

# Sveriges behov av metaller och material för energiomställning 2025–2050

## Tre scenarier för utvecklingen

Roger Hamberg

september 2023

SGU-rapport 2023:10



Omslagsbild: Elledningar i vinterlandskap.  
Fotograf: Istockphoto

Författare: Roger Hamberg  
Granskad av: Carolina Liljenstolpe  
Ansvarig enhetschef: Erika Ingvald  
Redaktör: Lina Rönnåsen  
Sveriges geologiska undersökning  
Box 670, 751 28 Uppsala  
tel: 018-17 90 00  
e-post: [sgu@sgu.se](mailto:sgu@sgu.se)  
[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

## INNEHÅLL

Sammanfattning.....	4
Summary.....	5
Inledning.....	6
Bakgrund.....	7
Elproduktion från fossilfria energikällor i Sverige .....	7
Kostnad och lönsamhet .....	7
Politiska vägval för att klara energiförsörjningen.....	9
Vindkraft i Sverige perioden 2025–2050.....	9
Producerad elektricitet från vindkraft.....	9
Produktion från ett enstaka vindkraftverk.....	9
Produktion från storskalig vindkraft .....	10
Vindkraftsutbyggnadens markanspråk.....	11
Behov av metaller och material för utbyggnad av vindkraft .....	12
Energi från solceller i Sverige perioden 2025–2050.....	15
Producerad elektricitet från solceller.....	15
Solkraftsutbyggnadens markanspråk.....	15
Behov av metaller och material för utbyggnad av solkraft .....	15
Kärnkraft i Sverige perioden 2025–2050 .....	16
Producerad elektricitet från kärnkraft.....	16
Kärnkraftens markanspråk .....	17
Behov av metaller och material för utbyggnad av kärnkraft .....	17
Självförsörjningsgrad av material för fossilfri energi.....	19
Slutord.....	22
Referenser.....	23

## SAMMANFATTNING

För att Sverige ska klara det långsiktiga klimatmålet om noll nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären senast år 2045 så behöver elförsörjningen byggas ut. På senare år har man inom energipolitiken debatterat vilka energislag som bör ingå i den utbyggnaden. Denna rapport visar vad olika vägval i energipolitiken, och framför allt kärnkraftens utveckling, kommer att få för effekter på metall- och materialbehovet samt markanspråket inom svensk elförsörjning under perioden 2025–2050. Rapporten presenterar även hur stor andel av detta behov av metaller och material som kan täckas av svensk produktion. Det vill säga hur stor självförsörjningsgraden är.

Oavsett vägval i energipolitiken så kommer utbyggnaden av elförsörjningen i Sverige att innebära ett stort behov av de metaller och material som krävs för konstruktion och installation av fossilfria energislag som vind-, sol- och kärnkraft. Även markanspråket för utbyggnad av elförsörjningen kommer att öka fram till 2040. Merparten av denna ökning hänger samman med utbyggnaden av vindkraft, eftersom det betraktas som det mest lönsamma energislaget i dagsläget. Vindkraft kräver dock stora mängder metaller och material, samt upptar stora markarealer.

Under perioden 2040–2050 kan kärnkraften komma att utvecklas, bibehållas eller avvecklas, beroende på de energi- och miljöpolitiska vägvalen. Om kärnkraften avvecklas ökar markanspråket samt behovet av metaller och material, förutom behovet av kärnbränsle som minskar. Det motsatta gäller om kärnkraften utvecklas, det vill säga att markanspråket samt behovet av metaller och material minskar, men behovet av kärnbränsle ökar. Om kärnkraften bibehålls och livstidsförlängs så ökar behovet av kärnbränsle, metaller och material något samt även markanspråket, i och med en högre förutspådd elanvändning för åren 2040–2050.

Den svenska självförsörjningsgraden av metaller och material, i både nuvarande och framtida energiförsörjning, är dock att betrakta som låg oavsett vilka politiska vägval som görs. Detta gäller även de metaller och material – framför allt koppar, zink, stål och cement – som redan produceras i Sverige. Vad gäller andra metaller, som exempelvis sällsynta jordartsmetaller, uran, mangan och molybden, som också är nödvändiga för energiförsörjningen så har Sverige ingen produktion i dagsläget. Det finns dock tillgångar av dessa metaller som väsentligt skulle kunna öka självförsörjningsgraden i Sverige.

