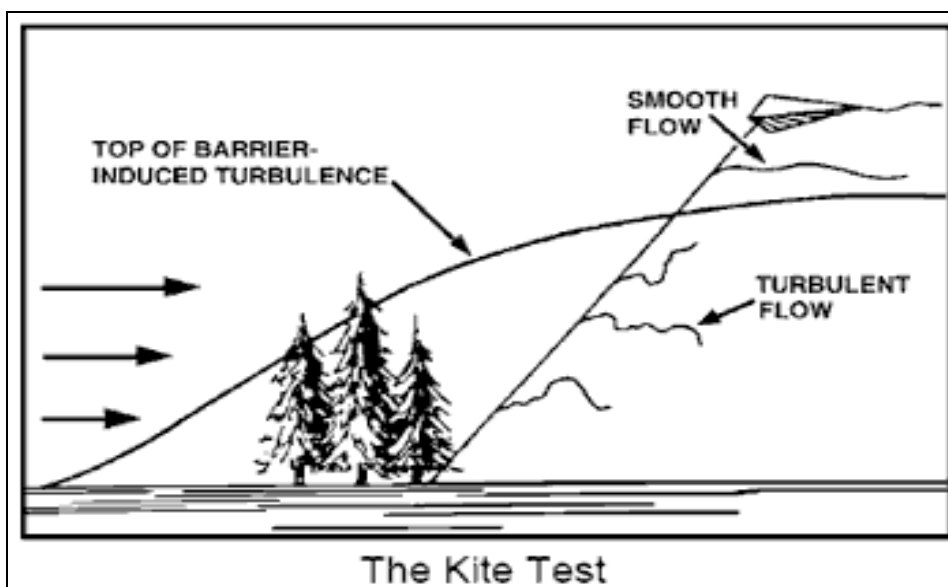
vindriktningen är därifrån, kan vindkraftverket bli i en vindskugga och inte komma åt att njuta av den fulla vindpotential som skulle vara till förfogande. Då kunde det vara klokt, om möjligt, att bygga upp på berget eller längre ifrån det. (Se figur 1). (Wizelius 2007;71-76;305-306; Vindturné 2009 ;1; Enberg 2010; Peltomaa 2010)



Figur 1. Hindrets påverkan på vinden (turbulens) . (Comsite construction inc)

Ett faktum som framkommer om och om igen är att då man bygger vindkraft så är höjden mycket avgörande och ju högre upp på land man kommer desto högre upp måste man nå. Om terrängen består av exempelvis skog måste man också ta detta i beaktande eftersom skogen på lägre höjder fungerar som ett sandpapper som bromsar upp vind och får den att bli turbulent. (Se Figur 2).

(Wizelius 2007;71-76;305-306; Vindturné 2009 ;1; Enberg; 2010; Peltomaa; 2010; Comsite construction Inc.)



Figur 2. En översikt över hur skog stör vinden. Om skogen är 15m hög inverkar den på vinden upp till ca. 30m höjd (*Comsite construction inc*)

3.2 Förstudier

Då man har hittat en eller flera platser med bra vindförhållanden skall man börja se närmare på en rad frågor som måste redas ut. Planeringen inför byggandet av ett vindkraftverk kan man räkna med att kan räcka allt från 1,5 år till flera, beroende på hur mycket motstånd och besvär från till exempel grannar som lämnas in.

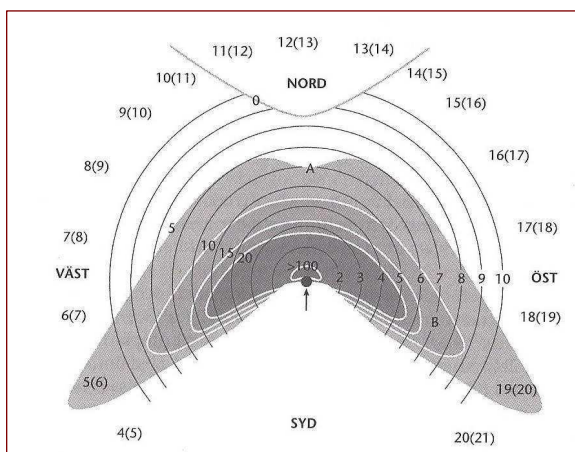
3.2.1 NÄRBOENDE

Först skall man reda ut om det finns några hus i närheten av detta område, då skall man beakta om det finns risk för skuggnings och reflexstörningar eller risk för oljud. Om ett hus skulle befinna sig på 500 meter från en vindmölla i riktningen ost – nord - väst från möllan skulle dessa hus dock maximalt få 20 minuter skuggning per dag beroende på årstiden (Se figur 4). Detta varierar dock beroende på hur stor diameter möllans rotor har och hur högt tornet är (Se Figur 3). Skuggan försvinner också efter ett visst avstånd beroende på hur klar luften är,

vilket dikteras av hur mycket fukt det finns i luften. (Werneskog 2010; Wizelius, 2007;200-214; 307)

Navhöjd	Rotor diameter	Sommar		Vinter	
		Horisontell	Vertikal	Horisontell	Vertikal
25	25	200 m	350 m	300 m	700 m
50	50	300 m	700 m	600 m	1250 m
75	75	500 m	1100 m	850 m	1800 m
100	100	600 m	1375 m	1100 m	2300 m
125	120	700 m	1650 m	1300 m	2700 m

Figur 3:Teoretiska skuggnings avstånd. (Wizelius 2007)



Figur 4. Diagrammet visar hur skuggan fördelar sig under dagens lopp, cirkelarna är rotordiametrar (T.ex. 100 m), siffrorna som går till vänster är skuggtiden per dag och A och B är bostäder. (Wizelius 2007)

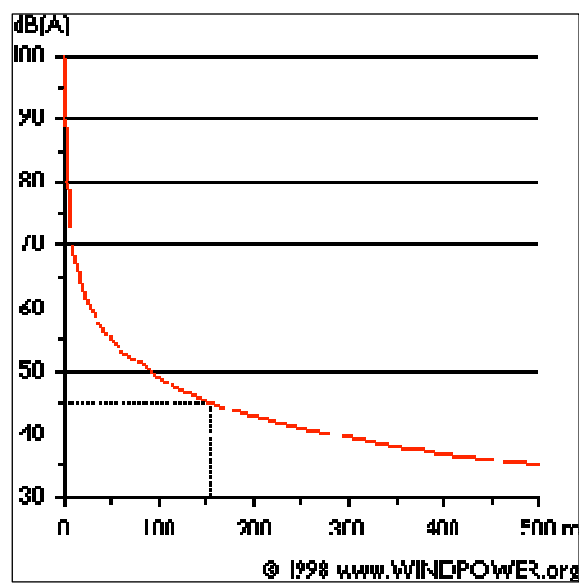
3.2.2. LJUDSTÖRNING

Vindkraftverken är i dag mycket tysta. I Danmark har man en tumregel att vindkraftverk skall vara sju rotordiametrar eller minst 300 meter från närmaste bosättning. Man har också gått in för att lägga en gräns på den högsta tillåtna ljudnivån vid 45 decibel (Se figur 5-6) . Detta i sin tur betyder att den högsta tillåtna ljudnivån ligger mellan en viskning och normalt prat. Ett vindkraftverk orsakar mest ljud då vindhastigheten ligger på 3-7 meter per sekund. Då vindhastigheter stiger ytterligare dämpas ljudet att de övriga ljud som tillkommer naturligt från naturen och omgivningen. Vid byggandet av vindkraftverk skall man dock komma ihåg ”roseffekten” vilket betyder att ljudet förs med vinden en längre sträcka än vad det gör i motvind. Detta kan vara en aspekt att beakta, vid

