



# Småskalig vindkraft i Europa

Robert Toivanen

Examensarbete  
Energi- och miljöteknik  
2020

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	7225
Författare:	Robert Toivanen
Arbetets namn:	Småskalig vindkraft i Europa
Handledare (Arcada):	Kim Rancken, DI. Harri Anukka, ing. Experthandledare (Arcada)
Uppdragsgivare:	Arcada, Institutionen för energi- och materialteknologi
<p><b>Sammandrag:</b>  Finland och EU har antagit direktiv som ska öka andelen förnybara energiformer av den totala energikonsumtionen i framtiden. Vindkraften är en förnybar energiform. Vanligtvis produceras vindkraft med stora vindkraftverk, men för privatkonsumenter kan små vindkraftverk på den egna tomten vara ett alternativ. Syftet med detta arbete är att undersöka den småskaliga vindkraften ur en ekologisk, ekonomisk och praktisk synvinkel. Den ekologiska synvinkeln undersöks genom att genomföra en livscykelanalys för ett litet vindkraftverk och undersöka möjligheterna för återvinning av deras komponenter. Den ekonomiska synvinkeln undersöks främst genom en energisimulering av en och samma fastighet, som placerats i fyra olika länder i Europa, där programmet IDA ICE simulerar hur mycket värme- och kylenergi som fastigheten kräver. Meningen med denna metod var att undersöka ifall maxeffekten för uppvärmning och nedkylning i ett vanligt bostadshus skiljer sig mycket i olika europeiska länder. Den praktiska synvinkeln undersöks genom att jämföra förutsättningar för en god energiutvinning ur vinden med hjälp av småskalig vindkraft, till exempel med hjälp av vindatlaser samt jämföra olika modeller av små vindkraftverk som säljs i fyra europeiska länder. Materialet har främst hämtats från källor på nätet men också tryckta källor förekommer. Arbetet fokuserar sig främst på propellervindkraftverk med tre rotorblad, vertikala vindkraftverk behandlas inte. Resultatet visar att små vindkraftverk har ganska många fördelar, såsom möjligheter att ge elektricitet i områden som saknar elnät, vilket ändå kräver en god tillgång till vind året runt. En fördel är också en ganska bra möjlighet till återvinning hos vindkraftverkets komponenter. Nackdelarna är främst initialkostnaden och en vanligtvis ganska lång återbetalningstid, i synnerhet om årsmedelvindhastigheten är låg. Dessutom krävs ofta ett ganska högt vindkraftverk med stor rotorarea för att ersätta energibehovet i ett bostadshus. Arbetet visar att det inte är så många som har praktisk möjlighet att ersätta sitt energibehov med ett eget litet vindkraftverk.</p>	
Nyckelord:	småskalig vindkraft, livscykelanalys, vindatlas, effektivitet, energisimulering
Sidantal:	71
Språk:	svenska
Datum för godkännande:	25.5.2020

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energi- och miljöteknik
Identification number:	7225
Author:	Robert Toivanen
Title:	Småskalig vindkraft i Europa
Supervisor (Arcada):	Kim Rancken, M.Sc. Harri Anukka, B.Sc. Expert Supervisor (Arcada)
Commissioned by:	Arcada, Department of Energy and Materials Technology
<p><b>Abstract:</b></p> <p>Finland and the EU have adopted directives that will increase the proportion of renewable energy of the total energy consumption in the future. Wind power is a renewable source of energy. Usually wind power is produced by large wind power plants, but private households may have an own wind power plant on their grounds. The purpose of this work is to examine small-scale wind power from an ecological, economical and practical point of view. The ecological view is examined by doing a life-cycle analysis for a small-scale wind power plant and examine the possibilities for recycling of the components. The economical view is examined by doing an energy simulation in an estate, the energy consumption of which is simulated in four different places around Europe. The program IDA ICE has simulated the maximum effect needed for heating and cooling in the estate. The purpose of this method was to determine if the maximum heating and cooling for the estate varies between the European countries. The practical view is examined by comparing prerequisites of a good energy recovery from small-scale wind power, for example with the help of wind atlases and by comparing different models of small wind power plants that are for sale in four European countries.</p> <p>The material has been collected from electronic sources but also from printed sources that can be found. This thesis focuses mostly on wind power plants with three rotor blades, and vertical wind power plants are not discussed.</p> <p>The result shows that small-scale wind power plants have many advantages, such as the possibility of distributing electricity to areas without electrical grids, which however requires a high annual wind speed. Another advantage is quite a high ability to recycle the components of the wind power plant. Disadvantages are mostly the initial cost and usually a long payback time, especially if the annual wind speed is low. Furthermore, a tall wind power plant with a big rotor area is usually needed for giving enough electricity even for smaller buildings. The thesis also shows that there are not many people that have the practical ability to replace their energy need with a small scale wind power plant.</p>	
Keywords:	Small-scale wind power, life-cycle analysis, wind atlas, efficiency, energy simulation
Number of pages:	71
Language:	Swedish
Date of acceptance:	25.5.2020

# Förord

I detta arbete har jag hämtat information från många olika källor på flera språk och skapat en enhetlig text som behandlar småskaliga vindkraftverk inom Europa. Målsättningen har varit att utreda möjligheterna för småskalig vindkraft i Europa och närmare granska olika modeller av vindkraftverk. Jag hoppas att detta arbete ska fungera som stöd för den som vill utreda möjligheterna för ett småskalig vindkraftverk på egen mark.

Jag vill tacka min handledare och anställda vid Arcadas bibliotek som hjälpt mig att hitta lämpliga källor. Jag vill också tacka min nuvarande arbetsgivare för att ha fått möjlighet att ta ledigt från jobbet för att få arbetet färdigt.

Helsingfors, 16.5.2020

Robert Toivanen

# Innehåll

<b>Sammandrag</b>	2
<b>Abstract</b>	3
<b>Förord</b>	4
<b>Förteckning över specialtermer</b>	6
<b>1. Inledning</b>	7
1.1 Vinden och vindatlas	8
<b>2. Målsättning</b>	11
2.1 Små vindkraftverk i Europa	12
<b>3. Småskalig vindkraft</b>	13
3.1 Ekologiska synvinklar	15
3.1.1. Återvinning	19
3.2 Praktiska synvinklar	21
3.3 Ekonomiska synvinklar	24
3.4 Småskalig vindkraft i Finland	27
3.5 Småskalig vindkraft i Sverige	31
3.6 Småskalig vindkraft i Spanien	35
3.7 Småskalig vindkraft i Tyskland	38
<b>4. Resultat</b>	41
4.1 Olika modeller av vindkraftverk	41
4.2 Ekonomiska synvinklar	41
4.3 Praktiska synvinklar	44
4.4 Ekologiska synvinklar	44
<b>5. Slutsatser</b>	46
<b>Källor</b>	48
<b>Bilagor</b>	

# Förteckning över specialtermer

**Effektivitet**, påverkas främst av turbinens effekt, rotorbladens area och rörelse, årlig medelvindhastighet, ålder på vindkraftverket, reparationer och underhåll

**Effektreglering**, slås på vid märkvind och minskar vindkraftverkets effekt för att inte skada komponenter

**Märkeffekt**, vindkraftverkets maxeffekt

**Märkvind**, vindhastigheten som krävs för att vindkraftverket ska nå sin maximala effekt

**Navhöjd**, avståndet mellan marken och navets (rotorbladens) mittpunkt

**Rotorarea**, arean i luften som rotorbladen sveper genom, anges i  $m^2$

**Startvind**, vindhastigheten vid vilken rotorbladen snurrar tillräckligt snabbt för att producera elektricitet, är ofta minst 2 m/s i små vindkraftverk och 5 m/s i stora vindkraftverk

**Stoppvind**, vindhastigheten då vindkraftverket automatiskt stannar, ofta kring 25 m/s, för att undvika skador och överbelastning

**Vindatlas**, en ofta datorgenererad simulering över vindhastigheter en viss höjd över markytan, används för att undersöka lokala förutsättningar för vindkraft

**Växellåda**, finns i maskinhuset och ska anpassa huvudaxelns varvtal så att det passar generatorm

**Växelriktare**, omvandlar likströmmen från vindkraftverken till växelström för t.ex. eluttag

# 1 INLEDNING

Finland och EU har antagit ett direktiv som förbinder dem att 20 % av energiförbrukningen ska härstamma från förnybar energi år 2020 (/1/ Europaparlamentet, 2019). Enligt förslag borde denna andel öka till minst 35 % förnybar energi år 2030 (/2/ Europaparlamentet, 2018). Detta ställer stora krav på utbyggnaden av den förnybara energin, och en sakta utfasning av äldre, icke-förnybar energi. Även om framför allt kärnkraften har byggts ut i många länder, däribland Finland, kommer även andra former av förnybar energi att spela en viktig roll i framtiden. Här spelar vindkraften en viktig roll, då den oftast ger tillgång till förnybar energi dygnet runt med varierande effekt.

Valet föll på att skriva om småskalig vindkraft på grund av intresse för förnybar energi, framför allt solenergi och vindkraft, och slutligen valdes vindkraft eftersom arbetet ska fokusera på den småskaliga vindkraften, som kanske kunde byggas ut ordentligt i Finland och i övriga Europa, men samtidigt forska i möjligheterna och utmaningarna kring en sådan här utbyggnad. De flesta system med solceller är småskaliga, undantaget större solcellsparker på öppna ställen, men vad gällande vindkraftverk ses oftast de stora propellertornen till havs eller på land. Därför undersöktes ifall småskalig vindkraft kunde användas mera, men också vad som eventuellt hindrar en framtida utbyggnad.

Arbetet börjar med att undersöka småskalig vindkraft genom ett allmänt, europeiskt perspektiv och granskar de småskaliga vindkraftverken och deras ekologiska, ekonomiska och praktiska aspekter. Följande del behandlar närmare fyra olika europeiska länders politik och byråkrati kring småskalig vindkraft, och tittar närmare på några modeller av mindre vindkraftverk som kan köpas i de olika länderna.

Följande kapitel, Resultaten, sammanfattar de olika undersökta modellerna av vindkraftverk i en tabell, där likheter och skillnader lätt framgår. Det sista kapitlet, Slutsatser, diskuterar och sammanfattar informationen.

Tidigare forskning om ämnet har gjorts och mycket information finns att hämta till exempel från myndigheter som gett ut broschyrer som behandlar ämnet. Ofta är målgruppen privatkonsumenter med till exempel segelbåt eller en sommarstuga som inte är ansluten till

det fasta elnätet. Också tekniska universitet och högskolor utför forskning kring ämnet, ofta med egna vindkraftverk.

## 1.1 Vinden och vindatlas

Vinden uppstår genom tryckskillnader i atmosfären, som uppkommer då solen värmer upp jordytan och luften olika mycket. Varm luft stiger uppåt, och då strömmar luft in för att fylla ut området därifrån luften steg uppåt, och en vind har uppstått. Det är framför allt områdets topografi och skillnaderna i lufttrycket mellan låg- och högtrycken som påverkar vindens styrka.

Topografin kan påverka vinden både lokalt och regionalt: en rad av träd kommer att bromsa upp vinden på ett litet område bakom dem men även orsaka störande virvelvindar en kort sträcka framför dem, se figur 1. Ett berg orsakar ett större område med svag vind på läsidan, och hela landmassor kommer vanligtvis att bromsa upp vinden ordentligt ju längre bort från haven eller sjöarna man kommer. Vanligtvis ändrar vinden betydligt mindre i hastighet på höjden över öppet hav jämfört med på höjden över skogbeväxtade ytor ([/3/ tuuliatlas.fi: Vindpotentialen i Finland](#)).

För att ta reda på medelvindhastigheten i ett område har man utarbetat vindatlas som visar medelvindhastigheten i ett område, vanligen på minst 100 meters höjd över markytan. Utgående från detta kan man lättare ta reda på lönsamma och mindre lönsamma områden för större vindkraftverk. I bra vindatlas kan man studera medelvindhastigheter månad för månad och för olika höjder över hav och mark.

För Finlands vindatlas anges noggrannheten i kvadratiska rutor där en sida är 2,5 km lång, och där medelvindhastigheten är uppmätt på 100 meters höjd över marken. Bakom vindatlasen ligger 72 månaders observationer och mätningar av vinden. För viktigare områden ur vindkraftsperspektiv, till exempel skärgården, går det dessutom att få en vindatlas med en högre upplösning där en kvadratisk ruta har en sida på 250 meter. Vindatlasen har utarbetats av Meteorologiska Institutet och Risø DTU ([/4/ tuuliatlas.fi: Vindatlas - vinddata på Finlands karta](#)), och hittas i bilaga 1.

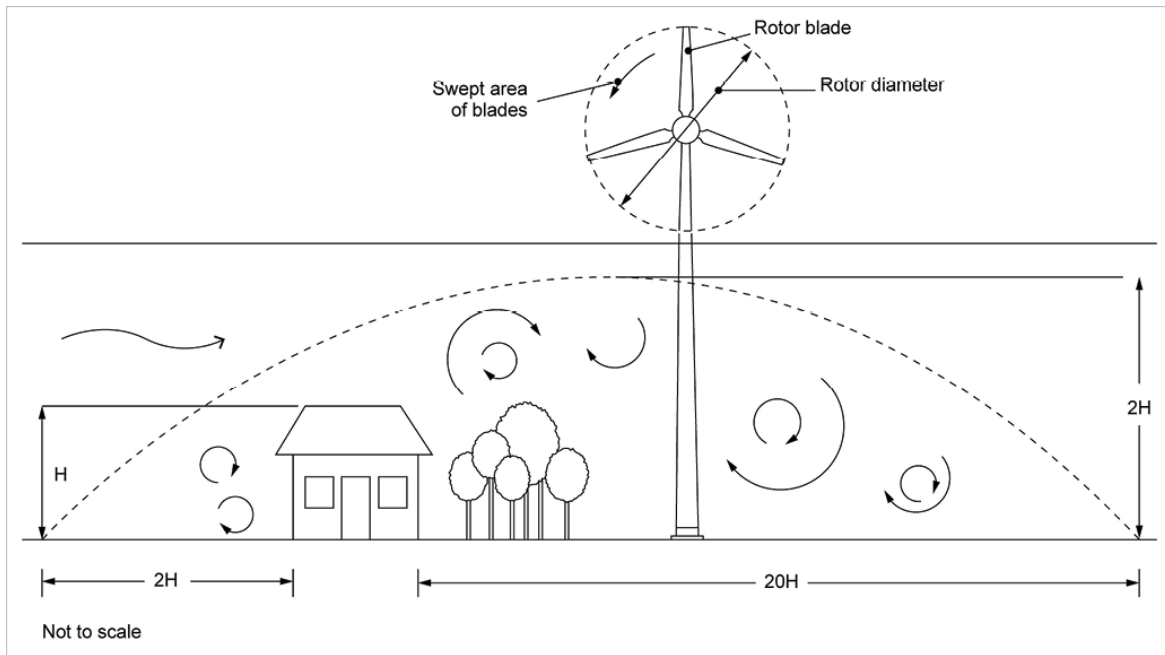


I Sverige har Energimyndigheten genomfört en vindkartering i hela landet, med mål att undersöka förutsättningarna för vindkraft i olika delar av landet. Både kommuner, energibolag och vindkraftsprojektörer kan ha nytta av vindkarteringen, som genomförts på höjder mellan 80 och 140 meter ovanför markytan. Upplösningen för en kartruta i Energimyndighetens vindkartering är klart mindre än en kartruta i Finlands vindatlas: 0,25 km<sup>2</sup>. Detta ger en större noggrannhet vid projektering och planering (/5/ energimyndigheten.se: *Nationell vindkartering*).

Alla vindatlas visar att vinden ökar ju högre upp ovanför den omgivande marken man kommer. Små vindkraftverk har vanligtvis en betydligt lägre navhöjd än stora vindkraftverk, vilket måste tas i beaktande om man karterar förutsättningarna för vindkraft i ett område. Hinder som träd och byggnader kan vanligtvis betydligt försämra vindhastigheten för vinden som når ett mindre vindkraftverk. Man bör alltså sträva till att bygga små vindkraftverk så att de tydligt höjer sig över hinder i närheten, annars kommer lönsamheten både ekonomiskt och energimässigt att bli klart sämre, och återbetalningstider förlängas (/6/ windpowerment.org: *Small Wind Turbines (SWTs) - the basics.*). Saaristotekniikka.com /7/ rekommenderar att vindkraftverket är 7 meter högre än det högsta hindret på 150 meters avstånd, medan /8/ tuulivoimayhdistys.fi (2011) rekommenderar att vindkraftverket är dubbelt så högt som höjden på det närmaste hindret. Att använda sig av flera olika vindatlas under kartläggningen kommer oftast att ge ett noggrannare slutresultat för den aktuella platsens faktiska medelvindhastighet.

Vanligtvis måste ytterligare noggranna mätningar göras på tilltänkta platser för vindkraftverk, gärna under en längre tid för att få ett så noggrant medelvärde hos vinden som möjligt. Sedan måste ännu de uppmätta värdena långtidskorrigeras för att få ett träffsäkert värde på områdets vindklimat, till exempel för en period på 30 år.

Större variationer kan förstås förekomma lokalt inom en ruta i en vindatlas, dvs. både högre och lägre vindhastigheter kommer alltid att förekomma i en ruta. Ju mindre area en ruta i vindatlasen täcker, desto noggrannare kan man planera och projektera ett vindkraftverk.



Figur 1. Objekt på marken bildar hinder som förhindrar vinden att blåsa med full styrka. Ett lönsamt vindkraftverk borde vara minst 2 gånger så högt som omgivningens hinder ([yourhome.gov.au](http://yourhome.gov.au)).