## SUMMARY

The Paris Agreement states that global warming should be kept well below 2°C and that efforts should be made to limit it to 1.5°C. This is primarily to be achieved through the reduction of greenhouse gas emissions. Due to the Paris Agreement, Sweden has set a long-term climate goal to reach a net-zero emission of greenhouse gases into the atmosphere, by 2045. A large share of today's greenhouse gas emissions in Sweden derives from the use of fossil fuels in industries, transport, and agriculture. An electrification of industries and transports is currently seen as an opportunity to decommission the use of fossil fuels, facilitating the achievement of the climate goals. However, electrification will require large quantities of electricity, that in turn, will require an expansion of the Swedish electricity supply.

In recent years, energy policy in Sweden has debated which energy sources should be included in the expansion of the Swedish electricity supply. Regardless of energy sources included the need for metals and minerals required for the construction and installation of fossil-free energy sources, such as wind, solar and nuclear power, will increase.

This report shows how recent approaches in the Swedish energy policy could affect the future development of the energy sources needed for the expansion of Swedish electricity supply in 2025–2050. Also studied, is land areas and the quantity of metals and materials needed to expand the Swedish electricity supply in 2025–2050. Regardless of future political pathways in the Swedish energy policy, materials and metals intensity and the land use required for the expansion of the electricity supply will increase until 2040. Most of this increase is dependent on the expansion of wind power, that is considered the most profitable energy source at present. However, wind power requires large quantities of metals and materials and occupies large land areas.

In 2040–2050, nuclear power in Sweden may be developed, maintained, or decommissioned, depending on political approaches. If nuclear power is decommissioned, land use and the need for materials and metals will increase, but the need for nuclear fuel will decrease. The opposite is true if nuclear power is developed in 2040–2050, i.e., land use and the need for metals and materials decrease, but the need for nuclear fuel increases. If the current nuclear power plants in Sweden are retained and their lifetime is extended, the need for nuclear fuel, metals and materials and land use increases slightly, due to higher predicted electricity use in 2040–2050.

However, most of the materials and metals needed for the current and future energy supply need to be imported, regardless of what the future energy supply may look like in Sweden. This is also applicable to the metals and materials (mainly copper, zinc, steel, and cement) currently mined in Sweden. Other metals, such as rare earth metals, uranium, manganese, and molybdenum, necessary for the supply of energy, are not currently produced in Sweden. However, there are indicative resources of these metals that could significantly increase the degree of self-sufficiency in Sweden.