placering, eftersom de flesta ställen har en dominerande vindriktning. (*Danish Wind Industry Association, 2003; Wizelius, 2007;200-205; Enberg, 2010; Peltomaa, 2010*)

Sound Level dB(A)	Threshold of Hearing 0	Whisper 30	Talking 60	City Traffic 90	Rock Concert 120	Jet Engine 10 m Away 150
----------------------	------------------------------	---------------	---------------	--------------------	---------------------	--------------------------------

Figur 5: Bilden ovan visar hur mycket ljud olika aktiviteter för i medeltal. (*Danish wind industry association, 2003*)



Figur 6: Bilden till vänster visar grafiskt hur ljudstyrkan minskar med avståndet från vindmöllans hub. dB axeln visar ljudets styrka och möllans höjd. Andra axeln visar hur långt man måste gå bort från mölla för att komma under 45 dB. (*Danish wind industry association, 2003*)

3.2.2.1 Störandet av fågel och djurliv

Fåglar krockar ofta med högspänningsledningar, master, stolpar och fönster i byggnader. De dödas också av bilar i trafik. Fåglar blir dock sällan störda av vindkraftverk. Radarstudier från Tjaereborg i västra delen av Danmark, där ett 2 megawatts vindkraftverk med 60 meters rotordiameter är installerad, visar att fåglar - dag som natt - tenderar att byta flygrutten 100-200 meter före turbinen och passera över turbinen på säkert avstånd. I Danmark finns det flera exempel då fåglar (falkar) häckar i holkar som monteras på vindkraftverkens torn . Den enda kända plats med fågelkollisionsproblem ligger i Altamont Pass i Kalifornien. Inte heller där är kollisioner vanliga, men de är av extra intresse eftersom de berörda arterna är skyddade enligt lag. En studie från det danska miljöministeriet säger att

kraftledning, inklusive kraftledning som leder till vindkraftverk, är en mycket större fara för fåglarna än själva vindkraftverken. Vissa fåglar vänjer sig vid vindkraftverk mycket snabbt, för andra tar det en något längre tid. Möjligheterna att uppföra vindkraftverk intill fågelreservat är således beroende av arten i fråga. Flyttvägar för fåglar beaktas vanligen vid placering av vindkraftverk, även fågelstudier från Yukon, Kanada, visar att flyttfåglar inte kolliderar med vindkraftverk (*Danish Wind Industry Association, 2003*)

Otto Werneskog från Smålands Miljöenergi berättade också att älgar och andra däggdjur flyttade från det område där de hade byggt sina möllor för ungefär ett år. Nu då möllorna har varit i funktion ett par år har läget dock återgått till det normala och djurlivet har gått tillbaka till det normala. (Werneskog, 2010)

3.2.3 ELNÄTET

Man måste också utreda hur man kunde transportera den producerade elen till kunderna. Då skall man ta reda på var det finns elnät närmast och om det finns möjligheter att ansluta sig till det för en rimlig kostnad. Man måste då också veta om elledningen kommer att klara av att ta emot den mängd el som produceras då möllan är vid sin max-kapacitet (se figur 7) . (Wizelius, 2007; 306-307;297)

Kortslutningseffekten i anslutningspunkten avgör hur mycket vindkraft (effekt) som kan anslutas till en elledning. Kortslutningseffekt definieras som ledningens nominella spänning multiplicerad med den maximala felström som kan gå igenom ledningen vid kortslutning av alla tre faserna. När spänningen faller bort ökar strömmen innan nätet hinner kopplas bort, och om den strömstöten är för stark kan ledningarna skadas.

Följande tumregler kan användas för att bedöma hur mycket vindkraft som kan anslutas till elledningar med olika spänningsnivåer:

Boverket

Anslutningspunkt	Maximal kapacitet MW
10 kV	3,5
20 kV	15
40 kV	60

Wind Energy Handbook

Anslutningspunkt	Maximal kapacitet MW
10 kV-ledning	1–2
10 kV-transformator	8–10
20 kV-ledning	5–8
20 kV-transformator	15–18
40 kV-ledning	13–18
40 kV-transformator	30–38
130 kV-ledning	30–60

Det går att ansluta mer effekt direkt till transformatorn i ett ställverk, än ute på en ledning.

Figur 7: Bilden ovan visar hur mycket ström man kan mata genom olika typer elnät och transformatorer. Detta gäller för Sverige men gäller också för Finland (Wizelius 2007)

3.2.4 MARKÄGANDET

Då man har rätt ut att inget av de ovanstående kriterierna är icke-uppnåbart kan man fortsätta med att utreda vem marken tillhör, förutsatt det inte är frågan om egen mark. Då skall man underhandla med markägaren och kolla om han eller hon skulle vara villig att låta uppföra ett vindkraftverk på sin mark. Om markägaren är villig kan man fortsätta med att reda ut om det finns en möjlighet att få tillstånd att bygga ett kraftverk här. (Wizelius, 2007; 306-308)

Då det gäller arrende för vindkraftverk har man till exempel i Sverige gått in för ett så kallat vindupptagningsområde där man betalar arrende för mark som faller innanför en 400-500 meters radie kring möllan (Se Bilagorna). På det viset

ersätter man den mark som blir så att säga upptagen för möllan, eftersom man måste ha ett mellanrum på 5-7 rotordiametrar mellan två vindkraftverk för att de inte märkbart skall störa varandra. (Werneskog, 2010)

3.2.5 Tillstånd

Bygg- och miljötillstånd hör till det svåraste och mest krävande delen av förstudien, men den är också den viktigaste. Att göra all övrig utredning utan att kontrollera om det finns möjligheter att få tillstånd är meningslöst. Därför måste planeraren vara mycket insatt i hur bestämmelserna för området i fråga är. Då finns det ofta översiktsplaner som man kan se på i kommunen. Och enligt Greger Lindholm, tillsynschefen för Kimitoöns kommun, skall man ha Miljöcentralens undantagstillstånd och kommunens byggnadslov då man bygger ett vindkraftverk som är högre än 36 m. Om man då skall bygga en så kalla vindkraftspark måste man också göra en detaljplan samt miljökonsekvensbedömning. (Wizelius, 2007; 308; Lindholm 2010)

