

Vindkraftstatistik 2013

Tema: Systemeffekter

ES 2014:02

Böcker och rapporter utgivna av Statens
energimyndighet kan beställas via
www.energimyndigheten.se
Orderfax: 08-505 933 99
e-post: energimyndigheten@cm.se

© Statens energimyndighet

ES 2014:02

ISSN 1654-7543

Förord

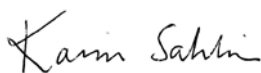
Det energiarbete som sker i kommuner, län och regioner är centralt för att ställa om Sveriges energisystem till att bli mer hållbart. Som statistikansvarig myndighet strävar Energimyndigheten efter att alltid leverera ändamålsenlig energistatistik med hög kvalitet. Att vindkraften får en allt större betydelse i det svenska energisystemet ger en ökad efterfrågan på statistik och andra uppdelningar än den som presenteras i den officiella statistiken. Därför har denna publikation tagits fram. Publikationen tas i år fram på ett nytt sätt, vilket leder till ökade granskningstider och förskjutningar i tidsplanen. Därför kan uppgifter om antal verk och installerad effekt skilja sig från tidigare publikationer.

Det är viktigt att komma ihåg att det finns olika statistikällor både för vindkraften och för elsystemet i stort. I den här rapporten används data från elcertifikatsystemet, Energimyndighetens eget datalager och Svenska kraftnäts balansserier. Metoden redovisas mer grundläggande i Bilaga 2 – Beskrivning av statistiken.

Tack vare elcertifikatsystemet finns god tillgång på geografiskt uppdelad statistik över vindkraft och detta är även den mest heltäckande källan för produktionsstatistik på anläggningsnivå. I den här rapporten presenteras data beträffande utbyggnad och total installerad effekt på kommunnivå, vilket är intressant för uppföljningen av kommuners och länsstyrelser energiarbete. Producerad el redovisas av sekretesskäl uppdelat per län. Görs redovisningsenheterna mindre, såsom kommuner, föreligger risk för rövande.

Förutom elcertifikatsystemets regionala produktionsstatistik har denna rapport kompletterats med högupplösta data från Svenska kraftnäts balansavräkningsystem. Med det vill vi ge sakligt underlag för debatten om vindkraftens roll i ett hållbart energisystem. I den här rapporten undersöks när det produceras mest och minst el från vindkraft och hur detta relaterar i tid till vårt behov av el samt hur produktionen fördelas rumsligen och hur fenomen som överlagring kan användas för att nå stabil tillgång i nätet.

Eskilstuna i juni 2014



Karin Sahlin
Enhetschef statistikenheten



Daniel Kulin

Innehåll

Förord	1
1 Sammanfattning	5
2 Förutsättningar för vindkraft	7
2.1 Sveriges elproduktion	7
2.2 Politisk målsättning.....	8
2.3 Elcertifikatsystemet.....	10
3 Sveriges vindkraft 2013	11
3.1 Utbyggnad av vindkraft över tid	11
3.2 Utbyggnad av vindkraft under 2013	12
3.3 Kommunranking – total vindkraft	13
3.4 Kommunranking – nybyggd vindkraft	14
3.5 Länsranking – produktion av vindkraftsel	16
3.6 Teknik- och marknadsutveckling	18
4 Tema: Systemeffekter	23
4.1 Vindproduktionen i effekt	23
4.2 Säsongsvariationer	24
4.3 Att möta effektbehovet.....	26
4.4 Sammanlagring av vindproduktion.....	28

1 Sammanfattning

Totala antalet vindkraftverk uppgick vid utgången av 2013 till 2640 st med en total installerad effekt på 4194 MW enligt data från elcertifikatsystemet, med viss komplettering. Den totala produktionen för 2013 uppgick till 9,8 TWh, där tre län – Västra Götalands län, Västerbottens län och Skåne län – bidrog med mer än 1 TWh vardera.

Under 2013 installerades 258 nya vindkraftverk med en total installerad effekt på 599 MW. Detta är en relativt kraftig tillbakagång på drygt 20 % jämfört med föregående år och även snäppet lägre än den utbyggnad som skedde under 2011. Mest byggdes vindkraften ut i kommunerna Ockelbo, Storuman och Borgholm som toppar kommunlistan för nybyggnad 2013. Jämförs totalt installerad effekt tappar Gotland för första gången sin ledande position. Sveriges vindkraftigaste kommun är nu Ockelbo med 250 MW installerade.

Detta innebär att vindkraften har gått från att vara en marginell energikälla till att vara lika stor som el från biobränslen. Utbyggnaden av vindkraft sker utifrån incitamenten i elcertifikatsystemet och i konkurrens med andra förnybara produktionsslag. Enligt attitydmätningar finns fortsatt stöd för mer utbyggnad av vindkraft hos den svenska befolkningen¹.

Denna publikation innehåller till skillnad från tidigare vindstatistikrapporter ett tema. Årets tema är systemeffekter. Underlaget är hämtat från Svenska kraftnäts balansavräkning varför det kan finnas små skillnader mot övrig statistik. Analyser görs bland annat av vindkraftens effektbidrag under olika timmar 2013.

Den maximala effekten som vindkraften bidrog till under en enskild timme var 3578 MW vilket motsvarar 85 % av installerad effekt. Det finns även timmar då vindkraftens bidrag är lågt, dessa infaller till största del under sommaren då effektbetövet är lågt. Vindkraftens produktion är generellt större under vintern.

Snitteffekten för alla timmarna 2013 var 1142 MW vilket motsvarar cirka 27 % av den installerade effekt som var registrerad i slutet av året. Sveriges effektbetöf varierade öfver året mellan 8000–25000 MW och i slutet av förra året motsvarade vindkraften under några timmar så mycket som 25 % av det totala effektbetöfet.

Att Sverige är långsträckt skapar bra förutsättningar för vindkraften. Det blåser oftast någonstans. Samspelet mellan olika vindkraftparker kallas sammanlagring eller öfverlagring. Vid jämförelser av vindproduktionskorrelationen mellan olika elområden finns det en tydlig samvariation mellan intilliggande områden medan den korrelationen saknas mellan elområde 1 och elområde 4.

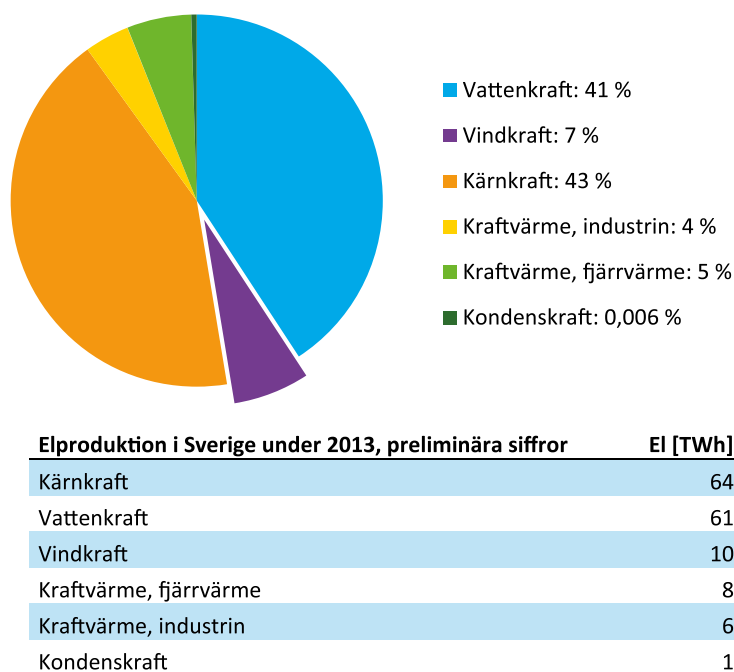
¹ SOM-institutet, 2014, http://www.som.gu.se/digitalAssets/1481/1481510_public-opinion-on-wind-power-2013.pdf.

2 Förutsättningar för vindkraft

2.1 Sveriges elproduktion

Sveriges kraftbalans är idag stark och har de senaste åren inneburit att vi varit en nettoexportör av el. Detta beror på att vår elproduktionsförmåga har ökat samtidigt som vår elanvändning har stagnerat eller till och med börjat minska². Ökningen av produktion beror både på effekthöjningar i befintlig kärnkraft och en utbyggnad av vindkraft, småskalig vattenkraft och biokraftvärme.

Enligt Energimyndighetens preliminära statistik för 2013 producerade vindkraften ca 10 TWh el, vilket gjorde att det var Sveriges tredje största kraftslag, se Figur 2.1.1 nedan. Elproduktionen från biobränslen i sektorerna *kraftvärme*, *fjärrvärme* och *kraftvärme industrin* ligger i samma storleksordning³. För 12-månadersperioden april 2013 till mars 2014 producerade vindkraften 11 TWh enligt preliminära siffror från Svenska kraftnät.



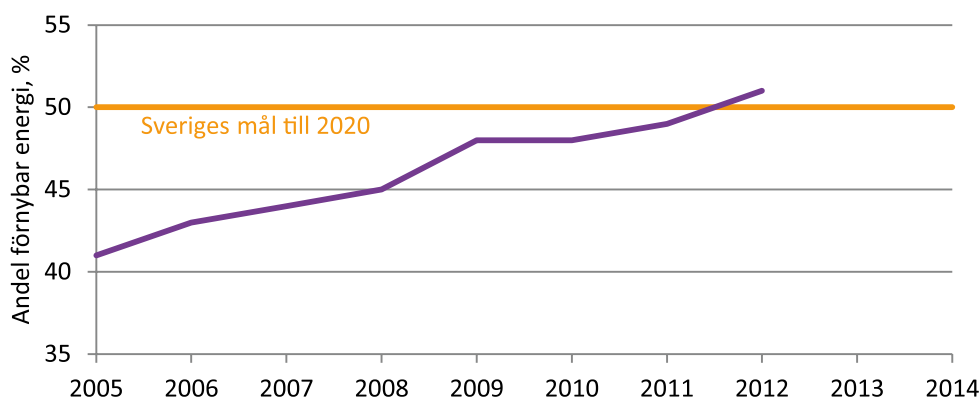
Figur 2.1.1. Elproduktionen i Sverige 2013 fördelad på produktionsslag. Produktionen presenteras i diagrammet ovan uttryckt i procent och i tabellen uttryckt i energi [TWh]. Vindkraften har nu passerat el producerad av kraftvärme i fjärrvärmesystemet och är därmed Sveriges tredje största kraftslag. Källa: Statistikdatabasen, SCB. Månadsvis elstatistik.

² Trenden med minskad elanvändning håller i sig. Pressmeddelande Energimyndigheten.

³ Sveriges andra rapport om utvecklingen av förnybar energi enligt artikel 22 i Direktiv 2009/28/EG.

2.2 Politisk målsättning

Ambitionen att bygga ut den förnybara energin utgår ifrån de energipolitiska målen till 2020 som finns inom EU, där Sverige i ett av målen ska uppnå minst 49 % förnybar energi. Riksdagen höjde ambitionen genom ett nationellt mål om minst 50 % förnybar energi till 2020. Under 2012 passerade Sverige målgränsen med 51 % förnybar energi i systemet, se Figur 2.2.1. En förändrad användning av kol, gas och olja under åren fram till 2020 kan emellertid förändra kvoten, som beräknas på årsbasis utifrån den aktuella energianvändningen.



