

# Regionala utbyggnadsbehov och generationsväxling

Underlag till nationell strategi för en hållbar  
vindkraftsutbyggnad

## Innehåll

1	Fördelning av vindkraft på länsnivå	3
1.1	Scenarier, modellering och andra analyser .....	4
1.2	Allmänna förutsättningar i länen .....	6
1.3	Fördelning.....	11
1.4	Vad innebär målen i antal verk och yta?.....	17
1.5	Sammanfattande planeringsunderlag .....	23
2	Generationsväxling	25
2.1	Övergripande analys .....	25
2.2	Generationsväxling i närtid.....	27
2.3	Vilka typer av vindkraft ska generationsväxlas? .....	30
2.4	Avslutande synpunkter.....	35
	BILAGA 1 Svenska Kraftnätets checklista för viktiga aspekter vid utbyggnaden av kraftproduktion.	36

# 1 Fördelning av vindkraft på länsnivå

Syftet med detta dokument är att beskriva den metod som vi använt för att fördela det nationella utbyggnadsbehovet av vindkraft till regionala utbyggnadsbehov för varje län. Eftersom generationsväxling av vindkraftverk kommer att påverka utbyggnadsbehovet och därmed den regionala fördelningen av utbyggnadsbehovet på sikt redovisar vi i detta dokument även en övergripande analys av hur generationsväxling kommer påverka vindkraftsproduktionen mot 2040, (se kapitel 2).

Den svenska elmarknaden är avreglerad, och för att få en kostnadseffektiv utbyggnad av vindkraft, som leder till ett välfungerande elsystem, är det viktigt att marknadsaktörer har en möjlighet att bygga ut efter elmarknadens prissignaler. Det omfattar bland annat skillnader i elområdespriser, stamnätsnättariffer eller intäkter och utgifter från stödtjänster. En förutsättning för att utbyggnaden ska kunna ske utifrån dessa signaler, är det finns ytor tillgängliga som är möjliga att bygga på.

Det är viktigt att redan här klargöra att en exakt rättvis fördelning är svår att uppnå. Alla län har olika förutsättningar för att bygga vindkraft och dessutom olika egna ambitioner vad det gäller förnybar energi i stort eller vindkraft generellt. Vi har utgått från ett urval av förutsättningar som är viktiga för att få till stånd en hållbar vindkraftsutbyggnad. För de län som har egna mål som är högre än vår regionala fördelning så bör vår fördelning ses som en lägstanivå, inte som ett tak.

De förutsättningar som vi studerat för att ge en lämplig regional fördelning ur ett elsystemperspektiv är:

- Scenarier om tänkta framtida behov av vindkraft från Energimyndighetens projekt 100 % förnybart till 2040 inklusive modellkörningar på elprisområdesnivå
- Studier av hur variabiliteten hos vindkraft är beroende av geografisk fördelning
- Övergripande viktiga faktorer för ett framtida välfungerande och tillförlitligt elsystem, se vidare bilaga 1.
- Generationsväxling i olika län
- Faktisk länsyta, elanvändning och befolkning i olika län
- Tillgång till ytor med låg eller viss konfliktgrad i olika län baserat på en nationell GIS-analys,

En annan viktig förutsättning som dock inte har kunnat beaktats är möjligheterna att ansluta vindkraft till specifika platser på länsnivå. Vi har fört en dialog med

Svenska Kraftnät om hur vi vid fördelningen av utbyggnadsbehovet kan ta hänsyn till elsystemet och transmissionsnätet. Svenska kraftnäts bedömning är dock att det inte är möjligt att göra en så detaljerad kartläggning av lämpliga platser för utbyggnad av vindkraft. Detta på grund av att förutsättningarna för elanslutning till stamnätet i en enskild punkt ständigt förändras, vilket i sin tur beror på att tillförseln och uttagen av el från nätet hela tiden förändras. För att ändå inkludera transmissionsnätet- och elsystemets behov vid planering av vindkraftutbyggnaden har Svenska Kraftnät tagit fram en checklista med viktiga aspekter som bör beaktas. Checklistan hittar du i bilaga 1.

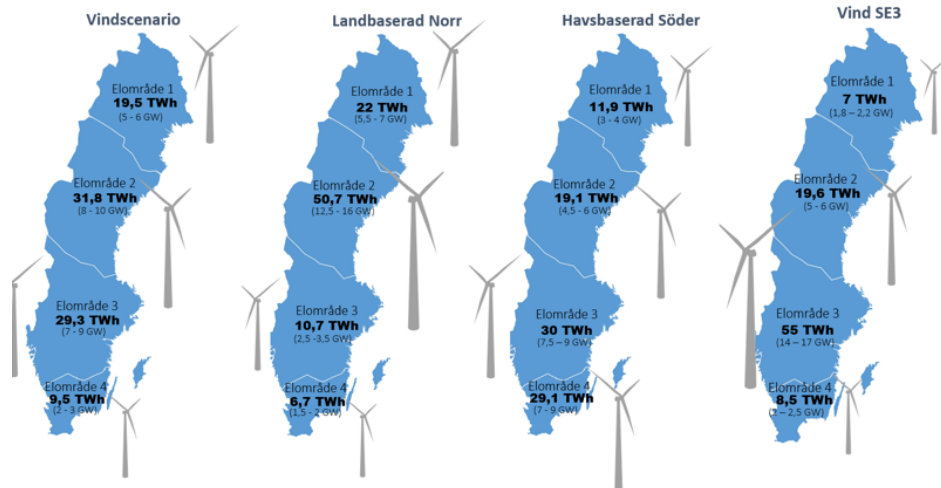
### 1.1 Scenarier, modellering och andra analyser

Det finns många vägar till framtidens elsystem på 2040-talet. Parametrar som påverkar handlar bland annat om hur länge befintlig kärnkraft kan finnas kvar, om det byggs ny kärnkraft, vilken typ av förnybar el som byggs, hur mycket, och var den byggs, samt hur utvecklingen av elanvändningen kommer att se ut. Utfallsrummet är stort, och detta diskuteras mer ingående i Energimyndighetens rapporter om 100 procent förnybart<sup>1</sup>. I detta sammanhang är en av de viktigaste slutsatserna att de olika scenarierna innebär olika utmaningar, och behov av insatser för att röja hinder för ett fungerande och leveranssäkert elsystem.

Vi har sammanlagt analyserat 5 olika scenarier i studien om 100% förnybart. Ett sol- och ett biokraftscenario, samt tre vindkraftsscenarier med olika placeringar av vindkraften i Sverige. Som komplement till dessa fem har vi i efterhand även studerat två nya scenarier. Ett vindkraftscenario med mer vindkraft i Elprisområde 3 (SE3) samt ett scenario där hälften av kärnkraften finns kvar under 2040-talet. Vid fördelningen av utbyggnadsbehovet i denna vindstrategi har vi endast tittat på de fyra vindkraftsscenarierna, vilka är illustrerade nedan. Värt att påpeka är att efter det att vi tagit fram scenariot *Vind SE3*, har flera vindkraftsprojekt i norr påbörjats som innebär att vi redan år 2023 kommer ha mer vindkraft än SE1 än vad som finns med i det scenariot.

---

<sup>1</sup> Delrapport 1, Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem, Delrapport 1: Framtidens elsystem och Sveriges förutsättningar, ER 2018:16, Delrapport 2, 100 % förnybart, Scenarier, vägval och utmaningar, ER 2019:6



Figur 1 Scenarier över vindkraftens fördelning på 2040-talet. Källa: Delrapport 2, 100 % förnybart, Scenarier, vägval och utmaningar, ER 2019:6

Generellt gäller att scenarierna är mer kostnadseffektiva och kräver mindre anpassningar av elsystemet om elproduktionen sker närmare elanvändningen. Dessutom är det bättre om elproduktion sker under tider då det finns ett behov av el (tex under vintern)<sup>2</sup>. *Kraftvärmescenariot* påvisar därför många fler positiva egenskaper för elsystemet jämfört med *Solscenariot*. Eftersom vindkraft producerar när det finns tillgängliga vindar är det därför positivt om vindkraft byggs så att den producerar så många timmar som möjligt under året (t.ex. genom att uppföras på platser med goda vindförhållanden och/eller genom högre torn som leder till högre vindhastigheter, samt större rotoror som fångar mer vind och levererar högre effekt till generatoren) samt att den är geografiskt spridd både inom Sverige och i förhållande till annan vindkraft i angränsande länder. Det innebär för ovanstående nämnda scenarier att *Havsbaserad Söder*, där vi placerat 29 TWh i södra Sverige, inte har ett mer välfungerande elsystem än t.ex. *vindscenariot* då det redan finns och byggs en stor mängd havsbaserad vindkraft i angränsande länder som den svenska vindkraften i *Havsbaserad Söder* kommer att samvariera med. Den observanta kan notera att scenarierna har relativt lite vindkraft, och (speciellt lite landbaserad) i elområde 4. Detta speglar klimatet som rådde när scenarierna togs fram. Då pekade allt på att den stora utbyggnaden skulle ske i norra Sverige. Sedan dess har både resultat från 100% förnybart, och utvecklingen visat att det finns nytta att placera kraftproduktionen jämt över landet och i anslutning till användningen.

<sup>2</sup> Dessa slutsatser är sin tur beroende av exempelvis hur vi kommer att realisera potentiell flexibilitet (möjligheten att flytta elanvändning i tiden), vilka nya flexibilitetsresurser som kommer att finnas framöver (elbilar, vätgaslager mm) och hur dessa kommer att nyttjas samt även hur elsystemet strukturellt förändras på grund av nya förutsättningar så som variationer i elpriset.

Den generella slutsatsen utifrån modellkörningarna, och kvalitativa analyser av dessa, är att målet bör vara att styra mot en fördelning av vindkraften som ligger mellan *Vind SE3* och *Vindscenariot*. Detta beror främst på att nära 60 procent av elanvändningen finns i elområde 3 och att all befintlig kärnkraft är lokaliserat i SE3 (som i dessa scenarier helt fasats ut under 2040-talet). Med de förutsättningar som angetts i modellen visar våra körningar bland annat att elanvändare i SE3 kan få en minskad kostnad på över 10 miljarder årligen i scenariot *SE3* jämfört med *Landbaserat Norr* bara på grund av ett lägre elpris. Modellresultat ska dock alltid tolkas med försiktighet, så detta bör inte ses som en kostnadsprognos utan mer som en fingervisning om möjlig utveckling. Vi ser redan idag exempel på att en ojämn utbyggnad av elproduktionen kommer driva skillnaden i elpris mellan norr och söder. Värt att notera är även att denna bedömning inte inkluderar kostnader av nätförstärkningar från norr till söder, eller lokalt i elområde 3.

Här bör också poängteras att det finns en hel del ny elanvändning som kan förväntas etableras i Norrland. Detta är bland annat nya serverhallar, Hybrit-projektet (stål utan kol), Northvolts batterifabrik, med mera. Det råder en stor osäkerhet om utveckling av elanvändningen, framför allt avseende de två första, men det är i vilket fall som helst inte osannolikt att vi i framtiden kan ha en ökad elanvändning i Norrland. Detta skulle i sin tur resultera i fördelar med en större vindkraftsutbyggnad i Norrland jämfört med resultaten från *Landbaserat Norr*. Ett sådant scenario kommer dock inte att minska behovet av el i södra Sverige och därmed inte behovet av vindkraft där.

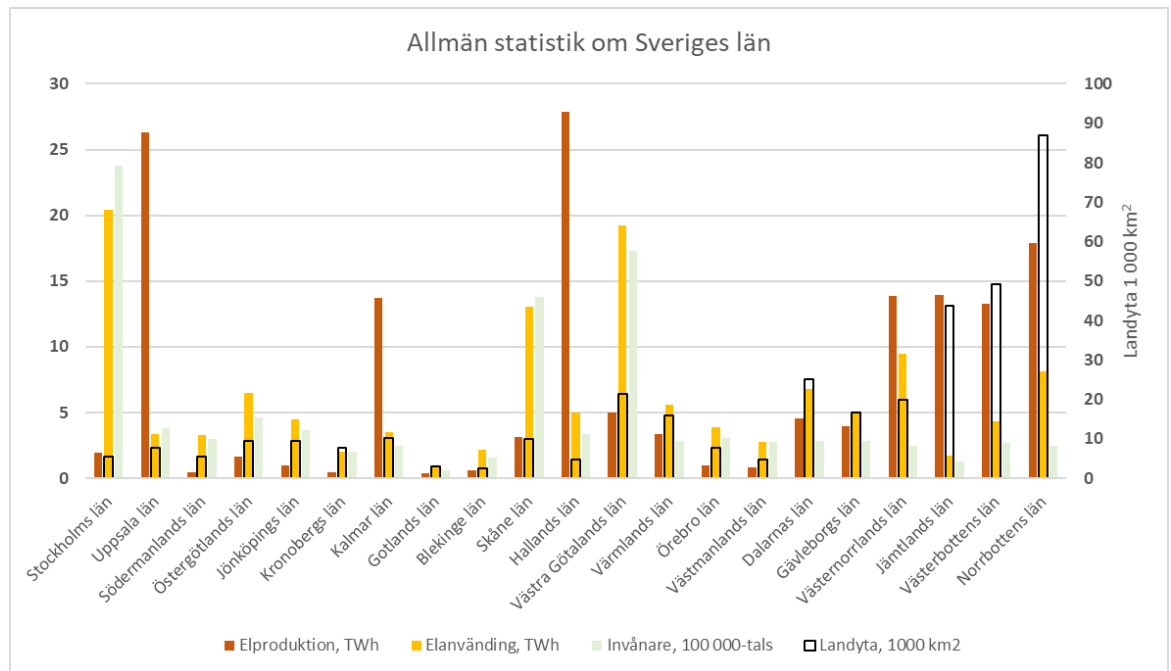
Även Svenska kraftnät pekar i sin checklista på behovet av jämnt spridd vindkraft, både i väst-östlig och nord-sydlig riktning. Det är viktigt inte bara för att minska variabiliteten utan också för att kunna upprätthålla bra driftsäkerhet i elsystemet och minska behovet av omfattande stamnätsutbyggnader. Svenska Kraftnät pekar också på ett stort behov av ny elproduktion nära elanvändningen i SE3 och SE4. De lyfter också fram vikten av att återanvända de platser som redan idag nyttjas till vindkraft, då elnätet i stort anpassats efter dessa lokaliseringar. Elnätet är en infrastruktur som kräver långsiktighet och förutsägbarhet för att kunna utvecklas så att den kan svara upp mot framtida behov. Elnäten har också betydligt längre livslängd än vindkraftsanläggningar. En vindkraftspark levererar el i ca 25 år medan det distributions- och transmissionsnät som byggs för att ta emot effekten anläggs för att leverera i minst 40 år.