3.2.6 Skyddsområden

Skyddsområden eller skyddszoner kring vindkraftverken är något som varierar betydligt beroende på vem man frågar. Största faran man kan råka ut för i vindkraftverkens direkta närhet är fallande is eller en ving. Risker är dock försumbart liten att någondera av dessa saker skulle ske. Vingarna på vindkraftverken är väl fästa och dimensionerade för att klara av orkanvindar, de fallande isbitarna har man eliminerat genom att ha vingarna utrustade med värmeslingor som hindrar is från att överhuvudtaget bildas. Och därför har man också gått in för att det minimiavstånd som man måste ha till närboende är en tillräcklig skyddszon. (Wizelius, 2007; 372; Enberg, 2010; Peltomaa, 2010)

3.2.7 Motstående intressen

Då man utreder om det är möjligt att få tillstånd skall man beakta motstående intressen. Det kan vara militära anstalter som är närbelägna. Då kan det vara fråga om radar, signalspanings- och radarlänkar som kan vara orsak nog för att det blir motstridigt. Om militären sätter sig mot ett projekt brukar det oftast vara orsak till att avsluta planeringen för detta objekt eller komma överens om en plats som skulle vara mera passande. Militären skall dock kunna bevisa att det verkligen finns en orsak till varför det är motstridigt. (Wizelius, 2007; 306-310)

En annan orsak som bör utredas är flygtrafiken. Om det finns ett flygfält i närheten av objektet skall man reda ut vilka föreskrifter om säkerhet och skydds zoner det finns för dem. För Finlands del finns bestämmelser som säger att en vindmölla som är över 30 meter hög skall ha ett rött ljus uppe på maskinrummet, om det är längre än 10 km från ett flygfält måste detta göras först vid 45 m höjd. Dessa bestämmelser blir dock strängare då man kommer upp på över 100m höjd och då görs en åtgärdsplan upp för varje område skiljt för sig. (Wizelius, 2007; 306-310; Tuulivoiman tietopaketti, 2010)

Kommunerna och staten har också vissa områden som kan vara känsliga. Till dessa räknas områden som avsatts som landskapsbild, kulturområden, fornlämningar eller också områden för friluftsliv och naturskyddsområden. I dagens läge är det i princip möjligt för vem som helst att besvara sig oavsett var man bor i förhållande till byggplatsen. (Wizelius, 2007; 306-310)

4. Olika typer av vindkraftverk

4.1 Funktionsprinciper

De allra vanligaste stora vindkraftverken är trebladiga och har rotorn placerad mot vinden i så kallad lovart. Men också en hel del tvåbladiga vindkraftverk, som använder sig av samma princip, förekommer fast dessa är numera av äldre modell. Orsaken till att man mera övergått till de trebladiga roterna är att de har ett bättre löptal. Med löptal menas hur mycket energi vindkraftverket klarar av att uppta från vinden. Detta kan enklast förklaras med att de är mera effektiva. (Wizelius, 2007; 95-102)

Det finns också helt andra typer av vindkraftverk som till exempel Giromill (se figur 9), Darrieusturbin (se figur 8) samt Savoniusrotor (se figur 10). Alla dessa tre hör till vertikalaxlad vindkraft, typerna som har sina maskinrum på marknivå. Darrieusturbin och Savoniusrotor är båda sådana typer som man tillverkat och tillverkar kommersiellt, men dessa har man inte ännu sett byggas i stor skala. Darrieusturbin används mest småskaligt för att ladda ackumulatorer på platser där man inte över huvudtaget har ström, medan Savoniusrotortypen mest kan ses snurrande uppe på ventilationskanaler på hustaken. (Wizelius, 2007; 95-102; Tuulivoima tietopaketti, 2009)



Figur 8. Darrieus rotor
(*Danish Wind Industry Association, 2003*)



Figur 9. Giromill rotor
(www.windsofchange.dk)



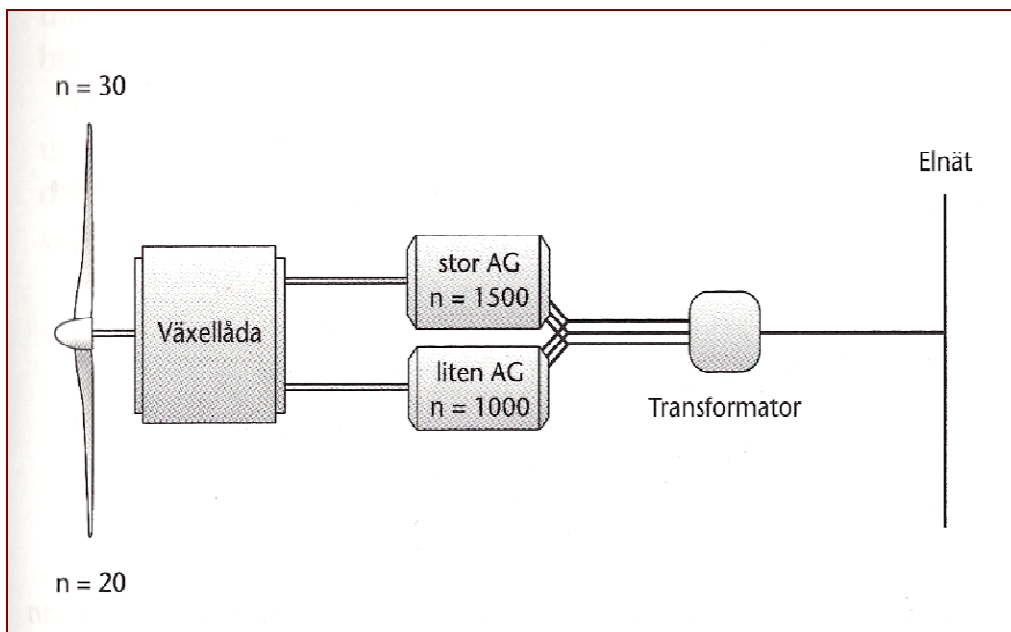
Figur 10. Savonius rotor
(www.helixwind.com)

4.2 Vindkraftverk med och utan växellåda

Dagens moderna vindkraftverk kan generellt sett delas i två huvudgrupper. Dels de som har växellåda och de som inte har växellåda. (Wizelius, 2007;119-123)