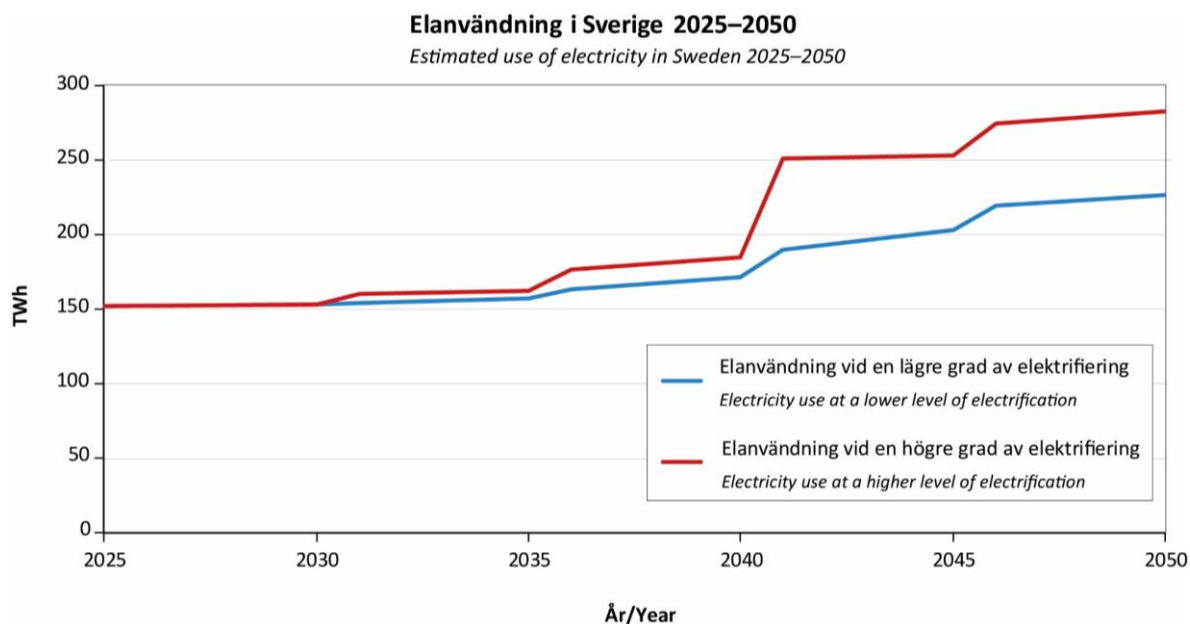
## INLEDNING

Parisavtalet slår fast att den globala temperaturökningen ska hållas väl under 2 °C och att man ska sträva efter att begränsa den till 1,5 °C. Detta framför allt genom att minska utsläppen av växthusgaser. Genom Parisavtalet har Sverige satt upp ett långsiktigt klimatmål som innebär att netto-utsläppen av växthusgaser till atmosfären ska vara noll senast år 2045.

En stor del av dagens utsläpp av växthusgaser uppstår genom användningen av fossila bränslen inom industrier, transporter och jordbruk samt även den el- och värmeproduktion som försörjer bostäder och lokaler (Naturvårdsverket 2022). En elektrifiering av dessa sektorer ses som en möjlighet att fasa ut användningen av fossila bränslen, och därigenom lättare kunna uppnå klimatmålen. Elektrifieringen kommer dock att ge ett stort behov av elektricitet och kräva att elförsörjningen byggs ut. Vatten-, vind-, sol- och kärnkraft utgör fossilfria energikällor. En säkrad tillgång till el från fossilfria källor är nödvändig för att kunna genomföra den gröna omställningen.

Sveriges skogs-, kemi-, stål- och gruvindustrier är mycket viktiga för den svenska ekonomin. För att nå de uppsatta målen för den gröna omställningen gör dessa industrier idag stora investeringar i produkter och produktionskedjor som har lågt koldioxidavtryck. För att åstadkomma detta behövs stora mängder fossilfri el. Inom gruv- och stålindustrin finns ett antal initiativ som avser att reducera koldioxidutsläppen, däribland projekten Hybrit och H<sub>2</sub>GreenSteel. Inom gruvindustrin görs också stora satsningar för att öka elektrifieringsgraden i maskin- och fordonsparker.

Samhällets behov av el för den gröna omställningen beror till stor del på elektrifieringsgraden. Energimyndigheten (2021) visar på att elanvändningen kan närpå fördubblas fram till år 2050. Utifrån två olika scenarier, en med högre och en med lägre grad av elektrifiering, uppskattas elanvändningen öka från 2025 års nivå om 150 TWh till ca 230 respektive 285 TWh år 2050 (fig. 1). Oavsett scenario så kommer den ökade elanvändningen i Sverige under 2025–2050 att medföra en utbyggnad av de olika energislagen. Detta i sin tur kommer att medföra ett större behov av metaller och mineral i framtiden.



**Figur 1.** Prognos för elanvändningen i Sverige under perioden 2025–2050, utifrån två scenarier för en högre respektive lägre grad av elektrifiering. Modifierad från Energimyndigheten (2021).

*Electricity consumption forecast assuming a higher/lower electrification rate in Sweden during 2025–2050. Modified from the Swedish Energy Agency (2021).*

I dagens energipolitik debatteras vilken roll kärnkraften ska ha i den framtida utbyggnaden av energiförsörjningen, det vill säga om den ska avvecklas, bibehållas (och livstidsförlängas) eller utvecklas. Detta vägval kommer att få stor betydelse på markanspråk och metall- och materialbehov för Sveriges framtida utbyggnad av energiförsörjningen.