## 1.2 Allmänna förutsättningar i länen

Det vi kan ta med oss från resonemanget i föregående avsnitt är att det är bra med en spridning av vindkraften i Sverige (dvs till alla län), att det finns elproduktion nära elanvändningen samt att utgångspunkten för fördelningen bör ligga nära de

två scenarierna *Vindscenariot* och *Vind SE3*. Samtidigt bör hänsyn tas till redan utbyggd vindkraft och också dess möjlighet för att generationsväxlas. I den fortsatta analysen kommer *Landbaserad Norr* enbart att användas i för vissa jämförande analyser medan *Havsbaserad vind* utgår helt då denna fördelning är riktad på landbaserad vindkraft.

I fördelningen tas också hänsyn till länets faktiska landyta, befolkning, samt vilka ytor med god- eller viss möjlighet till samexistens mellan vindkraft och andra intressen enligt genomförd GIS-analys. I Figur 2 visas några av dessa faktorer. Det är en ganska stor variation mellan länen och olika län sticker ut när det gäller olika nyckeltal. Vad gäller elproduktion och elanvändning har detta varit utgångspunkten för våra studerade scenarier och finns därför redan med som en faktor. Vid vidare fördelning har vi valt att inte använda den länsvisa elproduktionen (i dagsläget) som ett nyckeltal då vi bedömer att den kommer att förändras kraftigt i framtiden och beroende på scenario. Elanvändningen påverkar också vilken utbyggnad som behövs i varje län, och prognoser för elanvändningen ligger till grund för valet av 100 TWh vindkraft. Dessa prognoser är dock osäkra i dagsläget, då energisystemet står inför ett paradigmskifte, och speciellt om industrin ska ställas om från att använda fossila bränslen till el. Om industrin ställer om kan vi se att elbehovet troligen ökar markant i de län det skulle beröra. Vår bedömning är dock att det är en stor osäkerhet kring var denna elanvändningen hamnar, och att vi inte kunnat fastställa vilka industriprojekt som genomförs i dagsläget. Därmed utgår vi ifrån att dagens procentuella fördelning av elanvändning i länen inte kommer att förändras i allt för stor omfattning. Vi vill här poängtera att detta kan förändras, och elanvändningen kan komma att öka mer, och på andra sätt än denna strategis prognoser. Därmed bör den länsvisa fördelningen av vindkraft utifrån denna strategi ses på som en lägstanivå utifrån de antaganden vi utgått ifrån i denna nationella analys. Om de regionala analyserna visar att elanvändningen ökar jämfört med antagandena i strategin, bör även elproduktionen per län utvecklas enligt detta



Figur 2. Utvalda relevanta nyckeltal för olika län. Alla siffror gäller år 2018 utom elproduktionen som är ett medelvärde för 2014 – 2018 då detta var enda sättet att få statistik över samtliga län.

Vad gäller konflikter, eller möjligheter till samexistens med andra markanvändningsintressen sammanfattas resultatet av den GIS-analys<sup>3</sup> som har gjorts i tabell 1 nedan. De tillgängliga ytorna är uppdelade på 150 och 200 meters höjd för områden med en medelvindeffekt på 400 W/m<sup>2</sup>. De är uppdelade i två klasser, klass 1 som innebär ytor där vi inte identifierat några kända konflikter och klass 2 där det finns vissa möjligheter till samexistens men där dessa områden behöver studeras närmare i regionala analyser. Observera att vindkraftverk på 200 meter medför en större tillgänglig yta och att högre vindkraftverk med högre installerad effekt också kräver mindre yta i anspråk per producerad GWh.

<sup>3</sup> Fler tillgängliga ytor har studerats i avsnitt xxx



Tabell 1. Ytor utan känd konflikt (Klass 1) samt ytor med möjlighet till samexistens (Klass 2) för 150 respektive 200 meter navhöjd. Exemplet rör vindkraft med en tillgänglig vind på 400 W/m<sup>2</sup>.

	Landyta (km <sup>2</sup> )	150m höjd		200m höjd	
		Klass 1 (km <sup>2</sup> )	Klass 2 (km <sup>2</sup> )	Klass 1 (km <sup>2</sup> )	Klass 2 (km <sup>2</sup> )
Stockholms län	5 581	111	1 826	114	1 877
Uppsala län	7 784	226	2 355	385	3 605
Södermanlands län	5 521	105	3 038	114	3 792
Östergötlands län	9 509	63	2 987	178	4 038
Jönköpings län	9 578	112	4 720	131	6 260
Kronobergs län	7 723	139	3 326	173	5 797
Kalmar län	10 149	430	4 207	716	6 007
Gotlands län	3 003	0	1 670	0	1 670
Blekinge län	2 546	0	589	0	790
Skåne län	10 060	42	4 912	48	5 356
Hallands län	4 870	106	3 050	106	3 057
Västra Götalands län	21 488	349	10 155	386	10 912
Värmlands län	15 832	492	1 663	1 855	7 855
Örebro län	7 753	342	3 161	531	4 928
Västmanlands län	4 795	82	1 315	652	2 794
Dalarnas län	25 181	622	4 126	1 722	12 126
Gävleborgs län	16 580	1 271	2 820	3 470	8 223
Västernorrlands län	19 856	33	5 074	175	13 261
Jämtlands län	43 647	85	14 485	395	28 068
Västerbottens län	49 292	0	10 549	0	31 563
Norrbottens län	87 005	0	5 739	0	26 787

### 1.2.1 Vindkraft idag och pågående utbyggnad

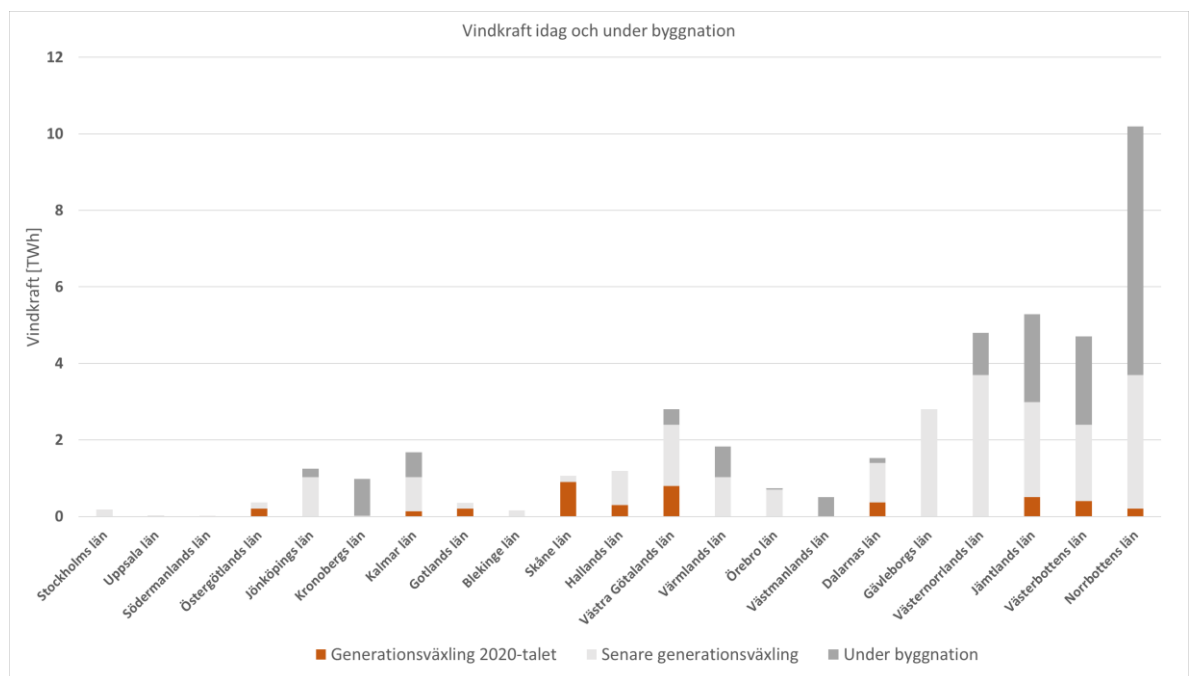
Idag finns vindkraft installerad som motsvara cirka 25 TWh årsproduktion. Det pågår en omfattande utbyggnad som kommer medföra att vi år 2023 har närmare 45 TWh vindkraft. Både den befintliga vindkraften och utbyggnaden är mycket ojämnt fördelat mellan länen.

Det är samtidigt viktigt att ha med sig att en strategi som sträcker sig till 2040-talet innebär att i princip samtliga dagens verk kommer att behöva genomgå en generationsväxling. Detta eftersom den ekonomiska livslängden för ett vindkraftsverk idag är cirka 20-25 år. Vid en generationsväxling ersätts gamla vindkraftverk av nya verk på samma plats. Det innebär således att platsen med tillhörande infrastruktur återanvänds och att ny mark inte behöver tas i anspråk för vindkraft. I delar av södra Sverige, där det både finns många befintliga vindkraftverk och många konkurrerande markbehov kommer generationsväxling troligen stå för en stor del av den framtida utbyggnaden av vindkraft

Eftersom dagens moderna vindkraftverk producerar betydligt mer el både per verk och per installerad effekt (på grund av högre antal fullasttimmar) kan generationsväxling medföra en betydande höjning av elproduktionen utan att ta mer yta i anspråk.

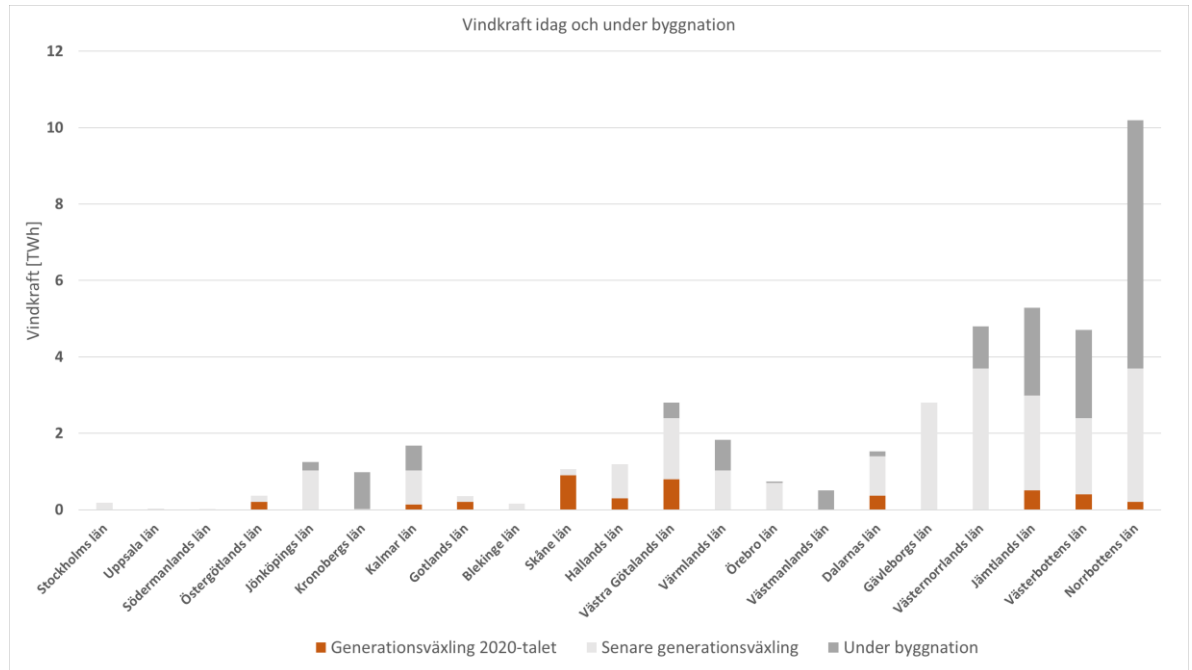
För att förstå generationsväxlingens potential så står ungefär 4 TWh vindkraft inför generationsväxling under 2020 – talet (vindkraftverk byggda före 2010).