4.2.1 Vindkraftverk med växellåda

Vindkraftverk som är monterade med växellåda har sedan 1980-talet varit ett standardkoncept för danskarna (se figur 11). Då man har ett vindkraftverk med en växellåda innebär det också att man använder sig av en asynkrongenerator, vilket betyder att generatormåsten snurra med ett jämnt varvtal, dess generatorer är i regel 4- eller 6-poliga. Beroende på antalet poler i generatormåsten bestäms vilken utväxling man skall ha på växellådan. Vårt elnät använder sig idag av 50 Hz system, vilket betyder att elen gör 50 svängningar från plus till minus per sekund. Detta betyder att om man tar $50 \text{ Hz} * 60 \text{ sekunder}$ så får man



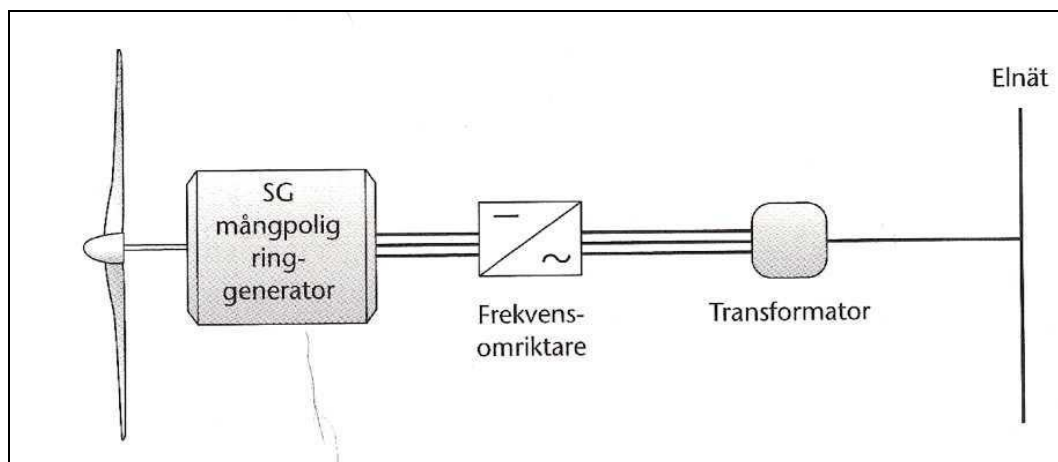
Figur 11: Förenklad version av turbin med växellåda. (Wizelius 2007)

fram hur många svängningar som blir gjorda per minut, det vill säga 3000 svängningar per minut. Om man då har en generator med 4 poler betyder det att den med ett rotationsvarv gör 2 svängningar vilket då betyder att man måste ha ett varvtal på 1500 varv per minut för att producera el med rätt frekvens. Samma gäller också med en 6-polig generator som måste ha ett varvtal på 1000 varv per minut. Om man tar i beaktande att ett stort vindkraftverk har en rotations hastighet på 20-30 varv/minut så kräver det en enorm utväxling av växellådan (från 1/50 till 1-70). (Enberg, 2010; Wizelius, 2007; 146-147; 119-123; 127-134, Vind turné 2009)

4.2.2 Vindkraftverk utan växellåda

Den andra huvudtypen för stora vindkraftverk idag är en så kallad hybrid modell som har planetväxel. Den baserar sig på låga varvtal utan något större utväxlingar.

Det finska företaget Winvind bygger just dessa vindkraftverk. Dessa hybrider har ett rotorsystem som fungerar helt lika som kraftverk med växellåda. Den stora



Figur 12: Förenklad bild av vindturbin utan växellåda. (Wizelius 2007)

skillnaden kommer först efter detta. Rotorn är då monterad i ett planetväxelsystem vilket innebär att man endast har en enstegs utväxling. Efter planetväxeln kommer man direkt till generatoren som är en mångpolig synkrongenerator som klarar av att producera stora mängder el med mycket låga varv (44-146 rpm/minut). Sedan finns det också vindkraftverk som har en direktdrivning utan planetväxel (se figur 12). (Enberg, 2010; Wizelius, 2007; 119-123; Vindturné, 2009)

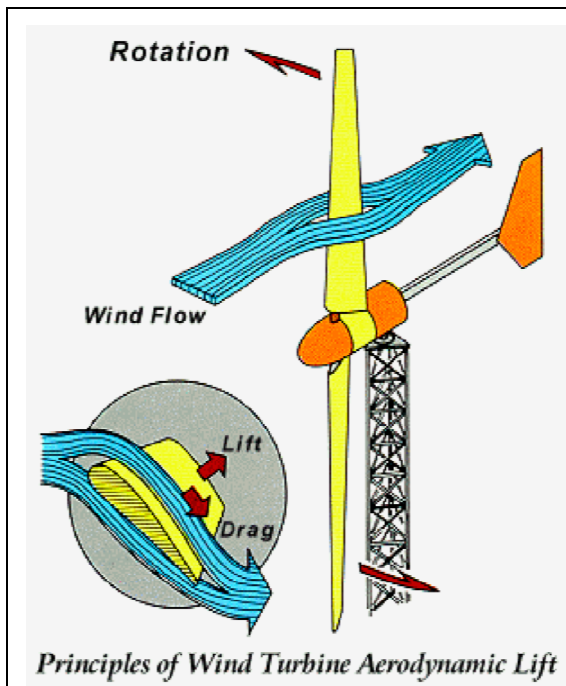
I och med att växellådan faller ur maskinerikedjan kommer också en hel del driftstopp på grund av service och reparationer bort. Då växellådan är borta faller också behovet av att bibehålla ett jämnt varvtal på rotorn bort. Detta leder i sin tur till att belastningar som uppkommer genom att vinden är turbulent minskar betydligt, eftersom varvtalet på rotorn får variera. Detta minskar slitaget på maskineriet och tornet, vilket visar sig i ännu mindre driftstopp på grund av reparationer och service. (Wizelius,2007; 119-123; 135-136)

Den producerade elen som görs i ett vindkraftverk utan växellåda har dock en nackdel, svängningarna i hertz varierar betydligt. Det problemet har man dock löst med att köra elen genom en likriktare för att sedan igen omvandla den till

växelström med rätta Hertztalet. En likriktare förbrukar dock lite energi men det är ändå betydligt mindre än vad man förlorar med att ha en växellåda. (Wizelius, 2007; 135-13)

5 Aerodynamik

Med aerodynamik menar man hur luft och gaser beter sig då de är i rörelse samt hur de påverkar och påverkas av olika föremål. Detta är en av de mest väsentliga saker man måste beakta då man funderar över att bygga upp vindkraft. Moderna vindkraftverk idag är designade enligt samma princip som flyplan och segelbåtars segel eller också en vattenkrafts turbin (se figur 13). Kraften bildas genom att vinden på ena sidan vingen rör sig snabbare än på andra och då bildas ett undertryck som driver runt rotorn. (*Bladh, Edman, Hellstrand, Rosing, 2006; Wizelius, 2007; 90*)