Syftet med denna studie är att visa hur Sveriges behov av metaller och material utvecklas under perioden 2025–2050, samt hur stor självförsörjningsgraden är vad gäller dessa. Rapporten är tänkt att bidra med kunskapsunderlag i den pågående energidebatten och riktar sig till såväl beslutsfattare som näringsliv, journalister och andra intresserade.

Rapporten innehåller beräkningar av potentiella storleksordningar av de insatsvaror som kommer att behövas för energiomställningen. Beräkningarna bygger på Energimyndighetens estimering av det framtida behovet av elektricitet från olika energislag, i två olika scenarier där kärnkraften antingen avvecklas eller bibehålls (och livstidsförlängs). I denna rapport har dock beräkningar också gjorts utifrån ytterligare ett scenario, där kärnkraften utvecklas under perioden 2040–2050. Beräkningar av markanspråk samt metall- och materialbehov i en framtida utbyggnad av energiförsörjningen görs därmed utifrån tre scenarier, där kärnkraften antingen avvecklas, bibehålls eller utvecklas.

Enligt Energimyndigheten (2021) kan det också komma att behövas flödesbatterier, som kan lagra energi, för att säkra en jämnare energiförsörjning vid tidpunkter då elproduktionen från sol-, vatten- och vindkraft är låg. Behovet av metaller och material för konstruktion och installation av dessa batterier ingår inte i denna studie.

## BAKGRUND

### Elproduktion från fossilfria energikällor i Sverige

Sveriges elmix har under lång tid till största del bestått av elektricitet från vatten- och kärnkraft. På senare år har ett antal kärnkraftreaktorer stängts ner medan utbyggnaden av de förnybara energikällorna sol- och vindkraft tagit fart, då produktionskostnaderna per KWh för sol- och vindkraft minskat med upp till 90 procent de senaste tio åren (IEA 2021).

Geoenergi, som till exempel jord-, sjö- och bergvärmsystem, bidrar inte till elproduktionen men hjälper indirekt till att minska användningen av direktverkande el och uppvärmning med fossila bränslen (Erlström 2016). En studie av Gehlin m.fl. (2022) uppskattar att energiproduktionen från geoenergisystem i Sverige uppgick till ca 25,5 TWh under år 2021.

### Kostnad och lönsamhet

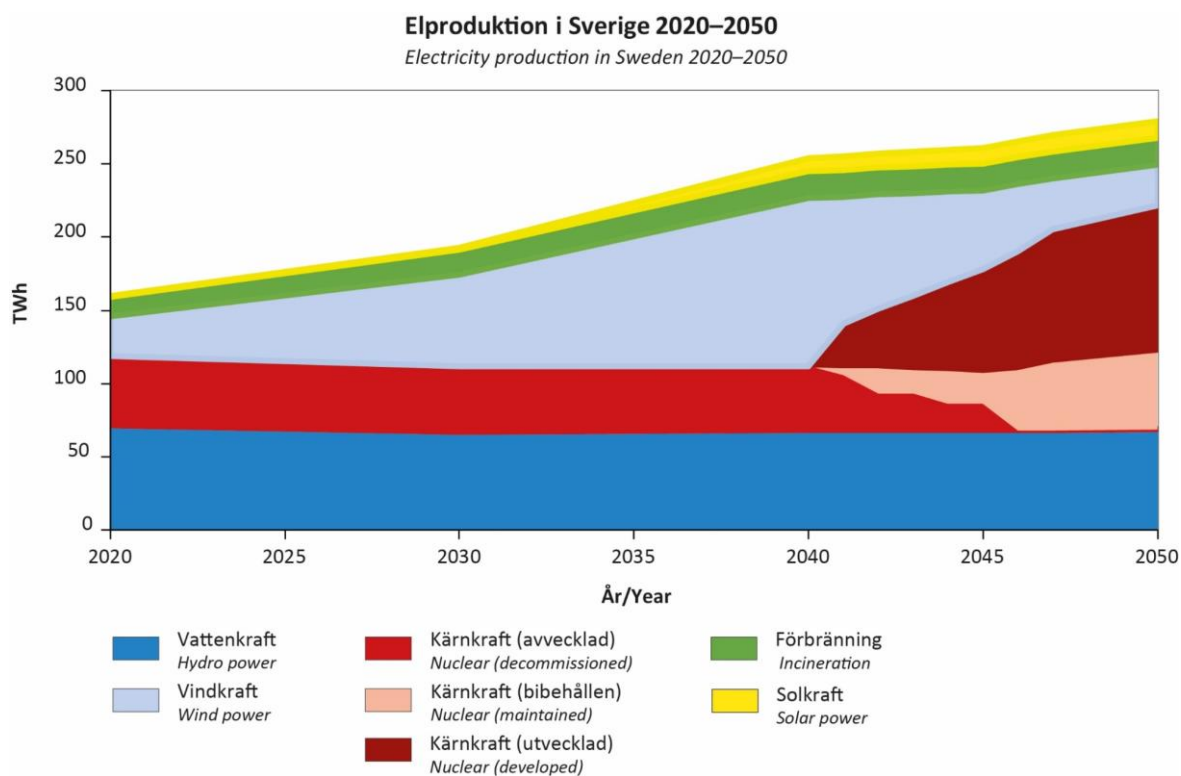
För att kunna jämföra kostnaden för energiproduktion inom olika system används begreppet LCOE (eng. *levelized cost of energy*). LCOE är kostnaden per producerad KWh under energisystemets livstid.