## 2 MÅLSÄTTNING

Syftet med arbetet är att utreda situationen för småskalig vindkraft i framför allt fyra EU-länder (Finland, Sverige, Spanien och Tyskland), vilket leder till de centrala målsättningarna i arbetet, som är att ta reda på vilka ekonomiska, ekologiska och praktiska för- och nackdelar ett litet vindkraftverk har, vilka för- och nackdelar små vindkraftverk har jämfört med stora vindkraftverk, ta reda på exempelmodeller som finns tillgängliga för europeiska privatkonsumenter, undersöka viktiga saker att tänka på innan investeringar och installationer av små vindkraftverk och reda ut eventuella möjligheter till ekonomiska understöd för resningen av små vindkraftverk.

Hypoteser kring frågeställningarna är att lönsamheten för riktigt små vindkraftverk endast är märkbar då de används i system eller enheter som inte är kopplade till ett elnät, till exempel på fritidsbåtar och på sommarstugor. Lite större vindkraftverk, avsedda för småhus, kanske inte är lika lönsamma sett ur ett energiperspektiv, men ifall livslängden hålls kring 25 år, kunde de eventuellt ändå betala tillbaka sig under sin livslängd. Till hypotesen hör också att ett mindre vindkraftverk på ca 7,5 kW kan ersätta omkring hälften av energibehovet i ett småhus under de kallaste vinterdagarna i Finland och Sverige.

Metoderna i detta arbete är mycket informationshämtning från tidigare forskning kring småskalig vindkraft. Mycket av informationen kommer från tillverkare av vindkraftverk, energimyndigheter eller företag som vill främja användningen av vindkraft. Andra metoder är jämförelser mellan vindkraftverksmodeller hos återförsäljare i fyra europeiska länder och en energisimulering i programmet IDA ICE, som räknar ut energiförbrukningen för olika typer av rum och hus på valfritt ställe på jordklotet. Simuleringarna behövs för att ta reda på typiska maximala värden (värme- och kyleffekt som behövs för att hålla inomhustemperaturen i ett visst intervall) för energiförbrukningen på olika ställen i Europa. Valet föll på orter i mellersta Finland, södra Sverige, mellersta Tyskland och södra Spanien där energiförbrukningen närmare undersöktes.

Simuleringen utfördes med IDA ICE för fyra olika platser: Jyväskylä, Malmö, Frankfurt och Sevilla, som alla har olika årsmedeltemperaturer och väderförhållanden, därmed skiljer sig

den årliga energiförbrukningen åt för de fyra platserna. Det viktigaste var att få fram värdet på den maximala värme- och kyleffekten som krävs för att upprätthålla inomhustemperaturen inom rimliga gränser (mellan 20°C till 25°C). Dessa värden, i kilowatt, skulle sedan jämföras med den maximala effekten i kilowatt olika modeller av ett småskaligt vindkraftverk kan ge.

Avgränsningarna i det här arbetet sträcker sig främst till att behandla vindkraftverk vars generator har en effekt på 10 kW eller mindre. Arbetet kommer också att titta närmare på typiska vindkraftverksmodeller till salu i Europa, medan ovanligare modeller inte behandlas. Till de ovanligare typerna av vindkraftverk hör till exempel vertikala vindkraftverk (spiralvindkraftverk) som används i mindre utsträckning runtom i världen och vars teknologi och förutsättningar för energiproduktion skiljer åt sig lite jämfört med vanliga propellertorn, och detta behandlas därför inte i detta arbete. Den främsta fokusen läggs på små vindkraftverk som kan användas av privatkonsumenter i småhus. De flesta av vindkraftverken som behandlas i detta arbete har tre stycken rotorblad, men det förekommer även några vindkraftverk med två eller fem rotorblad.

## **2.1 Små vindkraftverk i Europa**

Valet av dessa fyra europeiska länder beror på intresse för Finlands inhemska elproduktion av småskalig vindkraft och olika modeller av små vindkraftverk som finns till försäljning, och då föll valet naturligt på Sverige som ett jämförelseland i Nordeuropa. Sverige har länge haft en ganska utbyggd vindkraft jämfört med Finland, vilket kanske även kunde synas i utbudet av modeller tillgängliga för privatkonsumenter.

Tyskland är ett av Europas föregångsländer inom vindkraft och andra typer av förnybar energi, så valet av landet kändes naturligt. Spanien å sin sida har en ganska utbyggd vindkraft, men ligger långt från Finland med ett annorlunda klimat. Avsaknaden av snö och minusgrader under vintern på de flesta ställen i Spanien kunde vara en intressant jämförelse med de nordeuropeiska förhållandena. Spanien är även ett land med mycket soltimmar och halvöknarna har på sina ställen ett utbyggt system av solvärme och solceller, vilket betyder att energi från solen i viss mån konkurrerar med vindkraftverken då nya system för förnybar energi ska byggas ut.

### 3 SMÅSKALIG VINDKRAFT

Definitionen av småskaliga vindkraftverk skiljer sig beroende på källa och land. Enligt /9/ Svensk vindkraftförening (2017) är alla vindkraftverk med en effekt under 100 kW småskaliga. Även /10/ klein-windkraftanlagen.com, den största portalen för småskalig vindkraft i tyskspråkiga länder, kategoriserar alla vindkraftverk under 100 kW som småskaliga. Finska källor ger en övre gräns kring 50 kW, och dessutom en gräns på 200 m<sup>2</sup> för rotorarean (/11/ tuulivoimayhdistys.com: *Pientuulivoima*).

Vindkraften spelar en betydande roll i några av Europas länder men samtidigt finns det länder som knappt har ett enda vindkraftverk. I Europeiska Unionens stadgar (/1/ Europaparlamentet, 2019) nämns särskilt utbyggnaden av havsbaserad vindkraft som ett viktigt mål för att uppnå klimatmålen. Samtidigt finns det länder som inte har möjlighet till, eller endast har begränsade, möjligheter till havsbaserad vindkraft. Det kan röra sig om till exempel Luxemburg eller Tjeckien som helt saknar havskust och större sjöar, eller länder med ett äldre och sämre utbyggt elnät, till exempel Rumänien. I vissa av dessa länder kan landbaserad vindkraft vara ett alternativ, men inte alltid. Däremot kan produktion av vindkraft i liten skala fungera nästan överallt där det blåser, eftersom dessa system inte är beroende av ett nationellt elnät. På många håll fungerar de som självständiga elsystem, på andra håll kan de vara kopplade till elbolagens elnät.

Småskalig produktion av vindkraft i Europa har funnits länge, men användningsmålen, kraftverksmodellerna, produktionen, verkningsgraden och vindkraftens betydelse har ändrats betydligt genom åren. Historien börjar kring medeltiden då väderkvarnar började användas för att pumpa vatten och mala säden till mjöl. Detta utnyttjades fram till slutet av 1800-talet, då de elektriska generatorerna uppfanns och vindens kraft kunde utnyttjas till att driva dessa. Ännu på denna tid var alla vindkraftverk som producerade elektricitet småskaliga producenter, där elektriciteten förbrukades på plats. I början av 1900-talet hade de elproducerande vindkraftverken liknande effekt som hittas i mindre kraftverk idag, vanligtvis 5-25 kW. På 1930-talet användes mindre vindkraftverk allmänt på den amerikanska landsbygden för utvinning av elektricitet, då elnätet främst fanns i städerna. Oljekrisen och den ökande miljömedvetenheten på 1970-talet gjorde att utvecklingen av förnybar energi och

i synnerhet vindkraft tog fart. Konsumenterna krävde små vindkraftverk för lokalt bruk. Äldre vindkraftverk rustades upp och började användas igen, och följande årtionde började en turbin med effekten 1,8 kW, lämplig att ha på gården, massproduceras i USA. Sedan 1990-talet har utvecklingen av nya vindkraftverk skett med hjälp av datormodeller och -simuleringar, samtidigt som materialkostnaderna gått ned och effektivare generatorer kommit ut på marknaden (/13 s. 95/).

## 3.1 Ekologiska synvinklar

Då man granskar de småskaliga vindkraftverkens inverkan på miljön måste man börja med att syna tillverkningsprocesserna för de olika komponenterna som ingår i dem. Idag har vindkraftverken en livslängd på omkring 20 år (/15/ designlife-cycle.com, 2014). En förlängning av livslängden är viktigt för att dels hushålla med naturresurser, dels se till att underhållet av vindkraftverken kan vara så litet som möjligt under deras användningstid. Ett välskött vindkraftverk kommer att ha en längre livslängd, men förr eller senare måste generatoren och de rörliga delarna bytas ut. Själva fundamentet och tornet kan hålla i cirka 50 år (/16/ epvtuulivoima.fi, 2017). Det är alltså möjligt att byta ut stora delar av själva vindkraftverket, men behålla fundamentet och kanske tornet på plats innan ett nytt vindkraftverk reses.

Största delen av energin som krävs för att producera alla komponenter för ett litet vindkraftverk går åt till utvinningen av materialen som krävs, i synnerhet turbinens och generatorns metalldelar. Största delen av vikten i ett vindkraftverk finns i tornet och rotorbladen (/15/ designlife-cycle.com, 2014).

Materialvalet är viktigt i synnerhet för rotorbladen, då de ska vara lätta för vinden att få tag i, men samtidigt hållbara mot slitage, sura regn, hård vind och så vidare.

Små vindkraftverk brukar vanligtvis innehålla lättare material än stora vindkraftverk, i ett försök från tillverkarna att hålla nere kostnaderna. Till exempel aluminium är ett lätt, hållbart och ganska billigt material, varför det gör bättre ifrån sig än stål i metalldelarna i ett litet vindkraftverk, säger /18/ (Ancona & McVeigh, 2001). Samtidigt är stål mycket mera hållbart, vilket är ett krav som måste uppfyllas i stora vindkraftverk där vindarna som blåser skapar krafter som är flera gånger större än i små vindkraftverk.

Glasfiber för rotorbladen tillverkas genom att smälta glas till omkring 1700 grader och föra det smälta glaset genom små öppningar, varefter det bildar långa trådar (/19/ gazechim.se). Efter att glaset bildat trådar måste det snabbt kylas ned med vatten och olika medel tillsätts som bättre binder glasfibrerna vid varandra. Glasfibern rullas upp på rullar, där

upprullningshastigheten bestämmer egenskaperna det färdiga glasfiber materialet kommer att få. Till sist måste glasfibern torkas i ugn, för att avlägsna vattnet som tillsattes vid kylning.

Kolfiber är ett starkt material som gärna används i framför allt rotorblad. Det är mycket lätt och icke-elastiskt, vilket är nödvändigt ifall man vill att rotorbladen ska snurra snabbt och jämnt även i hård vind, eftersom en ojämn rotation inte skapar en lika effektiv energiproduktion i generatoren. Kolfiber tillverkas ur organiska polymerer, som upphettas till höga temperaturer under anaeroba förhållanden, samtidigt som de dras ut till långa strängar (/20/ thoughtco.com, 2020). De höga temperaturerna får kolatomerna att lämna polymererna, och kvar blir starka bindningar som innehåller lite eller inget kol. De kvarvarande strukturerna kan formas och vävas till rotorblad med goda aerodynamiska egenskaper.

Den största nackdelen med kolfibern är dess höga pris och de stora energimängder som krävs vid tillverkningen. Fördelen med glasfiber är att det är klart billigare än kolfiber, och dessutom mindre skört och styvt. Samtidigt är det tyngre än kolfiber (/21/ oscarliang.com, 2015).

Tornet till vindkraftverket kan vara ett massivt torn bestående av ett målat järn- eller stålrör, i synnerhet för vindkraftverk med en effekt närmare 10 kW. Mindre kraftverk kan ha en tornkonstruktion bestående av betong, en lättare fackkonstruktion av järn eller stål, eller ett torn byggt av trä.

Ifall vindkraftverkets torn är av järn produceras det antingen ur järnmalm eller återvunnet skrot. I masugnar värms järnmalm upp och via reduktion avskiljs syre och lite kol tillsätts ofta (/22/ jernkontoret.se, 2019). Ut ur masugnen kommer råjärn, som innehåller omkring 4 % kol. Om man vill tillverka stål, måste ännu kolhalten i järnet minskas till högst 2 %. Detta görs genom smältfärsning, då järnet upphettas till minst 700 grader och kolhalten minskas genom syretillförsel.

Vanligtvis vill man fästa tornet i marken, till exempel med ett betongfundament och/eller staglinor av metall. Betong tillverkas genom att blanda grus, berg, vatten och cement. Betongens livslängd mäts ofta i närmare 100 år (/23/ svenskbetong.se, 2017), och den är återvinningsbar. Vanligtvis bryts råvarorna för betongen i närområdet, vilket minskar miljöbelastningen, eftersom kortare transportsträckor då krävs (/24/ betong.se, 2017).



Cementen för betongen tillverkas av kalksten och andra bergarter som måste brytas ur jordskorpan för att kunna användas vidare. Det brutna stenmaterialet krossas och värms till över 1400 grader innan det blandas med gips och sand. Till sist används cementen som bindemedel i betongen (/25/ cementa.se: *Så här tillverkas cement*).

Cementproduktionen kräver oerhört mycket energi och råvaror samt ger upphov till en hel del avfall i form av till exempel överblivet stenmaterial från brytningen. Stora mängder vatten krävs även för att uppnå olika egenskaper hos cementen, vilket i torrare delar av världen kan leda till för låga grundvattennivåer. Globalt sett står cementtillverkning för en av de största punktutsläppen av koldioxid, med omkring 3-4 % av totala andelen koldioxidutsläpp. Mycket av utsläppen uppstår vid förbränningen av bränslet som värmer upp stenmaterialet, där det nästan uteslutande är fossila bränslen som används för uppvärmning. Dessutom frigörs bunden koldioxid från stenmaterialet då det upphettas. I industriländerna har ändå koldioxidutsläppen vid cementtillverkningen minskat betydligt på senare tid (/26/ cementa.se: *Nollvision för koldioxid*).

En av betongens egenskaper är dess förmåga att binda koldioxid i sig under sin livslängd. Detta kallas för karbonatisering och kompenserar något för de stora koldioxidutsläppen som uppstår under betongens tillverkningsprocess. Betong kan i bästa fall ta upp två tredjedelar av den mängd koldioxid som gick åt för att tillverka och utvinna cementen i den (/24/ betong.se, 2017). Några större mängder betong brukar ändå inte användas i de småskaliga vindkraftverken. Ifall betong används, brukar det vanligen användas i fundamentet som fäster järn- eller stålornet i marken. Detta är aktuellt endast för de största småskaliga vindkraftverken, de med en effekt på omkring 10 kW.

Det är viktigt att notera att inte alla uppräknade material krävs för att hålla småskaliga vindkraftverk stabilt förankrade. För de minsta kraftverken räcker några metallskravar för att fästa dem i ett stadigt underlag.

I utvecklingsländer brukar egentillverkade småskaliga vindkraftverk ofta ha rotorblad av trä, palmlblad eller liknande billiga naturmaterial (/28/ Khennas, Dunnett & Piggott, 2003). Tornet kan bestå av en trädstam. Sett ur energieffektivitetens synpunkt är dessa ändå inte de bästa materialen, och glasfiber är därför helt dominerande i i-länderna. Jämfört med materialen som

används i i-länderna får ändå de använda naturmaterialen i u-länderna anses mycket miljövänliga, eftersom det krävs lite energi att förädla dem.

Naven, som överför rotorbladens rörelseenergi till generatorhuset, består främst av specialstål (magnetstål), aluminium, koppar och oftast mycket kraftiga magnetiska material.

Man tillverkar magnetstål genom att tillsätta andra ämnen, så kallade legeringsämnen, så att deras andel i stålet blir minst 5 %. Magnetstål kan innehålla krom, volfram eller molybden, för att bibehålla en så hög och jämn magnetism som möjligt i de delar av vindkraftverket som är magnetiska (/29/ unionpedia.org).

Aluminium och koppar utvinns ur berggrunden, men en del kommer också från återvinning.

Aluminium utvinns ur bauxit, och utvinningen är mycket energikrävande, eftersom en elektrolysning vid hög temperatur krävs för att få ren aluminiumoxid (/30/ alutrade.se).

Tillverkar man delar till ett vindkraftverk ur återvunnen aluminium kommer energimängden som krävs att vara endast 5 % av den som krävs för att utvinna aluminium ur bauxit (/31/ dalaavfall.se).

Koppar utvinns ofta ur dagbrott, och förädlas vidare från bruten malm. Malmen måste anrikas och rostas vid hög temperatur, för att avskilja svaveloxider. Sedan smälts den bildade slaggen och syre tillsätts, varvid järnet bildar järnoxider och kvar blir kopparsulfid, som ännu en gång värms upp i en ugn (/32/ copperalliance.se). Koppar kan återvinnas i sin helhet och mycket återvunnen koppar används globalt. Precis som med aluminium kan energiåtgången minskas kraftigt om man i tillverkningen av vindkraftverk använder återvunnen metall istället för nyutvunnen.

Sällsynta så kallade jordartsmetaller som till exempel skandium och yttrium kan också förekomma i vissa vindkraftverk, vanligtvis i generatorm. För framställning av dessa material krävs också brytning av mycket stenmaterial (/33/ livescience.com).

Mindre vindkraftverk tillverkas på många ställen och ofta behövs kortare transportsträckor för dem än för större vindkraftverk. Dessutom väger de små vindkraftverken inte så mycket och därför kräver vanligtvis transporterna av dem mindre bränsle än motsvarande transporter för stora vindkraftverk. Ofta transporteras många olika komponenter för småskaliga vindkraftverk samtidigt, vilket effektivare gör att komponenterna hittar sin väg fram till

konsumenterna. Vanligtvis är det först mellan försäljaren och konsumenten som de småskaliga vindkraftverken transporteras ensam. I många fall är vindkraftverken så små, att de med lätthet ryms till exempel i en personbil (/15/ designlife-cycle.com, 2014).

Av råvarorna till vindkraftverken är det vanligtvis metallerna som måste transporteras den längsta vägen. En tredjedel av jordens koppar bryts till exempel i Chile. Det kan också vara långt mellan gruvorna och fabrikerna som förädlar metallerna (/35/ mining-journal.com, 2019).