Figur 13: Bilden ovan visar hur aerodynamiken fungerar i ett vindkraftverk. (Bladh, Edman, Hellstrand, Rosing, 2006)

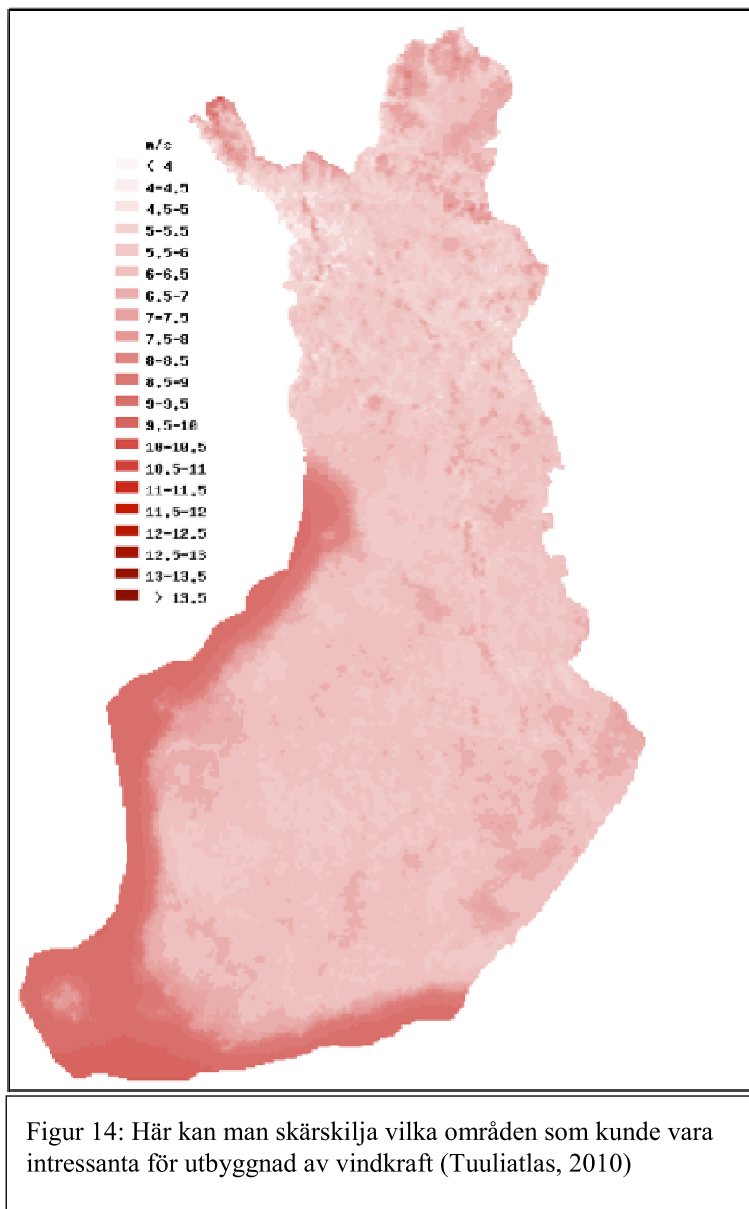
5.1 Aerodynamiska krafter

Vinden passerar snabbare på övre sidan om vingen och långsammare under vingen, detta leder till att man får en tryckskillnad. Denna tryckskillnad leder sedermera till att man får ett lyft som också kallas för den aerodynamiska lyftkraften. Den aerodynamiska lyftkraften får vingarna att rotera på vindkraftverket som sedan får generatoren att börja producera el. (Wizelius, 2007; 90; Bladh, Edman, Hellstrand, Rosing, 2006)

5.2 Vindförhållanden i Finland

2009 på senhösten lanserades en vindatlas för Finland. Tack vare vindatlasen kan man idag göra bättre beslut om var man kunde placera vindkraft. Vindatlasen är uppbyggd på ett sådant vis att man områdesvis kan gå genom vindförhållandena.

Dessa områden är gjorda enligt en Arome- modell och områdena storlek är 2,5-2,5 kvadratkilometer. Det gör en ytlig områdessökning möjlig. I och med att den är gjord som en GIS-karta är också en sökning kommunvis eller adressvis möjlig. (Se figur 14) .(Tuuliatlas, 2010)



Figur 14: Här kan man skärskilja vilka områden som kunde vara intressanta för utbyggnad av vindkraft (Tuuliatlas, 2010)

6 Ekonomi

6.1 Kalkyler

För att kunna göra bra beslut då man planerar att investera i vindkraft måste man göra grundliga ekonomiska kalkyler kring det innan man börjar bygga.

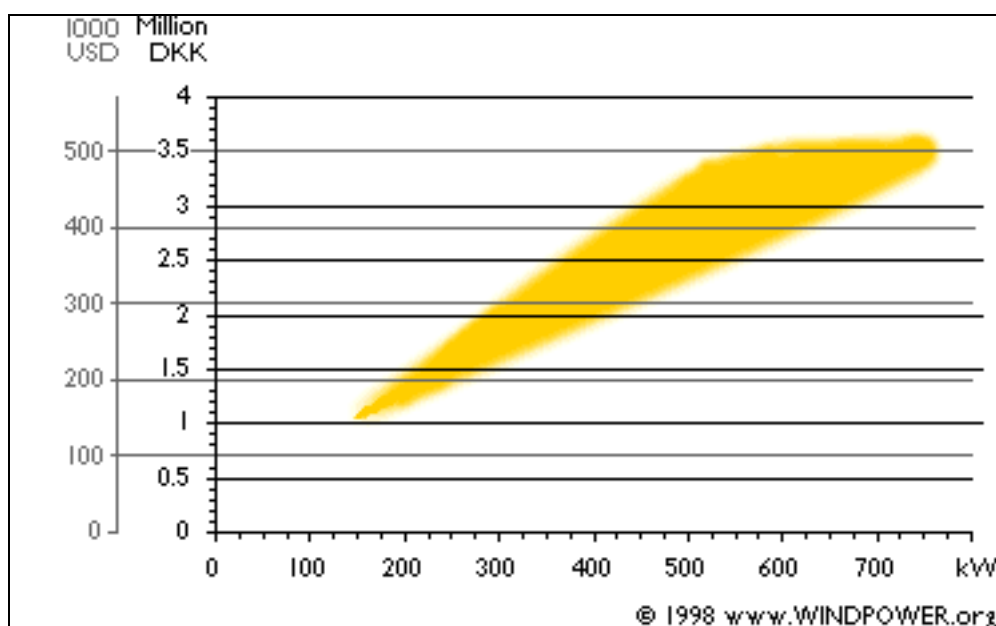
Vindkraftverket måste avkasta så pass mycket att man kan betala bort ett banklån och få en vettig avkastning på investeringen. (Wizelius, 2007; 337)