Enligt en uppskattning från International Renewable Energy Agency (IRENA 2022) är landbaserad vindkraft den förnybara energikälla som har lägst kostnad. Globalt sett uppskattar IRENA (2022) att LCOE för installerad landbaserad vindkraft ligger på 0,033 USD/KWh, för havsbaserad vindkraft på 0,078 USD/KWh, för vattenkraft 0,048 USD/KWh och för solkraft på 0,048 USD/KWh.

För kärnkraft uppskattas LCOE på två sätt: utifrån bibehållen/utvecklad befintlig kärnkraft respektive utifrån byggnation av ny kärnkraft. Kostnadsbilden mellan de två olika alternativen skiljer sig avsevärt, mycket beroende på omfattande tillståndsprocesser. Enligt Timbro (2022) är tidsåtgången för att bygga ett kärnkraftsblock cirka sju år (genomsnitt i världen), och tiden för att

få tillstånd är ofta lika lång. Reaktor 3 vid Oskarshamn byggdes på cirka fem år, detta skedde under åren 1980–1985. I nuläget är det billigaste alternativet vad gäller kärnkraft att förlänga levnadstiden och öka effektiviteten vid befintliga verk, detta enligt en studie av Nuclear Energy Agency (NEA 2021). Vattenfall AB, som är en av de största ägarna av kärnkraftverk i Sverige, planerar att förlänga levnadstiden på sina befintliga verk med 20 år. Detta skulle innebära att driften i dessa reaktorer skulle kunna pågå en bit in på 2060-talet. Vattenfall (2022) uppger också att en återstart av redan nedlagda verk inte är ett alternativ, samt att man utreder möjligheten att bygga ut små reaktorer så kallade SMR:er (d.v.s. små modulära reaktorer). Utbyggnaden av SMR:er skulle ske på mark som redan är upptagen av kärnkraft, vilket skulle betyda ett lägre markanspråk. Vattenfalls antaganden går också att utläsa i NEA:s beräkningar av LCOE vad gäller kärnkraft, där förlängning av driftstiden i ett redan befintligt kärnkraftverk ger en LCOE på ca 0,030 USD/KWh (NEA 2022) och LCOE i ett nybyggt kärnkraftverk uppskattas till ca 0,045–0,1 USD/KWh (NEA 2020). Den stora skillnaden i LCOE vad gäller nybyggda kärnkraftverk uppges ha grunden i att det byggts så få (speciellt i Europa) på senare tid (från 2008 och framåt). Det finns därför väldigt få exempel att räkna med.