De flesta företag specialiserade på småskaliga vindkraftverk tillverkar dem i delar. Vanligtvis krävs en hel del transporter dels för att få alla delar färdiga, dels för att få iväg dem till konsumenten. Under monteringsgången kan det hända att lyftkranar och andra större maskiner behövs (/15/, designlife-cycle.com, 2014), medan små vindkraftverk för till exempel segelbåtar kan installeras ganska enkelt av konsumenten själv. Små vindkraftverk utanför elnätet används vanligtvis till laddning av ackumulatörer. Tillverkningen av ackumulatörer kräver också en hel del råvaror och energi.

Under vindkraftverkets användningstid kan delar behöva bytas ut, ersättas eller få inhyrd service. Allt detta kräver också transporter. Under den slutliga återvinningen av vindkraftverkets delar krävs det också transporter av material till återvinningscentralerna (/15/ designlife-cycle.com, 2014).

### **3.1.1 Återvinning**

Små vindkraftverk är betydligt lättare att återvinna än stora vindkraftverk, eftersom transporten av små rotorblad är ganska lätt (/38/ energimyndigheten.se, 2013).

Betongfundamenten kan alltid återvinnas väl, och eventuella armeringsjärn i dem kan avlägsnas med magneter. Efter återvinningen kan betongen användas till exempel som fyllnadsmassa (/16/ epvtuulivoima.fi, 2017).

Ofta är glasfibrerna den del som är svårast att återvinna i ett använt vindkraftverk (/40/ svenska.yle.fi, 2017). Rotorblad kan återvinnas genom att bryta ner dem på till exempel på

kemisk eller mekanisk väg. Energiåtervinning går också, och då brukar rotorbladen användas som tillsatsämne i cement efter förbränning. De kan även malas ner och resterna kan användas som markutfyllnad. I Tyskland är återvinningen av rotorblad av glasfiber svårt, då det inte är tillåtet att använda dem som markutfyllnad. Kolfiber går lättare att återvinna men är samtidigt inte lika ekonomiskt lönsamt, eftersom de återvunna kolfibrerna har ett lågt marknadsvärde (/38/ energimyndigheten.se, 2013).

Viktigt att tänka på under återvinning av material är att en del av energin alltid kommer att försvinna, och går inte att utnyttja längre. Då man strävar efter ekologiska och miljövänliga energiformer är det viktigt att se till att energiförlusterna i alla delar av livscykeln är så små som möjligt. Med hjälp av återvinning kan energiförlusterna minskas, men aldrig bli noll.

Man strävar hela tiden efter att använda så lätta material som möjligt i vindkraftverken, och förmodligen kommer andelen lätta material att öka mycket i framtidens vindkraftverk, oberoende av vindkraftverkets storlek. Det verkar även som om tillverkarna strävar efter att ännu grundligare granska hela livscykelkedjan för de olika materialen som används. Om valet står mellan ett lättare material som kräver mycket naturresurser för att utvinnas, och ett litet tyngre material, kanske av återvunnet material, kommer antagligen framtidens utvecklare av vindkraft att välja det senare alternativet.

## 3.2 Praktiska synvinklar

Under vindkraftverkets användningstid kommer långt ifrån all kinetisk energi i vinden att omvandlas till elektrisk energi i vindkraftverkens generatorer, i själva verket kommer mycket energi att förloras i energiförluster. Betz lag anger det teoretiska högsta värdet (effekten P) som kan fås ur ett vindkraftverk då vinden blåser med hastigheten v:

$$P = \rho * A * (v^3/2), \quad [1]$$

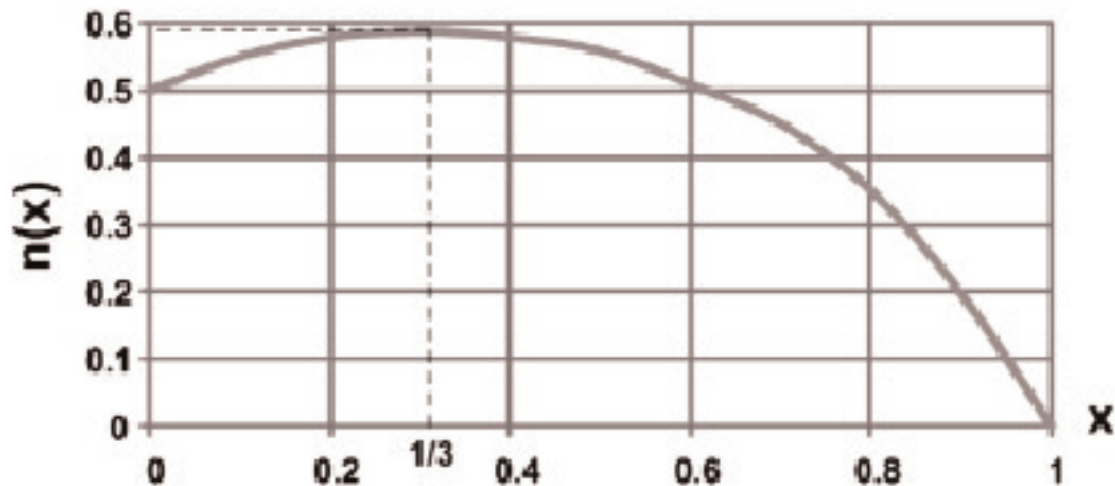
där P är effekten som fås ur vindkraftverket,  $\rho$  är luftens densitet (vanligen  $1,2 \text{ kg/m}^3$ ), A är den area som bromsar upp vinden mot vindkraftverket (vanligen rotorarean) och v är luftens hastighet i meter per sekund precis innan den når vindkraftverket.

Ur Betz lag kan man härleda, att den teoretiska högsta effekten som kan utvinnas ur ett vindkraftverk är 59 % av energiinnehållet för vinden som blåser precis framför vindkraftverket (/42/ energyeducation.ca). Se även figur 2.

Om formeln fortsätts härledas vidare bildas

$$P = \rho * A * (V^3/2) * C_p \quad [2]$$

där  $C_p$  alltid är under 59 % och kallas effektkoefficient. Idag (2020) har de bästa vindkraftverken en maximal uttagbar effekt på omkring 47 %. Formeln visar också, att en fördubbling av vindhastigheten leder till ett åtta gånger högre uttag av elektricitet från generatorn. Skillnaden mellan en vind på 3 m/s och 6 m/s är alltså ganska stor, då man granskar det ur vindkraftverkens perspektiv.



Figur 2. Grafisk framställning av Betz lag. Grafen visar hur högst 59 % av vindens rörelseenergi kan omvandlas till mekanisk energi. (researchgate.net).

För att ett småskaligt vindkraftverk ska vara lönsamt och överhuvudtaget producera tillräckligt med elektricitet, säger riktlinjerna att det årliga medelvärdet hos vinden borde vara minst 4-5 m/s, och lönsamheten ökar rejält om den överstiger 6 m/s årligen. Ett årsmedeltal på 3 m/s eller mindre är inte lönsamt.

På motsvarande sätt kommer för höga vindhastigheter kräva att vindkraftverkets automation stoppar rotorbladen för att förhindra slitage, olyckor och överbelastning. Detta kallas effektregering. Märkvinden är den vindhastighet vid vilken vindkraftverket producerar som mest elektricitet, vilket bildar vindkraftverkets märkeffekt, och då vindhastigheten överstiger märkvinden kommer rotorbladen att vridas lite i förhållande till vinden. Detta görs för att bibehålla ett jämnt effektuttag, men minskar samtidigt belastningen.

Ifall den årliga vindhastigheten på höjden  $h_0$  är känd kan formeln

$$V_h = V_0 (h/h_0)^\alpha \quad [3]$$

räkna ut den faktiska vindhastigheten på en annan höjd.  $V_h$  är vindhastigheten vid en viss navhöjd,  $V_0$  är vindhastigheten för en redan känd referenshöjd,  $h$  är navhöjden för vindkraftverket och  $\alpha$  är vindens friktionskoefficient. Ju högre värde på friktionskoefficienten, desto flera hinder finns det som påverkar vindhastigheten. Ett öppet hav kommer att ha en

friktionskoefficient på omkring 0,10 medan ett småhusområde med en del träd kommer att ha en friktionskoefficient på cirka 0,30. Det uppmätta värdet är ändå ungefärligt och kan variera mycket under årets lopp.

I vissa fall kan det finnas färdigt installerade vindkraftverk på ett ställe. Då behöver vanligtvis inte en ny utredning eller vindkartering göras ifall ett till vindkraftverk ska resas, men det förutsätter att förhållandena för det nya vindkraftverket är de samma som för vindkraftverket som redan snurrar, dvs. inga hinder får förekomma och navhöjden på det nya vindkraftverket ska vara densamma eller högre än navhöjden på det äldre vindkraftverket (/43/ windempowerment.org: *Wind Resource Assessment - the Basics*).

Under användningstiden kommer vissa komponenter att slitas mer än andra, och möllorna måste genomgå service med jämna mellanrum. Slitage påverkar den möjliga effekten som går att utvinna ur vinden, och man kan säga att endast ett vindkraftverk i nyproduktion kan ha möjlighet att utvinna elektricitet enligt angiven maximal effekt. Med tiden kommer slitaget på framförallt växellådor och rotorblad ge en effekt klart under maxeffekten (/45/ expressen.se, 2019). Regelbundet underhåll kommer att leda till flera timmar med aktivt utnyttjande av vinden och mindre slitage på de känsliga delarna.

I nordliga förhållanden, speciellt i områden med fuktig luft, kan också isbildning på rotorbladen påverka effekten man får ut från vindkraftverken. På stora vindkraftverk kan ismängder på rotorbladen leda till totalstopp av hela vindkraftverket (/46/ helahalsingland.se, 2013), medan småskaliga vindkraftverk främst påverkas negativt av mindre ismängder i och med ett ökat slitage av rotorbladen och sämre aerodynamiska egenskaper för dem. På de allra minsta vindkraftverken är rotorbladen så små, att tillräckligt stora ismängder som kan stoppa elproduktionen helt och hållet knappast kan uppkomma.

### 3.3 Ekonomiska synvinklar

Den som vill resa ett småskaligt vindkraftverk vill även utreda de ekonomiska aspekterna för det. Att ta reda på förbrukningen i ett hushåll, gärna månad för månad, är en bra början. Det är viktigt att komma ihåg att eventuell överskottsenergi från ett vindkraftverk egentligen inte kan lagras, och att vindstilla dagar eller dagar med för lite vind kan vara problematiska. Detta gäller framför allt under kalla vinterdagar.

De faktorer som främst påverkar den ekonomiska lönsamheten för småskaliga vindkraftverk är turbinens storlek i kW, vindens medelhastighet på stället där vindkraftverket står tillsammans med underhåll och kvalitet hos själva produkten. Till exempel kan tillverkningsfel orsaka ett snabbare slitage på rörliga delar vilket leder till ökade kostnader, både lång- och kortsiktigt ([/47/ windempowerment.org](http://www.windempowerment.org): *Small Wind Turbines - The Basics*).

Tillverkningsstället för vindkraftverket och dess delar påverkar också, vanligen gäller att ju mera närtillverkat, desto billigare blir vindkraftverket. Eventuella tekniker som måste resa för att installera eller underhålla ett vindkraftverk kommer också att ge en större slutavgift ju längre bort från tillverkaren vindkraftverket finns.

Under ett småskaligt vindkraftverks livslängd är kostnaden för själva strukturen ganska liten. Driftskostnader och underhållskostnader står för en betydligt större andel av totalkostnaderna. Om man själv är tekniskt lagd kan man kanske själv reparera mindre vindkraftverk, vilket sparar pengar. I sådana fall brukar endast kostnader för eventuella reservdelar att vara en extra utgift.

Ju större effekt vindkraftverk har, desto billigare kommer elektriciteten i kWh ur dem att vara. För större elsystem, till exempel höghus eller bondgårdar, kommer alltså elen att vara jämförelsevis billig jämfört med ett litet vindkraftverk som ersätter en del av elförbrukningen i ett småhus.

I slutet av livscykeln för ett vindkraftverk kan man tjäna lite pengar på att föra det uttjänta vindkraftverket till återvinningsföretag, som kan betala en avgift för skrotet. Är det fråga om



ett större vindkraftverk brukar ändå kostnaderna för själva nedmonteringen vara så stor att det blir en betydligt större utgift än marknadsvärdet för skrotet (/47/ windempowerment.org: *Small Wind Turbines - The Basics*).

För att bättre räkna ut lönsamheten ur ett ekonomiskt och energimässigt perspektiv i ett vindkraftverk kan energiåtgången i ett typiskt egnahemshus på olika ställen i Europa utredas. Detta kan göras till exempel med hjälp av energisimuleringsprogrammet IDA ICE. Principen för IDA ICE bygger på att man gör en modell av en byggnad, väljer en geografisk plats på jorden och kan sedan simulera värden för toppeffekterna som krävs för uppvärmning och kylning, och se vilken tid på året dessa infaller, för att en jämn inomhustemperatur ska upprätthållas inom ett temperaturintervall man själv väljer.

Simuleringarna gjordes på ett 148 m<sup>2</sup> stort hus i ett plan, med ganska mycket fasad mot söder (se bilagorna 3-6). Huset var likadant i alla fyra simuleringar, endast det geografiska läget varierade med platserna Jyväskylä, Malmö, Frankfurt och Sevilla. Meningen var att få fram ett så exakt värde som möjligt för energiförbrukningen i ett vanligt småhus i samma fyra europeiska länder vars förutsättningar för vindkraft detta arbete närmare har undersökt. Resultaten blev följande:

Jyväskylä: 14,2 kW uppvärmning den 15 februari, 5,1 kW kylning den 15 juli.

Malmö: 7,3 kW uppvärmning, 5,0 kW kylning, maxvärden uppnås samma datum som Jyväskylä.

Frankfurt: 6,8 kW uppvärmning den 15 januari, 5,6 kW kylning den 15 juli.

Sevilla: 4,0 kW uppvärmning, 9,6 kW nedkylning, maxvärden uppnås samma datum som Frankfurt.

Det är också viktigt att lägga märke till ungefär vilken tid på året energiförbrukningen kan bli hög i ett hus. Exempelvis producerar ett vindkraftverk i Finland vanligen mest elektricitet under vinterhalvåret (/3/ tuuliatlas.fi: *Vindpotentialen i Finland*). Detta gör det tacksamt att använda dem för produktion till eluppvärmning i hus, jämfört med till exempel solpaneler som knappt producerar någon energi alls under vintern då elektriciteten behövs som mest. Det går att se att samtliga fyra utvalda städer i Europa har sin toppeffekt för kylning i mitten av juli, vilket är ett medeltal för klimatet under en längre tid. De nordligare belägna orterna Malmö och Jyväskylä kräver en toppeffekt för uppvärmning mitt i februari, medan de två

sydligare orterna Frankfurt och Sevilla har sin uppvärmningstopp i genomsnitt en månad tidigare.

Återbetalningstiderna för små vindkraftverk varierar mycket beroende på årstid, effekt, antal tillbehör vid införskaffningen, medelvindhastigheten, elpriset från det nationella elnätet, och kostnaden för underhåll och reparationer under vindkraftverkets livstid. Ifall vindkraftverket är kopplat till det nationella elnätet, dit ett eventuellt överskott kan säljas, kan återbetalningstiden minskas, men denna teknik kräver å andra sidan flera kostsamma elektriska komponenter som förenar elnäten med varandra. Denna metod kräver också generösa ersättningar från staten, och betalas vanligtvis per inmatad kWh. Generellt gäller att större vindkraftverk har kortare återbetalningstid än små, men alla återbetalningstider räknas ofta i flera år (/51/ atl.nu, 2006). Återbetalningstider på under 10 år är acceptabla, medan den som gjort en god planering innan installationen av vindkraftverket kan glädja sig åt återbetalningstider på 4-7 år (/52/ tuge.ee).

Kan två stycken mindre vindkraftverk nära varandra vara lämpliga och ge kortare återbetalningstider, istället för att ett stort vindkraftverk installeras? Två vindkraftverk behöver betydligt mera utrymme, men kan i vissa fall ge lika mycket elektricitet som ett större vindkraftverk. Man måste tänka på bland annat deras placering i förhållande till varandra. Om två eller flera vindkraftverk står efter varandra i vindriktningen som råder, kommer vindkraftverket längre bak att uppleva luftvirvlar i vinden som träffar navet och rotorbladen (/53/ planningni.gov.uk). Dessa virvelströmmar sänker effektivt verkningsgraden och ger en ojämnare gång, vilket kan öka slitaget, kräva tätare underhåll, och därmed ökar återbetalningstiden. I Finland, Sverige, Tyskland och Spanien är vanligtvis sydväst- och västvindar från Atlanten den förhärskande vinden, vilket betyder att vindkraftverk som står nära varandra inte borde placeras i efter varandra.

## 3.4 Småskalig vindkraft i Finland

I Finland blåser det mest under vintern och minst under sommaren. Atlantens lågtryck, som påverkar Finland främst under vintern, ger en ganska hög årsmedelvindhastighet jämfört med många delar av södra Europa. Samtidigt saknar stora delar av Finland breda, öppna ytor, vilket betyder att de inre delarna av Finland som inte ligger i närheten av större sjöar kommer att ha en relativt låg årsmedelvindhastighet. Istället bildar skärgården, kustbandet och delar av fjällområdet ganska bra underlag för vindkraft.

Problemen med ovannämnda områden är den ojämna tillgången till vindkraft, eftersom årsmedelvindhastigheten kommer att variera en hel del mellan olika årstider. Den jämnaste årliga tillgången på vindkraft i Finland finns i inlandet, långt från kusten och fjällen (/3/ tuuliatlas.fi: *Vindpotentialen i Finland*).