Skulle dessa bytas ut mot dagens moderna verk (i detta exempel 7 MW) skulle de med samma totala installerade effekt kunna producera 7 – 8 TWh. Samtidigt skulle det bara behövas en sjättedel så många verk. Om samma ytanspråk som verken upptar idag skulle bibehållas, hade produktionen kunna bli 12 TWh. Värt att poängtera är att generationsväxlingens utmaningar skiljer sig åt mellan olika län. En stor del av den tidiga vindkraften uppfördes i södra och sydvästra Sverige, där det idag kan vara svårt att uppföra höga verk på grund av konflikter med andra intressen. Den tidiga vindkraften har också ett betydligt mer splittrat ägarskap än senare vindkraft, vilket kan försvåra framtida investeringar i generationsväxling,



Figur 3 visar vindkraftsproduktionen i samtliga län i Sverige idag med utgångspunkt i deras elproduktion. När vindkraftsutbyggnaden ska fördelas behöver hänsyn tas till detta. Dels för att det som tidigare nämnts finns stora fördelar med att fortsätta producera vindkraftsel där det redan finns vindkraft, dels för att nyttja den stora potential till ökad elproduktion som

generationsväxling innebär. Inget län kommer att få en fördelning som är lägre än summan av befintlig vindkraft och vindkraft under byggnation.



Figur 3. Vindkraft i drift och under byggnation. Vindkraft i drift är uppdelad i produktion som kan vara aktuellt för generationsväxling under 2020-talet (verken är tagna i drift före år 2010) samt övrig vindkraft. Antas 20 – 30 års livslängd kommer alla dessa verk behöva generationsväxla före 2040-talets slut. Siffrorna är baserad på ungefärlig normalårsproduktion.

### 1.3 Fördelning

I detta kapitel diskuteras och illustreras ett antal metoder för att fördela drygt 80 TWh landbaserad vindkraft mellan olika län för att sedan resultera i en konkret fördelning. Fördelningen är en sammanvägning av de nedan beskrivna metoderna och en kvalitativ analys.

Förklaringen till att vi siktar på drygt 80 TWh, när strategins utgångspunkt är ett nationellt utbyggnadsbehov på 100 TWh, är att vår fördelning endast omfattar landbaserad vindkraft. När det gäller geografisk fördelning av den havsbaserad vindkraften hänvisar vi till de ställningstaganden som görs inom ramen för havsplaneringen. Vår bedömning är att 20-30 TWh är möjligt att inrymma i de områden som pekats ut för energiutvinning i granskningsversionen av havsplanerna. Detta ska dock inte uppfattas som att vi anser att den havsbaserade vindkraften bör begränsas till denna nivå, det uttrycker snarare en miniminivå. Skulle det visa sig vara möjligt med en mer omfattande utbyggnad vore det bara

positivt, med tanke på att elanvändningen kan öka mer än vad vi antagit vid bedömningen av det totala nationella utbyggnadsbehovet i strategin.

I alla fall som undersökts har vi utgått ifrån de vindkraftsscenarier som beskrivs i början av kapitlet. I *vindscenariot* finns exempelvis 29 TWh vindkraft i elområde 3 i. Dessa 29 TWh kan därefter fördelas utifrån olika principer (t.ex. baserad på yta, befolkning, elanvändning) per län i elområde 3. Alla län ligger inte enbart i ett elområde, och nedan redovisas en tabell på hur stor del av de olika länens landyta som ligger i respektive elområde, vilket är vad vi utgått ifrån när vi räknat på fördelningen. Det bör noteras att vi dock inte kunnat placera olika faktorer så som befolkning eller elanvändning i annat än länen som helhet. Vår utgångspunkt har varit att om 20 procent av länet ligger i ett elområde finns också 20 procent av elanvändning i detta elområde.

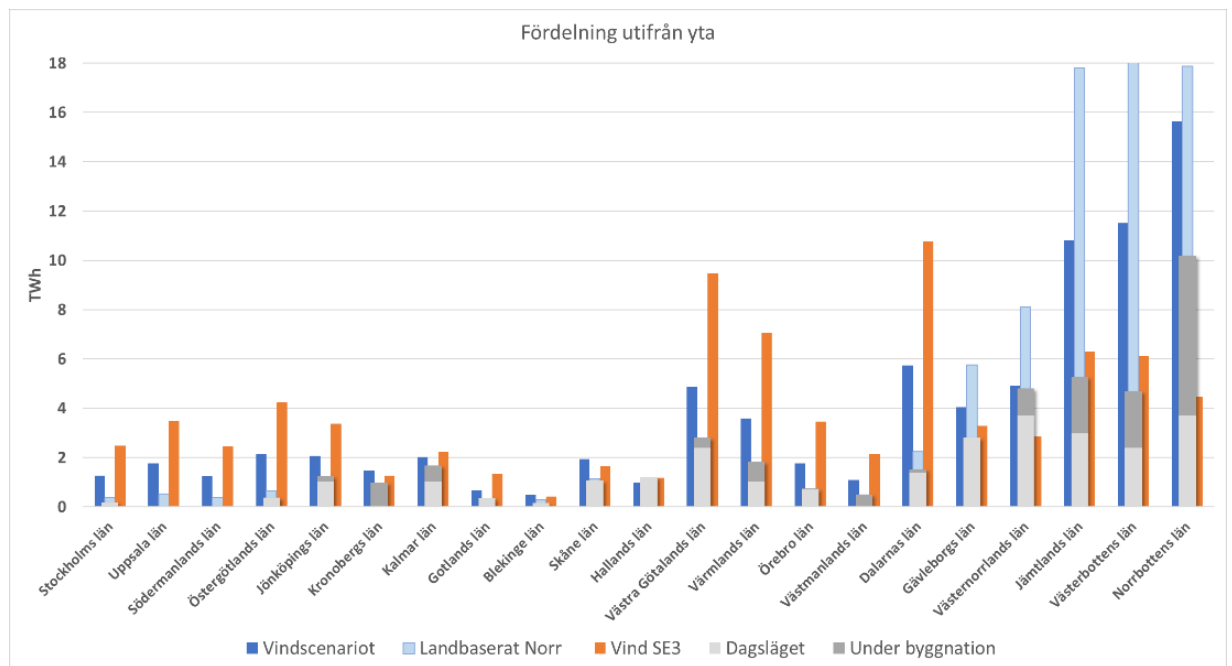
Tabell 2. Hur stor del av länen yta som ligger inom ett specifikt elområde.

Län	Elprisområde	Andel, %
Stockholms län	SE3	100
Uppsala län	SE3	100
Södermanlands län	SE3	100
Östergötlands län	SE3/SE4	99,9/0,1
Jönköpings län	SE3/SE4	67/33
Kronobergs län	SE3/SE4	0,01/99,99
Kalmar län	SE3/SE4	20/80
Gotlands län	SE3	100
Blekinge län	SE4	100
Skåne län	SE4	100
Hallands län	SE3/SE4	27/73
Västra Götalands län	SE3/SE4	98/2
Värmlands län	SE3	100
Örebro län	SE3	100
Västmanlands län	SE3	100
Dalarnas län	SE2/SE3	6/94
Gävleborgs län	SE2/SE3	82/18
Västernorrlands län	SE2	100
Jämtlands län	SE2/SE3	99,9/0,1
Västerbottens län	SE1/SE2	21/79
Norrbottens län	SE1/SE2	99,99/0,01

### 1.3.1 Fördelning utifrån yta

Ett enkelt sätt att fördela vindkraften i strategin är att bara utgå från den faktiska landyta som varje län har. Utgående från scenarierna *Vindscenariot*, *Landbaserad Norr* och *Vind SE3* illustreras en tänkt fördelning i Figur 4 tillsammans med dagens vindkraft och vindkraft under byggnation. Här uppstår en utmaning i att Vind SE3 medför en fördelning av vindkraft i norr som är lägre än vad som faktiskt kommer att finnas inom några år.

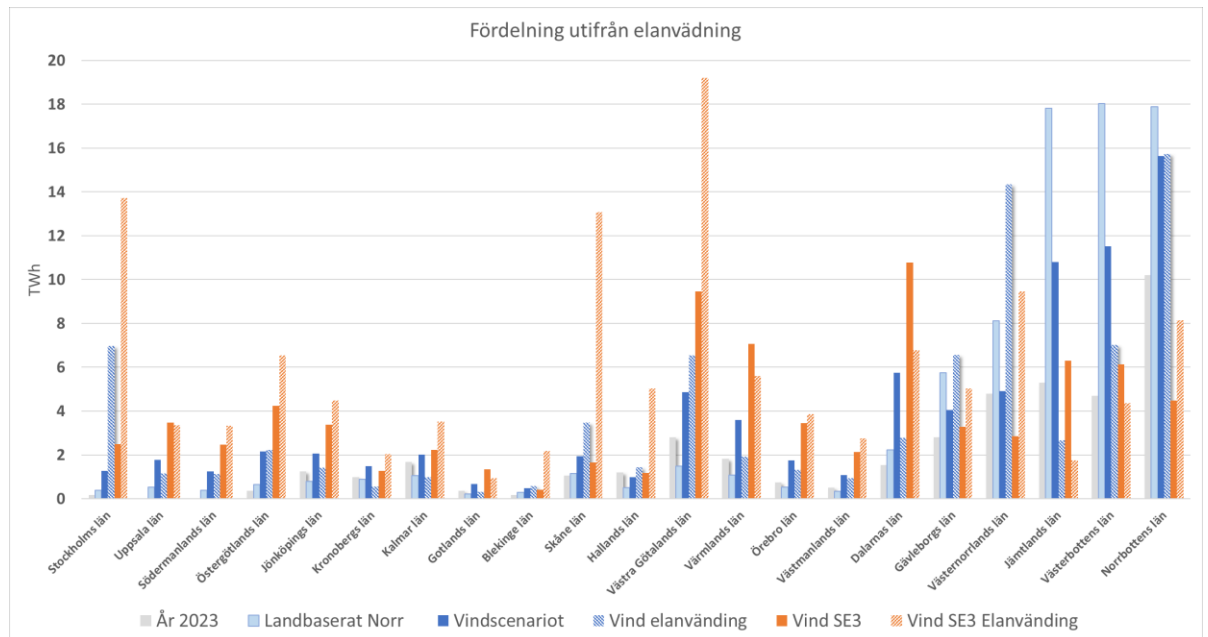
Faktisk yta är en viktig faktor vid fördelningen men den säger inte så mycket om exempelvis eventuella motstående intressen eller behov av mer elproduktion. Resultatet från nedanstående figur kommer att användas som referens i fortsatta fördelningar. Vindkraftsproduktionen i ”dagsläget” och ”under byggnation” kommer i fortsatta figurer slås samman och benämnas ”År 2023” då all den vindkraft som är under byggnation beräknas att vara i drift.



Figur 4. Fördelning av vindkraft med utgångspunkt från olika scenarier och länens faktiska landyta.

### 1.3.2 Fördelning utifrån elanvändning, befolkning mm

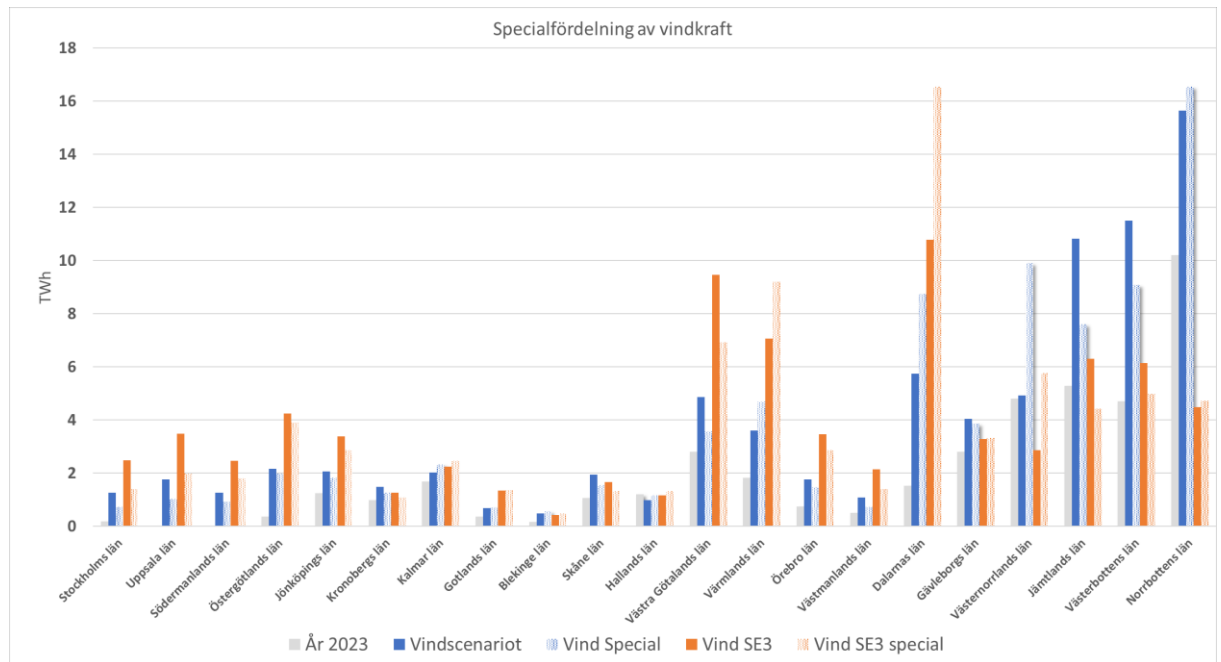
Ett annat sätt att fördela vindkraften över olika län är utifrån deras respektive elanvändning då det tidigare konstaterats att elproduktion nära elanvändning är en viktig faktor. I Figur 5 visas resultatet av en sådan fördelning. Med tanke på att Stockholm, Skåne och Västra Götalands län har en jämförelsevis mycket hög elanvändning blir också fördelningen till dessa områden mycket hög. Fördelningen tar inte hänsyn till exempelvis att länen har höga populationer, som i sammanhanget kan medföra många motstående intressen.



