

# Småskaliga vindkraftverk i urban miljö

## Sammanfattning

Denna studie ger en överblick av småskaliga vindkraftverk samt vilka krav som måste ställas för att anpassa dem till installation i urban miljö. I denna uppsats valdes 3 (1-4 kW) olika verk för att simulera årsproduktion efter tillgängliga vindmätningar från Krafringens vindstation vid Värpinge (öppen area, nära stan) som visade en medelvindhastighet på ca 3,3 m/s. En ekonomisk analys gjordes sedan baserad på den elproduktion som simulerades fram vid medelvindhastighet på 5 m/s (den rekommenderade medelvind från leverantörer inför installation av ett verk). Man vill gärna att ett vindkraftverk med livslängd på 20 år ska återbetala sig efter åtminstone 10 år för att investeringar av verket ska kännas lönsamt, vilket främst beror på investeringskostnader och årsproduktion från verket.

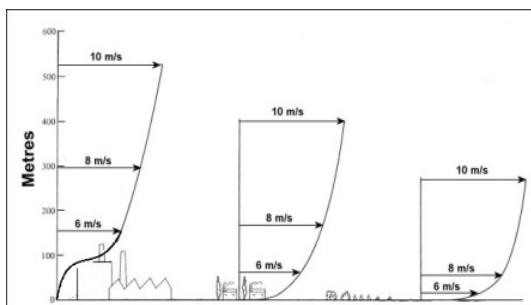
## Teori

Intresset för småskaliga vind- och solanläggningar för egen elproduktion har ökat under de senaste åren. Småskalig vindproduktion (<100 kW eller 200 m<sup>2</sup> svept yta, det finns många olika

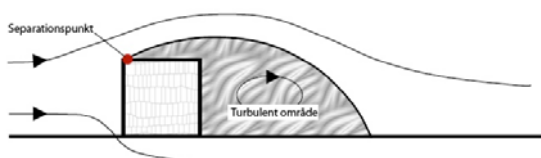
definitioner) är generellt sett ingen stor marknad, speciellt inte i Sverige. Småskaliga vindkraftverk som installerades över hela världen i slutet av 2011 motsvarar cirka 576 MW jämfört med en total kapacitet på 240 GW av stora vindkraftverk. Den totala installerade effekten i Sverige år 2010 beräknades som 1700 kW för småskaliga verk. Produktion av elektricitet med små vindkraftverk påverkas av vissa faktorer. Effekten som finns tillgänglig i vinden är proportionell mot vindhastigheten i kubik. Det innebär att en dubblerad vindhastighet ger åtta gånger så stor effekt. Svepyta (arean som vindkraftverk verkar över) påverkar dock produktionen linjärt.

I städer finns det flera faktorer som påverkar dessa förhållanden såsom låga vindhastigheter, för att vinden bromsas på grund av olika objekt (2,5-3,5 m/s för tätt respektive öppen area). En annan faktor är turbulens som skapas av olika objekt i omgivning samt av själva formen av byggnader med tanke på ett byggintegrerade verk. Figur 1 visar vindprofilen efter olika råhet. Figur 2 och 3

visar hur turbulens kan utformas av formen av byggnader.

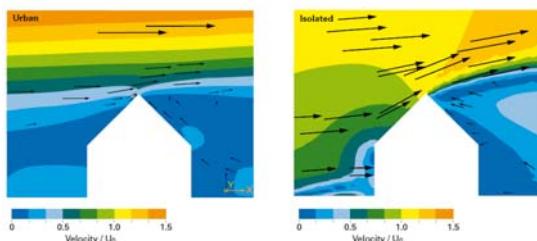


Figur 1: Vindprofil efter olika råhet



Figur 2: Vindflödet kring en byggnad. Separationslinjen utgår från separationspunkten och markerar det turbulenta området.

Genom en CFD-analys (Computational fluid dynamics) kan rätt placering på en byggnad bestämmas. Denna analys är dock väldigt dyr att genomföra.



Figur 3: Resultat av CFD modellering av vindflöden runt byggnader med snett tak i urban miljö (vänster bild) och i öppet landskap (höger bild).

Småskaliga vindkraftverk kan monteras fristående nära bostaden eller på byggnadens tak och vägg. Man måste ha lite koll på vindriktningar i det området som man bor med tanke på installation av ett vindkraftverk. Om man har ett platt tak bör man placera verket så nära kanten som möjligt mot vindriktning, men för vind som inte blåser från bara en riktning är den bästa placering högt upp på mitten av det platta taket. Om det finns olika bostäder och hinder är det bättre att placera verket upp till 10 meter ovanför alla hinder. I en öppen area däremot går det bra att installera verket med en höjd av 3 m ovanför alla hinder i omgivningen. För hus med gavel bör verket placeras på den sidan av gaveln som det blåser mest.