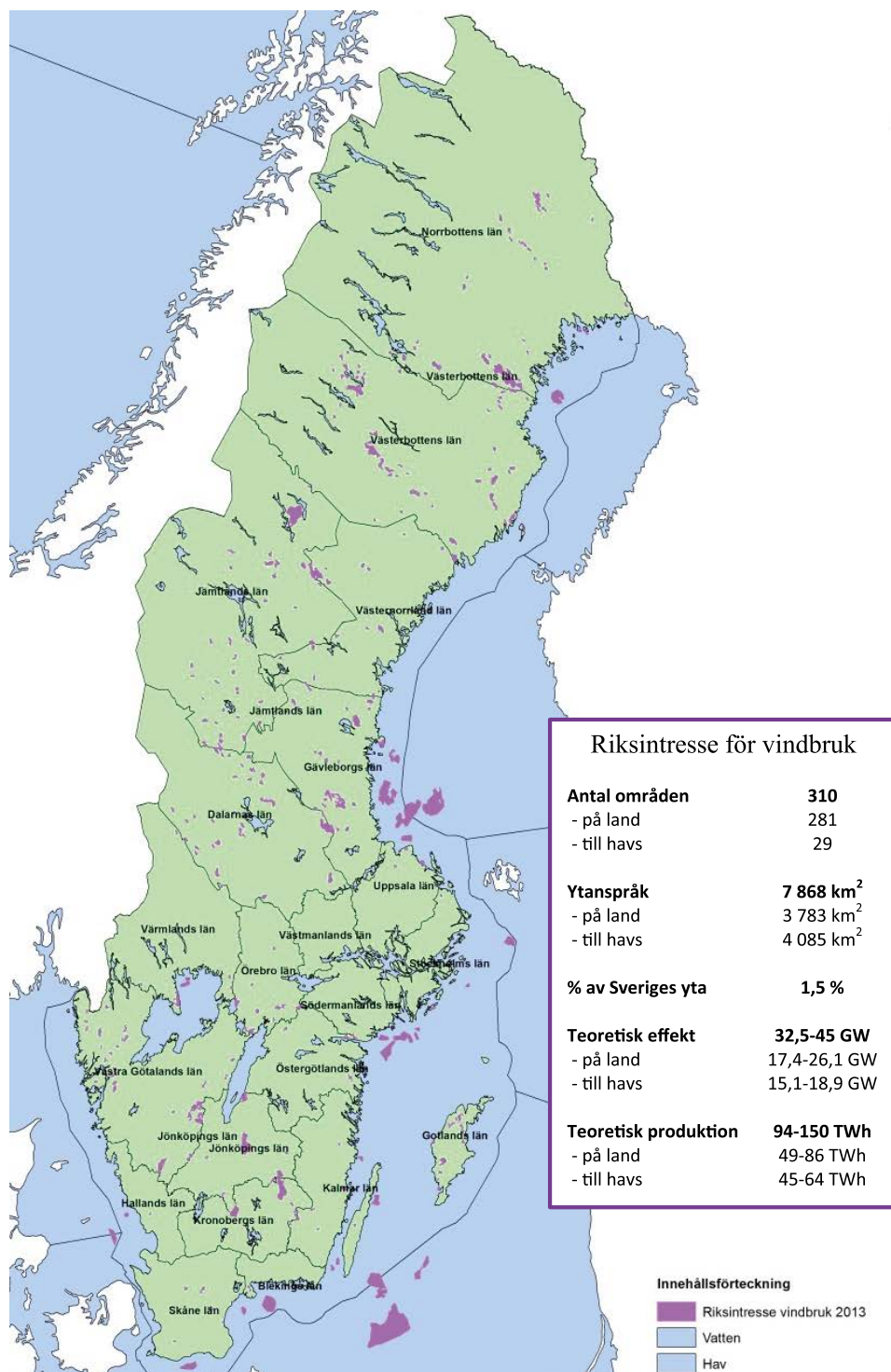
Figur 2.2.1. Utvecklingen av andelen förnybar energi i Sverige 2005–2012, i förhållande till det mål som Sverige åtagit sig.

På EU-nivå pågår just nu förhandlingar om nya målsättningar för klimat- och energipolitiken efter år 2020. Förhoppningen är att ha nya mål för 2030 klara inför FN:s klimatförhandlingar i Paris 2015. Där ska världens ledare tillsammans förhandla om globala målsättningar för klimatpolitiken efter 2020.

Utbyggnaden av vindkraft i Sverige drivs nu främst på av incitamenten inom elcertifikatsystemet, som har ett gemensamt mål med Norge om 26,4 TWh ny förnybar elproduktion till 2020 jämfört med 2012. På grund av de låga priser på elcertifikat som råder begränsas utbyggnaden just nu till de absolut lönsammaste och blåsigaste platserna i Sverige. Läs mer om elcertifikatsystemet i avsnitt 2.3.

Det finns alltså inget direkt mål för utbyggnaden av vindkraft i Sverige. Takten på utbyggnaden beror i stället på hur konkurrenskraftig vindkraften är i förhållande till andra kraftslag. Den planeringsram om 30 TWh vindkraft som finns, är att betrakta som ett politiskt ställningstagande och ett stöd i planeringen för kommuner, länsstyrelser och myndigheter. Planeringsramen har bland annat varit ett stöd i uppdateringen av riksintressena för vindbruk⁴ och de utpekade områdena som har valts ut för sina goda vindresurser visas i Figur 2.2.2.

⁴ Läs mer om revideringen av riksintressena i slutrapporten som publiceras hösten 2014.



Figur 2.2.2. Karta som visar vart de nya beslutade riksintrassena är belägna.

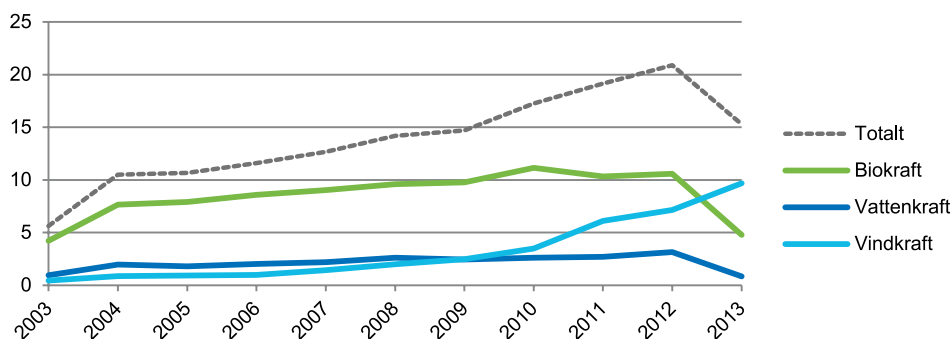
2.3 Elcertifikatsystemet

Elcertifikatsystemet är det främsta styrmedlet för förnybar energi i Sverige. Producenter av förnybar el får ett elcertifikat för varje 1000 kWh el de producerar. Certifikaten måste sedan köpas av alla elbolag och elkunder, med vissa undantag. Under 2013 var elkunderna tvungna att köpa elcertifikat motsvarande 13,5 % av elanvändningen. Det betyder att en elkund som använder 4000 kWh om året måste betala för 0,54 st elcertifikat. Priset för ett elcertifikat låg i snitt under 2013 på knappt 200 kr/ certifikat⁵. Mer information om elcertifikatsystemet finns i rapporten *En svensk-norsk elcertifikatmarknad – årsrapport 2013*⁶.

Det fanns ca 3000 godkända anläggningar för elcertifikat vid 2013 års utgång. Utifrån den elcertifikatberättigade produktionen är det vindkraften som dominerar med 63 %. Detta visas nedan i Tabell 2.3.1 och Figur 2.3.1.

Tabell 2.3.1 Produktion under 2013 i elcertifikatsystemet efter anläggningstyp.⁷

Elcertifikatberättigad produktion i Sverige under 2013	El [TWh]
Vindkraft	9,68
Elproduktion med biobränsle	4,8
Vattenkraft	0,84
Torv	0,105
Sol	0,004
Totalt	15,4



Figur 2.3.1. Tilldelningen av elcertifikat över tid för olika kraftslag.

Källa: Energiindikatorer 2013.

Elcertifikatsystemet infördes 2003 i Sverige och omfattar sedan 2012 även Norge. Tilldelningstiden för en ny anläggning är 15 år och för äldre anläggningar gäller specialregler beträffande hur länge de får elcertifikat. Årsskiftet 2012/2013 förlorade ett par hundra anläggningar rätten till elcertifikat och nästa utfasning blir årsskiftet 2014/2015. Därefter kommer anläggningar att fasas ut baserat på sin 15-åriga tilldelningsperiod vilket betyder att de anläggningar som blev beviljade certifikat 2003 tappar rätten till certifikat 2018.

⁵ Källa: SKM, genom Ekonomifakta.se.

⁶ Eller i *Energiläget 2013* och *Energiindikatorer 2013*.

⁷ En svensk-norsk elcertifikatmarknad – årsrapport för 2013, Energimyndigheten.

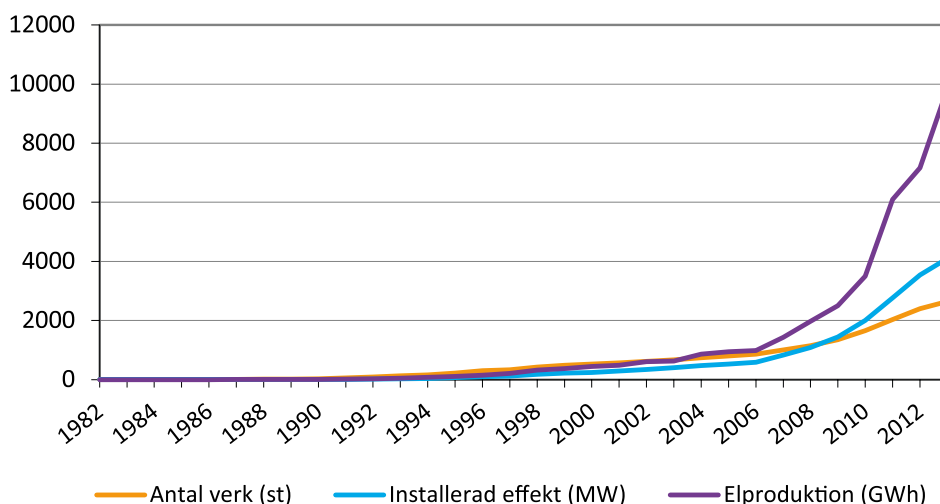
3 Sveriges vindkraft 2013

Underlaget till statistiken i det här kapitlet grundar sig på uppgifter från elcertifikatsystemet. Några av de äldsta anläggningarna har dock fasats ut och statistiken kompletteras därför med uppgifter över tilldelning av ett annat frivilligt certifikat, kallat "ursprungsgaranti" eller UG. Dessa registreras i samma databas som elcertifikat men tilldelas bara anläggningar som har ansökt om dessa. Läs mer om statistikens täckning i bilaga 2 – BAS.