Jämfört med många andra länder i Europa har alltså Finland ganska bra möjligheter för både stor- och småskalig vindkraft, men samtidigt är vindkraften av marginell betydelse för Finlands energiförsörjning, år 2017 stod den för 6 % av elförsörjningen (/55/ tuulivoimayhdistys.fi: *Tietoa tuulivoimasta*).

I tätorter behöver vindkraftverk på den egna tomten bygglov från kommunen innan de kan resas. Bygglov kan ansökas från kommunernas byggnadsnämnd. Vanligen måste även grannarnas åsikter tas i beaktande, till exempel ifall vindkraftverket kan orsaka buller eller störande skuggor. Användning av nätinverter för överföring av el till det nationella elnätet kräver tillstånd från elbolagen (/8/ tuulivoimayhdistys.fi, 2011). Figur 3 visar ett exempel på ett finskt vindkraftverk som matar in den producerade elen direkt i elnätet.

Arbets- och näringsministeriet kan ge ekonomiskt stöd för innovationer som ger förnybar el, minskar på användningen av kol för energi- och värmeutvinning eller för projekt som effektiverar och minskar energianvändningen i Finland. Vanliga projekt som får stöd är småskaliga utvinningar av förnybar energi, till exempel vindkraft eller solceller, och utgiften måste vara minst 10 000 € för att vara berättigad ekonomiskt understöd. Speciellt viktigt blir stödet i de fall, då pengarna inte räcker till att överhuvudtaget genomföra ett projekt. Det är än så länge endast företag, kommuner och föreningar som kan få ekonomiskt understöd (/57/

tem.fi: *Energiatuki*). År 2019 gick 15-20 % av allt utbetalt stöd till projekt inom småskalig vindkraft. Det är inte hela utgiften för de småskaliga vindkraftsprojekten som ersätts, utan den ersatta summan ligger typiskt på ca 20-40 % av totalinvesteringen (/58/ tem.fi: *Tuettavat hankkeet ja tuen enimmäismäärät*).

Enligt en lag från 2010 kan vindkraftsprojekt, som uppfyller av Arbets- och näringsministeriet satta direktiv, erbjudas ett tariffsystem med inmatningspris. Under maximalt tolv års tid kan då ett av ministeriet godkänt vindkraftverk få ett ekonomiskt understöd som följer marknadspriset på el, dvs. ett rörligt stöd. Syftet är att främja användningen och utvecklingen av förnybara energikällor och förbättra självförsörjningen av el och öka konkurrenskraften (/59/ finlex.fi, 2010). För privatpersoner är dessa understöd alltså inte aktuella, och för företag blir det aktuellt främst ifall flera små vindkraftverk reses, då den totala investeringen eller effektuttaget annars inte är tillräckligt stort för att bli berättigat ett understöd.



*Figur 3. Vindkraftverket "Viikkeri" står i Vik i Helsingfors och matar ut den producerade energin direkt i stadens elnät. Vindkraftverket är av modell SkyStream 3.7 från USA, har en toppeffekt på 2,4 kW och navhöjden 12 m. Fotograf Robert Toivanen.*

Saaristotekniikka.com är ett företag som specialiserar sig på produkter för sommarstugor och fritidsbåtar, till exempel energisystem för stugor som inte är kopplade till det nationella elnätet.

De säljer ett småskaligt vindkraftverk, kallat Ista-Breeze 500 W med rotordiametern 1,03 m. Det kostar 388 € och tillverkaren lovar att det lätt kan installeras på till exempel stugtak. Startvinden som krävs är 3 m/s, märkvinden är 12,5 m/s och försäljaren lovar även ett digert utbud av reservdelar. För detta vindkraftverk rekommenderas en 4-7 m hög mast, med staglinor som håller konstruktionen stadig (/60/ saaristotekniikka.com). Den bästa platsen för installation är förmodligen hustaket eller marken, förutsatt att området runtomkring är öppet helst åt alla väderstreck.

Konsumenter har testat vindkraftverket och skrivit om sina erfarenheter av det på YouTube (/61/, Paku 2013). Enligt dem fungerar vindkraftverket inte bra ur ett energiperspektiv. Startvinden är oftast högre än den utlovade 3 m/s och vinden borde vara kraftig och så jämn som möjligt för att vindkraftverket ska kunna producera ens hälften av den utlovade effekten. Vindkraftverket har även haft problem med att hålla skruvarnas muttrar på plats i naven, eftersom skyddshöljet av plast inte alltid är tillräckligt starkt för att hålla dem på plats.

Samma återförsäljare säljer även ett 2 kW vindkraftverk, kallat Ista-Breeze i-2000. Startvinden är 2 m/s och märkvinden är 12,5 m/s. Vindkraftverket kostar 999-1599 € och i priset ingår inte torn eller tillbehör för ackumulatorer. Rotordiametern är 2,1 m (/62/ saaristotekniikka.com).

Saaristotekniikka.com erbjuder två stycken vindkraftverk med en utlovad märkeffekt på 4 kW: Ista-Breeze Heli 4.0 för 3990-4990 € och 4 kW Ista Breeze 350 VAC Heli för 9990-11200 €.

Ista-Breeze Heli 4.0 har en teknik som lyfter vindkraftverket till och med 90 grader uppåt vid hård vind, detta minskar vindens träffyta mot rotorarean vilket förbättrar dels vindkraftverkets effektuttag och dessutom minskar slitaget på de rörliga delarna. Försäljaren lovar att denna teknik förbättrar möjligheterna att utvinna energi även ur svag vind, vilket innebär att startvinden är 2,9 m/s. Rotordiametern är 3 m (/63/ saaristotekniikka.com).

Ista Breeze 350 VAC Heli är ett dyrt vindkraftverk men i priset ingår även en 5 kW nätinverter och en 350 VAC styrenhet. Detta vindkraftverk kan bra användas i kombination med solceller och nätinvertern kan överföra överskottselen från vindkraftverket till det nationella elnätet. De tekniska specifikationerna är samma som för Ista Breeze Heli 4.0 (/64/saaristotekniikka.com).

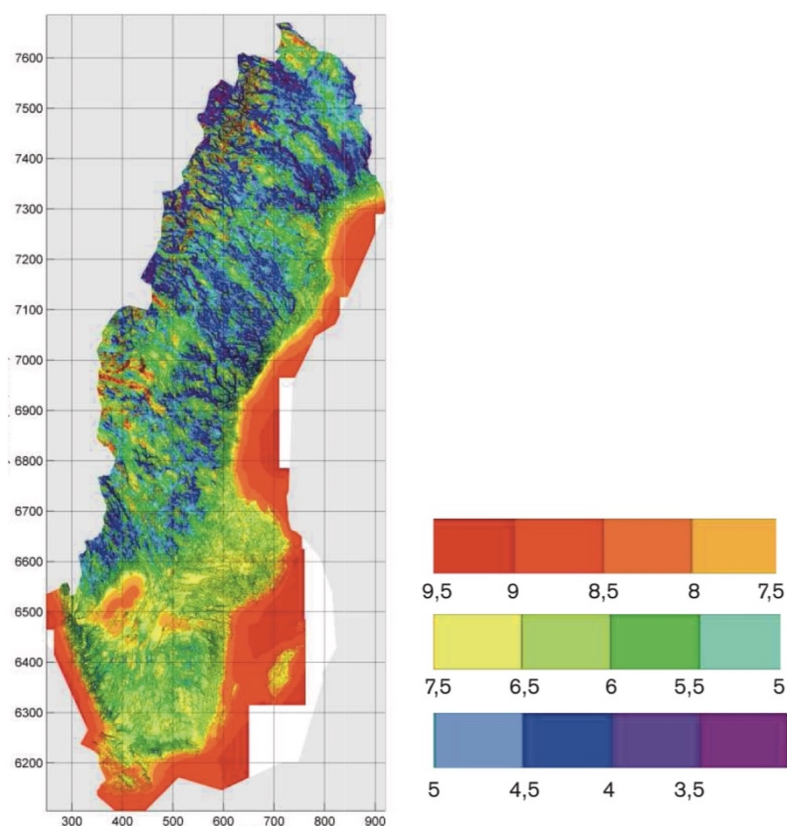
Vindkraftverket med störst effekt som behandlas här är ett vindkraftverk med märkeffekten 10 kW som kostar 11900-14200 €. Den teoretiska maxeffekten är 12 kW och startvinden är 3 m/s. Den optimala vindhastigheten är 11 m/s och rotordiametern 7,5 m . Återförsäljaren kan inte erbjuda en nätinverter, utan en sådan måste köpas skilt, vilket leder till ytterligare kostnader ifall vindkraftverket ska kopplas till det nationella elnätet (/65/saaristotekniikka.com).

Ilmavirta är ett finskt företag som erbjuder lösningar för den som vill utvinna egen, förnybar energi. I sitt sortiment har de ett litet vindkraftverk med effekten 1,55 kW, framtaget uttryckligen för att minska elräkningen för användaren. Detta Osirisvindkraftverk har en rotordiameter på 3,2 m, en startvind på 2,4 m/s och märkeffekten uppnås vid 10,5 m/s. Ett begagnat Osirisvindkraftverk kostar 2500 €, ett nytt kostar 8060 € (/66/ Ilmavirta.com: *Osiris 1,55 kW*). Till skillnad från vindkraftverken från saaristotekniikka.com, som alla har tre rotorblad, har detta vindkraftverk fem stycken rotorblad.

### 3.5 Småskalig vindkraft i Sverige

Förutsättningarna för vindkraft i Sverige är liknande som i Finland, med skillnaden att kusten är längre, havsområdet större och fjällvärlden större och högre. Den sydligaste delen av landet består dessutom till största delen av åker och annan öppen mark. Detta skapar bra förutsättningar för vindkraft, samtidigt som Sverige ligger i det område som Atlantens lågtryck ofta passerar vintertid, vilket leder till en god energiutvinning från vindkraft under framför allt vintern. Figur 4 visar en vindatlas över hela Sverige.

Vindkraftens andel av den totala energiprodukten i Sverige har ökat betydligt under 2000-talet, jämfört med tidigare då den var extremt liten. Samtidigt som vindkraftens andel ökar, kommer också problem i anslutningen till den variabla produktionen av vindkraft att uppstå, då till exempel vatten- och kärnkraft kännetecknas av en jämn och förutsägbar produktion (/67/ energimyndigheten.se, 2018: *Vind i elsystemet*).



Figur 4. Medelvinden i m/s på 100 m höjd i Sverige (vindkraftskurs.se).

Alla småskaliga vindkraftverk med en maximal höjd på 20 meter och en rotorarea som understiger 3 meter (ofta kallade miniverk) kan uppföras utan bygglov, ifall miniverket placeras på marken tillräckligt långt från tomtgränser. Miniverk som placeras på byggnader kräver alltså vanligen bygglov. Om två eller flera små vindkraftverk placeras nära varandra har de anmälningsplikt enligt miljöbalken. Miniverk som uppförs eller ändras måste ändå anmälas till kommunen, som kan granska att krav om tekniska egenskaper uppfylls. Det är inte tillåtet att påbörja uppförandet av miniverk innan kommunens byggnadsnämnd gett sitt godkännande (/68/ energimyndigheten.se, 2019: *Planering och tillstånd*).

Det är vanligen vindkraftverk med en effekt närmare 10 kW som kan överstiga ovannämnda gränser, och de kräver vanligen bygglov från kommunen innan uppförande och deras höjd får inte överstiga 50 meter (/69/ energimyndigheten.se, 2019: *Gårdsverk*).

Sedan 2015 kan privatkonsumenter som matar ut överskottsel från vindkraftverk till elnätet få en skattereduktion på 60 öre per kWh utmatad el. Kraven är en säkring på högst 100 A och den årliga utmatade elen får inte överstiga 30 000 kWh (/70/ Svensk vindkraftförening: *Finns det vind finns det möjligheter!*).

Windforce Ab erbjuder ett vindkraftverk av modellen Vindblomma med märkeffekten 1 kW. Det speciella med vindkraftverket är att det har många rotorblad och en lågvarvig generator, vilket leder till att en ytterst svag vind på 1,5 m/s kan starta det. Rotordiametern är 2 meter och märkeffekten uppnås vid 12 m/s. Priset för vindkraftverket är motsvarande 2 810 € utan tillbehör, uppemot 4 400 € med tillbehör och dessutom kan master med höjden 6 och 10,5 meter köpas, de kostar ytterligare 810 och 1810 €. Vindkraftverkets totalsumma kan alltså lätt överskrida 6000 € (/71/ windforce.se).

Samma företag erbjuder även ett litet större vindkraftverk vid namn Windstar 3000, med 3 kW märkeffekt vid 12 m/s. Den teoretiska maxeffekten är 3,5 kW och startvinden litet högre, 2,5 m/s, jämfört med Vindblomman. Rotordiametern är den största tillåtna innan svenskt bygglov krävs, alltså 3 meter. Eftersom Windstar 3000 har fem rotorblad, lovar tillverkaren att den ger högre effekt vid lägre vindhastigheter än andra vindkraftverk med liknande märkeffekt. Vindkraftverket kostar 5630-7150 € beroende på antal tillbehör som till exempel växelriktare, och en mast på 1810 € erbjuds också (/72/ windforce.se).



Innoventum AB grundades 2010 och är ett svenskt företag specialiserat på förnybar energi, främst vind- och solenergi. Företaget grundades av en universitetsprofessor och produktutvecklingen har skett bland annat tillsammans med universitetsstuderande. Idag erbjuder detta företag fyra olika modeller av småskaliga vindkraftverk (/73/ innoventum.se, 2018).

Dali Performance är ett litet vindkraftverk tillverkat i Sverige av Innoventum. Tillverkaren lovar en låg startvind på 3 m/s tack vare vindkraftverkets lätt utformade blad av glasfiber-arterad plast. Rotorbladen i detta vindkraftverk utlovas väga hälften jämfört med vad andra modellens rotorblad väger. Denna nya teknik syns också i slutpriset för vindkraftverket, som är 23 500 euro momsfrött. I priset ingår ett 12 meter högt torn av trä på vilket vindkraftverket är monterat. Vindkraftverket fås i tre effekter: 3,0 kW, 3,7 kW och 5,5 kW, som tillverkaren lovar att kan uppnås vid märkvinden 12 m/s. Rotordiametern är 3,00 m, 3,50 m eller 4,00 m beroende på vindkraftverkets effekt (/74/ Innoventum: *Dali Performance*).

Innoventum AB har också ett betydligt större vindkraftverk tillgängligt för konsumenter. Det kallas Dalifant, har en märkeffekt på 11 kW och monteras på ett 20 m högt fackverkstorn av trä. Även om detta vindkraftverk har en effekt som egentligen ligger utanför detta arbetes huvudsakliga fokus, kan det vara bra att jämföra även detta relativt stora vindkraftverk med de mindre. Detta vindkraftverk har endast två rotorblad.

På grund av sin storlek passar det bra till exempel för mindre bondgårdar, och det kräver en hel del plats. Innoventum lovar en mycket hög energiproduktion per andelen materialvikt i vindkraftverket, och den stora användningen av trä i konstruktionen utlovas även minska vindkraftverkets ekologiska fotavtryck som helhet.

Märkeffekten hos Dalifant uppnås redan vid 9,5 m/s, och ifall den årliga medelvindhastigheten är 6 m/s kan de två rotorbladen utvinna omkring 38 000 kWh per år. Tornet och vindkraftverket kan köpas till priset av 101 300 euro, och då ingår inte moms (/75/ Innoventum: *Dalifant*).

Företaget De IJssel Coatings Norden tillverkar produkter av epoxi, polyester och polyuretan. Deras produkter är framför allt framtagna för båtliv. De har framtagit ett tyst vindkraftverk

vid namn Superwind 350. Vindkraftverket är främst menat för fritidsbåtar och sommarstugor, och utlovas ha en mycket jämn elproduktion vilket underlättar laddningen av ackumulatorer.

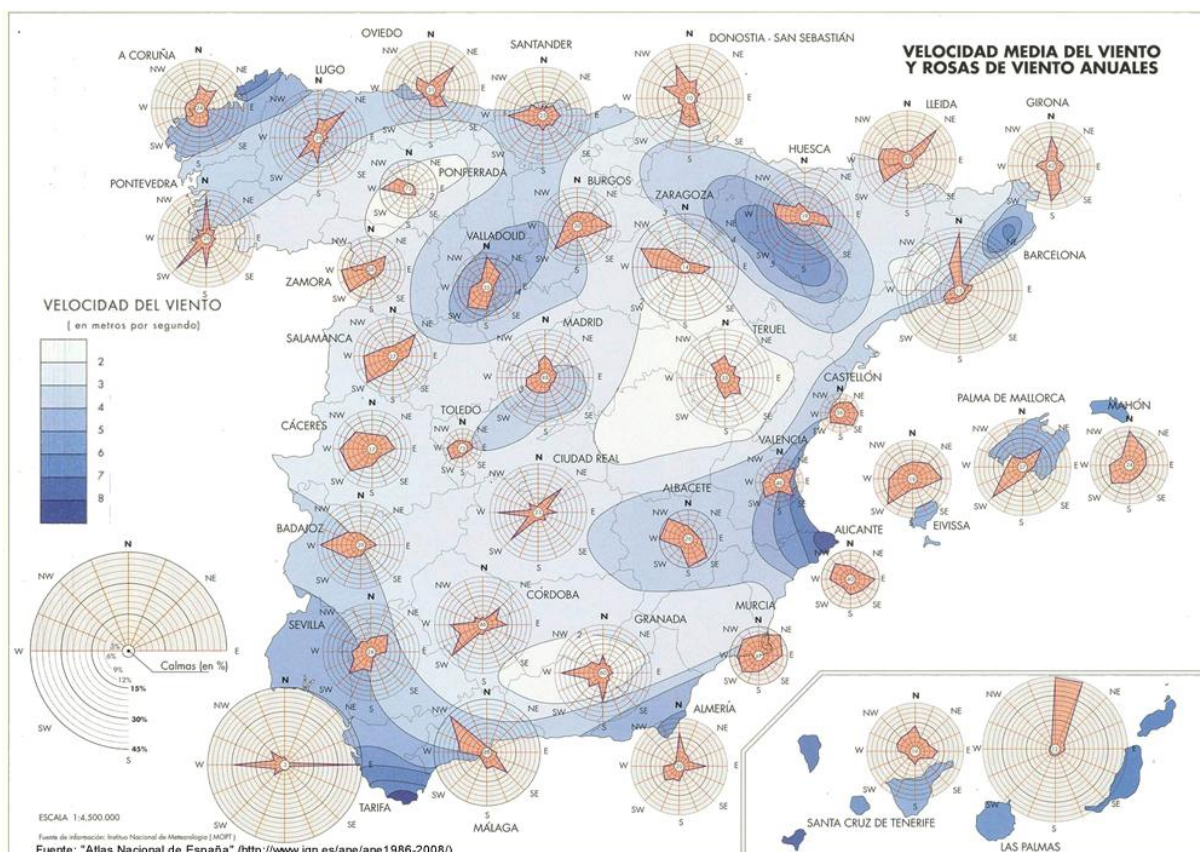
Det lilla vindkraftverket uppnår märkeffekten 350 W vid 12,5 m/s och har en rotordiameter på 1,22 m. Startvinden är 3,5 m för rotorbladen tillverkade av kolfiberarmerad plast. Priset ligger på omkring 1400 euro (/76/ De IJssel Coatings Norden: *Superwind 350*).