Av dessa uppgifter om kostnader enligt LCOE för respektive energislag framkommer att kostnaderna för att driftsätta landbaserad vindkraft är ca 35 procent lägre än för både vattenkraft och solkraft. Kärnkraft kan vara ett alternativ utifrån ett kostnadsperspektiv, men det är osäkert om senare LCOE-beräkningar innefattar kostnader för hanteringen av det radioaktiva avfallet, vilket kan vara betydande (Strålsäkerhetsmyndigheten 2022). Detta utfall från kostnadsjämförelserna har också bekräftats genom beräkningar av IEA (2021). Som figur 1 visar kan elproduktionen behöva ligga mellan 230 och 285 TWh (under åren 2040–2050) för att täcka elanvändningens behov i Sverige år 2050. Energimyndigheten (2021) drar slutsatsen att elbehovet till stor del kan behöva täckas av landbaserad vindkraft, oavsett satsningar på andra energislag (fig. 2).



**Figur 2.** Produktion av el från förnybara källor, kärnkraft (scenarier: avvecklad, bibehållen, utvecklad) och förbränningsbaserad elproduktion under perioden 2020–2050. Modifierad från Energimyndigheten (2021).

*Production of electricity from renewable sources, nuclear power (scenarios: decommissioned, maintained, developed), and combustion-based electricity production in 2020–2050. Modified from the Swedish Energy Agency (2021).*



## Politiska vägval för att klara energiförsörjningen

Tidigare energipolitik har utgått från att avveckla eller bibehålla befintlig kärnkraft. För att möta det prognosticerade behovet som redovisas (fig. 2) så förespråkar nuvarande energipolitik en utbyggnad av kärnkraft. Men det kommer fortfarande finnas behov av utbyggnad av fossilfri elektricitet från förnybara källor i Sverige, det vill säga från vind- respektive solkraft, för att klara energiförsörjningen. Utbyggnad av samtliga energislag kräver olika typer av insatsvaror. Det kommer att finnas stora behov av markanspråk, metall och mineral oberoende av vägval, vilket redovisas i rapportens följande avsnitt.

## VINDKRAFT I SVERIGE PERIODEN 2025–2050

År 2021 producerades i Sverige ca 27 TWh från vindkraft, och år 2025 behöver produktionen uppgå till ca 45 TWh (Energimyndigheten 2021). Om den befintliga kärnkraften bibehålls och till viss del utvecklas (fig. 2) så kommer behovet av elektricitet från vindkraft att vara ca 130 TWh under perioden 2046–2050. Om den befintliga kärnkraften skulle fasas ut gradvis så ökar behovet av elektricitet från vindkraft ännu mer, från ca 130 till 180 TWh/år under åren 2046–2050 (fig. 2). Om kärnkraften byggs ut under perioden 2035–2050 (scenario Kärnkraft utvecklad), till att kunna leverera upp till 155 TWh/år, så kan man anta att behovet av vindkraft under perioden 2040–2050 minskar. Beräkningarna i avsnittet tar avstamp i mängden elektricitet som kan genereras från ett vindkraftverk.

### Producerad elektricitet från vindkraft

#### *Produktion från ett enstaka vindkraftverk*

Vindkraft ställer krav på vindförhållanden som kan generera en lönsam mängd elektricitet. Optimal vindhastighet är 12–14 m/s, men ett vindkraftverk börjar generera el redan vid vindhastigheter ner mot 2 m/s och kan leverera el i vindhastigheter upp till 25 m/s. I vindhastigheter över 25 m/s blir påfrestningarna för stora för både vingarna och hela konstruktionen, och då stängs vindkraftverket av. Vingarna i vindkraftverken är programmerade för att möta upp den inkommande vinden på ett optimalt sätt för elproduktion, genom att vingarna kan vridas runt sin egen axel.