3.1 Utbyggnad av vindkraft över tid

Den totalt registrerade⁸ effekten i slutet av 2013 uppgick till 4194 MW i 2640 vindkraftverk. Av dessa är 3859 MW elcertifikatberättigade anläggningar på land, 210 MW havsbaserade anläggningar och uppskattningsvis 125 MW äldre vindkraftverk som fasats ut ur elcertifikatsystemet⁹. Av de utfasade verken är det knappt 100 MW som är registrerade för ursprungsgarantier. Utöver detta avregistrerades¹⁰ totalt 13 MW vindkraft under 2013.

I Figur 3.1.1 nedan visas en graf med total utbyggnad, installerad effekt och elproduktion. Tabellen med värdena till grafen finns på energimyndighetens hemsida och heter *Vindkraftstatistik 2013 – tabeller*.



Figur 3.1.1. Den svenska vindkraftens utbyggnad och elproduktionen över tid. Notera att sambandet mellan kurvorna inte är linjärt, vilket tyder på en teknikutveckling enligt Figur 3.6.1.

⁸ Enligt utdrag i maj 2014, ändringsanmälningar kan inkomma löpande.

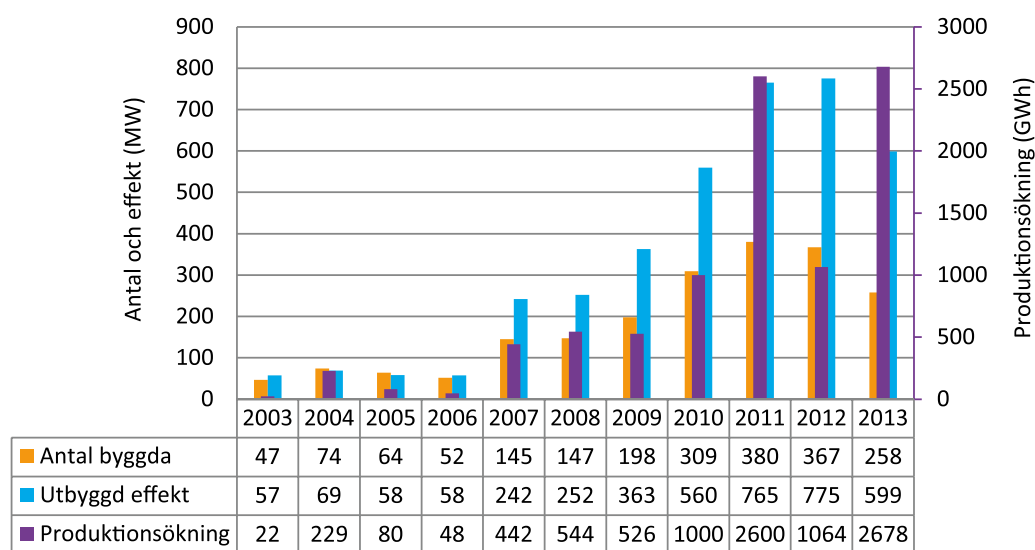
⁹ För de verk som fasats ut ur elcertifikatsystemet behövs kompletterande källor för att skatta driftstatus, det vill säga om verket var i drift och hur mycket det i så fall producerade.

¹⁰ Detta kan bero på skrotning eller att verken t.ex. omregistreras i annan kommun.

3.2 Utbyggnad av vindkraft under 2013

2013 blev ett nytt rekordår för total elproduktion från vindkraften, men inget rekord när det gäller antal byggda vindkraftverk. Totalt byggdes 258 nya verk med en installerad effekt på 599 MW. Detta är 23 % lägre än den registrerade effekten föregående år, och färre antal verk än 2010–2012, se Figur 3.2.1.

Jämförs produktionsökningen med föregående år kan det konstateras att produktionsökningen var stor. Detta kan dels bero på att 2013 var ett bättre vindår eller att många verk byggdes sent under 2012 varför dess fulla produktion inte syntes förrän under 2013.



Figur 3.2.1. Diagrammet visar ökningen av antal vindkraftverk, installerad effekt och produktion jämfört med föregående år. Observera att produktionsökningen ligger på sekundäraxel.

När det gäller antal verk är det viktigt att poängtera att det inte finns någon gräns för installerad effekt för att vindkraftverken ska förekomma i statistiken. För små verk ämnade för egenproduktion av el beror förekomsten i statistiken på huruvida dessa sökt och fått elcertifikat eller inte. Under 2013 byggdes till exempel 14 vindkraftverk som var mindre än 1 MW.

Det vi ser i de båda föregående figurerna är att produktionen per enhet ökat mer än både antalet och den installerade effekten. Detta beror på att de största vindkraftverken hela tiden blir mer effektiva och får en större rotor i förhållande till generatorns märkeffekt, vilket ökar antalet drifttimmar på hög effekt och antalet ekvivalenta fullasttimmar.

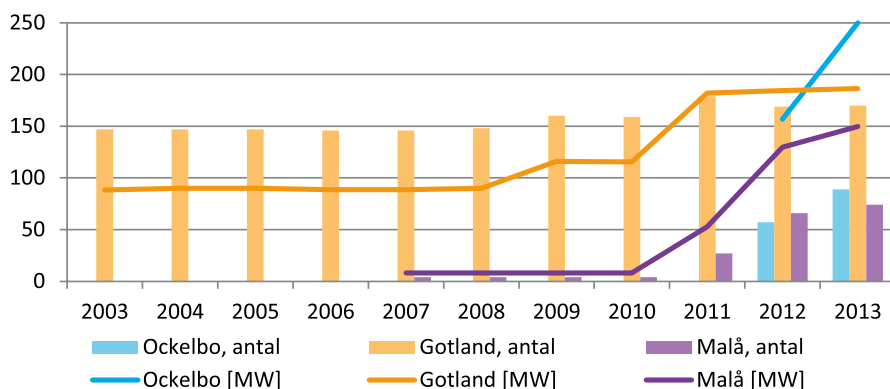
3.3 Kommunranking – total vindkraft

Med totalt 250 MW installerad effekt tar Ockelbo över förstaplatsen från Gotland som Sveriges vindkraftigaste kommun, trots att de så sent som 2011 inte hade ett enda installerat vindkraftverk. Detta är på ett sätt anmärkningsvärt och ganska typiskt för dagens vindkraftutbyggnad där det inte längre är enskilda små verk utan stora projekt, i industriell skala och med tydliga stordriftfördelar, som står för den största delen av utbyggnaden. Värt att notera är att den totala produktionen för de 10 kommuner som toppar utbyggnaden motsvarar mer än en tredjedel av den totala vindkraftproduktionen i Sverige. Se rankingen¹¹ i Tabell 3.3.1.

Tabell 3.3.1 Lista över de tio kommuner som hade störst installerad effekt i slutet av 2013.

Ranking	Kommun	Installerad effekt [MW]	Totalt antal vindkraftverk	Produktion 2013 [GWh]	Snitteffekt per verk [MW]
1. (2)	Ockelbo	250	89	687	2,8
2. (1)	Gotland	186	170	382	1,1
3. (3)	Malå	150	74	453	2,0
4. (6)	Laholm	147	101	266	1,5
5. (4)	Strömsund	146	73	406	2,0
6. (11)	Vetlanda	135	51	315	2,7
7. (12)	Borgholm	133	70	245	1,9
8. (5)	Malmö	114	50	284	2,3
9. (7)	Nordmaling	95	42	233	2,3
10. (14)	Falkenberg	93	61	190	1,5

Utbyggnaden, speciellt när kommuner rangordnas utifrån installerad effekt och inte antal verk, bör sättas i ett tidsperspektiv för att kunna förstå teknikutvecklingens betydelse för den ökade kapaciteten. Tidiga kommuner, där Gotland är i en klass för sig, har byggt ut vindkraften under en lång tid och har således många vindkraftverk och samtidigt en stor andel mindre vindkraftverk, se Figur 3.3.1.



Figur 3.3.1. Tidsserie som visar utbyggnaden i total effekt för de tre kommuner i Sverige som har högst installerad effekt. När strecket ligger över staplarna är effekten större än 1 MW per turbin.

¹¹ Hela listan med alla kommuner och dess antal vindkraftverk redovisas i sin helhet i bilaga 1.

Byggs större verk behövs också färre för att uppnå en viss installerad effekt. I figuren ovan ser vi att det var först 2011 som den genomsnittliga effekten för de totalt installerade turbinerna översteg 1 MW per verk på Gotland medan det för Ockelbo ligger på 2,8 MW per verk.

3.4 Kommunranking – nybyggd vindkraft

Vindkraften är idag spridd över stora delar av landet och under 2013 registrerades knappt 600 MW ny vindkraft i totalt 39 av landets kommuner. Samtidigt tappade tre kommuner totalt 13 MW vindkraft. Detta kan bero på uppdateringar i databasen eller skrotning. Många av kommunerna på tio-i-topp avseende total installerad effekt återfinns även på denna lista.

Flest nya vindkraftverk tillkom i Ockelbo kommun (32 st, 93,3 MW). Näst mest registrerades i Storuman (26 st, 65 MW) och på tredje plats noteras Borgholm (23 st, 60,1 MW). Idag finns det vindkraftverk i 169 av Sveriges 290 kommuner. I Tabell 3.4.1 nedan ges en sammanfattning av statistiken¹² för de tio kommuner där mest vindkraft byggdes under 2013.

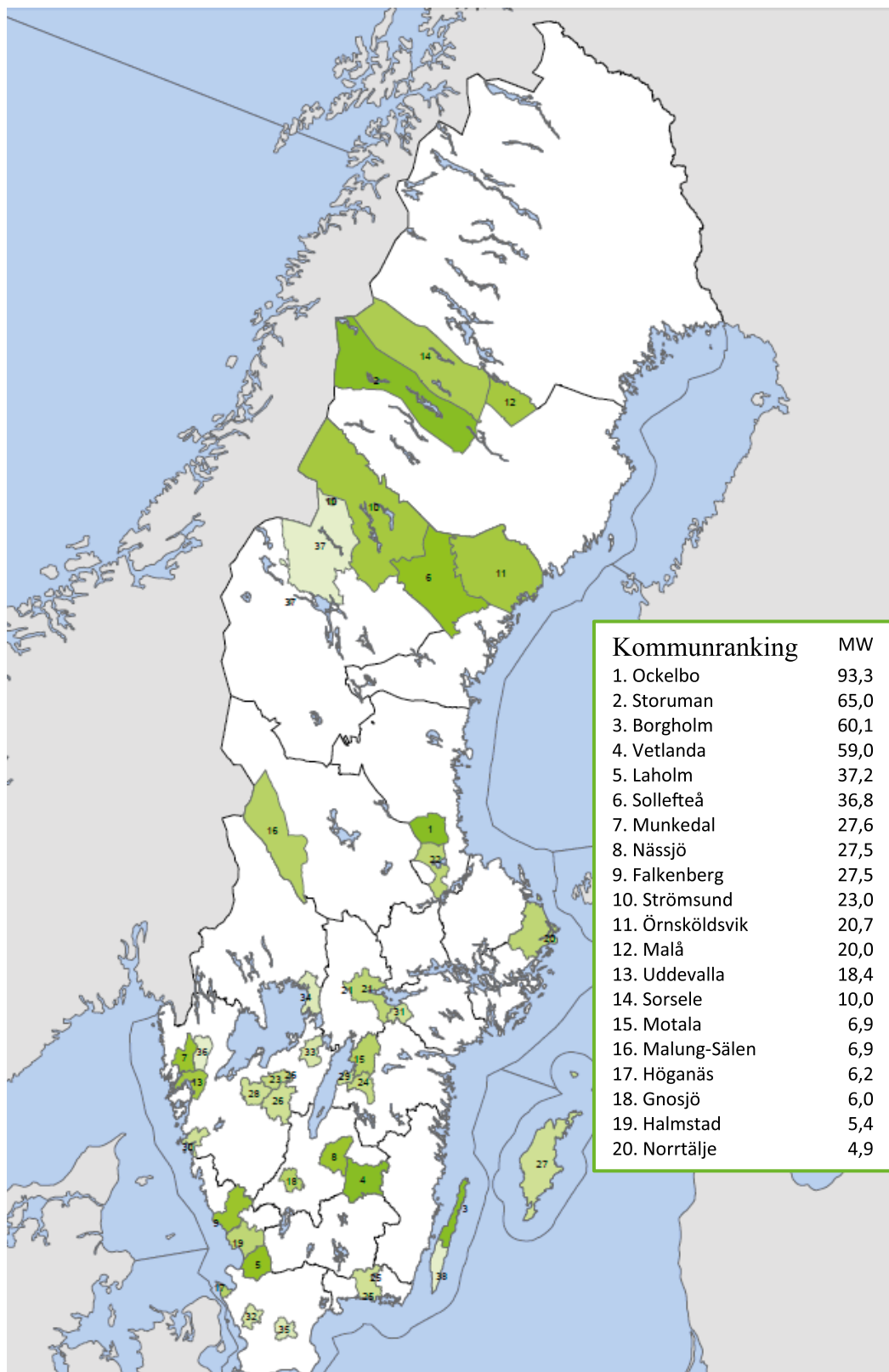
Tabell 3.4.1. Lista över de tio kommuner där mest ny vindkraft byggdes 2013.