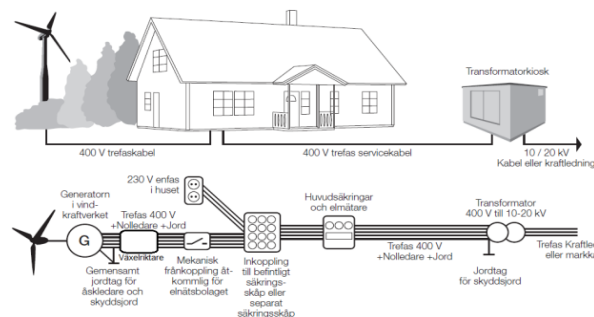
## Regler och kriterier kring nätanslutning av småskaligt

För ett byggmonterat småskaligt vindkraftverk måste man utöver plats, höjd och placering på taket som påverkar produktionen från verket, också ta hänsyn till andra faktorer såsom säkerhet och andra regler och krav som måste uppfyllas. Bland dessa finns exempelvis följande:

- CE märkning: På det sättet garanterar tillverkaren att varan överensstämmer med kraven i myndigheternas föreskrifter.

- Bygglov: Om vindkraftverkets turbindiameter är större än 3 meter; Om vindkraftverket är fast monterad på en byggnad; Om vindkraftverket är placerat närmare tomtgränsen än verkets höjd.
- Buller: < 40 dB
- Skugga: Max 8 timmar per år
- Installation av verket måste godkännas av elnätsföretag.
- Produktionsanläggning måste vara fast inkopplad d.v.s. ingen stickproppsinkoppling.
- Anläggningen måste ha en automatisk fränkopplingsutrustning kopplar bort anläggningen vid ett strömavbrott.
- Åskledare och tillhörande jordning är viktigt för att säkra omgivningarna vid åskväder.

Figur 4 visar en bild på inkoppling av vindkraftverk till egen bostad och elnätet.



Figur 4: Skiss på inkoppling av vindkraftverk till egen bostad och elnät.

## Erfarenhet från tidigare projekt i Holland och UK

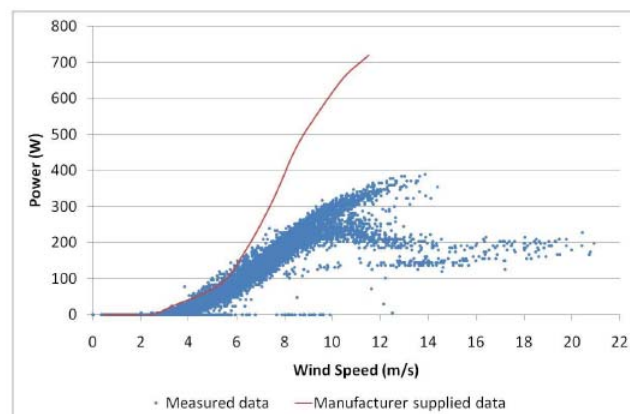
År 2008 utfördes ett test i Zeeland, vilket ligger i Holland och är en mycket blåsig plats. Avsikten med projektet var att undersöka hur vindturbinerna fungerar i förhållande till varandra. Tolv små olika vindkraftverk placerades i en rad på en öppen slätt. Deras energiutbyte mättes under ett år. Den genomsnittliga vindhastigheten under dessa 12 månader var 3,8 m/s. Trots att den uppskattade medelvindhastigheten efter vindkarta i Zeeland (på en höjd av tio meter) var 6 m/s. Resultaten tyder på hur utformningen av vindturbiner kan vara viktig. De vindkraftverken som får högsta elproduktionen är de största och av typen HAWT (horisontalaxlade verk).

Målet med andra projektet som utfördes i UK var att visa hur bra eller dåligt små vindkraftverk fungerar i en specifik miljö. Encraft Warwick Wind Trials Project har samlat information om elproduktion av 5 olika vindturbiner på 26 platser över hela Storbritannien. Detta gjordes från oktober 2007 till oktober 2008. Turbinerna placerades i tätbebyggd miljö. Turbinerna som använts i studien i Storbritannien hade effekter på 600 W upp till 1 kW. Resultaten från studie visade på mycket lägre medelvindhastighet än vindkartans uppgifter i den brittiska studien som

hämtades från NOABL-databasen. Det visade sig också att kapacitetsfaktorn i medel var lägre än 1 % (0,85 %) jämfört med ett fristående storskaligt vindkraftverk med en kapacitetsfaktor på 20-30 %. Samtidigt visar Encrafts undersökning att tillverkarna av småskaliga turbiner har en tendens att överdriva vindeffektkurvorna och därmed framställa sina produkter i bättre ljus. I tabell 1 och figur 5 visas problemet med dessa osäkra produktuppgifter för de utvalda platser och turbiner i UK projektet.

Tabell 1: Jämförelse av riktig årsproduktion från små vindkraftverk för de utvalda platser i den Britiska studien under ett år. Siffrorna erhålls enligt definierade effektkurva från leverantör och riktig effektkurva efter testperiod

Plats	Med NOABL:s vindhastigheter och leverantörens effekt kurva (kWh)	Med uppmätt vind och leverantörens effektkurva (kWh)	Uppmätt vind och den riktiga effektkurvan (kWh)
Lillington Road	819	88	52
Bird Hills	574	135	48
<b>Leicester</b>	1101	217	64
Davenry Town Hall	650	166	69



Figur 5: Effektkurva för två utvalda platser. Den röda kurvan är leverantörens effektkurva och de blå punkterna är riktiga mätdata i varje provfält efter ett års mätningar.