6.1.1 Produktionskalkyl

Då man gör en heltäckande ekonomisk analys skall man först göra en produktionskalkyl. Där kan man använda sig av till exempel vindatlasen som visar generella vindförhållanden under normala år. Då kan man genom detta program göra prognoser om hur många kilowattimmar det planerade vindkraftverket kan producera under ett år. Se bilaga 3. (Wizelius, 2007; 337; Norrholm, 2010; Werneskog, 2010)

6.1.2 Investeringskalkyl

Då man gjort produktionskalkylen behöver man göra en investeringskalkyl eller med andra ord göra en budget över allt som ingår i investeringen. Detta är likaså en viktig kalkyl att göra innan byggnationen kan börja, för då vindkraftverket är producerande skall det kunna bära sin egen kostnad och helst också ge en bra avkastning. (Se Bilaga 1 och figur 15). (Wizelius, 2007; 338; Norrholm, 2010; Werneskog, 2010)



Figur 15: En graf över investeringskostnad och kapacitet. (*Danish Wind Industry Association, 2003*)

6.1.3 Beräkning av avkastning

Det finns många olika sätt för hur man kan beräkna avkastning för en viss investering. Man kan till exempel använda sig av annuitetsmetoden, nuvärdesmetoden och pay-off metoden. Dessutom kunde en kassaflödesanalys vara bra att göra för att se hur avkastningen utvecklar sig under verkets livstid. Se Bilaga 2-3. (Wizelius, 2007; 337; Norrholm, 2010; Werneskog, 2010)

6.1.4 Känslighetsanalys

I och med att alla dessa kalkyler är baserade på att man försöker förutsäga utvecklingen i 20 år framöver så är de mycket osäkerhet kring detta. Därför bör man också göra en känslighetskalkyl för hela den ekonomiska beräkningen. Eftersom det är omöjlig att förutspå hur räntor, elpriser och andra aspekter ändrar i framtiden är detta mycket viktigt att ta i beaktande. Känslighetskalkylen skall då

se över de risker och möjligheter som kan drabba det investerade kapitalet.
(Werneskog, 2010; Wizelius, 2007; 337)

6.1.5 Finansieringsplan

Sist men inte minst skall man också göra en finansieringsplan. Finansieringsplanens uppgift är att se till att man har pengar att betala räkningar och amorteringar. Detta kommer fram redan i ett tidigt skede eftersom man redan under projekterings- och byggnadsskedet kommer att behöva betala räkningar. Detta brukar man oftast lösa genom att få använda sig av en så kallad byggkredit som fås av banken. (Werneskog, 2010; Wizelius, 2007; 337)

6.2 Inmatningstariff

Med inmatningstariff menas att den som bygger och äger möllan skulle garanteras ett visst pris för varje kilowattimme el som produceras med vindkraft. Nu har tariffen gått genom både regeringen och riksdagen och väntar nu ännu på att bli godkänd av EU-parlamentet. Tariffen skulle vara förhöjd fram till 2015 till 105 €/MWh men dock max i 3 år, efter 2015 skulle tariffen vara 83.50 €/MWh i max 12 år. Ersättning för denna tariff skulle tas av konsumenterna i form av en tilläggsskatt som i slutändan endast skulle göra en årskostnadsökning på några få tiotal euro för ett eluppvärmt egnahemshus. Kraven för att komma in i tariffsystemet är att man måste bygga nytt och vindmöllan skall vara minst 0,5 MWa stor. Att köpa begagnade vindkraftverk kan vara olönsamt eftersom börspriset på el ännu är relativt lågt. (Enberg, 2010; Peltomaa, 2010; Vindturné, 2009)

6.3 Försäljning av vindproducerad elektricitet

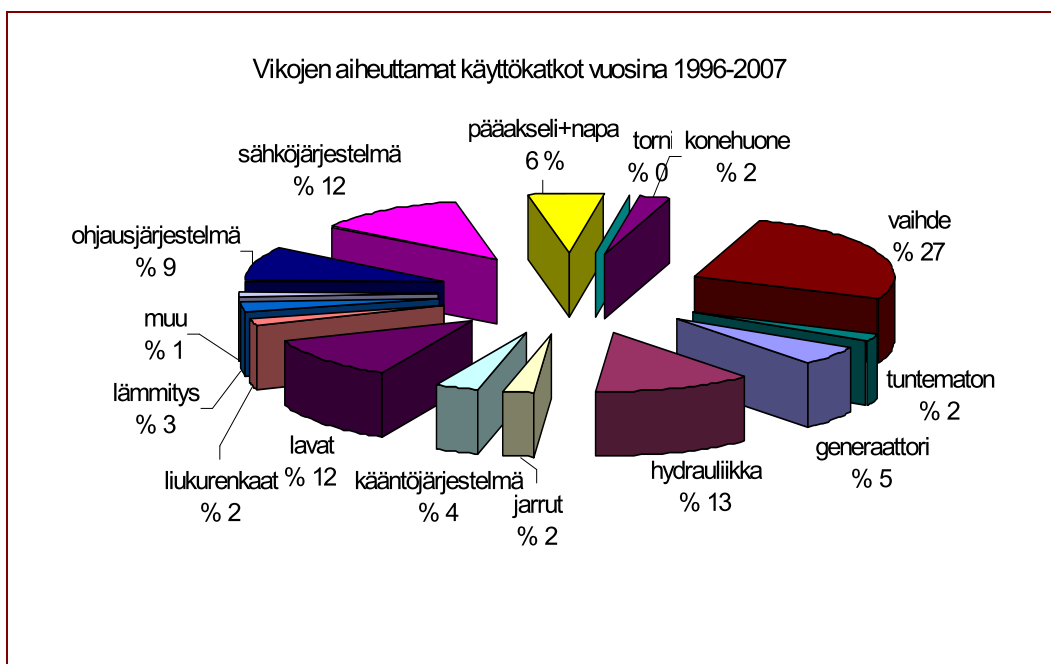
Vindproducerad el är den enda elproduktionsform där man kan göra långtidskontrakt med ett större elbolag. Orsaken till detta är att vindelproduktion är mycket förutsägbart ett dygn eller två framöver. Man kan nämligen utifrån väderrapporter förutspå hur mycket el turbinen kommer att producera. Detta betyder att man då kan justera övrig elproduktion som baserar sig på fossila bränslen till att producera mera eller mindre elektricitet. (Enberg, 2010; Ekenäs energi, 2010)