## 3.6 Småskalig vindkraft i Spanien

Spanien har ett väl utbyggt nätverk av vindkraftverk. Detta beror bland annat på Spaniens geografi och politiska åtgärder för att öka andelen förnybar energi, vilket ledde till att landet i slutet av 2015 seglade upp på femte plats i världen i antalet utvunna megawatt ur vindkraftverk. Sammanlagt står vindkraften för omkring en femtedel av landets elproduktion.

Vinterklimatet i Spanien är gynnsamt ur vindkraftens synpunkt eftersom det blåser mycket nästan hela tiden framför allt mot slutet av året. Under vissa blåsiga dagar kan vindkraften i Spanien stå för över två tredjedelar av all producerad energi (/77/ ewind.es, 2019).

De flesta vindkraftverk hittas i de autonoma regionerna Kastilien och León, Kastilien-La Mancha, Andalusien och Galicien (se figur 5). Gemensamt med de två sistnämnda är närheten till Atlanten, medan Kastilien ligger i inlandet. Kastilien och Leon består till stora delar av en högplatå, medan Kastilien-La Mancha är en bergig region. Förutsättningar för vindkraft finns alltså på många håll i Spanien, inte bara i närheten av havet (/78/ aeolica.org).



Figur 5. Årliga medelvindhastigheter och vindriktningar i Spanien (ign.es).

För att gynna vindkraften har tarifferna hållits låga, vilket lett till att framför allt industrier som konsumerar sin elektricitet ur vindkraft har kunnat dra nytta av prissänkningar under 2000-talet (/77/ evwind.es, 2019).

Det förutspås att småskalig utvinning av vindkraft i Spanien kommer att fortsätta utvecklas, bland annat på grund av stigande priser på icke-förnybara bränslen. De förutspår att framför allt små, tysta modeller som med lätthet kan installeras på hus kan bli allmänna i framtiden, inte minst i kombination med solceller. Samtidigt måste ändå tekniken fortsätta att utvecklas för att öka energiproduktionen i små vindkraftverk, som samtidigt maximalt måste kunna utnyttja vindflödet. De förutspår framtidens spanska småskaliga vindkraftverk i form av en tyst snurra med lågt varvtal som samtidigt är billig och lätt att underhålla. För att uppnå detta måste tekniken ännu utvecklas, och Spanien ligger globalt framkant med utveckling och forskning inom vindkraft. Vindkraftsbranschen uppskattas sysselsätta omkring 24 000 personer i landet (/80/ Ecovidahomes 2019).

Det spanska företaget Bornay har utvecklat många olika modeller av småskaliga vindkraftverk i över 40 års tid. Det är ett av de största företagen inom den småskaliga vindkraftsbranschen, och idag finns deras produkter tillgängliga i över 60 länder (/81/ bornay.com: *Bornay, small wind turbines and photovoltaics*).

Bornay har en serie av vindkraftverk, kallad Wind+, som erbjuder många olika alternativ av vindsnurror med olika effekter. Wind+ lovas ha en låg startvind, möjligheter för fjärrstyrning och bra kompatibilitet med många olika ackumulatorer för laddning.

Wind 13+ (1,5 kW) och Wind 25.2+ (3,0 kW) har båda endast två rotorblad. De har en startvind på 3 m/s och producerar som mest elektricitet vid 12 m/s. Båda har också en rätt låg vindhastighet vid vilken maskineriet bromsas in för att inte ta skada: 14 m/s. Deras rotordiametrar är 2,86 m och 4,0 m.

En lite större modell är Wind 25.3+ med 5,0 kW effekt. Vindkraftverket kräver samma startvind som de två mindre modellerna, men har tre stycken rotorblad med en rotordiameter på 4,05 meter (/82/ bornay.com: *Wind+*).

Bee 800 SWT är ett fembladigt, litet vindkraftverk med effekten 800 W särskilt framtaget för att användas tillsammans med solceller, men kan även användas självständigt. Rotordiametern är 1,75 m, startvinden är 3,5 m/s och vindkraftverket producerar mest elektricitet vid en vindhastighet kring 12 m/s (/85/ bornay.com: *Bee 800 SWT*).

Företaget Enair är specialiserat på tillverkning och produktutveckling av små vindkraftverk. De satsar på att använda all tillgänglig teknik på marknaden för att bygga så bra vindkraftverk som möjligt (/86/ enair.es: *Know the History Of Enair*).

De tillverkar vindkraftverk bland annat i serien E PRO. E PRO utlovas ge bra med energi för varje hem, även vid lägre vindhastigheter. Som är fallet med andra små vindkraftverk producerar detta ändå mest energi vid vindhastigheter kring 8-12 m/s. Tillverkaren lovar även att vindkraftverket är mycket tyst vid drift, tack vare designen hos rotorbladen av glasfiber.

Det mindre vindkraftverket E30 PRO på 3 kW har en rotordiameter på 3,8 m och en låg startvind på 2 m/s (/87/ enair.es: *Technical breakdown of the Enair 30PRO series point by point*).

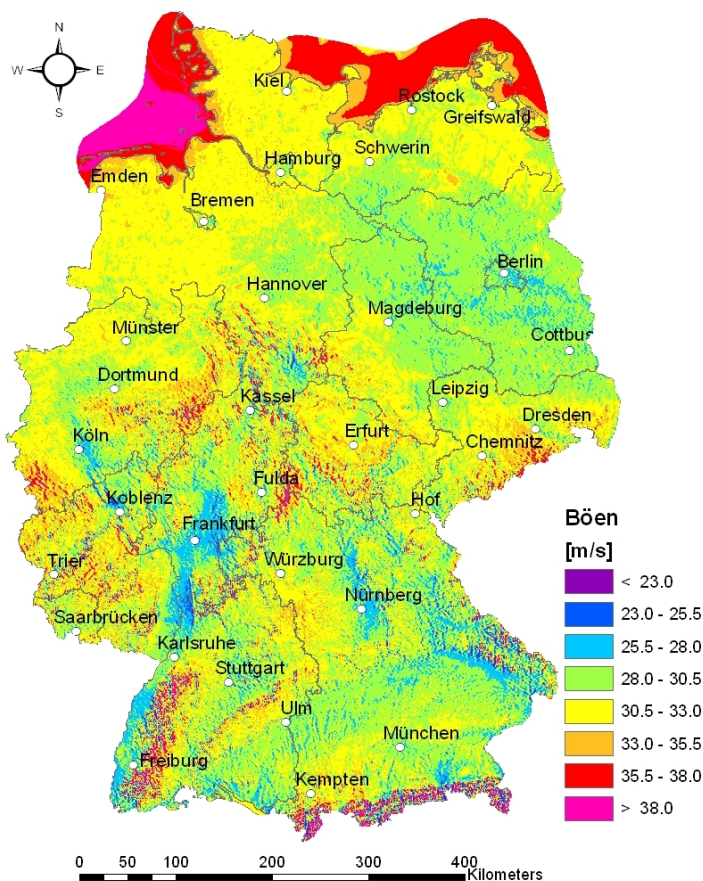
Det större vindkraftverket E70 PRO (5,5 kW) passar enligt tillverkaren bättre för ställen såsom bensinstationer och ladugårdar. Vindkraftverket har utlovats ha nästan samma tekniska egenskaper som E30 PRO, men är bara lite större sett till rotordiametern, 4,3 m. Enair lovar även att detta vindkraftverk kommer mycket nära övre gränsen för effektivitet, ifall vindhastigheten är 1-6 m/s (/88/ enair.es: *Technical breakdown of the Enair 70PRO series point by point*).

Enairs näst största tillverkade vindkraftverk heter E200L och har en effekt på omkring 10 kW. Det föreslås användas främst för industriellt bruk, till exempel på bondgårdar och vid växthus. Teknologin i detta vindkraftverk skiljer sig från E PRO-serien genom att de är designade precis som stora vindkraftverk. Startvinden är ännu lägre än för E PRO-vindkraftverken, bara 1,85 m/s. På grund av sin storlek är stoppvinden ändå klart lägre, 30 m/s jämfört med 60 m/s för de mindre vindkraftverken. Komponenterna i detta stora vindkraftverk tål inte högre vindhastigheter lika bra som de mindre vindkraftverken (/89/ enair.es: *Small wind turbine E200L*).

### 3.7 Småskalig vindkraft i Tyskland

Elektricitetspriserna är höga i Tyskland, samtidigt som framför allt de norra och nordvästra delarna av landet har goda förutsättningar för höga medelvindhastigheter året om. Bra förutsättningar finns på havet, vid kusterna, på berg och högland, medan floddalarna i mellersta Tyskland har sämst förutsättningar för vindkraft (se figur 6).

Utbyggnaden av vindkraft i landet följer ganska bra vindatlaserna, med undantag av Alperna, som nästan helt saknar vindkraftverk trots goda medelvindhastigheter (/91/ wikipedia.org).



Figur 6. Vindatlas över Tyskland, som visar maximala styrkan på vindbyar under en femårsperiod. (imk-tro.kit.edu).

Marknaden av småskalig vindkraft i Tyskland ligger efter många andra europeiska länder, vilket beror på låga inmatningspriser för producenter som önskar låta den producerade elektriciteten matas ut i det nationella elnätet. Detta innebär att småskalig vindkraft i Tyskland

vanligtvis är lönsam endast om producenten själv konsumerar all vindkraftsgenererad energi (/10/ klein-windkraftanlagen.com, 2014).

Inmatningspriserna för småskalig vindkraft i Tyskland är låga, 8,5 cent per inmatad kWh. Tarifferna betalas ut under maximalt 20 år och kräver att vindkraftverkets effekt är högst 50 kW. Den aktuella tariffen som gällde, då vindkraftverket uppfördes, är även den som kommer att gälla för resten av utbetalningstiden för tariffen. De utbetalda tarifferna för nyinstallationer ändras flera gånger per år, varierande enligt hur mycket installerad vindkraft som finns, där mera installerad vindkraft i landet kommer att ge lägre utbetalningar för ägaren till det vindkraftverk som matar ut ström i elnätet. Detta kommer antagligen att innebära ännu lägre inmatningspriser i framtiden, då vindkraften i Tyskland hela tiden byggs ut (/10/ klein-windkraftanlagen.com, 2014).

Enligt Eurostat ligger vanligen elpriserna i Tyskland på omkring 0,30 €/kWh, för närvarande den högsta i EU, vilket betyder att varje egenproducerad kWh kommer att spara en stor summa från elräkningen (/94/ Eurostat, 2019).

WinDual Turbines är ett företag från Hamburg som sedan 1993 deltagit i vindkraftsprojekt och senare även börjat tillverka egna vindkraftverk. Förutom tillverkning av komponenter erbjuder de även konsulttjänster och projektering inför byggandet och uppförandet av vindkraftverk (/95/ windual.com: *About us*).

WinDual Turbines har två stycken 10 kW vindkraftverk i sitt utbud: TN10 och GH10. TN10 är anpassad för lägre vindhastigheter och tillverkaren lovar en uppnådd effekt på 10 kW redan vid vindhastigheten 7,5 m/s. Rotordiametern är 13,2 meter och vindkraftverket utlovas vara tyst i drift. Delar till ett torn medföljer, och navhöjden med detta vindkraftverk kan då vara 15, 18, 24 eller 30 meter.

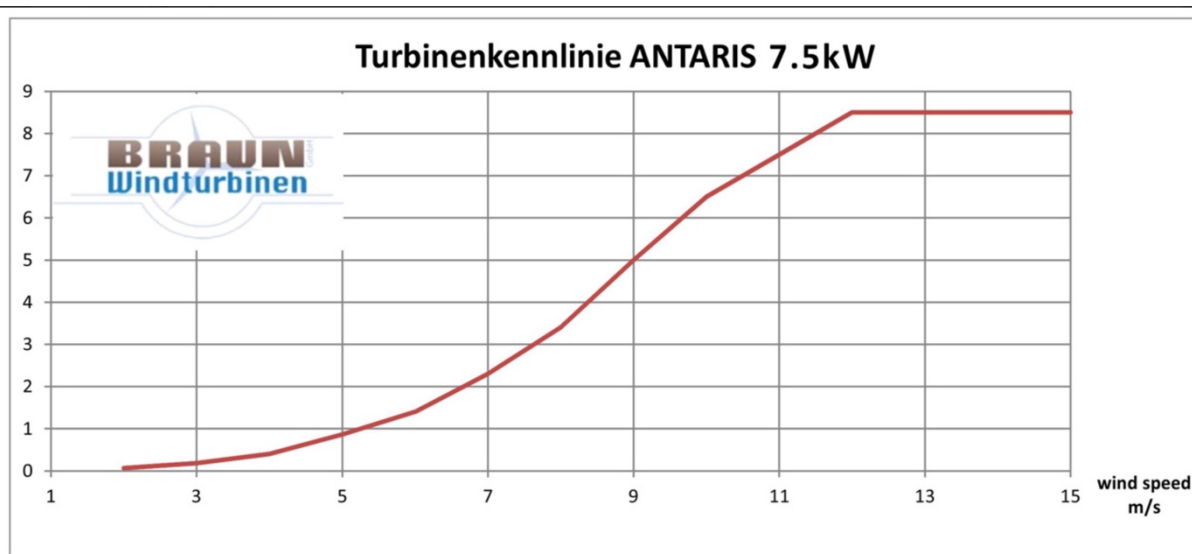
Modellen GH10 marknadsförs som ett vindkraftverk som passar för en låg budget: med ett 12 meter högt torn kostar det 29 900 euro, utan torn 19 000 euro (/96/ windual.com: *10 to 50 000 kWh*).

Braun Windturbinen GmbH tillverkar små vindkraftverk i serien Antaris, och utbudet av vindkraftverk sträcker sig från 2,5 till 12 kW. De har tillverkat vindkraftverk sedan mitten

1990-talet, och har specialiserat sig på vindmøllor med effekten 1,5-10 kW. Omkring 60 % av deras produkter går på export, och förutom vindkraftverk tillverkar de även laddningsbara batterier, styrreglage och andra komponenter som kan användas tillsammans med vindkraftverk (/97/ braun-windturbinen.com: *About us*).

Antaris 2,5 kW är ett trebladigt vindkraftverk med en rotordiameter på omkring 3 meter. Bladen börjar snurra vid vindhastigheten 2 m/s och märkeffekt uppnås vid 12 m/s (/98/ braun-windturbinen.com: *Technical Specifications Antaris 2.5 kW*).

Antaris 7,5 kW (se figur 7) är större och har vanligtvis en rotordiameter på 5,3 m, men rotordiametern kan minskas till 4,4 m på platser med särskilt god medelvindhastighet (minst 6,5 m/s årligen). Startvinden är 2 m/s och märkeffekt uppnås också vid 12 m/s. Denna modell är enligt tillverkaren särskilt lämpad för att användas i inlandet, på platser där det blåser svag eller måttlig vind (/99/ braun-windturbinen.com: *Technical Specifications Antaris 7.5 kW*).



Figur 7. Med en effektkurva kan man se elproduktionen för ett vindkraftverk vid olika vindhastigheter. Det ställe på x-axeln där högst effekt först uppkommer är märkvinden som krävs för att uppnå märkeffekten, som syns på y-axeln. Vindkraftverket ovan har en maxeffekt (märkeffekt) på 8,5 kW (braun-windturbinen.com/).



## 4 RESULTAT

Resultatet i tabellform för de olika modellerna av vindkraftverk presenteras i tabell 1 i bilaga 2.

### 4.1 Olika modeller av vindkraftverk

Det var intressant att konstatera skillnaderna mellan de olika webbsidorna, där de småskaliga vindkraftverket såldes. Generellt var de finska sidorna minst uttömmande, medan de spanska och tyska sidorna hade mest information om utbudet av vindkraftverk och de verkade även mest seriösa. Om detta jämförs med utbyggnaden för vindkraft i de olika länderna går det att se att Finland och Sverige har klart färre installerade megawatt i vindkraft än Tyskland och Spanien, och de finska och svenska försäljarna av vindkraft hade inte heller ett särskilt stort utbud av olika modeller. I Finland och Sverige var mycket av utbudet dessutom koncentrerat till båt- och stugliv, medan de tyska och spanska sidorna främst erbjöd modeller i form av olika ”gårdsverk”, avsedda för egnahemshus eller bondgårdar.