	Nybyggda 2013	Utbyggnad 2013 [MW]	Nya 2013 [st]	Total effekt [MW]	Totalt antal [st]
1.	Ockelbo	93,3	32	250,1	89
2.	Storuman	65,0	26	66,0	27
3.	Borgholm	60,1	23	133,2	70
4.	Vetlanda	59,0	22	135,5	51
5.	Laholm	37,2	16	146,8	101
6.	Sollefteå	36,8	17	36,8	17
7.	Munkedal	27,6	12	55,6	26
8.	Nässjö	27,5	15	43,4	28
9.	Falkenberg	27,5	10	92,8	61
10.	Strömsund	23,0	10	146,4	73

Sollefteå och Sorsele fick under året sina första vindkraftverk. Sollefteås 17 st på totalt 36,8 MW gav en sjätteplats bland de kommuner som byggde ut vindkraften och en 36:e plats på listan över totalt installerad effekt.

Snittstorleken för nya verk var 2,3 MW per verk där spannet gick från 44 kW i Sjöbo till 2,87 MW i Ockelbo. Den vid elcertifikatansökan angivna normalårsproduktionen motsvarade i snitt 2875 fullasttimmar med en spridning från 1370 i Kristinehamn 3360 i Borgholm. I Figur 3.4.1 visas en karta med de kommuner där vindkraft byggdes under 2013.

¹² Hela listan med alla kommuner och dess antal vindkraftverk redovisas i sin helhet i bilaga 1.



Figur 3.4.1. Karta som visar de 38 kommuner där det byggdes vindkraft under 2013. Listan visar topp 20 och resterande 18 kommuner byggde sammanlagt 37 MW fördelat på 28 vindkraftverk.

3.5 Länsranking – produktion av vindkraftsel

Totalt producerades 9842 GWh under 2013, enligt energimyndighetens statistik. Produktionen redovisas för alla län i Tabell 3.5.1 nedan. Produktion kan inte visas på kommunnivå för kommuner med få aktörer, varför produktion endast finns upptagen för de kommuner som ligger på 10-i-topp listan, se föregående kapitel.

Mängden vindkraftsel som produceras beror givetvis inte bara på hur mycket vindkraft som finns installerad i systemet utan även på hur mycket det blåser. Variationerna är platsbundna och en variation mellan olika år på tio procent är normal. 2013 var på det stora hela ett ganska normalt vindår men avslutades med en väldigt blåsig höst och vinter. Enligt vindindex upplevde flera områden under december över 40 % mer vind än normalt¹³.

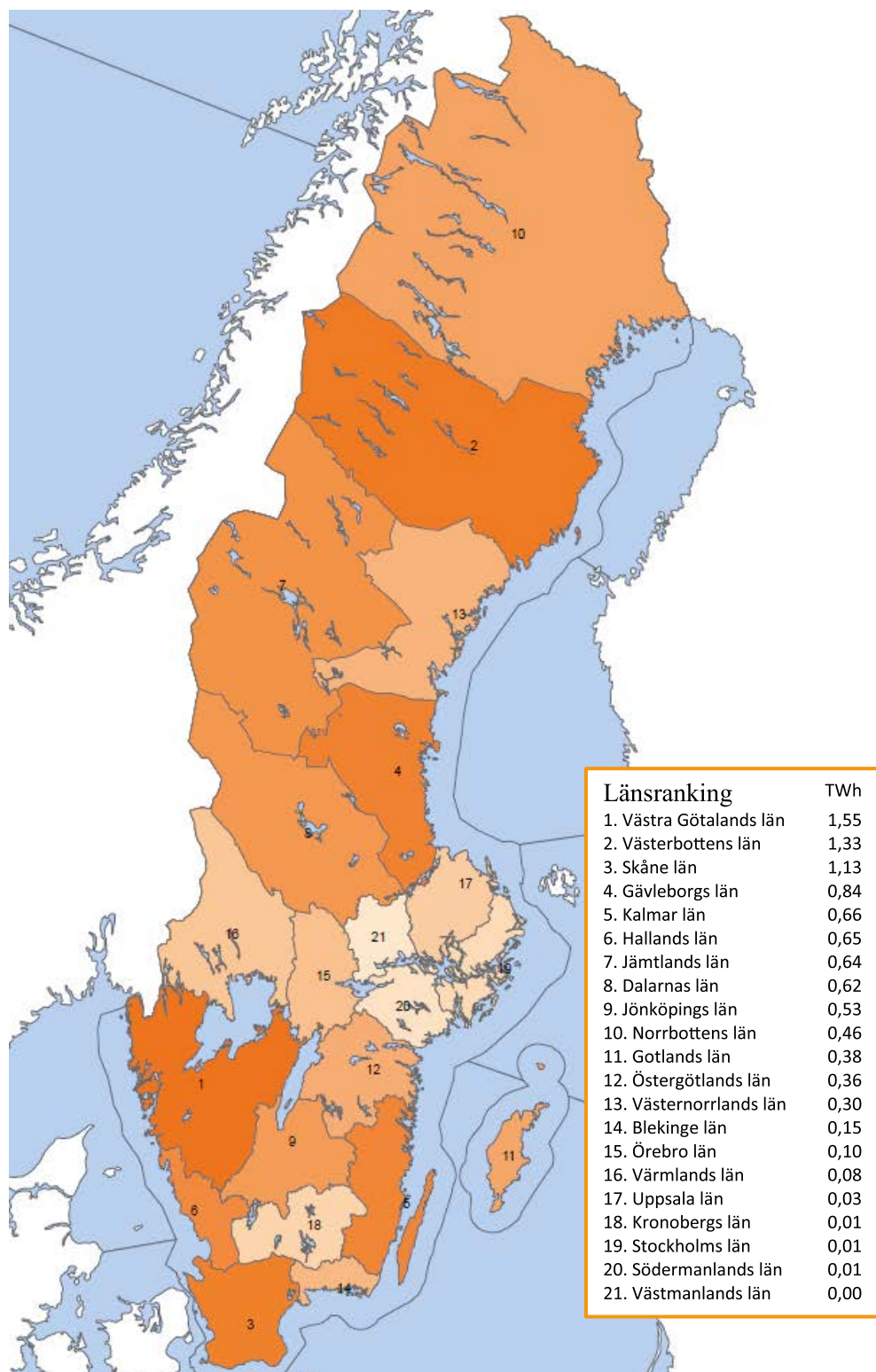
Mest vindkraftel producerades i Västra Götaland, Västerbotten och Skåne (totalt 4004 GWh). Minst vindkraftel producerades i Stockholms län och mälardalsregionen Södermanland- och Västmanlands län (20 GWh totalt).

På nästa sida finns en karta som visualiserar data från tabellen, se Figur 3.5.1.

Tabell 3.5.1. Lista över Sveriges län sorterade efter deras produktion under 2013.

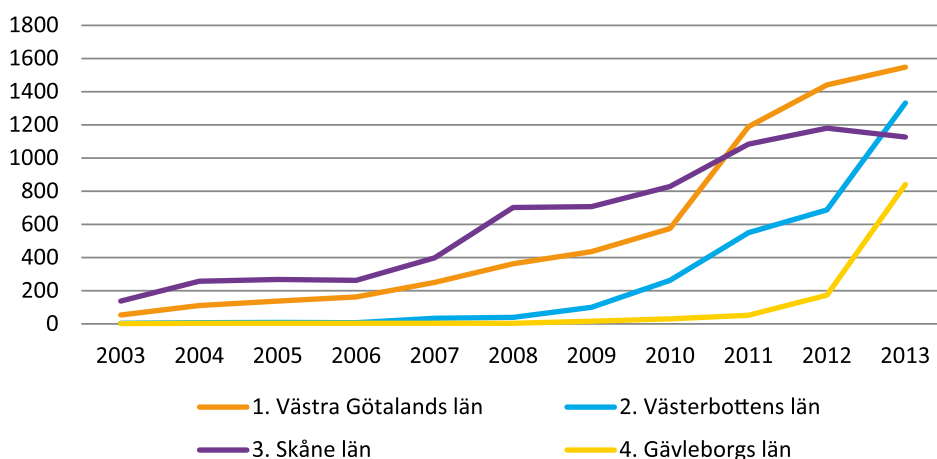
Län	2013 [TWh]	Installerad effekt [MW]	Antal verk
1. Västra Götalands län	1,55	696	518
2. Västerbottens län	1,33	488	237
3. Skåne län	1,13	498	386
4. Gävleborgs län	0,84	303	118
5. Kalmar län	0,66	307	186
6. Hallands län	0,65	327	220
7. Jämtlands län	0,64	250	129
8. Dalarnas län	0,62	205	103
9. Jönköpings län	0,53	241	115
10. Norrbottens län	0,46	198	92
11. Gotlands län	0,38	186	170
12. Östergötlands län	0,36	172	147
13. Västernorrlands län	0,30	133	70
14. Blekinge län	0,15	75	52
15. Örebro län	0,10	43	38
16. Värmlands län	0,08	41	20
17. Uppsala län	0,03	12	13
18. Kronobergs län	0,01	5,8	7
19. Stockholms län	0,01	7,0	10
20. Södermanlands län	0,01	6,4	7
21. Västmanlands län	0,00	0,07	2
Totalsumma	9,84	4194	2640

¹³ Vindindex beräknat av Kjeller Vindteknikk, www.vindteknikk.se.



Figur 3.5.1. Karta som visar produktionen i samtliga län under 2013.

När det gäller produktionen av vindkraftsel kan stor spridning konstateras. Tre län producerade mer än 1 TWh och sex län producerade under 100 GWh. I Figur 3.5.2 nedan visas en tidsserie över elproduktionen per år från de fyra länen med högst produktion 2013.