Figur 5. Fördelning av vindkraft utifrån elanvändning för olika scenarier. I figuren visas också, som jämförelse, fördelningen utifrån yta från Figur 4 samt förväntad vindkraftsproduktion år 2023.

Ett sätt att fördela mer realistiskt kan vara att väga samman några av de betydelsefulla faktorerna som redovisades i Figur 2. I Figur 6 visas en fördelning som utgår från en sammanvägning av elanvändning, landyta och befolkning enligt faktorn  $\frac{\text{Elanvändning} \times \text{yta}}{\text{Befolkning}}$

Resultatet blir en något mer balanserad fördelning än att exempelvis utgå från bara elanvändning. Län så som Dalarna och Norrbotten får dock en mycket stor fördelning på grund av att de i sitt respektive elområde har relativt stor yta, låg befolkning och hög elanvändning.

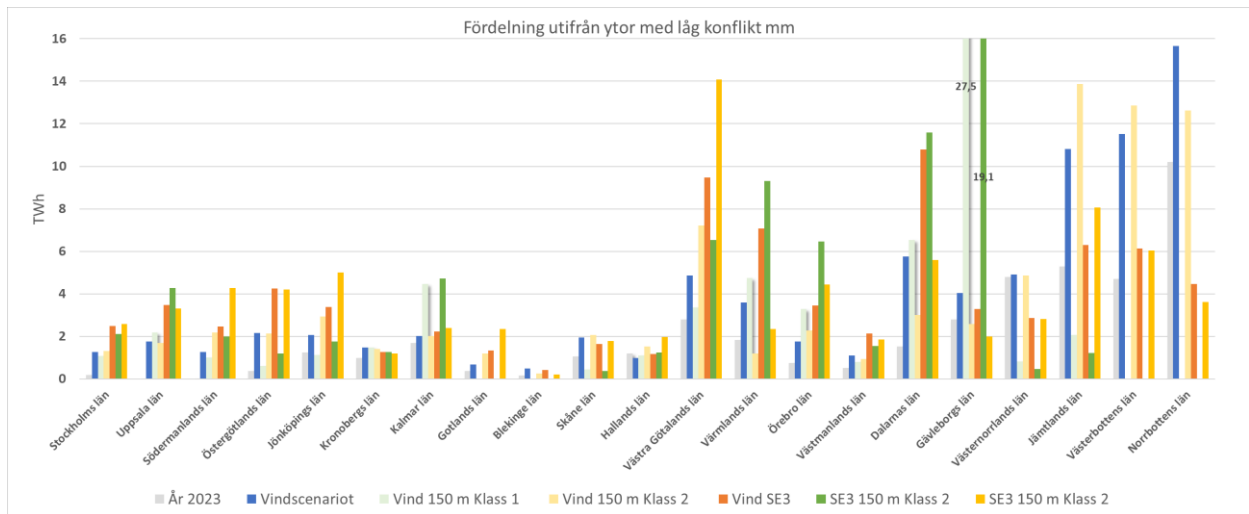


Figur 6. I figuren visas även som jämförelse, fördelningen utifrån yta från Figur 4 samt förväntad vindkraftsproduktion år 2023.

### 1.3.3 Fördelning med hänsyn till ytor med låg konflikt med andra intressen

I stället för att bara ta hänsyn till befolkning eller total landyta kan de, med hjälp av GIS-analys, framräknade ytorna med låg konfliktgrad med andra intressen i Tabell 1 användas som fördelningsnyckel. Det är inte säkert att det är möjligt att bygga vindkraft på dessa ytor, men analysresultatet ger en fingervisning om var det kommer att finnas mer utmaningar vid en planeringsprocess. En begränsning med metoden är att det inte finns några konfliktfria ytor i hela SE1, på grund av konflikter med renskötselns intressen. Vissa län i södra Sverige har inte heller några Klass 1-ytor och fördelas enligt denna metod heller ingen vindkraft. Gävleborgs län har den största konfliktfria ytan och får därför en oproportionerligt hög fördelning om man skulle ta hänsyn till enbart konfliktfria ytor, detta illustreras i Figur 7.

Kalmar län och Kronobergs län har relativt stora klass 1-ytor jämfört med andra län av liknande storlek. Länen ligger dock till största del i elområde 4 och på grund av att scenarierna inte har så stor mängd landbaserad vindkraft i elområdet blir inte fördelningen så hög ändå.



Figur 7. Fördelning utifrån ytor med olika konfliktgrad med data från Tabell 1. Y-axeln är avskuren och siffrorna för Gävleborgs län är istället utskrivna i staplarnas mitt. I figuren visas också, som jämförelse, fördelningen utifrån yta från Figur 4 samt förväntad vindkraftsproduktion år 2023.

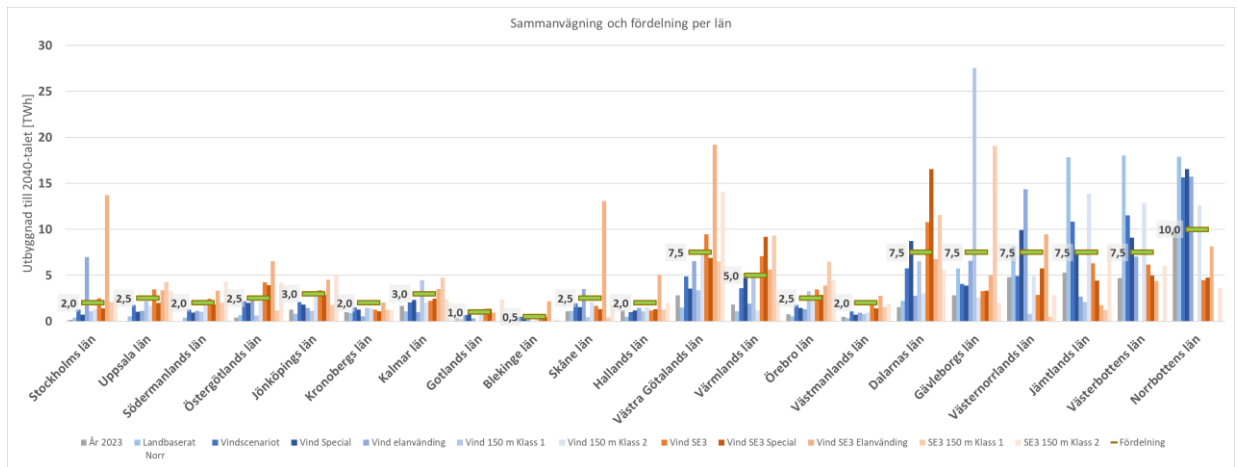
### 1.3.4 Sammanvägd fördelning

Med utgångspunkt från de fördelningsmetoder vi tittat på samt utifrån dagens vindkraftsproduktion och vindkraften under byggnation har vi gjort en sammanvägd bedömning av fördelningen i varje län. Vi har valt nivåer på de regionala utbyggnadsbehoven som är indelade i 0,5 TWh-steg då vi inte anser att det som planeringsunderlag är meningsfullt att ha mer exakta siffror än så. Fördelningen visas i Figur 8. Resultat av den sammanvägda bedömningen är att summan av den regionala fördelningen ligger nära 90 TWh. Fördelningen per elområde redovisas i tabell 4.

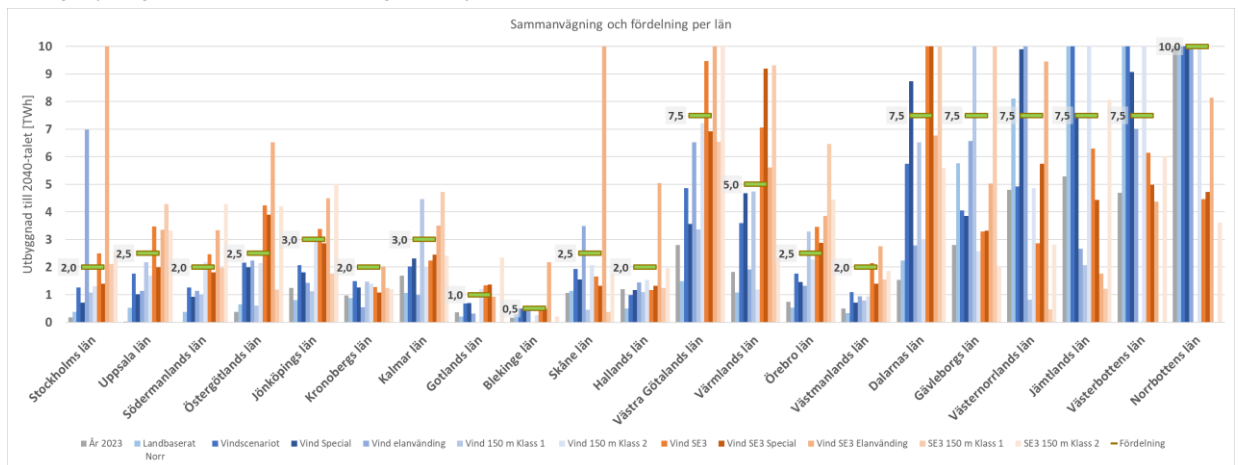
Tabell 3 Fördelningen per elområde av de regionala utbyggnadsbehov en

	SE1	SE2	SE3	SE4
Vindproduktion, TWh	12	28	38	10





Figur 8. Sammanställning av resultatet från alla fördelningsmetoder tillsammans med Energimyndighetens valda fördelning för varje län.



Figur 9. Samma som Figur 8 men med beskuren y-axel.

Vissa län i södra Sverige så som Halland, Skåne och Kronobergs län kan tyckas ha något höga utbyggnadsbehov jämfört med resultaten från de olika fördelningsmetoderna. Detta är dels för att ta hänsyn till att den landbaserade vindkraften i elområde 4 ligger ganska lågt i alla scenarierna, samt att Skåne och Hallands län har en ganska stor mängd vindkraft idag som med en generationsväxling har potential att öka markant i årsproduktion. Samtidigt har Kronobergs län både en faktisk yta och klass 1-ytor som är större än flera av de län som har samma planeringsmål (2 TWh).

#### 1.4 Vad innebär målen i antal verk och yta?

Ett utbyggnadsbehov uttryckt i TWh kan vara svårt att relatera till med avseende på exempelvis hur många vindkraftverk det innebär samt vilken yta det tar upp. I

detta avsnitt kommer vi därför att resonera om det och redovisa olika räkneexempel som belyser detta.

Viktigt att tänka på är att strategin tar sikte på 2040-talet och berör anläggningar som byggts ända tillbaka på 90-talet. Det handlar alltså om en period på 60 år där det redan skett en stor och snabb teknikutveckling, som också väntas fortsätta. För att illustrera utveckling kan detta exemplifieras med att det i början av 90-talet var vanligt med vindkraftverk på runt 0,2 MW installerad effekt som producerade ungefär 0,3 GWh per år och krävde en yta på cirka 300 km<sup>2</sup> per TWh. Just nu utvecklas turbiner på 20 MW som kan producera 70 – 100 GWh per år (beroende på var de placeras) samt skulle ta upp en yta på runt 25 km<sup>2</sup> per TWh. Produktionen per verk har alltså blivit cirka 300 gånger större samtidigt som den tar upp en tolftefels yta.

I Tabell 4 Tabell 4 illustreras några tekniker som kan vara viktiga att ta hänsyn till vid planering av nyetableringar och vid generationsväxling av vindkraft. Viktigt att tänka på är att möjligheten att kunna bygga vindkraftverk med hög effekt, på hög höjd och i bra vindlägen kommer att påverka hur många verk som behövs och vilken yta som behöver tas i anspråk. Eftersom det finns fler platser med bra vindar på högre höjder, innebär hög navhöjd också att mängden yta som i varje län är lämplig för vindkraft ökar och därmed också sannolikheten för att kunna bygga där det inte finns motstående intressen.