Undersökningen visar att Centraleuropa har betydligt flera företag specialiserade på småskaliga vindkraftverk jämfört med norra Europa. Finland har klart färre företag än Sverige. Tyskland som föregångsland inom vindkraft märks tydligt i utbudet inom små vindkraftverk, då det finns en uppsjö av företag inom denna bransch. Även Spanien har ett flertal företag specialiserade på små vindkraftverk. Generellt brukar de centraleuropeiska företagen även sälja stora vindkraftverk (med en effekt över 100 kW) samt större solcellsanläggningar och liknande, medan de nordeuropeiska främst sålde vindkraftverk och solceller i mindre skala.

### 4.2 Ekonomiska synvinklar

Utgående från energisimuleringarna som gjorts går det att ungefärligt jämföra den maximala effekten som krävs i olika fastigheter på olika håll i Europa med den producerade effekten i olika mindre vindkraftverk.

Ett vanligt bostadshus med en våning i Jyväskylä kräver i simuleringen ungefär 14,7 kW som maximal effekt (för uppvärmning och drift av vissa elapparater) under den kallaste vinterdagen under året. Inget småskaligt vindkraftverk som behandlats i detta arbete kommer särskilt nära denna effekt. Ett vindkraftverk på 10 kW kan i bästa fall ersätta omkring 80 % av maxeffekten som krävs, men resten av energin måste tas från ett annat ställe. Problematiskt är också, att många kalla vinterdagar är vindstilla eller har svag vind, så ofta skulle ett vindkraftverk inte ersätta särskilt mycket av energin som krävs. Detta leder till att hushållet under de kallaste vinterdagarna ofta måste köpa mycket el i stället, vilket förlänger återbetalningstiderna för vindkraftverket.

Om samma hus i Jyväskylä också har ett kylsystem, kan det krävas omkring 5 kW effekt för att hålla huset kylt under den varmaste sommardagen, samtidigt som några elektriska apparater är i gång. Detta är ett mera realistiskt värde att ersätta helt och hållet med småskalig vindkraft. Eftersom vindkraftverken ofta producerar elektricitet under sin maximala effekt, kunde en vindsnurra med effekten 7,5 kW ganska bra ge den behövda energin, förutsatt att den är placerad på ett tillräckligt blåsigt ställe.

Malmö kräver klart lägre uppvärmnings- och kyleffekter under året: 7,3 kW och 5 kW. Då Skåne har bra förutsättningar för vindkraft, och redan färdigt har ett stort nätverk av storskaliga vindkraftverk, kunde ett vindkraftverk på omkring 8-10 kW bra ersätta all eller en stor del av all energiåtgång i ett hus på denna ort.

Frankfurt har den jämnaste energiåtgången i simuleringen: 6,8 kW uppvärmningseffekt, 5,6 kW kyleffekt. Samtidigt ligger Frankfurt i ett område av Tyskland där de årliga vindhastigheterna är ganska låga, men närliggande områden kommer att få i stort sett samma resultat i energisimuleringar, och därmed få bra förutsättningar för att ersätta en så stor del av husets energibehov som möjligt från vindkraft. Men även dessa områden kräver vindsnurror med effekt på minst 7,5 kW för att i stort sett säkerställa att så mycket av energin som möjligt kan ersättas med småskalig vindkraft.

Sevilla i södra Spanien kräver som mest uppvärmningsenergi på 4,0 kW, medan en maximal kyleffekt på omkring 9,6 kW krävs under varma sommardagar för att hålla husen svala. Dessa värden motsvarar ungefär Jyväskyläs, men maximala kyl- och värmeeffekten för sommar och vinter kastas om, så att den högsta årliga effekten i Sevilla krävs under sommaren istället. I

Spanien brukar vindkraftverken producera mest elektricitet under vintern och våren, och minst under sommaren. Detta innebär alltså att ett vindkraftverk på minst 5 kW ibland kan erbjuda tillräckligt med elektricitet åt exempelhushållet under vintern, medan deras effekt inte är tillräcklig under sommaren för att erbjuda elektricitet för kylning. Inte heller ett vindkraftverk med effekten 10 kW kan vanligtvis ge tillräckligt med el för toppeffekten.

Områden i Europa med större temperaturskillnader mellan sommaren och vintern kommer att ha sämre förutsättningar för att småskaliga vindkraftverk ska kunna ersätta all nödvändig energi i ett vanligt bostadshus. De områden som bättre klarar av att ersätta energin verkar koncentrera sig till mellersta Europa, till områden med havsklimat och mindre temperaturskillnader mellan sommar och vinter. I dessa områden är också vindkraften mycket utbyggd: Danmark, Tyskland och norra Spanien har i ett globalt perspektiv installerat väldigt många megawatt i vindkraften.

Återbetalningstiden för vindkraftverken varierar med modellen och energiförbrukningen. Utgående från de olika ländernas politik kring tariffer och ersättningar kan slutsatsen dras att ersättningarna vanligtvis är ganska små och kan inte nödvändigtvis utbetalas till alla ägare av vindkraftverk. Det förmodligen bästa sättet att minska återbetalningstiden är att själv utföra en så stor del av planeringen, installationen, reparationerna och underhållet av vindkraftverket som möjligt, samtidigt som man själv förbrukar den producerade elektriciteten och inte köper in ny el från det nationella elnätet.

Det främsta hotet mot en ekonomisk energiproduktion ur vindkraftverk är vindstilla dagar, eller dagar då det blåser så hårt att rotorbladen automatiskt stoppas. Inträffar en sådan vindstilla dag mitt i vintern, kommer hushållet vara tvunget att köpa in dyr el från det nationella elnätet istället. Detta förlänger återbetalningstiden.

Undersökningen visar att många europeiska länder erbjuder ekonomiska understöd för vindkraft, oftast ersättning för kWh som matas ut i det nationella elnätet. Detta är inte nödvändigtvis alltid bra för ägare till vindkraftverk att göra, eftersom det ofta förlänger återbetalningstiden. Undantag sker då vindkraftverken producerar överskottsenergi, varvid all producerad energi konsumeras av huset, och ägaren samtidigt tjänar pengar på elektriciteten som matas ut i elnätet.

### 4.3 Praktiska synvinklar

Undersökningen visar att småskalig vindkraft kräver höga medelvindhastigheter året runt för att vara så lönsamma som möjligt, detta är viktigare ju mindre effekt vindkraftverket har. Stora vindkraftverk kräver oftast omkring 5 m/s startvind. Detta leder till att de är ekonomiskt lönsamma endast vid hårdare vindhastigheter (/100 s. 45-46/). Småskaliga vindkraftverk har ofta en betydligt lägre startvind, omkring 2 m/s, och beroende på deras effektkurva kan de bli lönsamma vid betydligt lägre vindhastigheter än stora vindkraftverk. För områden med en lägre medelvindhastighet, till exempel inlandet, lönar det sig alltså att välja ett vindkraftverk utgående från effektkurvan, där märkeffekten uppnås vid så låg vindhastighet som möjligt.

### 4.4 Ekologiska synvinklar

Som konstaterat är de vanligaste materialen i småskaliga vindkraftverk vanligen glas- eller kolfiber, järn, stål, betong, magnetiska komponenter, koppar och aluminium. Alla dessa material har en egen livscykel. Vissa går att utvinna med små medel och/eller kan återvinnas i sin helhet. Till denna grupp hör till exempel koppar, stål och betong. Dessa material kräver ändå vanligtvis mycket energi för att framställas och förädlas. Glas- och kolfiber kräver vanligen ganska lite energi att tillverka, förädla och forma, medan möjligheten att återvinna dessa material är klart sämre än för metaller, även med modern teknik. I synnerhet glasfiber har visat sig vara svårt att återvinna.

Transporterna av såväl materialen för vindkraftverket som de färdiga delarna måste också tas i beaktande av den, som vill undersöka hela påverkan som ett småskaligt vindkraftverk sätter på naturresurserna, omgivningen och miljön. Det kan löna sig att understödja inhemsk produktion vid köp av ett småskaligt vindkraftverk, om det är möjligt. Då blir transportsträckorna kortare och transporternas inverkan på miljön minskar. Om man vid tillverkningen kan utnyttja lokalt återvinningsbart material förbättras miljöpåverkan ytterligare.

Ett inte helt ovanligt klagomål från grannar till stora vindkraftverk är buller från rotorbladen. Ett svagt svischande ljud brukar ofta komma även från små rotorblad på mindre vindmöllor,

men i jämförelse med de större vindkraftverken är bullerproblemet minimalt hos den småskaliga vindkraften, i synnerhet om de står stadigt på marken och inte är fästa till exempel vid skorstenen på ett bostadshus. Ur denna synvinkel kan alltså småskalig vindkraft anses vara miljövänlig och nästan utan buller.

## 5 SLUTSATSER

Det är viktigt att komma ihåg att maximala värden för uppvärmning och kylning i ett hus bygger på scenarier med ganska extrema vinter- och sommartemperaturer. Om till exempel vintern blir klart varmare än normalt, kan ett vindkraftverk under blåsiga dagar mycket bättre ersätta all behövlig energi i hushållet, även om energisimuleringen visar att det inte går så bra.

Medan stora vindkraftverk och vindkraftsparker måste planeras ordentligt från grunden, där bygglov, landskapsplaner med mera ofta behövs, är små vindkraftverk ett undantag. Tack vare sin storlek kan de användas på många flera ställen än de större vindkraftverken, deras ljudnivå är lägre, de kastar inte långa skuggor och elkablar till dem behöver vanligtvis inte dras på så långa sträckor, jämfört med stora vindkraftverk, som ofta placeras långt ute i ödemarken där det inte finns elnät.

Vissa länders bestämmelser kring vindkraftverk och bygglov, till exempel Sveriges krav på bygglov för alla vindkraftverk med navhöjd på över 20 meter, kan anses som ett hinder för de som funderar på att skaffa egen vindkraft.

Nackdelen med många modeller av mindre vindkraftverk är att det i framtiden eventuellt kan vara svårt att få tag på reservdelar till dem. Många tillverkare har ett fåtal anställda och kanske inte har någon verksamhet mera efter ett par år, vilket kan betyda svårigheter med att få tillgång till reservdelar. Detta är viktigt att tänka på innan man köper ett vindkraftverk.

I praktiken kommer ändå den nuvarande bostadsplatsen för många att vara avgörande för en eventuell installation av ett småskaligt vindkraftverk. Träd och byggnader hindrar effektivt en ordentlig vind från att träffa ett vindkraftverk, även om det höjer sig någon meter ovanför omkringliggande hinder. I själva verket borde ett vindkraftverk vara omkring dubbelt så högt som omkringliggande hinder för att effektivt kunna producera så mycket energi som möjligt. Ju högre upp ett vindkraftverk måste installeras, desto mera ökar kostnaderna för masten och stödet nere på marken måste göras kraftigare. Dessutom kräver en högre höjd på vindkraftverket en större tomt, så att vindkraftverket inte kan rasa på till exempel bostadsbyggnader. Risken för att bygglov krävs för ett vindkraftverk med hög navhöjd blir också större. Undersökningen visar att ett vindkraftverk som är minst dubbelt så högt som

hinder i sin omgivning, och har en effekt på minst 5 kW, kan ersätta ganska mycket av elektriciteten i ett litet hus ifall det inte krävs en hög uppvärmnings- eller kyleffekt inomhus. Undersökningen visar också att ett vindkraftverk på 5 kW kommer att ha en rotordiameter på omkring 4 meter, vilket kräver en navhöjd på kanske minst 10 meter. Långt ifrån alla tomter har möjlighet att röja plats för en sådan konstruktion, även om vindförhållandena är lämpliga. Vindkraft kan inte heller nödvändigtvis vara den enda energikällan för ett hus, då svårigheter uppstår med lagring och underskott av el.

Vindkraftverkens materialval är viktiga att tänka på för den som funderar på att skaffa ett litet vindkraftverk på grund av deras miljövänliga image. Ifall vindkraftverket är tillverkat med återvunnet material, eller material som i framtiden lätt kan återvinnas, kan småskalig vindkraft anses ganska miljövänlig.

I detta arbete har behandlats endast ett fåtal tillverkare av vindkraftverk. Framför allt Tyskland och Spanien har många andra företag än de nämnda som tillverkar, importerar och/eller säljer små vindkraftverk. Utgående från tabell 1 syns ändå att skillnaderna mellan olika modeller av vindkraftverk med samma effekt inte skiljer sig så mycket från varandra.

Det hade varit bra ifall flera tillverkare öppet hade lagt ut priserna för sina vindkraftverk. Detta hade gjort det enklare att reda ut den ekonomiska lönsamheten.

Hypotesen i arbetets början om att riktigt små vindkraftverk är lönsamma till exempel på sommarstugor eller båtar stämmer bra, men då förutsätter det att de har en god tillgång till vind. Till hypotesen hörde också att större vindkraftverk för småhus inte skulle vara särskilt lönsamma, ifall deras livslängd inte var omkring 25 år. Här blev hypotesen fel, eftersom det visar sig att återbetalningstiden sällan är större än 15 år ens på platser med dålig tillgång till vind. Slutligen antogs att ett vindkraftverk på 7,5 kW lätt skulle kunna ersätta omkring hälften av den behövda effekten i ett småhus under kalla vinterdagar i Finland och Sverige.

Energisimuleringen visar att ett vindkraftverk i Malmö lätt uppnår detta mål under kalla vinterdagar, även om vinden är måttlig. För Jväs kyläs del däremot går det sämre att ersätta ens hälften av uppvärmningsbehovet från ett vindkraftverk på 7,5 kW, även under blåsiga vinterdagar.

# KÄLLOR

- /1/ Europaparlamentet, 2019: *Förnybar energi*. Tillgänglig: <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/sv/sheet/70/fornybar-energi> Hämtad 1.4.2019.
- /2/ Europaparlamentet, 2018: *Parlamentet slår fast ambitiösa mål för en mer effektiv energiförbrukning*. Tillgänglig: <http://www.europarl.europa.eu/news/sv/press-room/20180112IPR91629/meps-set-ambitious-targets-for-cleaner-more-efficient-energy-use> Hämtad 1.4.2019.
- /3/ Tuuliatlas.fi: *Vindpotentialen i Finland*. Tillgänglig: <http://www.tuuliatlas.fi/vindpotentialen/index.html> Hämtad 27.1.2020.
- /4/ Tuuliatlas.fi: *Vindatlas - vinddata på Finlands karta*. Tillgänglig: <http://www.tuuliatlas.fi/se/index.html> Hämtad 27.1.2020.
- /5/ Energimyndigheten.se: *Nationell vindkartering (2017)*. Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/planering-och-tillstand/vindkraftsplanering1/nationell-vindkartering/> Hämtad 30.1.2020.
- /6/ Windempowerment.org: *Small Wind Turbines (SWTs) - the basics*. Tillgänglig: <http://windempowerment.org/small-wind-turbines-the-basics/> Hämtad 2.5.2019.
- /7/ Saaristotekniikka.com: *Lue opas tuulivoimaloista*. Tillgänglig: <http://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/199/lue-opas-tuulivoimaloista> Hämtad 17.1.2020.
- /8/ Tuulivoimayhdistys.fi, 2011: *Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön*. Tillgänglig: [https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka\\_miehen\\_opas\\_motiva.pdf](https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka_miehen_opas_motiva.pdf) Hämtad 2.10.2019



- /9/ Svensk vindkraftförening, 2017: *Marknadsöversikt små vindkraftverk i Sverige*. Tillgänglig: <https://www.svensk-vindkraft.org/wp-content/uploads/2017/12/Marknadsöversikt-små-vindkraftverk-2017-12-21.pdf> Hämtad 1.4.2019.
- /10/ Klein-windkraftanlagen.com: *Welcome to the German Small Wind Turbine Portal!* Tillgänglig: <https://www.klein-windkraftanlagen.com/welcome-to-the-german-small-wind-turbine-portal/> Hämtad 15.3.2020.
- /11/ Tuulivoimayhdistys: *Pientuulivoima*. Tillgänglig: <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/pientuulivoima> Hämtad 6.2.2020.
- /13/ Gynther, B. & Carlson, S. (red.), 2005: *Faktakalendern 2006*. Bokförlaget Semic, Stockholm, s. 95.
- /15/ Designlife-cycle.com, 2014: *Wind Turbines: The Lifecycle*. Tillgänglig: <http://www.designlife-cycle.com/wind-turbines> Hämtad 1.12.2019.
- /16/ Epvtuulivoima.fi, s. 47: *Vindkraftspark på Sidlandet i Malax - Miljökonsekvensbeskrivning*. Tillgänglig: <https://www.epvtuulivoima.fi/wp-content/uploads/sites/3/2017/03/Maalahden-YVA-selostus-RUOTSI.pdf> Hämtad 6.2.2020.
- /18/ Ancona, Dan & McVeigh, Jim, 2001: *Wind Turbine - Materials and Manufacturing Fact Sheet*. Tillgänglig: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.5842&rep=rep1&type=pdf> Hämtad 30.1.2020.
- /19/ Gazechim.se: *Vad är glasfiber?* Tillgänglig: [http://gazechim.se/wp-content/uploads/2015/02/info\\_glasfiber\\_sve.pdf](http://gazechim.se/wp-content/uploads/2015/02/info_glasfiber_sve.pdf) Hämtad 22.3.2020.
- /20/ Thoughtco.com: *How Is Carbon Fiber Made?* Tillgänglig: <https://www.thoughtco.com/how-is-carbon-fiber-made-820391> Hämtad 27.1.2020.