Figur 3.5.2. Elproduktionen från vindkraft för de fyra län som hade störst elproduktion från vindkraft under 2013.

Elproduktionen från vindkraft för de fyra största länen följer lite olika mönster. Under 2013 var ökningstakten klart högre i Västerbotten och Gävleborgs län än i Skåne och Västra Götaland, där ökningen var marginell eller uteblev.

För att vindkraften ska få god systemprestanda krävs det att utbyggnaden är geografiskt spridd. Detta eftersom det oftast blåser någonstans och är stiltje någonstans. I den här rapporten är Sveriges gränser även statistikens begränsning men vindkraftens geografiska utbredning och systemprestanda ska givetvis betraktas i en ännu större kontext. Detta behandlas mer i kapitel 4. För att få en uppfattning av hur väl vindkraften sprider sig över landet och elprisområdena är Figur 3.5.1 över lärens vindkraftproduktion till stor hjälp.

3.6 Teknik- och marknadsutveckling

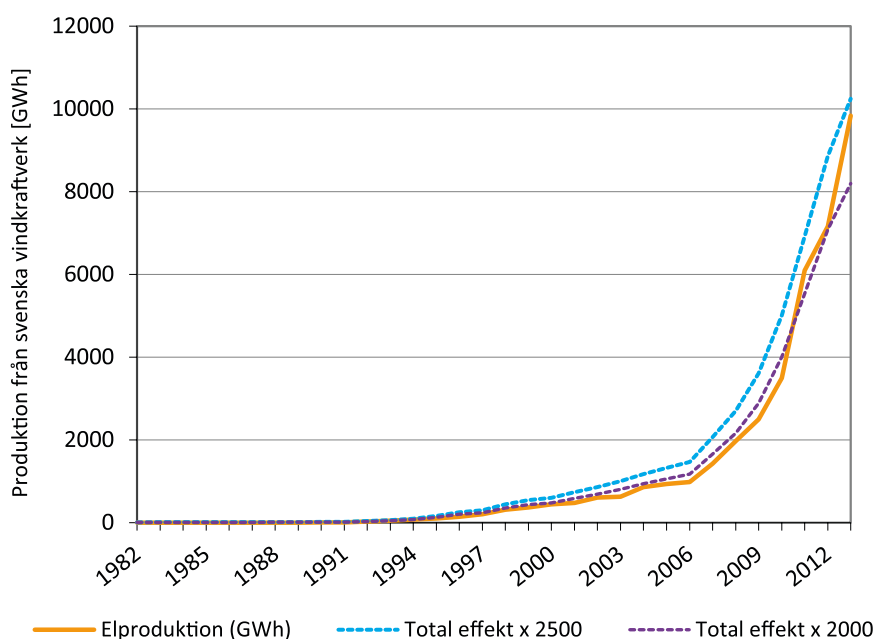
Vindkraften är ett teknikområde som trots viss marknads- och teknikomognad fortfarande utvecklas. Turbinerna blir större både sett till installerad effekt, svepyta och navhöjd samtidigt som marginalkostnaden sjunker. Detta samband är inte självklart eftersom en uppskalning av befintlig teknik leder till ökade kostnader, allt annat lika¹⁴. Istället pekar det på en hög grad av teknikutveckling.

¹⁴ Att det inte finns något naturligt samband mellan ökad storlek och sjunkande pris inses då skala kopplas till materialåtgång, egenvikt och hållfasthet. Hållfastheten är beroende av tvärsnittsarean och egenvikten och kostnaden beror av volym, allt annat lika. Då storleken ökar i en dimension ökar hållfastheten i två- och vikten/ materialåtgången i tre dimensioner. För att skala upp en konstruktion med bibehållet pris krävs någon typ av teknikutveckling.

Den största ekonomiska förändringen just nu sker emellertid i relationen mellan svept yta och effekt vilket innebär att turbinerna designas för att prestera bättre vid lägre vindhastigheter. Det har även skett en utveckling mot högre navhöjder, dels för att bladspetsen på större rotorerna även vid nedersta läget ska komma upp i fri vind och dels för att nå högre medelvindar med mindre turbulens. Detta kräver teknikutveckling i form av nya material och konstruktioner för att minska kostnaden trots större laster.

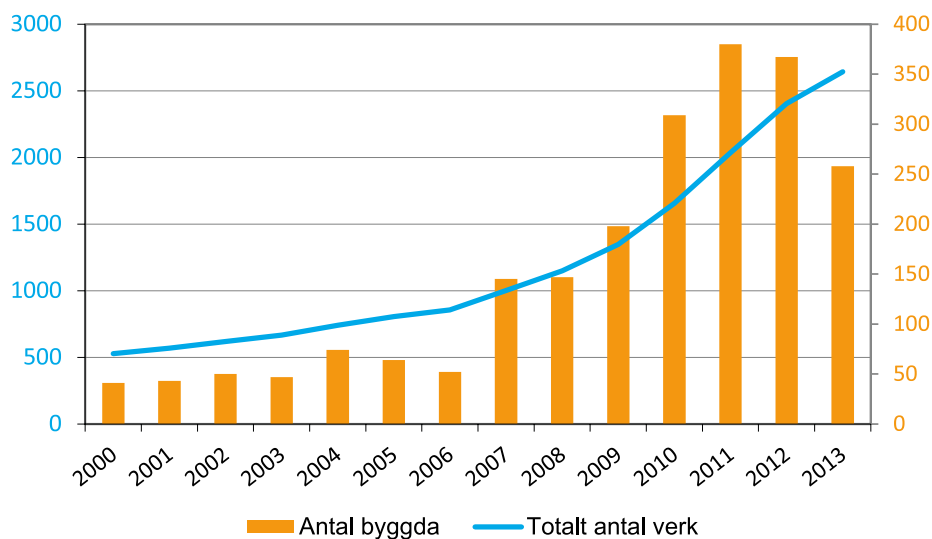
Figur 3.6.1 nedan visar vindkraftproduktionens utveckling över tid i relation till en fast nyttjandegrad av den vid tidpunkten installerade effekten. Figuren är ett genomsnitt av alla installerade vindkraftverk och visar att den genomsnittliga nyttjandegraden nu når 2500 fullasttimmar. Detta innebär att nytillkommen effekt har betydligt högre nyttjandegrad eftersom den lyfter medelvärdet för hela tids-serien.¹⁵ I Figuren är även linjen för 2000 fullasttimmar i snitt markerad. Här ser vi att den gränsen passerades 2011. Till viss del beror givetvis data på vilken tid på året effekten installerades eftersom effekt installerad sent inte kommer hinna producera mer än den tid som är kvar på året.

Marknadsutvecklingen är svårare att kvantifiera men ett sätt är att utgå från antal byggda verk i Figur 3.6.2.



Figur 3.6.1. Utvecklingen av det genomsnittliga antalet fullasttimmar för vindkraft i Sverige.

¹⁵ Turbiner drifttagna under 2012 producerade el motsvarande i snitt 2630 fullasttimmar under 2013. Ingen uppdelning på turbinstorlek eller driftagningsmånad har dock gjorts.



Figur 3.6.2. Antal vindkraftverk i Sverige, totalt antal och antal byggda.

Det var först när elcertifikatsystemet funnits i några år som utbyggnaden tog fart¹⁶. De inledande åren på 2000-talet kännetecknas av att de turbiner som byggdes hade förhållandevis små rotoror och låg nyttjandegrad samtidigt som navhöjderna låg under 100 meter. Detta har både tekniska och samhälleliga orsaker. Eftersom det inte fanns speciellt många riktigt stora turbiner på marknaden söktes initialt få miljötillstånd för riktigt stora maskiner. De ekonomiska villkoren tillät dessutom utbyggnad med mindre turbiner och det passade bra med vindkraftens image som småskalig elproduktion.

Från 2006 till 2010 såg marknaden en period med högre elpriser, närmare 45 öre per kWh¹⁷ och synen på vindkraft skiftade från det småskaliga till det industriella och storskaliga. Teknikutvecklingen gjorde att multimegawattmaskiner med navhöjder runt 100 meter och rotoror runt 90 meter blev vanligt. I denna veva uppdaterades även lagstiftningen då reglerna för tillståndsprövning ändrades 2009. Nytt var användandet av totalhöjderna 120 meter och 150 meter som gränsvärden. Detta tyder på att även miljölagstiftningen uppmärksammade att turbinerna blev allt större och tornen allt högre.

Åren efter finanskrisen, 2009 och 2010, blev en brytpunkt för många aktörer. En generell nedgång i byggandet och högre risk på många marknader pressade marginalerna i de flesta av värdekedjans led. Mest ledde den högre risken till att räntorna steg samtidigt som kraven på eget kapital höjdes. Energiefterfrågan dämpades också vilket gjorde att priserna på el och elcertifikat sjönk. Detta pressade villkoren för exploitörerna vilket också satte press på leverantörerna. Samtidigt hade marknaden mognat både på projektsidan och turbinsidan. Utbudet var större,

¹⁶ Elcertifikatsystemet infördes 2003 och de 3 första åren byggdes ca 60 st vindkraftverk om året, de tre senaste åren har det snarare varit 600.

¹⁷ Nordpool, årsmedelvärden. För perioden 2006 – 2010 exkluderat 2009 är medelvärdet 43,5 E/ MWh för systemet. För perioden 2003–2005 är medelvärdet 31,6 E/ MWh.

men de verk som installerades tog inte omedelbart ett kliv uppåt i utnyttjningstid och storlek. Detta på grund av den naturliga processtiden från upphandling till slutförande av projekten.

Sannolikt befinner vi oss just nu i nästa brytpunkt. De bästa lägena, där kontrakt redan skrivits, realiseras nu med befintlig teknik och i miljötillstånd enligt befintlig standard. Härfter väntas storleken på verken och därmed nyttjandegraden öka ytterligare ett snäpp. Dessutom finns nu en större erfarenhet av vindkraftinvesteringar vilket attraherar nytt kapital med lägre avkastningskrav till marknaden. Detta är nödvändigt för att matcha dagens prissignaler. Initialt kommer detta att minska projektutbudet eftersom dagens stora turbiner kräver totalhöjder på 200 meter eller högre och äldre miljötillstånd tillåter sällan så höga vindkraftverk. På sikt måste således lagstiftning och prövning utvecklas och nya normer för totalhöjd i nya ansökningar leder sannolikt till en ny generell nivå i miljötillstånden.

Mer om detta finns att läsa i Energimyndighetens utredning om vindkraftens produktionskostnader¹⁸.

¹⁸ Kommande: Produktionskostnadsbedömning för vindkraft i Sverige, Energimyndigheten, juli 2014.

4 Tema: Systemeffekter

Underlaget till statistiken i det här kapitlet är hämtat ifrån Svenska kraftnäts balansavräkningssystem. Rådata presenteras i effekt (MW) per timme fördelat på olika kraftslag. Totalt är det 8760 timmar på ett normalår, men vid jämförelser med 2012 finns det 8784 mätvärden eftersom det var ett skottår.

I början av år 2013 var den registrerade effekten för vindkraft i Sverige 3760 MW, och i slutet av året var den registrerade effekten 4194 MW. De analyser som görs i detta kapitel är inte normerade med hänsyn till denna utbyggnad, vilket gör att det är naturligt med lite högre produktion i slutet av året.