Värt att notera är också att cirka 80 TWh vindkraft på land, som är det nationella utbyggnadsbehovet enligt denna strategi, sannolikt innebär både färre verk och mindre yta än vindkraften tar upp idag. Både 12 MW turbinen och utvecklingen mot 20 MW avser i dagsläget havsbaserad vind. Det utesluter dock inte att turbiner i denna storlek på sikt blir tillgängliga även för landbaserad vind. I dagsläget planeras för landbaserade vindturbiner i Sverige som är mellan 5 och 7 MW. Även om 20 MW-turbiner på land sannolikt ligger långt fram i tiden så kan det ändå vara intressant att notera att detta skulle innebära färre än 1 000 turbiner i hela Sverige för att producera 80 MW.

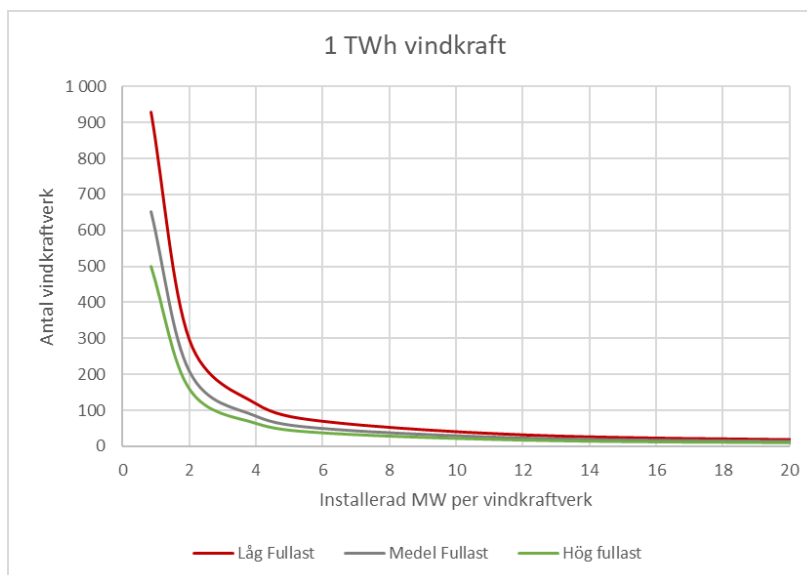
Tabell 4. Några olika storlekar på turbiner och vad de skulle innebära för en utbyggnad av 1 TWh årsproduktion.

Teknik	När?	Totalhöjd	Antal verk per TWh	Yta per TWh
<b>0,8 MW</b>	Runt år 2000	70 m	700 st	60 km <sup>2</sup>
<b>2 MW</b>	Dominerande år 2005 - 2015	100 - 200 m	150 - 300 st	50 - 70 km <sup>2</sup>
<b>4 MW</b>	Modern landbaserad teknik	200 m	80 st	55 km <sup>2</sup>
<b>6 MW</b>	Modern landbaserad teknik	230 m	50 st	45 km <sup>2</sup>
<b>12 MW</b>	Stötst verket på marknaden	300 m	20 st	39 km <sup>2</sup>
<b>20 MW</b>	Utvecklas i dagsläget	>300 m	12 st	28 km <sup>2</sup>

### 1.4.1 **Betydelsen av höga verk med hög installerad effekt**

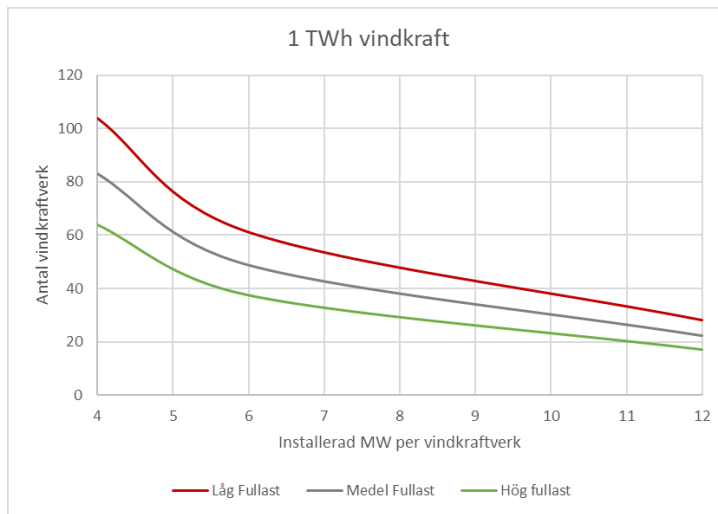
Innan vi illustrerar några exempel på vad de olika målen för länen motsvarar i antal verk och ytanspråk behöver några mer övergripande resultat redovisas.

Elproduktionen från ett enskilt verk beror förutom på effekt också på antal fullasttimmar, eller kapacitetsfaktorn. I ett planeringsperspektiv, så som detta avser, så kommer bra vindlägen och möjligheten till en hög totalhöjd att påverka både effekt och fullasttimmar. Höga höjder möjliggör högre effekt, större rotordiameter och åtkomst till bättre vindar. För att illustrera detta visas antal verk för att producera 1 TWh årsproduktion el beroende på effekt per verk och olika fullasttimmar i Figur 10.



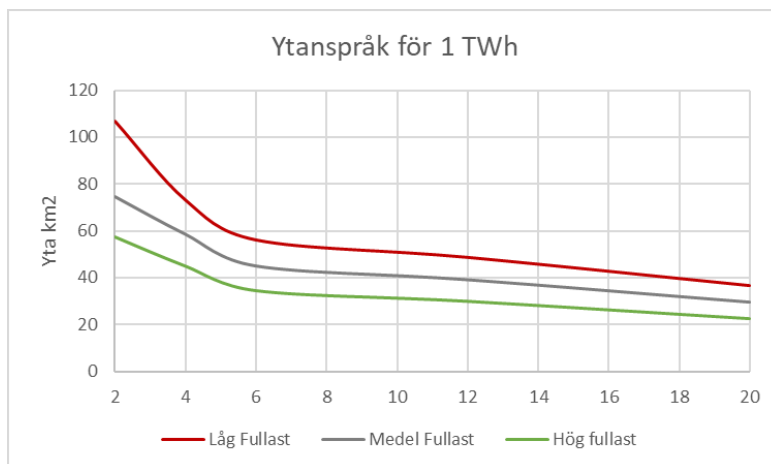
Figur 10. Antal verk som behövs för att producera 1 TWh el för olika effekter per verk samt låga eller höga fullasttimmar.

Fram till 2040-talet lär det sannolikt vara vindkraftsturbiner på mellan 4 – 12 MW som byggs ut (även om större verk är möjligt). Även i detta teknikområde kommer möjligheten att bygga stora turbiner i bra vindlägen spela en stor roll för antal verk vilket illustreras tydligare i Figur 11. Det krävs exempelvis tre gånger så många vindkraftverk i storleksordningen 4 MW med låga fullasttimmar jämfört med 7 MW i bra vindlägen.



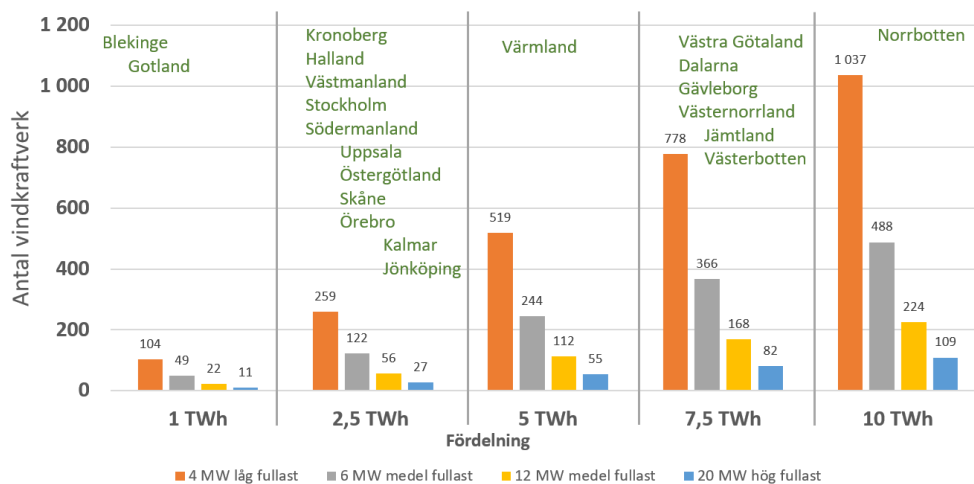
Figur 11. Antal verk för att producera 1 TWh el för olika effekter per verk samt låga eller höga fullasttimmar.

Även för ytanspråken så finns ett liknande samband även om det inte är lika starkt som för *antal verk*. Analogt med exemplet ovan så tar en 4 MW turbin med låga fullasttimmar upp dubbelt så mycket yta som en 7 MW turbin med höga fullasttimmar. Det bör här noteras att den totala ytan som en vindkraftpark på olika sätt påverkar omfattar både parken i sig och en yta runt parken. Vissa delar av denna yta tas i permanent anspråk så som de faktiska turbinerna med fundament och ställverken. För dagens moderna verk på 4 – 7 MW, som har vindkraftsblad som är 70-90 meter långa, är avståndet mellan turbinerna runt 1 km vilket innebär att ytor mellan verken sannolikt kan användas till andra ändamål men innebär samtidigt att en större yta runt om parken påverkas av vindkraften i jämförelse om verk med lägre totalhöjd och mindre rotorer uppförs.

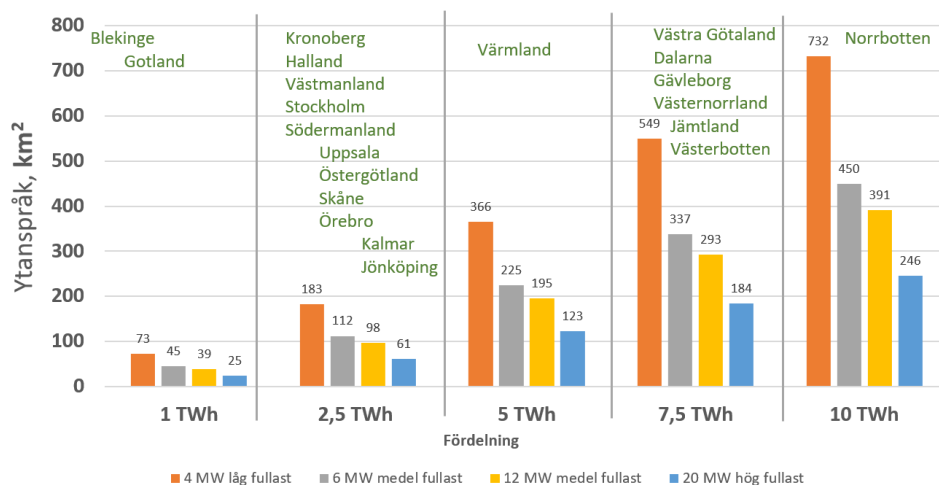


### 1.4.2 Yta och antal verk för olika län

Beroende på vilka typ av vindkraftverk som byggs och vilka typen av vindlägen och höjder som möjliggörs kan de olika fördelningsmålen i TWh innebära olika antal verk och ytanspråk. I Figur 12 och Figur 13 visas detta för några varianter av årsproduktion av el från vindkraft. Länen är inskrivna i diagrammen ungefär där deras respektive utbyggnadsbehov är satta. I dagsläget är uppgifterna för 4 – 7 MW-turbiner mer relevanta för landbaserad vindkraft. För ett planeringsunderlag som siktar på 2040-talet är det dock viktigt att ta med teknik som finns på marknaden för havsbaserad vindkraft samt teknik under utveckling, som på sikt kan bli tillgängligt även för landbaserad vindkraft.

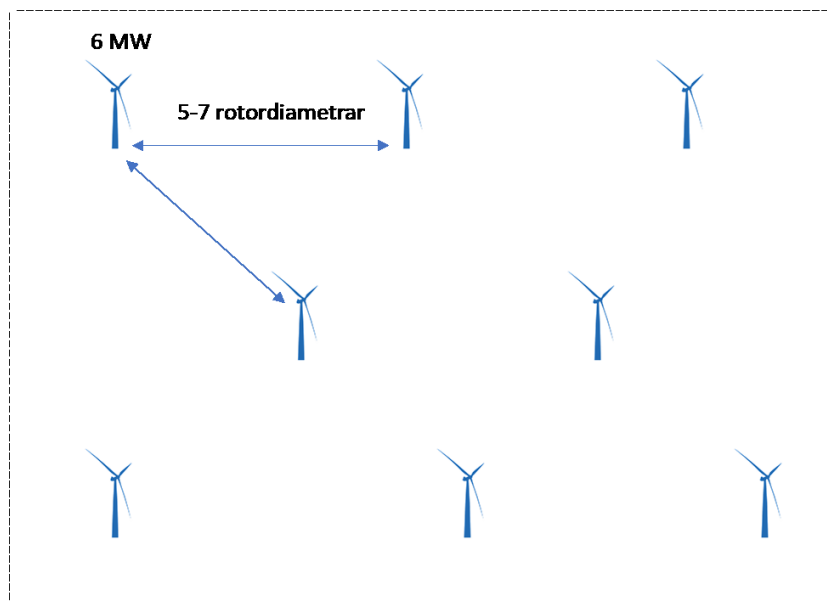


Figur 12. Antal vindkraftverk för olika tekniker och olika utbyggnadsbehov. Länen är inskrivna ungefär där de har sina respektive utbyggnadsbehov.