Att göra långtidskontrakt har dock både goda och negativa sidor. Den positiva saken är att man hela tiden har en ”adress” på den producerade elen och kan producera el på ett optimalt sätt. Dessutom kan man göra upp kontrakt enligt fasta pris och på det viset trygga en säker månatlig inkomst. Nackdelen med långtidskontrakt är just det att man kan binda sig vid vissa priser. Om elprisen då stiger markant kan man bli utan en väsentlig del av inkomsten, man har dock en möjlighet att uppgöra kontrakt som till en viss procent följer marknadsutvecklingen men detta i sin tur ökar också risken att man blir tvungen att sälja elen till ett lägre pris. En annan nackdel är också att man ofta binder sig till att producera en viss mängd energi på årsbasis. Man måste då beakta att vindmängden kan variera upp till 30% från år till år så att man inte binder sig till högre leveranser än det kanske blir. (Enberg, 2010; Werneskog, 2010)

6.4 Vindelproduktion ur teknisk synpunkt

Vindkraftverken har under de senaste 30 åren blivit mera och mera tillförlitliga och driftssäkra. Idag har serviceintervallen blivit långa vilket betyder att man har mera tid för produktion. Vissa problem finns ju ännu kvar vilket man kan se från

figur 16. Driftsstoppen är mycket kostsamma eftersom felen ofta ligger på ca. 100 meters höjd. Vid närmare studie kan man konstatera att 27% av de oplanerade driftsstoppen beror på växellådan (se figur 16). Då lyder frågan att vore det intressant att välja ett sådant koncept som baserar sig på ett system utan den. Vd. Mats Enberg är av den åsikten att då man planerar ett vindkraftverk så skall man alltid se över hur driftssäkert det fabrikat är som man tänker använda. Han tillägger också att reparationer på grund av mekaniska fel alltid är mycket dyra att reparera. (Enberg, 2010; Peltomaa, 2010)



Figur 16: Bilden ovan visar vad som varit orsaken till oplanerade driftsstopp samt visar också hur stor procentandel varje problem som orsakat driftsstoppen haft. (Tuulienergia, 3/09)

Ett annat problem som också plågar vindkraft är att blir det störningar i elnätet så är det vindkraftverken som stoppas först. Dessa plötsliga stopp är mycket krävande för maskineriet eftersom det är frågan om 60-100 ton som skall stoppas på en mycket kort tid från full effekt till noll. Detta lägger extrema krav på belastningstålighet för hela verket. Störningar i elnätet kan bero på en bruten linje eller också för stort kast i voltal eller om hertztalet avviker med mera än 0,5 Hz. (Enberg, 2010; Wizelius, 2007;137-141)

Då vinden överstiger 20-25 m/s stänger man också av vindkraftverken av säkerhetsskäl, detta beror helt enkelt på att de inte klarar av att då mera bromsa in sig själva. Då används en metod där vingarna justeras så att de ligger neutralt i vinden och på det viset orsakar de inte något lyft och verket stannar. Då talar man om att vindkraftverket gör en stall. (Wizelius, 2007; 45, 112, 149)

Då man producerar el ställs det också ett antal krav på själva uppkopplingen till elnätet. Först måste man försäkra sig om att den el som släpps ut i linjen är ren, med detta menar man att Hertztalet skall vara 50Hz, här finns en mycket liten tolerans för kast (högst 0,5 Hz). En annan sak är att man måste transformera elen till den spänning som finns i nätet, detta brukar ofta vara 110 KV. Dessa krav kanske låter hårda men med dagens transformorteknik kan man åtgärda detta relativt enkelt. Nackdelen är dock att det är relativt dyra komponenter. Då man producerar el måste man också ha en punkt där man helt kan bryta kontakten till nätet, detta är en säkerhetsåtgärd som man infört för att minimera risken för att smutsig el skall läcka ut i nätet. Sedan måste man också ha ett filter som stoppar elen från att gå fel väg genom systemet. Dessa saker är dock småsaker att åtgärda och finns ofta inbyggda i transformatorerna. Övervakningen kan skötas av ägaren själv, bolag som man har servicekontrakt med och eventuellt elbolagen som man säljer elen till. (Enberg, 2010; Wizelius, 2007; 137-141)

7 Avslutning

Vindkraft är något som man på allvar kan ta en funderare över om man är en markägare eller jordbrukare och har gården belägen på ett område där man har potential till vindresurser. Man kan då investera själv eller arrendera ut mark för utbyggnad av vindkraft. Det som är klart är i alla fall att lantbruk i dagens läge har en relativt dålig lönsamhet i förhållande till övrig företagsverksamhet, därför har det hela tiden blivit viktigare att börja se sig om för att hitta alternativ för att säkerställa den ekonomiska lönsamheten. En annan god sak är att en vindmölla producerar el då det blåser och vare sig ägaren ligger på soffan och ser på tv eller om han är på semester, eftersom övervakningen av vindkraftverken idag fungerar genom internet och man på så sätt i praktiken kan styra möllan via sin telefon. Man är heller aldrig beroende av logistik i form av transport av bränslen vilket är aktuellt inom andra typer av alternativa energikällor.

Vindkraften och politiken kring den kan ganska långt förknippas med hur politiken kring jordbruk är för tillfället. Diskussionen för vindkraften har ju på senare tid blivit något av ett modesamtalsämne vilket lett till att beslutfattarna i princip blivit klivna i två läger. Det ena lägret vill köra igenom tariff- eller prisgarantisystemet medan det andra lägret motarbetar detta till varje pris. Att man nu skall understöda vindkraften som energiform är ju ingen ny företeelse. Man har också understött alla de övriga elproduktionsmetoderna på ett eller annat vis. Till exempel har man gett finansieringsgarantier för byggandet av kärnkraften i Olkiluoto vilket också är ett slag direkt stöd för att få projektet genomfört. Nu då man fått genom beslut att få bygga två kärnkraftverk till så har också vindkrafttariffen fått mer vind i seglen eftersom beslutfattarna förband sig att rösta genom lagförslaget för vindkraften. Och för tillfället ligger förslaget för vindkraften på EU:s bord för beslut om godkännande, om man då också där röstar för, är tarifferna för vindkraft ett faktum.

Att placering av vindkraft är svår är inte heller en ny sak, det ironiska är ju att folk i det stora hela är för vindkraft. Men tyvärr brukar denna positiva grundsyn ofta medföljas av ett ”men”, och då brukar diskussionen ofta avslutas med att ”så länge som det inte byggs nära mig”. Här är en av de största utmaningarna för att vi skall kunna bygga ut vindkraften i någon större utsträckning. För att hitta områden där vindkraftverk kan byggas, måste man först hitta platser som lämpar sig både med tanke på vindresurser och med tanke på kringliggande bosättning.