4.1 Vindproduktionen i effekt

Vindkraftens effekt varierar som bekant med vindstyrkan. Det är därför intressant att studera effekten för varje timme för att se hur vindkraften bidragit under 2013.

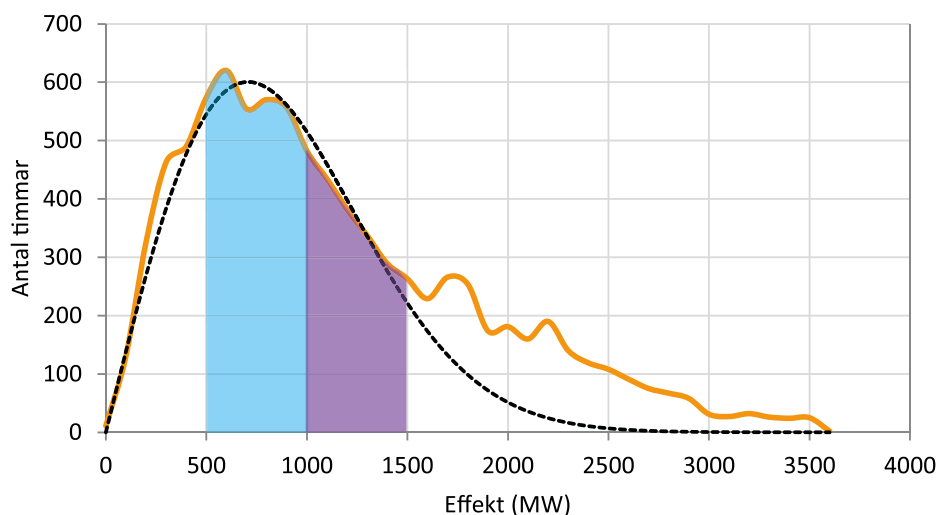
Maxeffekten för vindkraftens produktion under en timme var 3578 MW, ca 85 % av den registrerat installerade effekten. Detta inträffade den 1 december 2013 mellan klockan 12–13. Minst var vindproduktionen en lugn juli morgon mellan klockan 8–9, då effekten endast var 15 MW.

Effektdata	Effekt
Maxvärde	3578 MW
Minvärde	15 MW
Medelvärde	1142 MW
Standardavvikelse	726 MW

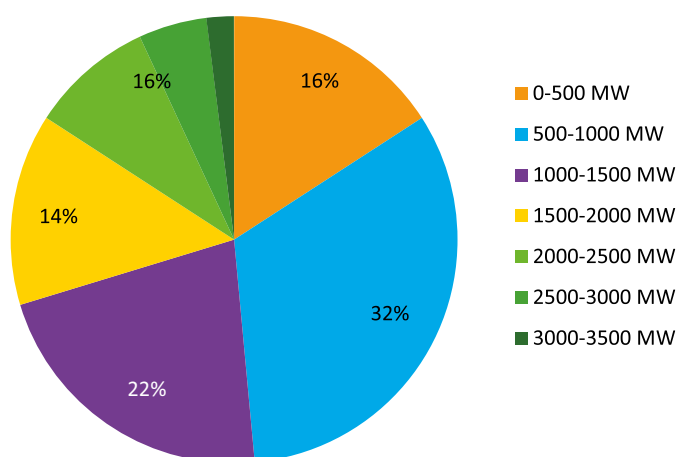
I snitt producerade vindkraften 1142 MW under 2013, vilket motsvarar ca 27 % av den registrerade effekten vid årets slut. En standardavvikelse på 726 MW indikerar emellertid att värdet varierar väldigt mycket.

Ett sätt att visualisera hur produktionen såg ut 2013 är genom Figur 4.1.1. För varje effekt, avrundad till hundratal, anges hur många timmar under året vindproduktionen levererade den effekten. Exempelvis levererades 600 MW drygt 600 av årets 8760 timmar, alltså ca 7 % av tiden. Kurvans form påminner om en s.k. weibullfördelning (streckad linje). Detta är väntat då weibullfördelningen klassiskt används för att beskriva vindens hastighetsfördelning. Att kurvan ligger över weibullfördelningen vid högre effekter har att göra med att effekten är proportionell mot vindhastigheten i kubik.

Toppen för antalet timmar ligger tydligt i intervallet 500–1000 MW vilket sammanlagt motsvarade 32 % av årets timmar. Vindkraften producerade alltså mellan 12–27 % av installerad effekt under en tredjedel av alla timmar under 2013. Samtidigt syns i Figur 4.1.2. att denna produktion bara understegs 16 % av den övriga tiden, medan produktionen var högre än 1000 MW under 50 % av året.



Figur 4.1.1. Kurvan visar hur många timmar under året som en given effekt levererades. Intervallen har en direkt koppling till Figur 4.1.2 nedan.



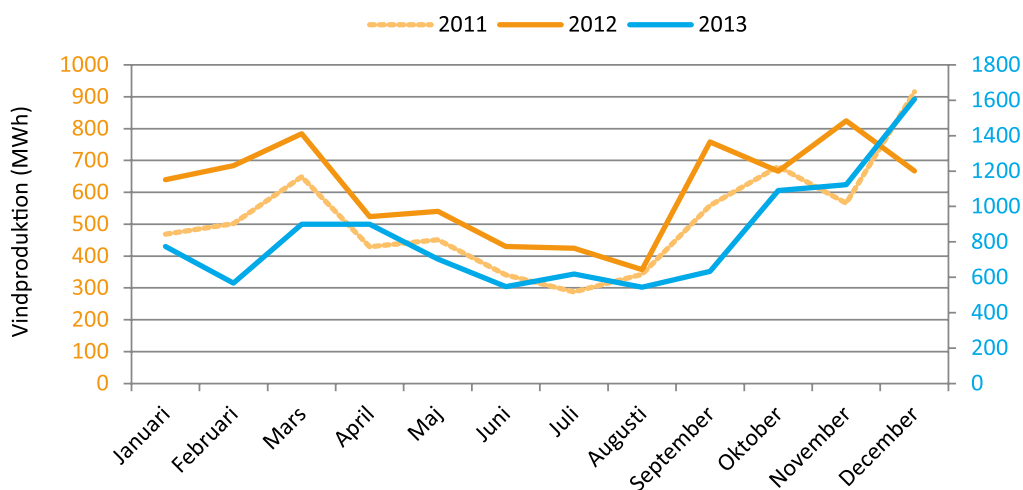
Figur 4.1.2. Diagrammet har direkt koppling till grafen ovan och visar hur många procent av årets timmar under 2013 som vindkraften producerade inom de olika effektintervallen. 50 % av tiden var effekten högre än 1000 MW, medan 32 % av tiden låg effekten mellan 500–1000 MW.

4.2 Säsongsvariationer

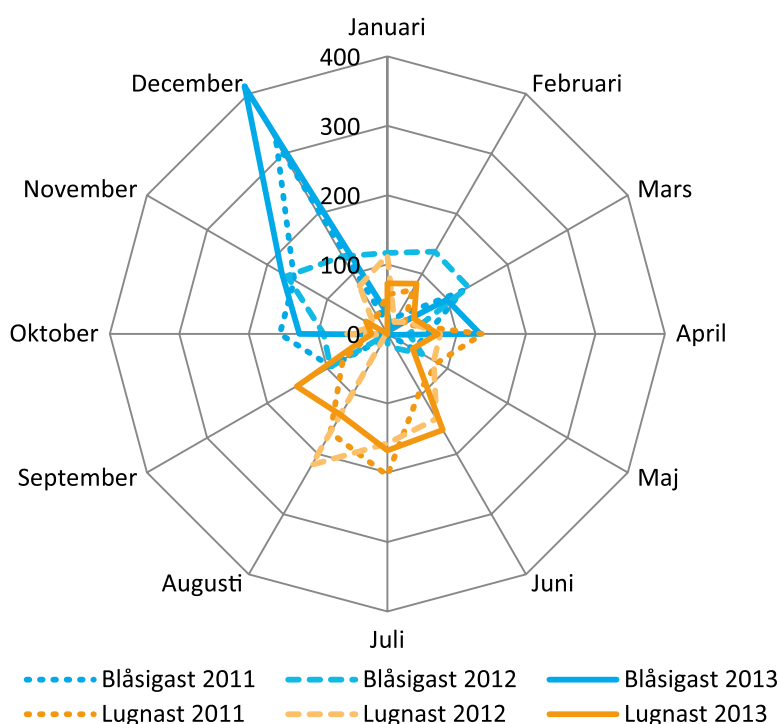
Vindkraftsproduktionen varierar timme för timme, men samtidigt finns det vissa mönster i produktionen som är årstidsbundna. Till exempel producerar vindkraften mest på hösten och vintern. I Figur 4.2.1 presenteras produktionen per månad för de senaste tre åren. När diagrammet studeras ska vindkraftens utbyggnad under året tas i beaktning, samt den separata axeln för produktionen under 2013.

Trots årstidsvariationer som följer vissa mönster förekommer avvikelser. För 2013 var till exempel produktionen i februari ovanligt låg, medan produktionen i december var ovanligt hög. Trenden över flera år visar tydligt att det generellt är lägre produktion under sommarhalvåret och högre produktion på vinterhalvåret.

I Figur 4.2.2 har de tusen högsta respektive lägsta effekterna som vindkraften levererat på timbasis valts ut från de tre senaste årens tidsserier. De blåsigaste timmarna med höga effekter inträffar generellt sett under vinterhalvåret medan de lugna dagarna inträffar på sommarhalvåret, men vissa undantag för stilla vinterdagar.



Figur 4.2.1. Diagrammet visar vindproduktionen per månad de senaste tre åren. Fokus ligger i att synliggöra säsongsvariationer. På grund av utbyggnaden produktionen ökat med tiden och 2013 presenteras därför på en egen axel.



Figur 4.2.2. Diagrammet visar i vilka månader de 1000 blåsigaste respektive lugnaste timmarna inträffat under de senaste tre åren. December 2013 hade drygt 40 % av de blåsigaste timmarna.

4.3 Att möta effektbehovet

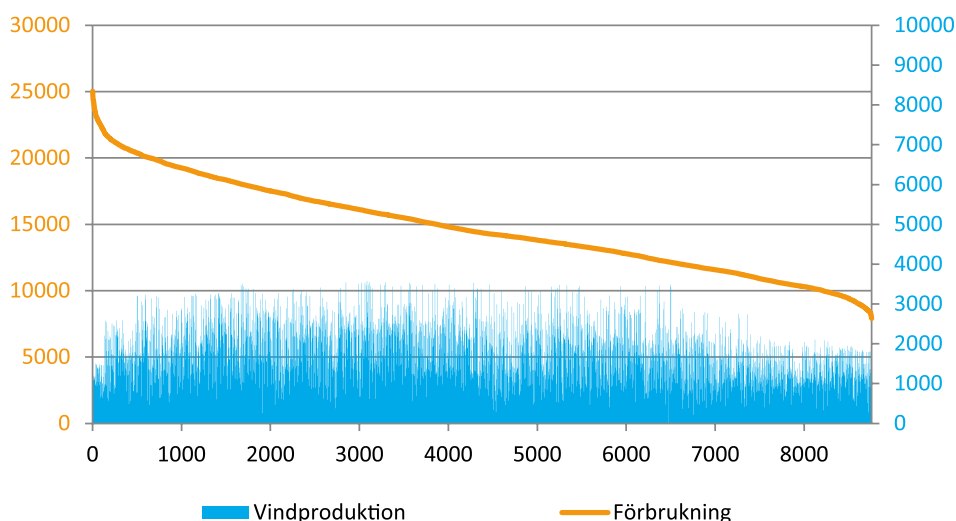
Den energi som vindkraften levererar ökar för vart år som går och motsvarar nu ca 7 % av vårt totala elbehov. Ur ett systemperspektiv är emellertid även effekten av stor vikt. För att upprätthålla frekvensen i systemet behöver elproduktionen i varje sekund kunna leverera lika mycket effekt som förbrukarna efterfrågar.