Figur 13. Ytanspråk för olika tekniker och olika utbyggnadsbehov. Länen är inskrivna ungefär där de har sina respektive utbyggnadsbehov.

Med ytanspråk menas här den totala yta där det står vindkraftverk, utgående från att verken står på ett avstånd som motsvarar 5-7 rotordiametrar från varandra, se bilden nedan. För 6 MW turbiner har vi räknat med att de står på cirka en kilometers avstånd från varandra. Värt att beakta är att det bara är en mindre del av denna yta som faktiskt tas i anspråk av vindkraftsparken (av verk, vägar, kranplatser mm), enligt uppgifter från vindkraftsbranschen rör det sig om omkring 3-5 % av projekteringsområdet.



### 1.4.3 Vikten av att ta höjd för teknikutvecklingen i tillstånden

Räkneexemplen i Figur 12 och Figur 13 visar att möjligheten att bygga stora turbiner i vindlägen kommer att spela en stor roll för hur många verk som krävs för att nå utbyggnadsbehovet. I praktiken innebär dock alltför snäva begränsningar av maximal höjd på vindkraftverken i tillståndsbesluten ett vanligt förekommande hinder för detta, men det kan också gälla låsta positioner av vindkraftverken. För snäva begränsningar av totalhöjden är även en viktig anledning till att det finns många outnyttjade tillstånd och till att tillståndsmyndigheterna måste lägga ned mycket resurser på prövning av ändringstillstånd. Detta är alltså en viktig fråga att hantera för att kunna effektivisera tillståndsprocessen.

Huvudansvaret för denna fråga anser vi ligger på vindkraftsbranschen. Branschen är den part som bäst kan göra en bedömning av rimlig teknikutveckling och som bör skapa utrymme för teknikutvecklingen i tillståndsansökningarna. Branschen upplever dock att det är svårt att få kommuner att tillstyrka en etablering om de i

sin ansökan tar till med stor marginal vad gäller totalhöjden på verken. En förklaring kan vara att kommunen är osäker på de högre verkens omgivningspåverkan, t.ex. vad gäller landskapsbild och bullerspridning, och då hellre väljer att avstyrka en sådan etablering.

Därför har vi i analysen av de juridiska förutsättningarna (se strategins webbsida) tittat närmare på om det är möjligt och i så fall på vilket sätt tillstånden kan utformas för att vara mer flexibla än idag. Vår slutsats blev dock att föreslå flexibla tillstånd med avseende på vindkraftverkens totalhöjd inte är en framkomlig väg för en hållbar vindkraftsutbyggnad. Detta mot bakgrund av att vindkraftverkens höjd är en avgörande fråga för omkringboendes inställning till en vindkraftsetablering och att acceptansen för vindkraftsutbyggnaden riskerar att påverkas negativt om vindkraftverkens totalhöjd inte skulle regleras i tillstånden. Den flexibilitet som dagens rättspraxis ger utrymme för med användandet av boxmodellen, samt möjligheten till placering med flyttmån anser vi dock är mycket viktig för att möjliggöra optimering av och anpassning av placering av verken till teknikutvecklingen.

Mot bakgrund av det har en viktig fråga i strategin därför varit att informera om vikten av att bygga resurseffektivt och att belysa hur omgivningspåverkan påverkas av olika höjd på verk och nackdelar att bygga i sämre vindlägen. Frågan är belyst i det nationella planeringsunderlaget som tagits fram och har tagits upp i de regionala dialoger som hållits med samtliga länsstyrelser kring strategins innehåll och upplägg. Det kommer också att ingå i kommunikationspaketet.

### **1.5 Sammanfattande planeringsunderlag**

I Tabell 5 finns de regionala utbyggnadsbehoven samlade tillsammans med ungefärlig yta och antal verk samt en angiven planeringsyta, som motsvarar den ytan som vi anser länsstyrelserna bör planera för vindkraft. Enligt vår bedömning bör planeringsytan vara tre gånger så stor som den uppskattade ytan som kommer att upptas av vindkraftverk. Att vi valt faktorn tre motiveras enligt följande: I genomsnitt cirka 30% av tillståndsansökningar och 45% av antalet vindkraftverk får avslag i tillståndsprocessen. Vidare är det många vindkraftsprojekt som startas men aldrig kommer så långt som till en inlämnad tillståndsansökan på grund av att det dyker upp ett lokalt hinder t.ex. i form av en stark negativ lokal opinion, artskyddsaspekter eller andra hinder som inte är kända i planeringsfasen. För att ta hänsyn till oförutsägbarheten i tillståndsprocessen har vi bedömt att planeringsytan bör vara minst dubbelt så stor som den faktiska utbyggnadsytan. Utöver denna marginal ser vi ett behov av att ge kommunerna ett handlingsutrymme i sin översiktsplanering genom att i den regionala planeringen ta fram flera möjliga alternativa områden som kommunerna kan välja mellan och också för att möjliggöra en viss konkurrens och valmöjlighet för vindkraftsprojektörer. Mot bakgrund av detta anser vi att planeringsytan

sammantaget bör vara tre gånger så stor som den faktiska utbyggnadsytan. Värt att notera är att planeringsytan, trots denna marginal, fortfarande står för en liten andel av samtliga läns yta, som högst runt 6 procent.

Tabell 5. Sammanfattande tabell med regionala utbyggnadsbehov. \* Ytanspråk och antal verk utgår i denna tabell från en 6 MW turbin med 3 500 fullasttimmar. \*\* Planeringsytan är i detta fall satt till 3 gånger ytanspråket, bland annat för att ge handlingsutrymme för kommunerna i sin planering., \*\*\* Total landyta avser allt land 100 meter från sjöar, vattendrag och hav.

	Fördelning, TWh	Antal verk*	Ytanspråk* km <sup>2</sup>	Planerings- yta** km <sup>2</sup>	Total land- yta*** km <sup>2</sup>	Ytanspråk, %	Planerings- yta, %
Stockholms län	<b>2</b>	95	90	270	5 581	1,6%	4,8%
Uppsala län	<b>2,5</b>	119	113	338	7 784	1,4%	4,3%
Södermanlands län	<b>2</b>	95	90	270	5 521	1,6%	4,9%
Östergötlands län	<b>2,5</b>	119	113	338	9 509	1,2%	3,5%
Jönköpings län	<b>3</b>	143	135	405	9 578	1,4%	4,2%
Kronobergs län	<b>2</b>	95	90	270	7 723	1,2%	3,5%
Kalmar län	<b>3</b>	143	135	405	10 149	1,3%	4,0%
Gotlands län	<b>1</b>	48	45	135	3 003	1,5%	4,5%
Blekinge län	<b>0,5</b>	24	23	68	2 546	0,9%	2,7%
Skåne län	<b>2,5</b>	119	113	338	10 060	1,1%	3,4%
Hallands län	<b>2</b>	95	90	270	4 870	1,8%	5,5%
Västra Götalands län	<b>7,5</b>	357	338	1 013	21 488	1,6%	4,7%
Värmlands län	<b>5</b>	238	225	675	15 832	1,4%	4,3%
Örebro län	<b>2,5</b>	119	113	338	7 753	1,5%	4,4%
Västmanlands län	<b>2</b>	95	90	270	4 795	1,9%	5,6%
Dalarnas län	<b>7,5</b>	357	338	1 013	25 181	1,3%	4,0%
Gävleborgs län	<b>7,5</b>	357	338	1 013	16 580	2,0%	6,1%
Västernorrlands län	<b>7,5</b>	357	338	1 013	19 856	1,7%	5,1%
Jämtlands län	<b>7,5</b>	357	338	1 013	43 647	0,8%	2,3%
Västerbottens län	<b>7,5</b>	357	338	1 013	49 292	0,7%	2,1%
Norrbottens län	<b>10</b>	476	450	1 350	87 005	0,5%	1,6%



## 2 Generationsväxling

Vindkraftverk har en livstid på mellan 20 – 30 år. Det innebär att fram till slutet av 2040-talet kommer i princip all vindkraft vi har idag att behöva generationsväxlas. Det kommer sannolikt också beröra en del av de vindkraftsparker som tas i drift under de närmaste åren. Generationsväxling kommer att spela stor roll för elsystemet av två skäl. Det ena är att elsystemet och inte minst elnätet har anpassats och kommer att fortsätta anpassa för hur vindkraften är placerad idag och byggs ut nu. Kan inte vindkraften fortsätta på samma platser krävs nya stora investeringar i infrastruktur och anpassning av elnätet. Det andra är att modern teknik möjliggör en betydligt större och jämnare elproduktion än äldre verk. Det går att kraftigt reducera antal vindkraftverk samtidigt som elproduktionen bibehålls eller till och med ökar jämfört med idag.

Detta dokument syftar till att ge en övergripande bild av hur generationsväxling kommer påverka vindkraftsproduktionen mot 2040. En djupare analys kommer fokusera på den närmast stundande generationsväxlingen.

### 2.1 Övergripande analys

För att analysera frågan kan det vara lämpligt att dela in generationsväxlingen i olika typer eller faser där ett tidsperspektiv läggs till. Framför allt då vindkraftstekniken förändrats snabbt över tid, samt för att förstå mängden vindkraftverk och elproduktion som når sin tekniska eller ekonomiska livslängd, och väntas avvecklas eller generationsväxlas i olika tidsperioder.

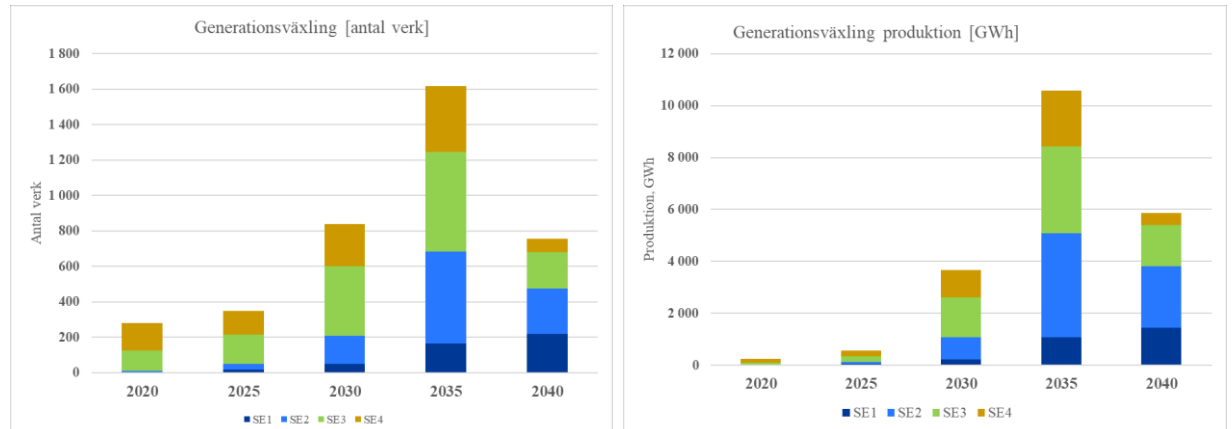
Vi antar att generationsväxlingen sker ungefär efter cirka 22 år. I verkligheten kan den inträffa både senare och tidigare. För att förenkla analysen delas generationsväxlingen in i 5 faser, se Tabell 6. Vi kommer därmed inte närmare beröra den generationsväxling som kommer att ske under andra hälften av 2040-talet, aktuell för vindkraft som är under byggnation idag. Fokus kommer dessutom att framför allt kretsa kring generationsväxlingen i de 3 första faserna 2020, 2025 och 2030. Dataunderlaget kommer främst från anläggningar som mottar ursprungsgarantier och elcertifikat. Statistik från vindbrukskollen används också som underlag för ägargrupper och teknikval. Det finns några mindre verk som inte är godkända för elcertifikat och ursprungsgarantier, men som finns med i vindbrukskollen, men de övergripande analyserna bedöms inte påverkas av att dessa verk saknas.

Tabell 6. Generationsväxling indelad i 5 faser.

<i>Utbyggnadsår</i>	<i>Generationsväxling årtal</i>	<i>Benämns i analysen</i>
>2000	2005 - 2021	<b>2020</b>
2000 - 2005	2022 - 2027	<b>2025</b>
2006 - 2010	2028 - 2032	<b>2030</b>
2011 - 2015	2033 - 2037	<b>2035</b>
2016 - 2020	2038 - 2042	<b>2040</b>

Från tabell 6 kan utläsas att den stora årsproduktionen av el kommer att generationsväxlas bort mot 2030 – talet snarare än i närtid, men sett till antal verk så kommer en stor generationsväxling att ske i närtid. Det är också framför allt i elområde 3 och 4 som denna generationsväxling i närtid kommer att ske. Skillnaden i antal verk och energimängd ger oss en indikation på att en generationsväxling i närtid kommer att innebära en större skillnad mellan de verk som ska ersättas och de verk som ska byggas. Det är ofta små, enskilda verk med spridda ägarstrukturer och varierande inkoppling till elnätet. Därmed bedöms de första faserna av generationsväxling vara mer utmanande.