Att bestämma sig för hurdan maskin man skall välja då man bygger ett vindkraftverk är något som man verkligen skall sätta sig in i. Då skall man bestämma om maskinen skall ha en växellåda eller vara direktdriven. Och bestämmer man sig för att ha en direktdriven maskin måste man också ha en transformator som klarar av att rätta till hertzen till den rätta. Då får man också räkna med att investeringen blir en aning större. I regel kan man dock säga att ju mindre rörliga delar, desto mindre problem. Då skall man också komma ihåg att om något går sönder till exempel i växellådan så kan man i värsta fall vara tvungen att ha en kran som klarar av att plocka ner hela växellådan från 100 meters höjd eller högre, vilket i sin tur är synnerligen kostsamt. Alternativet är att man har gjort en liten extra investering för att skaffa sig en transformator som blir på marknivå och såtillvida är betydligt lättare och i många fall förmånligare att göra service på.

Då man gör beslut på hurdan typ av maskin man väljer är det mycket viktigt att se på statistik över vad det är som orsakar driftstopp för kraftverken och i mån av möjlighet plocka bort av dessa komponenter som mest ligger bakom problemen för oplanerade driftsstopp. Här kan man konstatera att växellådan vanligen brukar ligga i spetsen för orsaker som leder till oplanerade driftsstopp. Man kan ställa sig frågan om man har råd att ha komponenter i maskinen som ofta brukar krångla.

Hur samhället kommer att reagera då- eller om- vindkraftverk börjar byggas ut i större skala är ännu oklart. Förhoppningsvis kommer denna nyhetsfientlighet att försvinna i rask takt då folk får mera information kring detta. Om samhället dock

fortsätter att vara avvisande mot en utbyggnad av vindkraft så kommer det också att bromsa upp en hel del projekt bara för att det helt enkelt är för dyrt att bestrida alla överklagelser för bygglov.

Vindkraft är en av de intressantaste saker som hänt inom energisektorn på länge och som förhoppningsvis kommer den att slå genom inom en snar framtid. Om det tariffsystem som det nu är föreslaget förverkligas, så kommer det att bli ett mycket intressant område som man faktiskt kan tänkas satsa på. Om man då tänker sig ett kraftverk på gårdsnivå så kan det verkligen ge en utväg att få en gård att gå från ickelevskraftig till att bli livskraftig. Man skall dock inte huvudstupa besluta investera och bygga en vindmölla utan göra en ordentlig förundersökning innan man gör vidare beslut.

Jag är fullt och fast övertygad om att vindkraften kommer att slå igenom och skulle också vilja tro att detta är något som är intressant för lantbrukare. Som lantbrukare är det fullt möjligt att bilda ett andelslag eller aktieföretag med andra lantbrukare och markägare. Min dröm är att än en gång få se lantbrukare gå raka i ryggen och vara stolta över vad de är. Jag säger inte att detta är det enda rätta, men nog är det något att fundera över, eller hur.

Källförteckning

Litteratur

Bladh, Anna M02; Edman, Ingrid M02; Hellstrand, Mikael M02;
Rosling, Carl-Johan M03. MMV025 (2006). *Strömningslära*. FK. Lund

Boverket (2003). *Planering och prövning av vindkraftanläggningar*

Burton, Tony; David, Sharp; Nick, Jenkins; Ervin, Bossanyi (2001). *Wind Energy Handbook*. Chichester/Newyork

Danish wind industry association (2003). Hämtad 5.6.2010. Tillgänglig:
www.windwithmiller.windpower.org

Freund, H.D (2002). *Einflüsse der lufitribung, der Sonnenausdehnung och der Flugelform auf dem schattenwurf von Windenegieanlagen*. DEWI magazin nr 20

Tuulienergia, 3/09 hämtad 10.3.2010. Tillgänglig: www.tuulivoimayhdistys.fi.

Tuulivoima tietopaketti (2009). Hämtad 13.2.2010. Tillgänglig:
<http://www.tuulivoimatieto.fi/>

Vindatlas, hämtad 1.1.2010, Tillgänglig: www.tuuliatlas.fi

Vindturne turne (2009), hämtad 1.3.2010, Tillgänglig: www.motiva.fi

Wizelius, Tore (2007). *Vindkraft i teori och praktik*. Upplaga 2:2

Intervjuer

Mats Enberg VD Viavind OY (1.3.2010)

Heikki Peltomaa, Sales manager; WinWind OY (4.3.2010)

Otto Werneskog, Civil ingenjör; Smålands Miljöenergi AB (4.1.2010)

VINDKRAFTS BERÄKNING

Bilaga 1

INVESTERINGSKALKYL

Projektering och förundersökning	30000
Verket + lyft och transport	2400000
Stolpe 90-100 m	300000
Fundament	300000
markarbeten	105000
nätanslutning och nätkostnader	185000
Övriga	50000
totalsumma av investeringen	3370000

Eget kapital	1011000	30 %
Lånat belopp	2359000	

DRIFTSKOSTNADER

Försäkring	20000		
Elöverföring avgifter	4200	0,7	€/MWh (lagstadgad max)
Fastighetsskatt	20400	4 %	Beräknas från 70% av stolpens och fundamentets värde (Max)
Arrende	20040	4 %	Baserad på inkomster från produktion
Service	30000		
Årliga driftskostnader	94640		

PRODUKTIONSKOSTNADSKALKYL

Investeringskostnad	3370000	€
Lånat belopp	2359000	€
Eget kapital	1011000	€

Årlig produktion	6000	MWh/a
------------------	-------------	-------

Börspris på el (uppskattning)	50	€
Tariffpris på el	83,5	€

Betalas i 12 år

Lånetid	12	
Ränta	5 %	105 %

Årlig intäkt med marknadspris	300000	€
Årlig intäkt med tariffpris	501000	€

Amortering och ränta per år	266155,14	€
-----------------------------	-----------	---

Årliga Kostnader	360795,14	€
------------------	-----------	---

Amortering och ränta +
driftskostnader

Årlig vinst med marknadspris	-60795,1	€
Årlig vinst med tariffpris	140205	€

Nuvärdes kalkyl

Bilaga 2

Driftstid	20
Ränta	5 %
Totala investeringskostnaden	3370000

105 %

El intäkter till marknadspris	300000
El intäkter till tariffpris	501000

medelpris

420600

Kapitaliserings faktor	12,46
------------------------	-------

Vinst med marknadspriser	368663
Vinst med 12 år tariffpriser och resten till marknadspris	1871606

Payoffkalkyl

Bilaga 3

Investeringskostnad	3370000	€
Nettointäkt med marknadspris	300000	€
Nettointäkt med tariffpris	501000	€

Återbetalningstid med marknadspris	11,2	År
Återbetalningstid med tariffpris	6,7	År

Arrende

Bilaga 4

Arrende ersättning enligt
vindupptagningsområdes modell

Totala arrende	20040 €	4 %
vindupptagningsområdets storlek i hektar	78,5	500 meters radie runt möllan

Hektarbaserat arrende **255** €/ha

Alternativ 2 hektarbaserat arrende **255** €/ha