I Figur 4.3.1 visas ett varaktighetsdiagram där effektbehovet från förbrukarna sorterats efter storleksordning. För varje timme har vindproduktionen den enskilda timmen presenterats som en stapel under förbrukningskurvan. Flera intressanta slutsatser kan dras om vindkraftsproduktionen 2013 utifrån diagrammet.

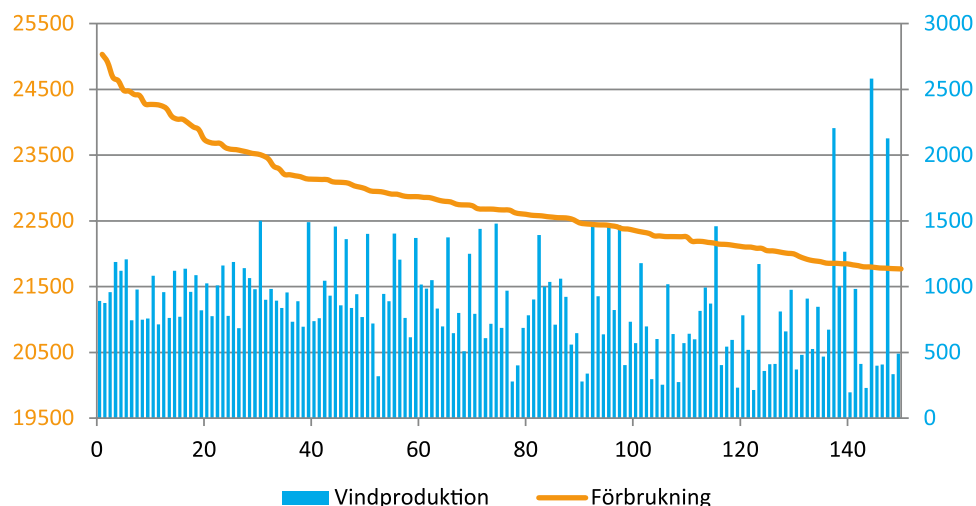
För det första, ses att när effektbehovet var som lägst var även vindproduktionen låg. Eftersom Sverige har ett stort värmebehov som vi till viss del tillgodoser med el, antingen via direktverkande el eller genom värmepump, finns det en tydlig säsongsvariation i elförbrukningen. På sommaren när elbehovet är lågt i Sverige sammanfaller det väl med en lägre vindproduktion enligt Figur 4.2.1.

Den andra slutsatsen är att vindkraften vissa timmar stod för en märkbar del av det totala effektbehovet. När förbrukningen låg runt 12 000–13 000 MW fanns timmar då vindproduktionen samtidigt uppgick till långt över 3000 MW, vilket innebär att vindkraften stod för omkring 25 % av det totala effektbehovet.

Slutligen visar diagrammet att för de absolut tuffaste timmarna, när effektbehovet var som störst, var vindkraftens bidrag fortfarande litet. De hundrafemtio mest systemkritiska timmarna visas i en förstoring i Figur 4.3.2. Av de mest kritiska timmarna inföll 132 i januari och övriga 14 i februari och mars. Den levererade effekten kan därför jämföras med den totala installerade effekten vid årets början som var 3760 MW.

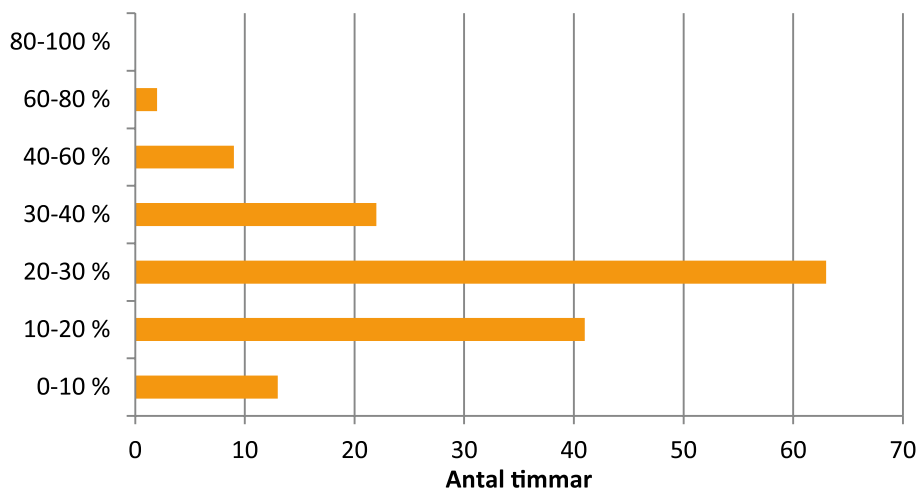


Figur 4.3.1. Förbrukningen presenteras här sorterad efter hur hög den var under en specifik timme. För motsvarande timme presenteras vindproduktionen som en blå stapel mot en egen axel. Detta för att öka läsbarheten då vindkraftens produktion och total förbrukning skiljer sig storleksmässigt.



Figur 4.3.2. De 150 mest kritiska timmarna då effektbehovet i Sverige är som störst. För motsvarande timme presenteras vindproduktionen som en blå stapel mot en egen axel. Detta för att öka läsbarheten då vindkraftens produktion och total förbrukning skiljer sig storleksmässigt.

Vindkraftsproduktionen i landet varierar dessa timmar omkring 1000 MW, vilket motsvarar ungefär 4 % av det totala effektbehovet på 25 000 MW. I Figur 4.3.3 visas hur vindkraften levererat under dessa kritiska timmar relativt den totalt installerade vindkraftseffekten. Vanligast förekommande var en produktion på mellan 20 och 30 % av installerad effekt. Snittet under dessa systemkritiska timmar var 23 %, vilket är något lägre än snittet för hela året.

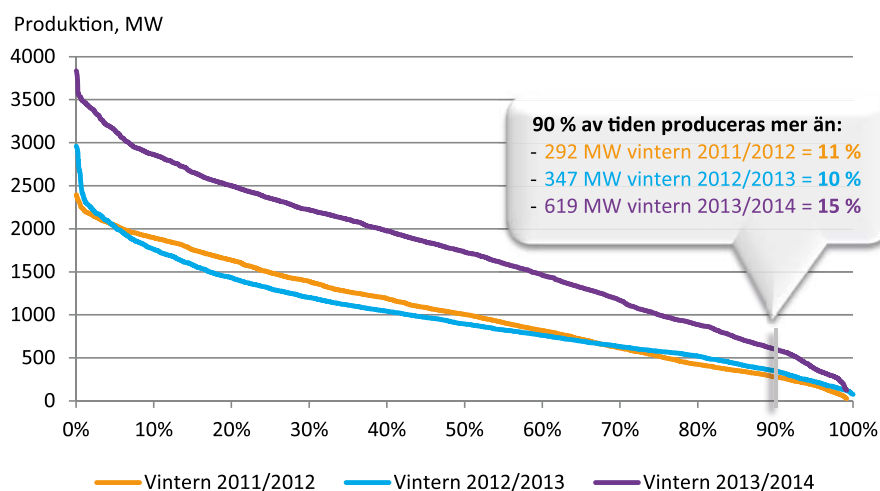


Figur 4.3.3. Diagrammet visar hur många av de 150 mest kritiska timmarna som vindkraften levererar en viss procent av installerad effekt. Den installerade effekten antas vara 3760 MW.

Ur ett meteorologiskt perspektiv sammanfaller riktigt kalla dagar ofta med högtryck. Ett vädersystems geografiska utbredning täcker sällan hela landet samtidigt men när detta inträffar ökar behovet av annan kraftproduktion.

Inför varje kommande vinter görs en uppskattning av Svenska kraftnät över vilka resurser som kommer att finnas tillgängliga för att möta effektbehovet. När det gäller vindkraften utgår beräkningarna från en tillgänglighet definierad som hur stor effekt vindkraften kan leverera minst 90 % av tiden, detta enligt en studie av Nordel gjord 2007.

Figur 4.3.4 visar hur tillgängligheten för vindkraften har sett ut de senaste tre vintrarna. Vintern definieras av Svenska kraftnät att vara mellan den 16 nov och den 15 mars. Tillgängligheten har varierat något mellan åren från 10 % till 15 %. Enligt utredningen som gjordes 2007 antas tillgängligheten öka med större geografiskt område, varför utbyggnaden påverkar tillgängligheten.

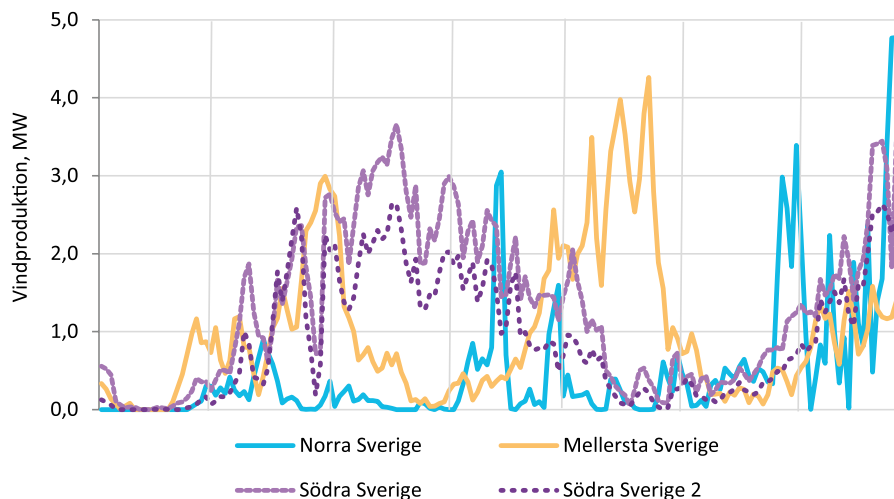


Figur 4.3.4. Jämförelser av hur mycket effekt vindkraften levererar mer än 90 % av tiden de senaste tre vintrarna (16 november – 15 mars). Vintern 2013/2014 levererades mer än 619 MW eller 15 % av installerad effekt mer än 90 % av tiden.