Teknikutvecklingen fortsätter ständigt, vilket så klart hela tiden förskjuter skillnaden mellan den moderna tekniken och de turbiner som ska ersättas. Dock är de flesta verk som ska generationsväxlas i fasen 2035 och senare, delar av större vindkraftsparker, med anpassad nätinфраstruktur till hög effekt och elproduktion. Dessa verk har ofta en relativt hög höjd som redan påverkar landskapsbilden, och det bedöms vara enklare att generationsväxla denna typen vindkraft än enstaka verk med låg höjd som var vanligare i vindkraftens tidiga utbyggnad.

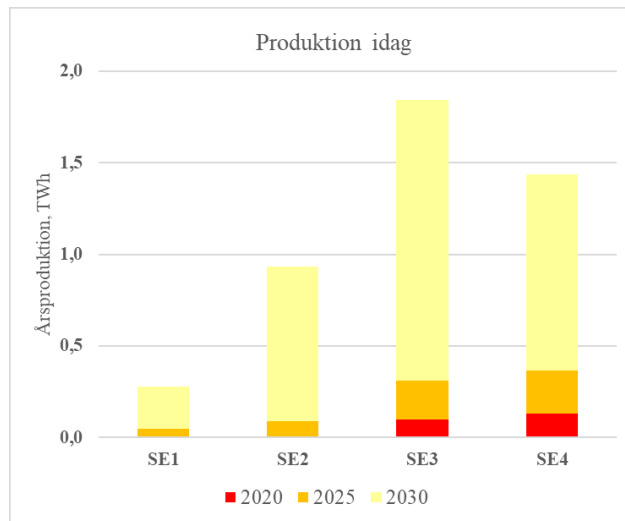


Figur 14. Ungefärlig tidpunkt för generationsväxling beskriven i antal verk samt faktisk produktion från vindkraftverken idag. Källa Energimyndigheten.

## 2.2 Generationsväxling i närtid

### 2.2.1 *Generationsväxlingens potential*

Innan olika typer av utmaningar beskrivs kan det vara en poäng att visa potentialen av att generationsväxla de äldre vindkraftverken till moderna verk. Tittar vi på vindkraft som ska generationsväxlas under faserna 2020, 2025 och 2030 så rör det sig om cirka 1 500 vindkraftverk med en total installerad effekt på cirka 2 GW och en sammanlagd årsproduktion på cirka 4,5 TWh varav merparten i elområde 3 och 4, se Figur 15.

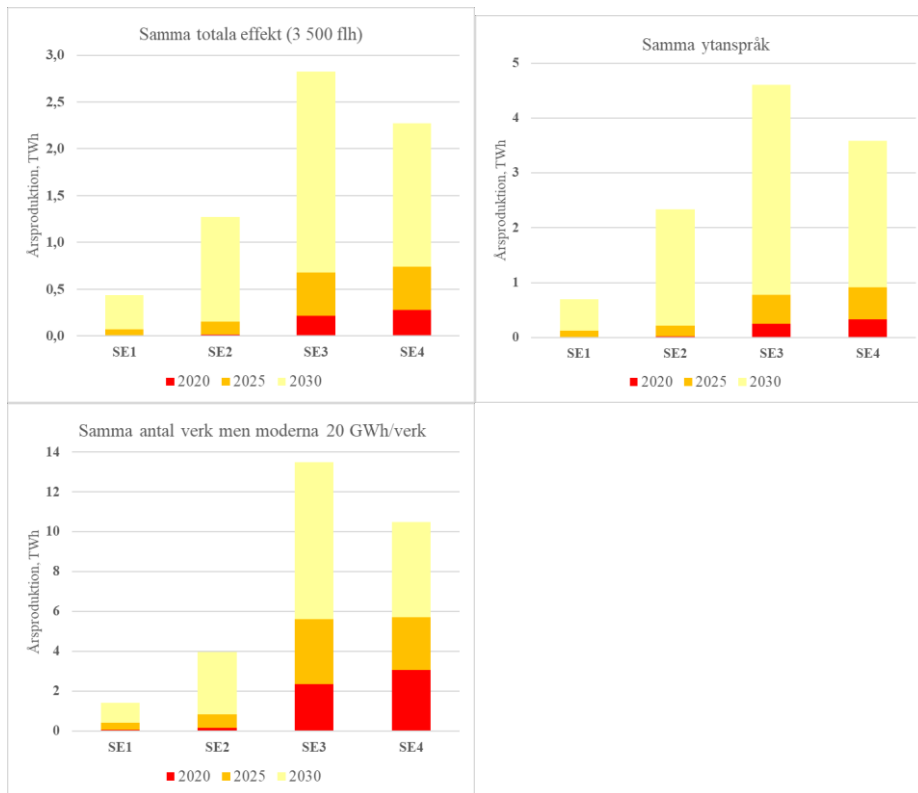


Figur 15. Årsproduktion från vindkraftverk som sannolikt behöver generationsväxla runt år 2020, 2025 respektive 2030 fördelat på olika elområden.

Det behöver inte vara så att all vindkraft ersätts mot ny, men om den gör det kommer det för framtidens elproduktion spela roll på vilket sätt det görs. Med moderna vindkraftverk kan de gamla 1 500 verken ersättas med enbart 100 nya verk och samtidigt producera samma eller mer elproduktion än idag.

I Figur 16 visas tre olika sätt att visualisera produktionspotentialen vid en generationsväxling, utan hänsyn till realistiska hinder. De tre tankeexperimenten utgår ifrån att antingen ha kvar samma totala installerade effekt (2 GW) men med nya turbiner som i genomsnitt har betydligt högre antal fullasttimmar. Elproduktionen per år skulle i så fall öka från cirka 4,5 TWh till 7 TWh. Skulle samma totala yta tas i anspråk, skulle den möjliga årsproduktionen, på grund av högre yteffektivitet, istället bli ungefär 2,5 gånger så stor som idag, dvs 11 TWh. Om de 1 500 vindkraftsturbinerna om de ersattes med lika många av dagens moderna turbiner, innebära en årsproduktion på minst 60 TWh<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> En turbin på 6 MW och 3 400 fullasttimmar ger cirka 20 GWh per år. Större turbiner finns redan på marknaden idag.



Figur 16. Ungefärlig ny årlig elproduktion om gamla verk ersattes med nya om antingen den totala effekten bibehålls, samma ytanspråk används samt om samma antal verk bibehålls.

Sammantaget kan alltså sägas att en generationsväxling av befintliga vindkraftverk potentiellt kan vara lika betydelsefull som planering för nya vindkraftverk. Det måste dock påpekas att de två exemplen om att använda samma ytanspråk samt behålla antal verk ska ses som teoretiska räkneexempel för att förstå storleksordningen av generationsväxlingen. Ett enskilt gårdsverk på ett 10-tals meter totalhöjd kan inte ersättas med en modern turbin på över 200 meters totalhöjd. Det kräver ett helt annat tillståndsförfarande, och de nya verken har ett betydligt större ytanspråk per verk än äldre verk (även om de tar betydligt mindre ytanspråk per kWh). Nya verk måste ha ca 1 km mellan varandra, vilket betyder att i exemplet med gårdsverket skulle den moderna turbinen göra anspråk på yta som tidigare inte varit påverkat av vindkraft. Detta blir därför inte en fråga om generationsväxling, utan snarare ett avvecklande av gamla vindkraftverk och en planering för nya verk i samma område. När det gäller tillståndprocessen ställs betydligt högre krav på en tillståndsansökan för större verk jämfört med en för mindre verk. Det kan innebära att en generationsväxling kan leda till att det

blir en för stor ekonomisk risk för en ägare att ett mindre verk att ansöka om nytt tillståndverk<sup>5</sup>.

Generationsväxling erbjuder möjligheter att multipla möjlig elproduktion på ett resurseffektivt och hållbart sätt, men hinder måste adresseras och dialog med omgivningen måste ske för att detta ska kunna genomföras på ett långsiktigt hållbart och accepterat sätt.

### 2.2.2 Generationsväxling på länsnivå

I Tabell 7 visas elproduktion, effekt och antal verk för olika län utifrån när i tiden det ungefär kommer att uppstå ett generationsväxlingsbehov. Alla vindkraftsturbiner i tabellen är byggda mellan 1983 och 2010. Nära 75 procent av dessa ligger i de 6 län som visas i Tabell 8 och står för ca 60 procent av elproduktionen. Dessa län har också merparten av de absolut äldsta vindkraftverken i Sverige. Det bör också tilläggas att det finns minst 90 vindkraftverk byggda före år 2000 som finns registrerade i vindbrukskollen men som inte visas i denna statistik då vi inte har några produktionsuppgifter på dessa (dock är det mycket små anläggningar). De flesta av dessa anläggningar ligger ganska jämnt spridda i de län som visa i Tabell 8. Tabell 6

Tabell 7. Elproduktion, effekt och antal verk från vindkraft i olika län fördelat på om de beräknas generationsväxlas runt 2020, 2025 eller 2030.

Ungefärlig tidpunkt för generationsväxling		Blekinge län	Dalarna län	Gotlands län	Gävleborgs län	Hallands län	Jämtlands län	Jönköpings län	Kalmar län	Kronobergs län	Norrbottnens län	Skåne län	Stockholms län	Södermanlands län	Uppsala län	Värmlands län	Västerbottens län	Västernorrlands län	Västmanlands län	Västra Götalands län	Örebro län	Östergötlands län	
2020	Effekt [MW]			34	25	2	1	10			2	45			0	1			2		20		7
	Produktion [GWh]			61	38	2	1	12			3	82			0	0			4		25		11
	Antal			50	48	3	2	20			3	85			1	2			4		50		12
2025	Effekt [MW]	5	3	30	13	30	1	23	1	17	89	1			0	0	5	6	0	68	3	28	
	Produktion [GWh]	7	5	50	21	63	1	27	1	43	177	1			0	0	5	11	0	106	3	51	
	Antal	7	3	29	19	21	1	21	1	14	85	1			2	1	6	9	1	89	4	34	
2030	Effekt [MW]	30	131	28	18	105	146	38	44	2	83	266	0	1	10	33	162	13	0	291	11	61	
	Produktion [GWh]	58	365	74	50	272	406	92	90	4	171	689	0	2	32	69	416	32	0	690	19	149	
	Antal	24	67	17	9	51	72	22	27	3	39	138	2	2	8	14	82	5	2	193	10	53	

Tabell 8. Totalt antal verk, effekt och elproduktion från vindkraft som behöver generationsväxlas runt 2020 – 2030 i de 6 län som har störst generationsväxling i närtid.

	Gotlands län	Hallands län	Jämtlands län	Kalmar län	Skåne län	Västra Götalands län	Östergötlands län
Effekt [MW]	91	144	179	77	400	20	96
Produktion [GWh]	186	331	471	129	948	379	211
Antal	96	118	96	68	308	332	99

### 2.3 Vilka typer av vindkraft ska generationsväxlas?

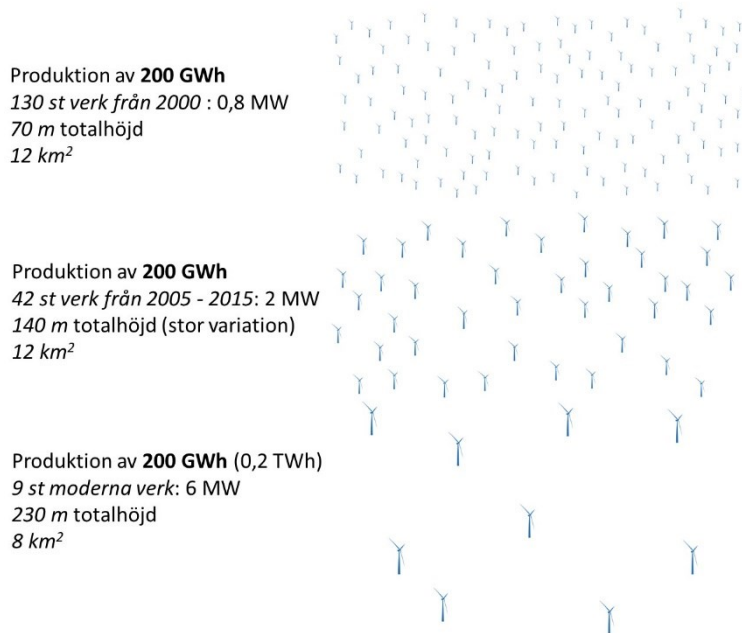
Den stora utmaningen med generationsväxlingen av de äldre verken är den omfattande teknikutvecklingen av vindkraftverk som skett. Sedan

<sup>5</sup> <http://media.skansvindkraftsakademi.se/2018/04/Repowering-webb.pdf>

millenniumskiftet har vindkraftverken blivit minst 3 gånger så höga och producerar 15 gånger så mycket elproduktion (och utvecklingen går mot 4 gånger så höga verk med 70 gånger så mycket elproduktion). Det är knappast självklart att ett vindkraftverk på 0,8 MW som är 50 - 70 meter kan ersättas av ett 230 meter högt verk med 7 MW installerad effekt. Det är inte heller självklart att en vindkraftpark från 2010 med 20 st 2 MW-turbiner på 140 meter höga på ett enkelt sätt går att ersätta med 2 – 4 nya moderna verk på 220 – 300 meter totalhöjd.