- /21/ Oscarliang.com, 2015: *Frame material: Carbon fibre and fibreglass*. Tillgänglig: <https://oscarliang.com/carbon-vs-fibreglass/> Hämtad 22.3.2020.
- /22/ Jernkontoret.se: *Råvaror*. Tillgänglig: <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/ravaror/> Hämtad 6.2.2020.
- /23/ Svensk betong: *13 sanningar om betong*. Tillgänglig: [https://www.svenskbetong.se/images/Faktablad/SvenskBetong\\_13sanningar\\_2018\\_Digital\\_180208.pdf](https://www.svenskbetong.se/images/Faktablad/SvenskBetong_13sanningar_2018_Digital_180208.pdf) Hämtad 13.1.2020.
- /24/ Betong.se, 2017: *Fråga experten: påverkan på miljön?*. Tillgänglig: <http://betong.se/2017/02/07/fraga-experten-paverkan-pa-miljon/> Hämtad 26.1.2020.
- /25/ Cementa.se: *Så här tillverkas cement*. Tillgänglig: <https://www.cementa.se/sv/tillverkning-av-cement> Hämtad 13.1.2020.
- /26/ Cementa.se: *Nollvision för koldioxid*. Tillgänglig: <https://www.cementa.se/sv/nollvision2030> Hämtad 13.1.2020.
- /28/ Khennas, S., Dunnett, S., & Piggott, H., 2003. *Small Wind Systems for Rural Energy Services*. Practical Action Publishing.
- /29/ Unionpedia.org: *Magnetstål*. Tillgänglig: <https://sv.unionpedia.org/Magnetstål> Hämtad 27.1.2020.
- /30/ Alutrade.se: *Tillverkning*. Tillgänglig: <https://www.alutrade.se/produktomraden/teknisk-radgivning/tillverkning/> Hämtad 16.1.2020.
- /31/ Dalaavfall.se: *Värmeljushållare, aluminium sorteras som metallskrot*. Tillgänglig: <https://dalaavfall.se/sorteringsguide/metall/varmeljusbehallare-aluminium/> Hämtad 13.1.2020.
- /32/ Copperalliance.se: *Från malm till metall*. Tillgänglig: <https://copperalliance.se/koppar-och-kopparlegeringar/tillverkning/> Hämtad 13.1.2020.

/33/ Livescience.com: *Facts About Yttrium*. Tillgänglig: <https://www.livescience.com/34564-yttrium.html> Hämtad 19.3.2020.

/35/ Mining-journal.com, 2019: *Chile achieves record copper production in 2018*. Tillgänglig: <https://www.mining-journal.com/copper/news/1356277/chile-achieves-record-copper-production-in-2018> Hämtad 13.1.2020.

/38/ Energimyndigheten.se: *Nedmontering av vindkraftverk och efterbehandling av platsen* (2013). Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/contentassets/0d29277f212b450d8892b76458172e33/nedmontering-av-vindkraftverk-och-efterbehandling-av-platsen.pdf> Hämtad 27.1.2020.

/40/ Svenska.yle.fi, 2017. *Korsnasmöllorna gick att återvinna - glasfibret med i internationellt experiment*. Tillgänglig: <https://svenska.yle.fi/artikel/2017/11/11/korsnasmollorna-gick-att-atervinna-glasfibret-med-i-internationellt-experiment> Hämtad 27.1.2020.

/42/ Energyeducation.ca: *Betz limit*. Tillgänglig: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Betz\\_limit](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Betz_limit) Hämtad 27.1.2020.

/43/ Windempowerment.org: *Wind Resource Assessment - the basics*. Tillgänglig: <http://windempowerment.org/wind-resource-assessment-the-basics/> Hämtad 2.5.2019.

/45/ Expressen.se, 2019: *Folket får ta notan för vindkraftsfantasierna*. Tillgänglig: <https://www.expressen.se/debatt/folket-far-ta-notan-for-vindkraftsfantasierna/> Hämtad 27.1.2020.

/46/ Helahalsingland.se, 2013: *Dyrt och avancerat underhåll av vindkraftverk*. Tillgänglig: <https://www.helahalsingland.se/artikel/dyrt-och-avancerat-underhall-av-vindkraftverk> Hämtad 27.1.2020.

- /47/ Windempowerment.org: *Small Wind Turbines (SWTs) - the basics*. Tillgänglig: <http://windempowerment.org/small-wind-turbines-the-basics/> Hämtad 2.5.2019.
- /51/ Atl.nu, 2006: Bygglovsfritt sätta upp egna små vindkraftverk. Tillgänglig: <https://www.atl.nu/lantbruk/bygglovsfritt-satta-upp-egna-sma-vindkraftverk/> Hämtad 12.2.2020.
- /52/ Tuge.ee: *How long will it take for small wind turbine to pay for itself?* Tillgänglig: <https://www.tuge.ee/encyclopedia/how-to-calculate-small-wind-turbine-payback-period> Hämtad 19.3.2020.
- /53/ Planningni.gov.uk: *Renewable Energy Annex 1 Wind Energy: Spacing of Turbines*. Tillgänglig: [https://www.planningni.gov.uk/de/index/policy/planning\\_statements/pps18/pps18\\_annex1/pps18\\_annex1\\_wind/pps18\\_annex1\\_technology/pps18\\_annex1\\_spacing.htm](https://www.planningni.gov.uk/de/index/policy/planning_statements/pps18/pps18_annex1/pps18_annex1_wind/pps18_annex1_technology/pps18_annex1_spacing.htm) Hämtad 19.2.2020.
- /55/ Tuulivoimayhdistys.fi: *Tietoa tuulivoimasta*. Tillgänglig: <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta> Hämtad 6.2.2020.
- /57/ Tem.fi: *Energiatuki*. Tillgänglig: <https://tem.fi/energiatuki> Hämtad 10.2.2020.
- /58/ Tem.fi: *Tuettavat hankkeet ja tuen enimmäismäärät*. Tillgänglig: <https://tem.fi/tuettavat-hankkeet> Hämtad 10.2.2020.
- /59/ Finlex.fi, 2010: *Lag om stöd till produktion av el från förnybara energikällor*. Tillgänglig: <http://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2010/20101396> Hämtad 11.2.2020.
- /60/ Saaristotekniikka: *500 W Tuulivoimala 12 volt tai 24 volt*. Tillgänglig: <http://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/141/500w-tuulivoimala-12-volt-tai-24-volt> Hämtad: 9.2.2020.
- /61/ Paku, 2013: *Ista-Breeze 500W Wind Generator - test on moderate wind speeds*. Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=H6sKBKU9wzM> Hämtad 9.2.2020.

/62/ Saaristotekniikka.com: *2 kW Tuulivoimala 48 volt*. Tillgänglig:  
<http://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/159/2-kw-tuulivoimala-48-volt> Hämtad  
2.10.2019.

/63/ Saaristotekniikka.com: *4 kW 48 volt Ista Breeze Heli 4.0*. Tillgänglig:  
<http://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/244/4kw-48-volt-tuulivoimala-ista-breeze-heli-40> Hämtad 2.10.2019.

/64/ Saaristotekniikka.com: *4 kW Ista Breeze 350 VAC Heli 4.0*:  
<http://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/244/4kw-48-volt-tuulivoimala-ista-breeze-350-VAC-heli-40> Hämtad 2.10.2019.

/65/ Saaristotekniikka.com: *10 kW Tuulivoimala 240 tai 380 VAC*. Tillgänglig:  
<http://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/288/10kw-tuulivoimala-240-tai--380-vac>  
Hämtad: 2.10.2019.

/66/ Ilmavirta.com: *Osiris 1,55 kW*: <http://www.ilmavirta.com/kaytetyt-voimalat/> Hämtad  
2.10.2019.

/67/ Energimyndigheten.se: *Vind i elsystemet* (2018). Tillgänglig:  
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/vind-i-elsystemet/> Hämtad 4.2.2020.

/68/ Energimyndigheten.se: *Planering och tillstånd* (2019). Tillgänglig:  
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/vindlov/planering-och-tillstand/>  
Hämtad 10.2.2020.

/69/ Energimyndigheten.se: *Gårdsverk* (2018). Tillgänglig:  
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/vindlov/planering-och-tillstand/gardsverk/> Hämtad 10.2.2020.

/70/ Svensk vindkraftförening: *Finns det vind finns det möjligheter!* Tillgänglig:  
<https://www.svensk-vindkraft.org/vart-arbete/smaskalig-vind/> Hämtad 10.2.2020.

/71/ Windforce AB: *Vindblomma*. <http://www.windforce.se/vindkraft-windflower.php>  
Hämtad 3.10.2019.

/72/ Windforce AB: *Windstar 3000*. Tillgänglig: <http://www.windforce.se/vindkraft-windstar3000.php> Hämtad 3.10.2019.

/73/ Innoventum: *About us* (2018). Tillgänglig:  
<https://www.innoventum.se/company/> Hämtad 3.10.2019.

/74/ InnoVentum: *Dali Performance*. Tillgänglig: <https://www.innoventum.se/dali-performance/> Hämtad 6.2.2020.

/75/ InnoVentum: *Dalifant*. Tillgänglig: <https://www.innoventum.se/dalifant/> Hämtad 6.2.2020.

/76/ De IJssel Coatings Norden: *Superwind 350*. Tillgänglig: <http://de-ijssel-coatings.se/produkter/den-tysta-vindsnurren/superwind> Hämtad 3.10.2019.

/77/ Evwind.es, 2019: *Spain increased wind power by 392 MW in 2018, adding a total of 23,484 MW installed wind energy*. Tillgänglig: <https://www.evwind.es/2019/02/20/spain-increased-wind-power-by-392-mw-in-2018-adding-a-total-of-23484-mw-installed-wind-energy/66205> Hämtad 2.3.2020.

/78/ Aeolica.org: *Installed Power & Wind Generation*. Tillgänglig:  
<https://www.aeolica.org/en/about-wind-energy/wind-energy-in-spain/installed-power>  
Hämtad 2.3.2020.

/80/ Ecovidahomes.com: *Is Wind Power In Spain Practical On A Domestic Scale?*  
Tillgänglig: <https://www.ecovidahomes.com/blog/is-wind-power-in-spain-practical-on-a-domestic-scale/> Hämtad 2.3.2020.

/81/ Bornay.com: *Bornay, Small Wind Turbines and Photovoltaics*. Tillgänglig:  
<https://www.bornay.com/en/cms/bornay-small-wind-turbines-and-photovoltaics> Hämtad 2.3.2020.

/82/ Bornay.com: *Wind+*. Tillgänglig: <https://www.bornay.com/en/products/small-wind-turbines/wind-plus-swt> Hämtad 2.3.2020.

/85/ Bornay.com: *Bee 800 SWT*. Tillgänglig: <https://www.bornay.com/en/products/small-wind-turbines/bee-800-swt> Hämtad 2.3.2020.

/86/ Enair.com: *Know the History Of Enair*. Tillgänglig: <https://www.enair.es/en/company/history> Hämtad 2.3.2020.

/87/ Enair.com: *Technical breakdown of the Enair 30PRO series point by point*. Tillgänglig: <https://www.enair.es/en/small-wind-turbines/e30pro> Hämtad 2.3.2020.

/88/ Enair.com: *Technical breakdown of the Enair 70PRO series point by point*. Tillgänglig: <https://www.enair.es/en/small-wind-turbines/e70pro> Hämtad 2.3.2020.

/89/ Enair.com: *Small Wind Turbine E200L*. Tillgänglig: <https://www.enair.es/en/small-wind-turbines/e200l> Hämtad 2.3.2020.

/90/ Researchgate.net: *Extreme Wind Climatology of Winter Storms in Germany*. Tillgänglig: [https://www.researchgate.net/figure/Maximum-wind-speeds-in-Germany-on-a-1-1-km-grid-with-an-exceedance-probability-of-p\\_fig3\\_250221870](https://www.researchgate.net/figure/Maximum-wind-speeds-in-Germany-on-a-1-1-km-grid-with-an-exceedance-probability-of-p_fig3_250221870)  
Hämtad 15.3.2020.

/91/ Wikipedia.org: *Windkraftanlagen in Deutschland*. Tillgänglig: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Windkraftanlagen\\_in\\_Deutschland.png](https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Windkraftanlagen_in_Deutschland.png) Hämtad 15.3.2020.

/94/ Eurostat, 2019: *Electricity price statistics*. Tillgänglig: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics) Hämtad 15.3.2020.

/95/ Windual.com: *About us*. Tillgänglig: <https://windual.com/index.php/en/about-us/> Hämtad 15.3.2020.

/96/ WinDual.com: *10 to 50 000 kWh*. Tillgänglig: <https://windual.com/index.php/en/10-to-50-000-kwh/> Hämtad 15.3.2020.

/97/ Braun Windturbinen: *About us*. Tillgänglig: <https://www.braun-windturbinen.com/company/about/> Hämtad 15.3.2020.

/98/ Braun-windturbinen.com: *Technical Specifications Antaris 2.5 kW*. Tillgänglig: <https://www.braun-windturbinen.com/products/antaris-small-wind-turbines/antaris-2-5-kw/> Hämtad 15.3.2020.

/99/ Braun-windturbinen.com: *Technical Specifications Antaris 7.5 kW*. Tillgänglig: <https://www.braun-windturbinen.com/products/antaris-small-wind-turbines/antaris-7-5-kw/> Hämtad 15.3.2020.

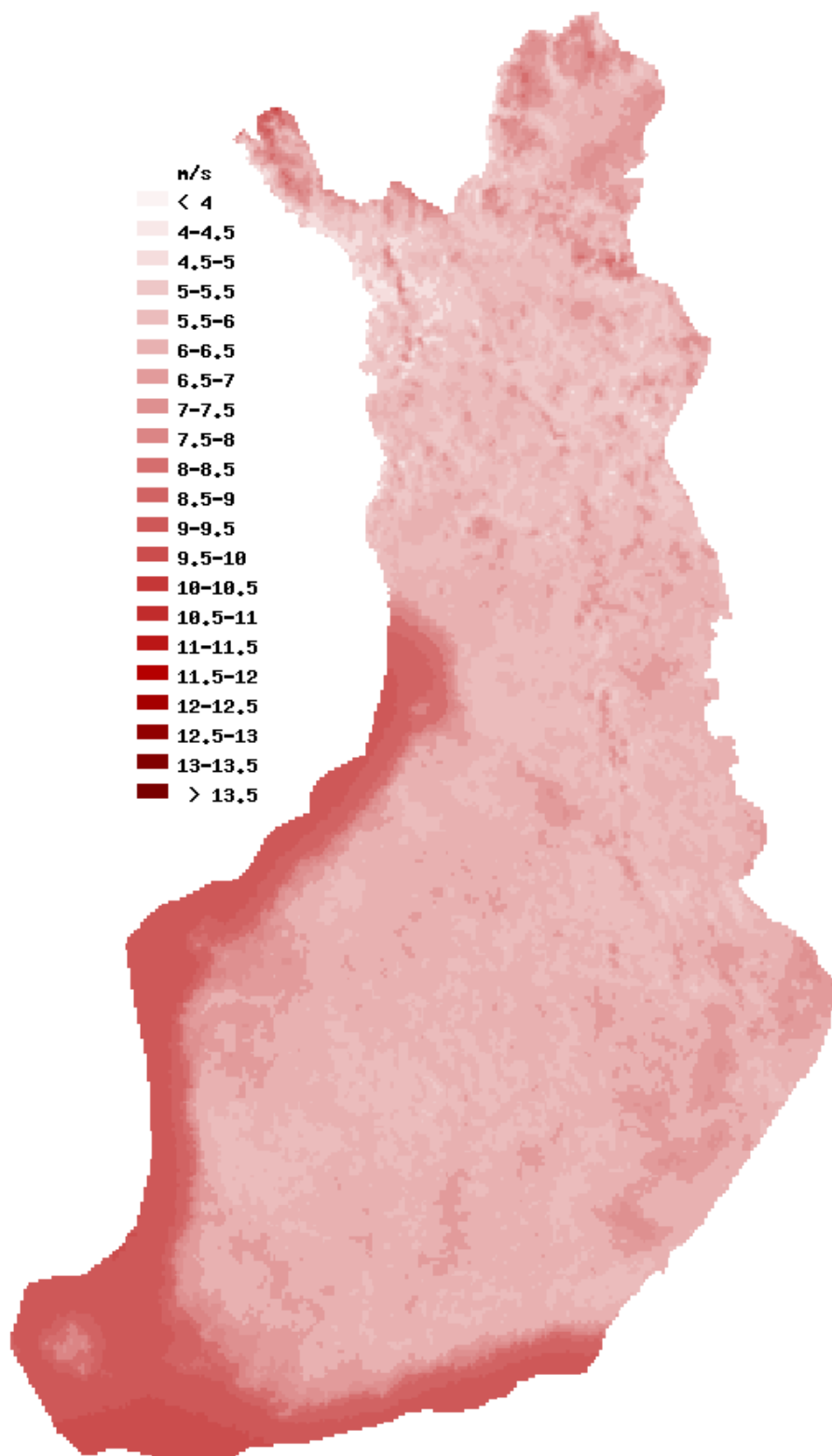
/100/ Lappalainen, M. 2010: *Energia- ja ekologiakäsikirja*. Rakennustieto Oy. Tammerfors, s. 45-46.