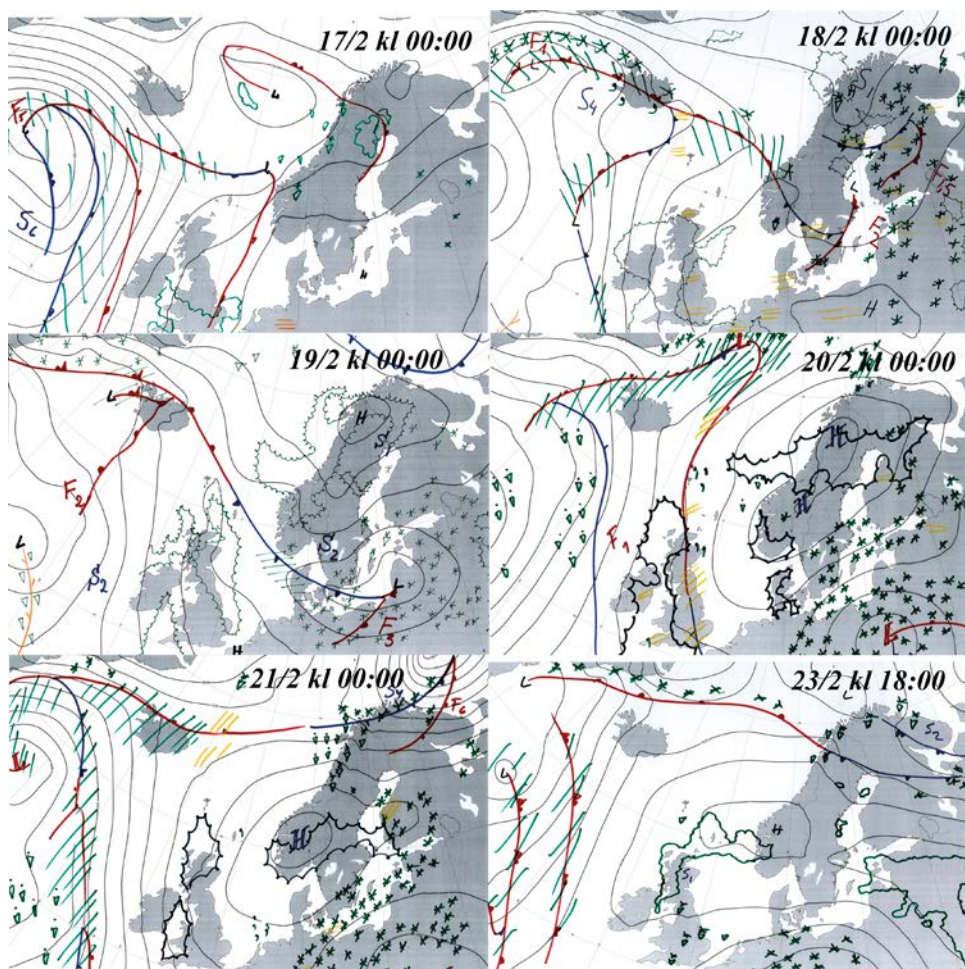
4.4 Sammanlagring av vindproduktion

Vindkraftens gemensamma produktion beror i stor utsträckning på hur den är geografiskt fördelad eftersom vinden alltid varierar på ett visst ställe. Ju större yta vindkraften är spridd över, desto större är sannolikheten att det blåser på någon plats. Sveriges utsträckta geografi skapar därför bra förutsättningar för att vindkraften i någon del av landet vid en viss tidpunkt ska kunna bidra.

Låt oss kika på sammanlagringen, även kallat överlagring, med ett exempel där fyra kommuner i Sverige som producerar ungefär lika mycket valts ut, se Figur 4.4.1. Två av områdena i södra Sverige ligger precis bredvid varandra vilket syns på likheten i deras produktionsprofiler, se de två streckade (lila) kurvorna. De andra två områdena har valts ut så att ett område är långt upp i norra Sverige och det andra någonstans däremellan. Grafen visar produktionen för dessa fyra områden under tredje veckan i februari 2013, från 2014-02-17 till 2014-02-23. För den intresserade läsaren visas även tryckkartor för perioden i Figur 4.4.2.



Figur 4.4.1. Grafen visar en vecka i februari 2013 och hur vindproduktionen i fyra olika balansområden samspelar. De två områden i södra Sverige som ligger mycket nära varandra har en likartad vindproduktion, medan området i mellersta Sverige uppvisar en helt annan profil. I området i norra Sverige är det under samma period relativt vindstilla med några undantag.



Figur 4.4.2. Tryckkartor ger viktig information om var det blåser och varför. Ovan visas tryckkartor för 17/2 till och med 23/2 2013. Källa: SMHI.

Till en början var det vindstilla i alla fyra områden för att sedan tillta framförallt i södra och mellersta Sverige. 19/2 har lågtrycket över Östersjön rört sig söderut och intensifierats. Vinden tilltar då främst i södra Sverige medan ett högtryck lagt sig längst i norr. När högtrycket breder ut sig söderut och lågtrycket trycks undan, ner över Europa, mojar det återigen i södra och mellersta Sverige. Därefter kommer ett nytt lågtryck in norrifrån vilket ger ökande vindar i norr.

Veckan avslutas med att högtrycket breder ut sig över nästan hela landet med svaga vindar och låga temperaturer som följd och på eftermiddagen den 23:e kläms högtrycket ihop i en rygg i mellersta Sverige vilket ger ökande vindar i stora delar av landet.

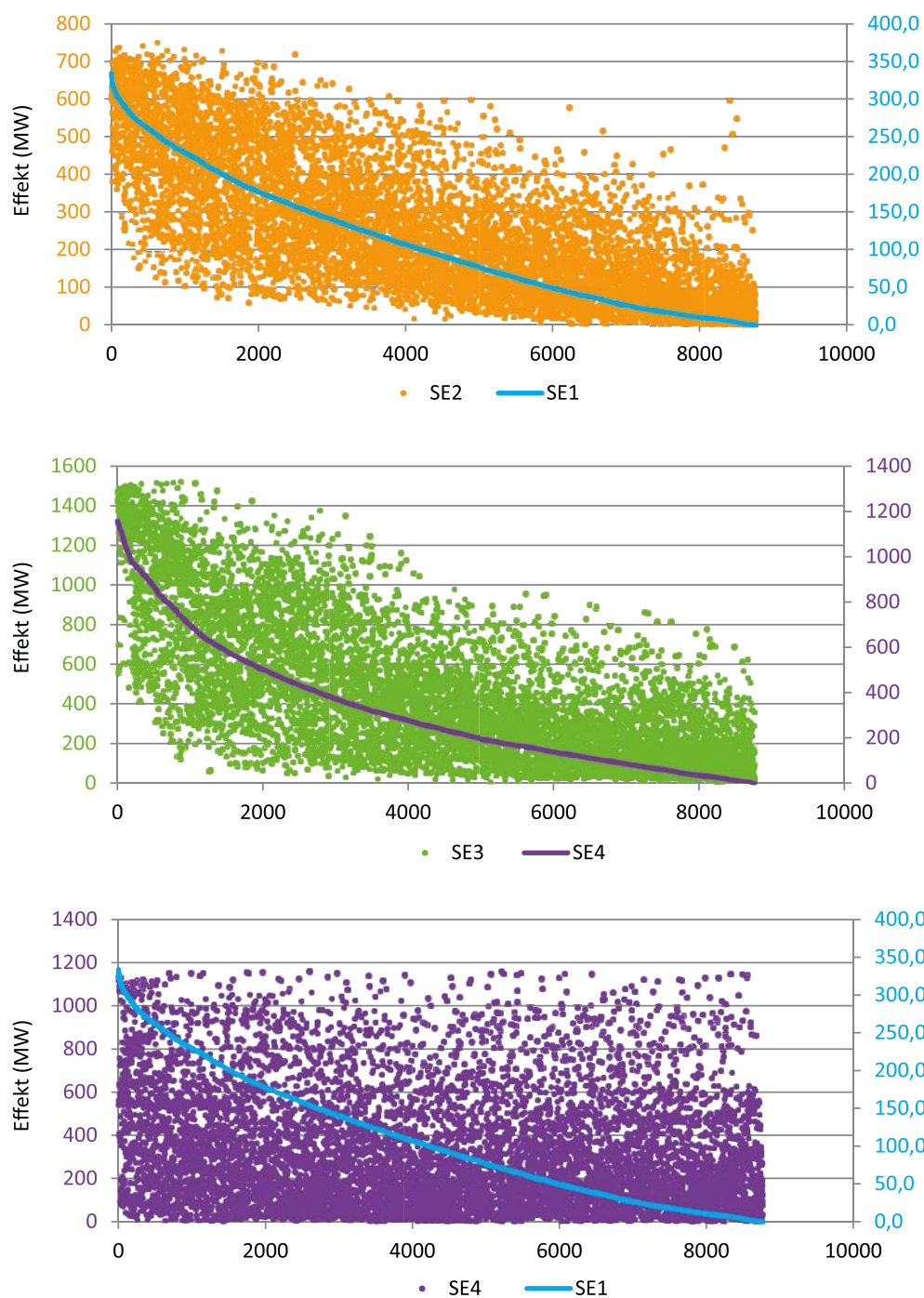
De tre graferna i Figur 4.4.3 visar ett annat exempel på sammanlagring utifrån vindkraftproduktionen i de olika elområdena¹⁹. Den totala produktionen för ett elområde har sorterats i storleksordning i ett s.k. varaktighetsdiagram, se linjen, och jämförts med produktionen i ett av de andra elområdena under samma timma.

Vid jämförelser mellan elområde 1 och 2, som är de två nordligaste elområdena, syns en tydlig korrelation för produktionen i de båda områdena (översta grafen). Detsamma gäller jämförelser mellan elområde 3 och elområde 4 (grafnen i mitten). Jämförs istället elområde 1 och 4, vilka ligger längst ifrån varandra i Sverige, är korrelationen låg (grafnen längst ner). Detta är fördelaktigt ur ett överlagrings-/sammanlagringsperspektiv.

Studier gjorda över större geografiska områden såsom Europa tillsammans med norra Afrika visar på att det i stort sett alltid blåser någonstans²⁰. För Sveriges del bidrar vårt avlånga land med goda förutsättningar för sammanlagring av vind och därmed en god tillgänglighet. När systemet utökas till att inkludera hela Norden eller Europa blir förutsättningarna för en storskalig integration av vindkraft ännu bättre. Detta förutsätter givetvis överföringskapacitet mellan olika regioner.

¹⁹ Det finns sedan hösten 2011 fyra elområden i Sverige, mer information om bakgrunden till elområden finns på <http://www.svk.se/Drift-och-marknad/Kraftsystemet/Elomraden/>.

²⁰ René Pforte, 2010, Untersuchungen zur Integration der fluktuierenden Windenergie in das System der Elektroenergieversorgung, <http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/1000022516>.



Figur 4.4.3. Vindproduktionen i ett elområde har plottats i storleksordning, för att sedan jämföras med vindproduktionen i ett annat elområde. Figur (a) och (b) visar på en korrelation mellan produktionen i elområde 1 och 2, respektive elområde 3 och 4. Figur (c) tyder emellertid inte på någon korrelation mellan elområde 1 och 4, vilket är bra ur sammanlagningssynpunkt.

Ett hållbart energisystem gynnar samhället

Energimyndigheten arbetar för ett hållbart energisystem, som för-
enar ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet.

Energimyndigheten är statistikansvarig myndighet för ämnes-
området energi och ansvarar för att den officiella energistatistiken
är ändamålsenlig och har hög kvalitet. Statistiken är indelad i
områdena "Tillförsel och användning av energi", "Energibalanser"
och "Prisutvecklingen inom energiområdet".

All statistik från Energimyndigheten finns på myndighetens
webbplats www.energimyndigheten.se.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se