Det finns samtidigt stora fördelar från byten mot dagens teknik, så som att ytanspråken från moderna verk kan vara 3 – 7 gånger mindre per producerad TWh och att antal vindkraftverk kan bli 15 – 40 gånger färre. Utifrån ett planeringsperspektiv skulle alltså de 1 500 verken som behöver generationsväxlas kring 2020 – talet i teorin kunna ersättas med betydligt färre antal vindkraftverk, och ett mindre ytanspråk än idag. I praktiken utgör dock de äldre, och mindre verken ett betydligt mer fragmenterat ytanspråk än vad moderna verk skulle göra. Detsamma kan även sägas om ägarförhållanden, där äldre verk ägs av ett stort antal mindre aktörer medan moderna verk ägs av ett färre antal stora. Investeringskostnaden för att bygga moderna vindkraftverk är i absoluta tal också betydligt större per verk än i början 2000-talet, även om produktionskostnaden sjunkit rejält. Det innebär en risk att ägarna till äldre vindkraftverk inte skulle ha möjlighet att investera i en generationsväxling mot moderna turbiner.

Ett annat sätt att illustrera skillnaden mellan ny och gammal teknik är att turbiner med en installerad effekt runt 2 MW varit en mycket vanlig teknik under 00- och 10-talet med totalt cirka 1 000 turbiner. I mitten av 00-talet var dessa oftast 100 – 120 meter höga med en rotor på 70 – 80 meter. Mot slutet av 10-talet var de största 180 meter med en rotordiameter på 110 meter, utvecklingen har inte varit linjär, vilket illustreras i Figur 17.



Figur 17 En illustration av hur teknikutvecklingen påverkat storleken, effektiviteten och ytanspråket till vindkraften, denna korrelation fortsätter, och dagens största verk är på 12 MW, och turbinleverantörer forskar i dagsläget på 20 MW turbiner, i sådant fall skulle det räcka med 2 vindkraftverk för att möta samma produktion

Vad gäller de turbiner som ska generationsväxlas ungefär under 2020 – talet har de, enligt Tabell 9, en genomsnittlig turbineffekt och navhöjd som ligger långt under de modernaste turbiner som byggs och planeras för just nu, på 7 MW och gärna är över 230 meter. Faktum är att inga turbiner byggda före år 2010 är över 180 meter höga eller 3 MW. I de fall dessa verk ska generationsväxlas är det viktigt att ta hänsyn till annan landskapspåverkan som kan uppkomma från högre torn och större rotor.

Tabell 9. Genomsnittlig navhöjd och turbineffekt på vindkraftverk som ska generationsväxlas 2020, 2025 respektive 2030

<i>Generationsväxling</i>	<b>Navhöjd, medel</b>	<b>Navhöjd, intervall</b>	<b>Turbineffekt, medel</b>	<b>Turbineffekt, intervall</b>
<b>2020</b>	60 m	18 - 133 m	0,45 MW	0,01 - 1,5 MW
<b>2025</b>	88 m	25 - 125 m	0,9 MW	0,02 - 3 MW
<b>2030</b>	122 m	24 - 179 m	1,7 MW	0,02 - 3 MW



### 2.3.1 Generationsväxling de kommande tio åren

Som tidigare nämnts är den en stor variation av vindkraftverk och ägare som berörs av generationsväxlingen som kommer ske i de första faserna 2020, 2025 och 2030. Detta är som mest tydligt i faserna 2020 och 2025 som alltså berör vindkraftverk som är drifttagna före år 2006. I genomsnitt ägs 96 av den totala vindkraftsproduktionen i drift av aktiebolag som dessutom vanligen äger relativt mycket vindkraft, ofta internationella kapitalstarka aktörer. För verk drifttagna före 2006 är denna siffra bara 79 procent och sett till antal verk ägs bara 65 procent av verken av aktiebolag. Aktiebolagen som äger de mindre verken är förhållandevis små, och vi ser generellt en spridd ägarstruktur.

Övergripande kan man säga att de drygt **700 verk** som är tagna i drift före år 2006 små, har en medeltotalhöjd på **75 meter** och installerad effekt på **0,7 MW**.

I Tabell 10 visas statistik över verk fördelat på olika storlekskategorier. Gårdsverken står för en mycket liten del av elproduktionen. Antal stora verk över 1,5 MW är väldigt få men däremot så utgörs cirka 50 procent av elproduktionen av verk som kan antas ha en betydande påverkan på exempelvis landskapsbilden (här 90 meter totalhöjd eller mer). På sådana platser kan det finnas en högre acceptans och en vana att ha, och i förlängningen fortsätta ha, vindkraft i landskapsbilden.

Tabell 10 statistik över verk fördelade på storlek, höjd och definition.

	Totalt	Varav Gårdsverk	Gårdsverk [%]	Varav >= 1,5 MW	> 1,5 MW [%]	Varav >= 90 m totalhöjd	> 90 m totalhöjd [%]
Antal verk	713	157	22	67	9	184	26
Effekt (MW)	470	20	4	114	24	212	45
Produktion (GWh)	997	35	4	289	29	481	48

Ägandeförhållandet visas övergripande i tabellen nedan. Det är aktiebolag som främst äger produktion och även en stor del av antal verk. Ett försök till bedömning har också gjorts av hur mycket som ägs av aktörer som har som främsta affärsmodell att projektera, driva och förvalta vindkraft, så som OX2, Eolus och Vattenfall. Det är strax under en tredjedel. Att tillstånden redan tillhandahålls av etablerade aktörer kan sannolikt underlätta en generationsväxling i närtid. De övriga aktiebolagen och ägarna generellt kan säkert vara intresserade av att sälja sina tillstånd eller dylikt till andra bolag men här finns stor osäkerhet.

Här kan dock hänvisas till ett gott exempel på Näsudden i Gotland, där ett bolag bildades för att generationsväxla ett antal äldre mycket små verk, med spridda ägare och markägare, där de över en 3 etapper generationsväxlade, och nu

producerar fyra gånger så mycket el med häften så många vindkraftverk<sup>6</sup>. Sådana projekt kräver acceptans och samarbete mellan många aktörer vid generationsväxlingen.

Tabell 11 ägarstrukturer för verk som generationsväxlas 2020, 2025 och 2030

	Totalt	Varav aktiebolag	Aktiebolag [%]	Varav Betydande aktörer	Betydande aktörer [%]	Varav privatpersoner	Privatpersoner [%]
Antal verk	713	461	65	159	22	173	24
Effekt (MW)	470	360	77	140	30	66	14
Produktion (GWh)	997	785	79	300	30	117	12

### 2.3.2 Slutsatser generationsväxling i närtid

Generationsväxlingen de kommande tio åren har möjligheter att göra stor påverkan på elproduktionen, speciellt i södra Sverige, där vi ser ett stort behov av elproduktion. Det finns dock flera utmaningar att ta hänsyn till, och generationsväxling för mindre verk behöver söka nya tillstånd, och ta hänsyn till ökade tillståndskrav om verken blir högre. För ägare av mindre vindkraftverk kan den ekonomiska risken men en utökad tillståndsansökan vara oproportionerligt hög.

De flesta verk är inte gårdsverk och berörs därför av kommunal och kommande regional planering samt av tillståndprocessen vid generationsväxling. Att beslutsfattare i kommuner, länsstyrelser och regioner har information om hur stor potential som finns i generationsväxling är viktigt för att skapa möjligheter för denna utvecklingen. Att kommuner och regioner också har en viss förståelse för hur lokalt producerad el påverkar elpriserna i sitt elområde är också viktigt, och att beslutsfattare har en systemförståelse gör att beslut kan tas på holistisk grund.

Viktigt att ha med sig är att en fjärdedel av vindkraftverken är 90 meter eller högre och har därmed en betydande påverkan på landskapsbilden. Vissa av dessa är bara 0,6 MW och ett stort modernt verk på 7 MW eller 12 MW kan producera 20 respektive 37 gånger så mycket el. Här kan det vara extra intressant att fundera kring att ersätta enskilda verk med nya större eller flera verk med ett antal färre på nya ställen m.m. Hur liknande situationer har hanterats bör studeras, speciellt ägarstrukturer och förhållanden till markägare.

Det är väldigt många faktorer som påverkar generationsväxlingen i närtid. Många av de är svåra att se från ett nationellt perspektiv, och en bättre bild av generationsväxlingens potential behöver tas fram regionalt. Ur detta perspektivet är det också möjligt att på en högre detaljgrad förstå vilka värden som ställs mot

<sup>6</sup> <http://media.skansvindkraftsakademi.se/2018/04/Repowering-webb.pdf>

varandra, och skapa möjlighet för acceptans och samexistens mellan generationsväxlad vindkraft och omliggande natur och samhälle.

## 2.4 Avslutande synpunkter

Det här underlaget har som syfte att ge en översiktlig bild av hur generationsväxling kommer att påverka vindkraftsutbyggnaden fram till 2040-talet. Genom att på ett klokt sätt kunna återanvända platser som tagits i anspråk för vindkraft kan kostnader i elnätsinvesteringar och annan infrastruktur minska drastiskt. Det är dock viktigt att ha med sig att de vindkraftverk som uppförs efter en generationsväxling i de flesta fall kommer att vara betydligt större än de verk som avvecklats. Det medför i sin tur att de nya verkens omgivningspåverkan, kommer att se annorlunda ut än de gamla verkens påverkan, vilket måste beaktas i tillståndsprövningen. Om det visar sig vara möjligt att generationsväxla stora delar av de befintliga verken i södra Sverige är vår slutsats att det finns stora möjligheter för att på ett resurseffektivt sätt säkra en stor del av det nationella utbyggnadsbehovet för vindkraft till 2040-talet

Det finns flera utmaningar, men också möjligheter för den generationsväxling som väntas ske i närtid. Detta gäller särskild vindkraft i elområde 3 och 4 som redan idag har underskott av elproduktion och höga elpriser. Genom att generationsväxla vindkraften kan elproduktionen från vindkraften mångdubblas, vilket kan bidra till att minska produktionsunderskott och förekomsten av höga elpriser. Det bör också finnas goda förutsättningar för att få acceptans för vindkraftsinvesteringar, då man utnyttjar platser som redan påverkats av vindkraft

## BILAGA 1 Svenska Kraftnäts checklista för viktiga aspekter vid utbyggnaden av kraftproduktion.

Vid etablering av kraftproduktion i kraftsystemet är det viktigt att utbyggnaden av hela kraftsystemet tas i beaktande. Detta gäller oavsett vilken produktion som etableras.

### Geografiska områden

- Det är utifrån kraftsystemets perspektiv bäst om ny produktion etableras inom elområde SE3 och SE4 – så nära förbrukningen som möjligt.

SE3 och SE4 består på stamnätsnivå av ”tre ben”. Att produktionen som ansluts inom hela elområdet är jämt fördelat avseende storlek och position mellan öst och väst samt i de allra sydligaste delarna att storleken på den anslutande produktionskällan/parken är jämn på både öst- och västsidan. Detta behöver även stämmas av med nätutbyggnader samt redan befintlig produktion.

- Det är storleken (MW) på parken som avgör på vilken spänningsnivå de ansluts. Oavsett spänningsnivå är det fördelaktigt med ovan beskrivna placering inom landet.
- Användande av befintlig nätkonstruktion för anslutning i så stor utsträckning som möjligt för att spara på miljö, skapa en förutsägbarhet för vart produktion geografiskt kommer att befinna sig över tid.
- Återanvändning av tillstånd för befintliga vindkraftsanläggningar. Det är av vikt att det finns en ”tryckpunkt” kvar i systemet så att systemplaneringen kan ske med största tillförlitlighet som möjligen går. Det är viktigt för kraftsystemets planering så att nya anslutningar av både produktion och förbrukning kan ske på ett effektivt sätt. Produktion måste tillföras i södra Sverige för att effektivisera och upprätthålla överföringskapaciteten så att majoriteten av kraften i norra delen av landet kan tillgodogöras, och via transmission föras ner till södra delarna. För att få ett kostnadseffektivt, miljömässigt kraftsystem är det helt avgörande att ha en viss fördelning av produktionen i södra delarna av landet.

### **Konstruktion och driftsäkerhetsaspekter**

- Bygga ett kraftsystem som vid intagnät är driftsäkert och effektivt. Detta måste med i tillståndprocessen.
- Vindkraften behöver tekniskt utvecklas till att som minst uppfylla de tekniska kraven för anslutning till elsystemet i Sverige (alla anläggningar från 0,8 MW omfattas). Detta omfattar allt från spänningsreglering, stabiliserande egenskaper samt tillgänglighetsaspekter.
- Länsstyrelserna har en viktig del i att förstå hur de bidrar till den nationella elförsörjningen – och hur då den nationella elförsörjningen också bidra till att samtliga län får en kostnadseffektiv och säker tillgång på el. Därför behöver även länsstyrelser ha kännedom om hur etablering av produktion påverkar kraftsystemets driftsäkerhet och den totala leveranssäkerheten.
- Vidare behöver vindkraften, i enlighet med anslutningskraven och kraven om elberedskap, uppfylla kraven om styrbarhet och observerbarhet för att kunna delta i normaldrift så väl som nöddrift och återuppbyggnadstillstånd. Detta kräver omfattande utveckling av kontrollrum, styrsystem och IT-säkerhetslösningar. Denna aspekt är även av stor vikt för att uppfylla säkerhetsskyddslagstiftningen.