# BILAGOR

## Bilaga 1

### Finlands vindatlas



## Bilaga 2

Land	Försäljare	Modellnamn	Märkeffekt	Rotordiam.	Startvind	Märkvind	Pris
Finland	Saaristo- tekniikka	Ista-Breeze	500 W	1,03 m	3 m/s	12,5 m/s	388€
Finland	Saaristo- tekniikka	Ista-Breeze i-2000	2 kW	2,1 m	2 m/s	12,5 m/s	999- 1599€
Finland	Saaristo- tekniikka	Ista Breeze Heli 4.0	4 kW	3 m	2,9 m/s	12,5 m/s	3990- 4990€
Finland	Saaristo- tekniikka	Ista Breeze 350 VAC Heli	4 kW	3 m	2,9 m/s	12,5 m/s	9990- 11200€
Finland	Saaristo- tekniikka	10 kW tuuli- voimala	10 kW	7,5 m	3 m/s	11 m/s	11900- 14200€
Finland	Ilmavirta	Osiris	1,55 kW	3,2 m	2,4 m/s	10,5 m/s	2500/ 8060€
Sverige	Windforce AB	Vindblomma	1 kW	2 m	1,5	12 m/s	2810€*
Sverige	Windforce AB	Windstar 3000	3 kW	3 m	2,5	12 m/s	5630€*
Sverige	Innoventum	Dali Performance	3 kW	3 m	3 m/s	12 m/s	23500€
Sverige	Innoventum	Dali Performance	3,7 kW	3,5 m	3 m/s	12 m/s	-
Sverige	Innoventum	Dali Performance	5,5 kW	4 m	3 m/s	12 m/s	-
Sverige	Innoventum	Dalifant	11 kW	13 m	-	9,5 m/s	101300€
Sverige	De IJssel Coatings	Superwind 350	350 W	1,22 m	3,5 m/s	12,5 m/s	1400€*
Spanien	Bornay	Wind 13+	1,5 kW	2,86 m	3 m/s	12 m/s	-
Spanien	Bornay	Wind 25.2+	3 kW	4 m	3 m/s	12 m/s	-
Spanien	Bornay	Wind 25.3+	5 kW	4,05 m	3 m/s	12 m/s	-
Spanien	Bornay	Bee 800 SWT	800 W	1,75 m	3,5 m/s	12 m/s	Ca 3600€
Spanien	Enair	E30 PRO	3 kW	3,8 m	2 m/s	12 m/s	-
Spanien	Enair	E70 PRO	5,5 kW	4,3 m	2 m/s	12 m/s	-
Spanien	Enair	E200L	10 kW	9,8 m	1,85 m/s	9 m/s	-
Tyskland	WinDual Turbines	TN10	10 kW	13,2 m	-	7,5 m/s	-

Tyskland	WinDual Turbines	GH10	10 kW	7,8 m	-	-	19000€
Tyskland	Braun Windturbinen	Antaris 2,5	2,5 kW	3 m	2 m/s	12 m/s	-
Tyskland	Braun Windturbinen	Antaris 7,5	7,5 kW	4,4-5,3 m	2 m/s	12 m/s	-

\*enligt svenska kronans växelkurs i januari 2020

*Tabell 1. Jämförelse mellan olika modeller av småskaliga vindkraftverk. Uppgifter som inte har nämnts av tillverkaren har lämnats tomma.*

## Energisimulering Jyväskylä

### Heating Load Report

Jyväskylä		Heating Load Report	
Project		Building	
		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Customer		Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Location	Jyvaskyla_029350 (ASHRAE 2013)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Climate file	FIN_JYVASKYLA_029350(IW2)	Window/Envelope	4.1 %
Case	Byggnad_Jyväskylä	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
Simulated	2.5.2019 11:12:05	Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Zone Heating Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat supplied*, W	Time	Room unit heat, W	Vent. heat loss**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
Zone 1		148.0	4141.0	15 Feb 06:22	5567.0	1425.0	21.0	299.9

\* Maximum heat supplied by air and room units

\*\* Heat lost through ventilation and infiltration at time of maximum heat supply

### Air Handling Unit Heating Loads

Air Handling Unit	Heating*, W	Time	AHU heat recovery, W
AHU	8595.0	15 Feb 04:43:21	7027.0

\* Total (sensible and latent) heat load

### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone heating	5.6	
AHU heating	8.6	
Total	14.2	15 Feb 04:43

### Cooling Load Report

Jyväskylä		Cooling Load Report	
Project		Building	
		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Customer		Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Location	Jyvaskyla_029350 (ASHRAE 2013)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Climate file	FIN_JYVASKYLA_029350(IW2)	Window/Envelope	4.1 %
Case	Byggnad_Jyväskylä	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
Simulated	2.5.2019 11:12:05	Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

## Bilaga 3 2(3)

### Zone Cooling Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat removed*, W	Time	Room unit cool, W	Dry vent cool**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
Zone 1		148.0	3098.0	15 Jul 15:58	118.8	2853.0	25.0	296.1

\* Maximum heat (incl. latent) removed by air and room units

\*\* Maximum sensible heat removed by mechanical supply air

### Air Handling Unit Cooling Loads

Air Handling Unit	Cooling*, W	Time	AHU cold recovery, W
AHU	5065.0	15 Jul 14:28:28	349.0

\* Total (sensible and latent) coil load

### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone cooling	0.1	
AHU cooling	5.0	
Total	5.1	15 Jul 15:58

### Delivered Energy Report

Jyväskylä		Delivered Energy Report	
Project		Building	
		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Customer		Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Location	Jyvaskyla_029350 (ASHRAE 2013)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Climate file	FIN_JYVASKYLA_029350(IW2)	Window/Envelope	4.1 %
Case	Byggnad_Jyväskylä	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
Simulated	2.5.2019 11:12:05	Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Building Comfort Reference

Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	0 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	0 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	13 %

## Bilaga 3 3(3)

### Delivered Energy Overview

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW
	Lighting, facility	3889	26.3	0.44
	Electric cooling	470	3.2	1.51
	HVAC aux	4210	28.4	0.5
	Electric heating	22415	151.5	14.03
	<b>Total, Facility electric</b>	<b>30984</b>	<b>209.4</b>	
	<b>Total</b>	<b>30984</b>	<b>209.4</b>	
	Equipment, tenant	3942	26.6	0.45
	<b>Total, Tenant electric</b>	<b>3942</b>	<b>26.6</b>	
	<b>Grand total</b>	<b>34926</b>	<b>236.0</b>	

### Monthly Purchased/Sold Energy

Month	Facility electric				Tenant electric
	Lighting, facility	Electric cooling	HVAC aux	Electric heating	Equipment, tenant
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	330.3	0.0	352.8	3829.0	334.8
2	298.4	0.0	317.9	4057.0	302.4
3	330.3	0.0	353.8	2787.0	334.8
4	319.7	0.0	344.1	1793.0	324.0
5	330.3	22.9	359.5	742.0	334.8
6	319.7	81.8	351.3	233.6	324.0
7	330.3	214.9	365.7	119.0	334.8
8	330.3	137.0	363.7	281.4	334.8
9	319.7	13.6	347.9	826.4	324.0
10	330.3	0.0	356.4	1791.0	334.8
11	319.7	0.0	343.4	2499.0	324.0
12	330.3	0.0	353.4	3457.0	334.8
<b>Total</b>	<b>3889.3</b>	<b>470.2</b>	<b>4209.9</b>	<b>22415.4</b>	<b>3942.0</b>

## Energisimulering Malmö

### Heating Load Report

Malmö		Heating Load Report	
Project		Building	
Customer		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Location	Malmö/Sturup_026360 (ASHRAE 2013)	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Climate file	SWE_MALMO-STURUP_026360(IW2)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Case	Byggnad_Malmö	Window/Envelope	4.1 %
Simulated	2.5.2019 11:29:20	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
		Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Zone Heating Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat supplied*, W	Time	Room unit heat, W	Vent. heat loss**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
Zone 1		148.0	2888.0	15 Jan 06:38	4305.0	1415.0	21.0	299.4

\* Maximum heat supplied by air and room units

\*\* Heat lost through ventilation and infiltration at time of maximum heat supply

### Air Handling Unit Heating Loads

Air Handling Unit	Heating*, W	Time	AHU heat recovery, W
AHU	3023.0	15 Jan 04:19:07	6897.0

\* Total (sensible and latent) heat load

### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone heating	4.3	
AHU heating	3.0	
Total	7.3	15 Jan 04:19

### Cooling Load Report

Malmö		Cooling Load Report	
Project		Building	
Customer		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Location	Malmö/Sturup_026360 (ASHRAE 2013)	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Climate file	SWE_MALMO-STURUP_026360(IW2)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Case	Byggnad_Malmö	Window/Envelope	4.1 %
Simulated	2.5.2019 11:29:20	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
		Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

## Bilaga 4 2(3)

### Zone Cooling Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat removed*, W	Time	Room unit cool, W	Dry vent cool**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
Zone 1		148.0	2882.0	15 Jul 09:36	0.0	2761.0	24.2	295.6

\* Maximum heat (incl. latent) removed by air and room units

\*\* Maximum sensible heat removed by mechanical supply air

### Air Handling Unit Cooling Loads

Air Handling Unit	Cooling*, W	Time	AHU cold recovery, W
AHU	5040.0	15 Jul 14:44:53	318.2

\* Total (sensible and latent) coil load

### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone cooling	0.0	
AHU cooling	5.0	
Total	5.0	15 Jul 14:45

### Delivered Energy Report

Malmö		Delivered Energy Report	
Project		Building	
		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Customer		Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Location	Malmö/Sturup_026360 (ASHRAE 2013)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Climate file	SWE_MALMO-STURUP_026360(IW2)	Window/Envelope	4.1 %
Case	Byggnad_Malmö	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
Simulated	2.5.2019 11:29:20	Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Building Comfort Reference

Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	0 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	0 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	12 %



## Bilaga 4 3(3)

### Delivered Energy Overview

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW
	Lighting, facility	3889	26.3	0.44
	Electric cooling	636	4.3	1.48
	HVAC aux	4234	28.6	0.5
	Electric heating	14365	97.1	8.2
	Total, Facility electric	23124	156.2	
	Total	23124	156.2	
	Equipment, tenant	3942	26.6	0.45
	Total, Tenant electric	3942	26.6	
	Grand total	27066	182.9	

### Monthly Purchased/Sold Energy

Month	Facility electric				Tenant electric
	Lighting, facility	Electric cooling	HVAC aux	Electric heating	Equipment, tenant
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	330.3	0.0	355.5	2320.0	334.8
2	298.4	0.0	320.5	2263.0	302.4
3	330.3	0.0	356.0	1896.0	334.8
4	319.7	3.5	346.9	1047.0	324.0
5	330.3	47.6	361.4	488.7	334.8
6	319.7	97.5	351.6	343.7	324.0
7	330.3	191.1	365.5	196.1	334.8
8	330.3	254.1	366.3	201.4	334.8
9	319.7	39.4	350.7	482.1	324.0
10	330.3	3.0	359.1	1109.0	334.8
11	319.7	0.0	345.1	1751.0	324.0
12	330.3	0.0	355.6	2267.0	334.8

## Energisimulering Frankfurt

### Heating Load Report

Frankfurt		Heating Load Report	
Project		Building	
Customer		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Location	Frankfurt am Main (Airport)_106370 (ASHRAE 2013)	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Climate file	DEU_FRANKFURT-MAIN-AP_106370(IW2)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Case	Byggnad_Frankfurt	Window/Envelope	4.1 %
Simulated	4.5.2019 19:08:35	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
		Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Zone Heating Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat supplied*, W	Time	Room unit heat, W	Vent. heat loss**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
Zone 1		148.0	2684.0	15 Jan 07:28	4104.0	1408.0	21.0	299.2

\* Maximum heat supplied by air and room units

\*\* Heat lost through ventilation and infiltration at time of maximum heat supply

### Air Handling Unit Heating Loads

Air Handling Unit	Heating*, W	Time	AHU heat recovery, W
AHU	2712.0	15 Jan 04:19:59	6464.0

\* Total (sensible and latent) heat load

### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone heating	4.1	
AHU heating	2.7	
Total	6.8	15 Jan 05:09

### Cooling Load Report

Frankfurt		Cooling Load Report	
Project		Building	
Customer		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Location	Frankfurt am Main (Airport)_106370 (ASHRAE 2013)	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Climate file	DEU_FRANKFURT-MAIN-AP_106370(IW2)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Case	Byggnad_Frankfurt	Window/Envelope	4.1 %
Simulated	4.5.2019 19:08:35	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
		Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

## Bilaga 5 2(3)

### Zone Cooling Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat removed*, W	Time	Room unit cool, W	Dry vent cool**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
Zone 1		148.0	3249.0	15 Jul 17:25	265.0	2867.0	25.0	296.4

\* Maximum heat (incl. latent) removed by air and room units

\*\* Maximum sensible heat removed by mechanical supply air

### Air Handling Unit Cooling Loads

Air Handling Unit	Cooling*, W	Time	AHU cold recovery, W
AHU	5480.0	14 Jun 15:04:28	869.2

\* Total (sensible and latent) coil load

### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone cooling	0.2	
AHU cooling	5.3	
Total	5.6	15 Jul 16:34

### Delivered Energy Report

Frankfurt		Delivered Energy Report	
Project		Building	
		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Customer		Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Location	Frankfurt am Main (Airport)_106370 (ASHRAE 2013)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Climate file	DEU_FRANKFURT-MAIN-AP_106370(IW2)	Window/Envelope	4.1 %
Case	Byggnad_Frankfurt	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
Simulated	4.5.2019 19:08:35	Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Building Comfort Reference

Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	0 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	0 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	11 %

## Bilaga 5 3(3)

### Delivered Energy Overview

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW
	Lighting, facility	3889	26.3	0.44
	Electric cooling	1307	8.8	2.29
	HVAC aux	4251	28.7	0.51
	Electric heating	11462	77.5	5.76
	Total, Facility electric	20909	141.3	
	Total	20909	141.3	
	Equipment, tenant	3942	26.6	0.45
	Total, Tenant electric	3942	26.6	
	Grand total	24851	167.9	

### Monthly Purchased/Sold Energy

Month	Facility electric				Tenant electric
	Lighting, facility	Electric cooling	HVAC aux	Electric heating	Equipment, tenant
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	330.3	0.0	355.6	2227.0	334.8
2	298.4	0.0	321.1	1902.0	302.4
3	330.3	16.0	358.5	1159.0	334.8
4	319.7	9.8	347.8	803.8	324.0
5	330.3	168.0	364.7	240.3	334.8
6	319.7	240.1	354.4	155.7	324.0
7	330.3	373.7	367.7	99.2	334.8
8	330.3	409.6	367.9	95.4	334.8
9	319.7	80.8	351.6	402.8	324.0
10	330.3	8.7	360.1	829.9	334.8
11	319.7	0.0	345.9	1477.0	324.0
12	330.3	0.0	356.1	2070.0	334.8
Total	3889.3	1306.8	4251.4	11462.1	3942.0

## Energisimulering Sevilla

### Heating Load Report

Sevilla		Heating Load Report	
Project		Building	
		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Customer		Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Location	Sevilla (Airport)_083910 (ASHRAE 2013)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Climate file	ESP_SEVILLA-SAN-PABLO_083910(IW2)	Window/Envelope	4.1 %
Case	Byggnad_Sevilla	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
Simulated	4.5.2019 19:11:49	Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Zone Heating Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat supplied*, W	Time	Room unit heat, W	Vent. heat loss**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
Zone 1		148.0	1702.0	15 Jan 09:25	2992.0	1223.0	21.0	297.2

\* Maximum heat supplied by air and room units

\*\* Heat lost through ventilation and infiltration at time of maximum heat supply

### Air Handling Unit Heating Loads

Air Handling Unit	Heating*, W	Time	AHU heat recovery, W
AHU	1017.0	15 Jan 05:39:02	4068.0

\* Total (sensible and latent) heat load

### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone heating	3.0	
AHU heating	1.0	
Total	4.0	15 Jan 05:39

### Cooling Load Report

Sevilla		Cooling Load Report	
Project		Building	
		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Customer		Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Location	Sevilla (Airport)_083910 (ASHRAE 2013)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Climate file	ESP_SEVILLA-SAN-PABLO_083910(IW2)	Window/Envelope	4.1 %
Case	Byggnad_Sevilla	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
Simulated	4.5.2019 19:11:49	Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

## Bilaga 6 2(3)

### Zone Cooling Loads

Zone	Group	Area, m <sup>2</sup>	Heat removed*, W	Time	Room unit cool, W	Dry vent cool**, W	Temp., °C	Sup airflow, L/s
Zone 1		148.0	3954.0	15 Aug 18:10	945.5	2903.0	25.0	296.1

\* Maximum heat (incl. latent) removed by air and room units

\*\* Maximum sensible heat removed by mechanical supply air

### Air Handling Unit Cooling Loads

Air Handling Unit	Cooling*, W	Time	AHU cold recovery, W
AHU	9000.0	15 Jul 15:42:25	3117.0

\* Total (sensible and latent) coil load

### Total for Building

	Max., kW	Time
Zone cooling	0.7	
AHU cooling	9.0	
Total	9.6	15 Jul 16:46

### Delivered Energy Report

Sevilla		Delivered Energy Report	
Project		Building	
		Model floor area	148.0 m <sup>2</sup>
Customer		Model volume	384.7 m <sup>3</sup>
Created by	Robert Toivanen	Model ground area	148.0 m <sup>2</sup>
Location	Sevilla (Airport)_083910 (ASHRAE 2013)	Model envelope area	437.4 m <sup>2</sup>
Climate file	ESP_SEVILLA-SAN-PABLO_083910(IW2)	Window/Envelope	4.1 %
Case	Byggnad_Sevilla	Average U-value	0.2165 W/(m <sup>2</sup> K)
Simulated	4.5.2019 19:11:49	Envelope area per Volume	1.137 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

### Building Comfort Reference

Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	0 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	0 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8 %

## Bilaga 6 3(3)

### Delivered Energy Overview

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW
	Lighting, facility	3889	26.3	0.44
	Electric cooling	6051	40.9	3.44
	HVAC aux	4336	29.3	0.53
	Electric heating	2157	14.6	3.06
	Total, Facility electric	16433	111.0	
	Total	16433	111.0	
	Equipment, tenant	3942	26.6	0.45
	Total, Tenant electric	3942	26.6	
	Grand total	20375	137.7	

### Monthly Purchased/Sold Energy

Month	Facility electric				Tenant electric
	Lighting, facility	Electric cooling	HVAC aux	Electric heating	Equipment, tenant
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	330.3	11.2	360.4	642.0	334.8
2	298.4	33.0	326.4	400.4	302.4
3	330.3	129.1	363.7	211.4	334.8
4	319.7	254.6	354.3	127.6	324.0
5	330.3	509.4	369.4	11.4	334.8
6	319.7	916.1	361.9	0.0	324.0
7	330.3	1207.0	376.7	0.0	334.8
8	330.3	1404.0	378.4	0.0	334.8
9	319.7	967.1	362.1	0.0	324.0
10	330.3	489.1	369.0	10.8	334.8
11	319.7	103.2	351.6	244.6	324.0
12	330.3	27.6	361.6	508.4	334.8
Total	3889.3	6051.3	4335.5	2156.6	3942.0