## Resultat från simulering av årsproduktion och ekonomisk analys

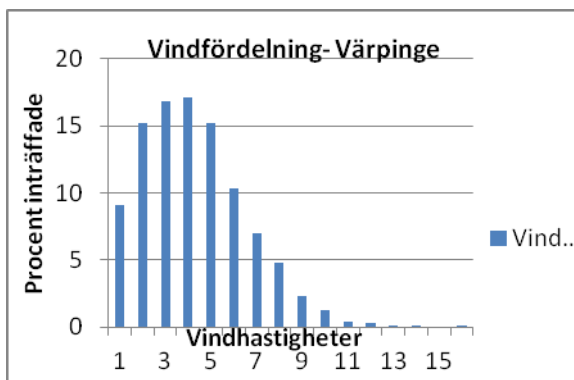
I detta avsnitt har det valts ut 3 olika verk av typen horisontal- och vertikalaxlat för vidare ekonomisk analys och årsproduktions beräkningar. Dessa verk når den maximala effekten (märkeffekt) vid vindhastighet på ca 12-14 m/s.

Ekonomisk lönsamhet är ett krav: Man vill gärna att ett vindkraftverk med livslängd på 20 år ska återbetala sig efter åtminstone 10 år för att investeringar på verket ska kännas lönsamt, vilket beror på investeringskostnader och årsproduktion från verket.

Med hjälp av tillgängliga vinddata kan medelvindhastigheten erhållas och därefter

kan årsproduktionen beräknas med en Weibullfördelning och verkets effektkurva.

Vindmätningar inhämtades från Krafringens mätstation på Värpinge Norr. Denna stadsdel är inget bostadsområde, utan består bland annat av jordbruksfält och en golfbana. Vindmätaren sitter på 10 m höjd och den beräknade årsmedelvinden ligger på 3,26 m/s. Figur 6 visar vindfördelningar enligt tillgängliga data från Krafringens vindstation under perioden 2012-09 till 2013-09.



Figur 6: Vindfördelning (weibullfördelning)-Värpinge.

Tabel 2: Årsproduktion vid olika medelvindhastigheter hos de utvalda verken samt deras pris. Windstar 3 och Pegasus är horisontalaxlade och UGE är vertikalaxlade verk.

Turbin modell	Pris kr	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s
Windstar 3kW	75 000	2383 kWh	4362 kWh	7022 kWh	9166 kWh
Pegasus 1,6 kW	46 000	1137 kWh	2082 kWh	3351 kWh	4375 kWh
UGE 4 kW	204 000	3036 kWh	5556 kWh	8945 kWh	11677 kWh

Känslighetsanalysen har gjorts för samtliga vindkraftverk för att beräkna årsproduktionen vid medelvindhastighet på 4, 5, 6 och 7 m/s (tabel 2). Den rekommenderade medelvindhastighet på platsen där en småskalig vindturbin ska installeras bör vara minst 5 m/s för att installation av ett småskaligt vindkraftverk ska kunna vara ekonomiskt lönsamt. Detta blev grunden för att genomföra den ekonomiska analysen baserande på årsproduktionen från dessa verk vid medelvindhastighet på 5 m/s.

Den första kalkylen gjordes för dessa verk, utan att ta hänsyn till något ekonomiskt stöd. Det visade sig att inget av alternativen blev lönsamma för att investeringskostnader var för höga och den ekonomiska vinningen från elproduktionen var för låg. Detta berodde på dagens låga elpris och att produktionen från vindkraftverken var för liten.

Det visade sig att en ökning av elpriset (med 100-300%) behövs om dessa ovan nämnda verk ska återbetala sig under 10-11 år för en medelvindhastighet på 5 m/s. Det skulle också behövas ett stöd (feed-in tariff) mellan 1,5-10 kr/kWh för dessa verk, om de ska vara lönsamma (=återbetala sig efter 10-11 år) med antagandet av ett elpris på 43 öre/kWh.

## Slutsats

En weibullfördelning på vindmätningar i urban miljö visar att de flesta vindhastigheterna under ett år är vid 2-6 m/s och vindhastigheter mellan 8-15 m/s inträffar sällan. Enligt detta borde verket ha en effektkurva som börjar producera el redan vid 2 m/s och uppnår sin märkeffekt vid 3-5 m/s. Detta beror på den tekniska utveckling och forskning i småskalig vindkraftverk industri.

Låga vindhastigheter (ca 3-5 m/s) och turbulens förväntas i stads miljö vilket innebär mycket mindre årsproduktion än vad som förväntas enligt uppgifter från leverantörer. SWT:s är därför inte lönsamma att satsa på i närmsta framtid. Det krävs kraftig minskning av investeringskostnader med nuvarande elpris och elcertifikat och även ekonomiska incitament för utmatad överskottsenergi (>1 kr) till elnätet om SWT:s (småskaliga vindkraftverk) ska återbetala sig efter 10-11 år.