Den mängd elektricitet som produceras beräknas utifrån vindförhållanden samt arean som vingarna upptar, den så kallade svepytan, enligt ekvation 1:

$$\text{Effekt (i Watt)} = C_p \cdot 0,5(A \cdot V^3) \quad (\text{Ekvation 1})$$

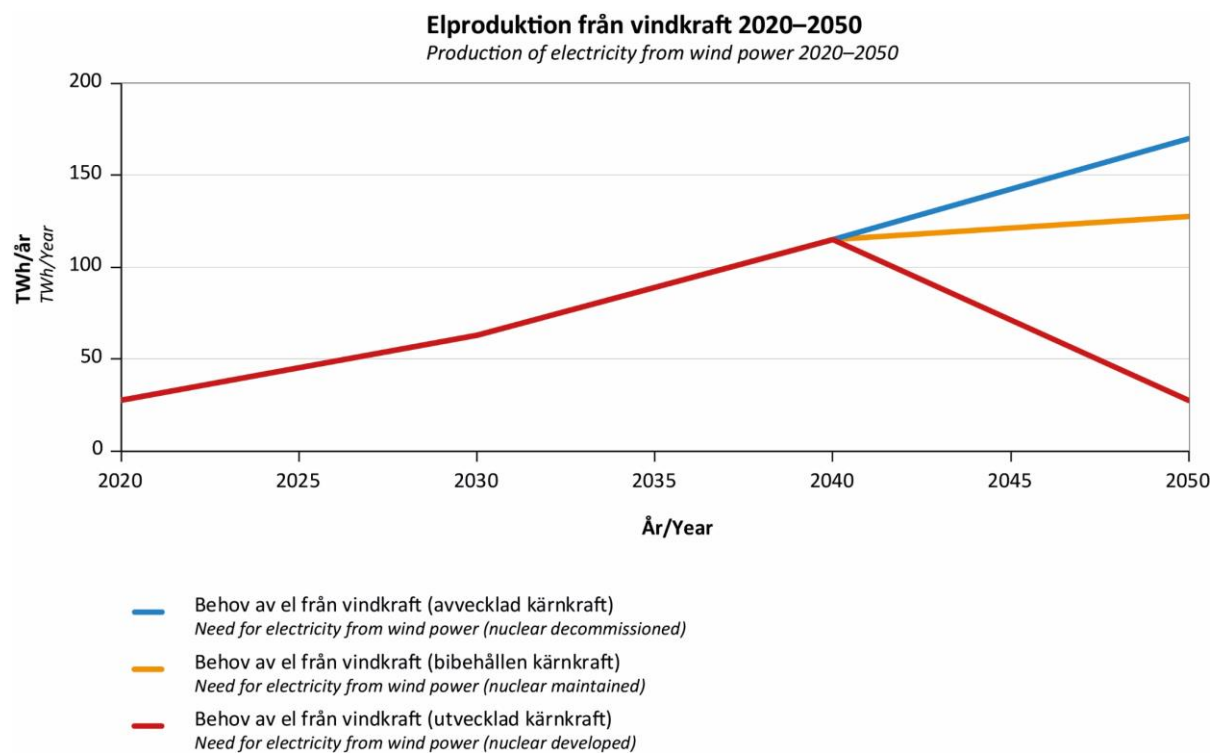
där  $C_p$ : Verkningsgrad (0,25–0,45),  $A$ : Svepyta ( $\text{m}^2$ ),  $V$ : Vindhastighet (m/s).

Om man antar att vingarna upptar en diameter av 160 m (varje vinge är då 80 m och svepytan ca 20 000  $\text{m}^2$ ) och att vindhastigheten är 12 m/s, så kan man beräkna att ett vindkraftverk genererar en effekt om ca 6 MW. För Sverige antas vanligen att den så kallade fullasttiden, det vill säga den tid som ett vindkraftverk producerar maximal effekt, vara ca 3 300 timmar per år (Energimyndigheten 2019), vilket medför att ett vindkraftverk med effekten ca 6 MW kan producera ca 20 GWh/år. Detta motsvarar ungefär behovet av hushållsel för 4 000 svenska villor (ca 5 000 kWh/år).

Vad gäller storleken på ett vindkraftverk så är de havsbaserade vindkraftverken större än de landbaserade, och både vingbredden och den totala höjden har ökat över tid. En studie från den amerikanska energimyndigheten (2022) visar hur utvecklingen av storleken på vindkraftverk sett ut år 1990–2020, och vingbredden har då ökat från ca 30 m till dagens 160 m. Det största driftsatta vindkraftsverket i dagsläget har enligt företaget LZ Blades ett vingspann på ca 250 m och en totalhöjd på närmare 300 m.

### Produktion från storskalig vindkraft

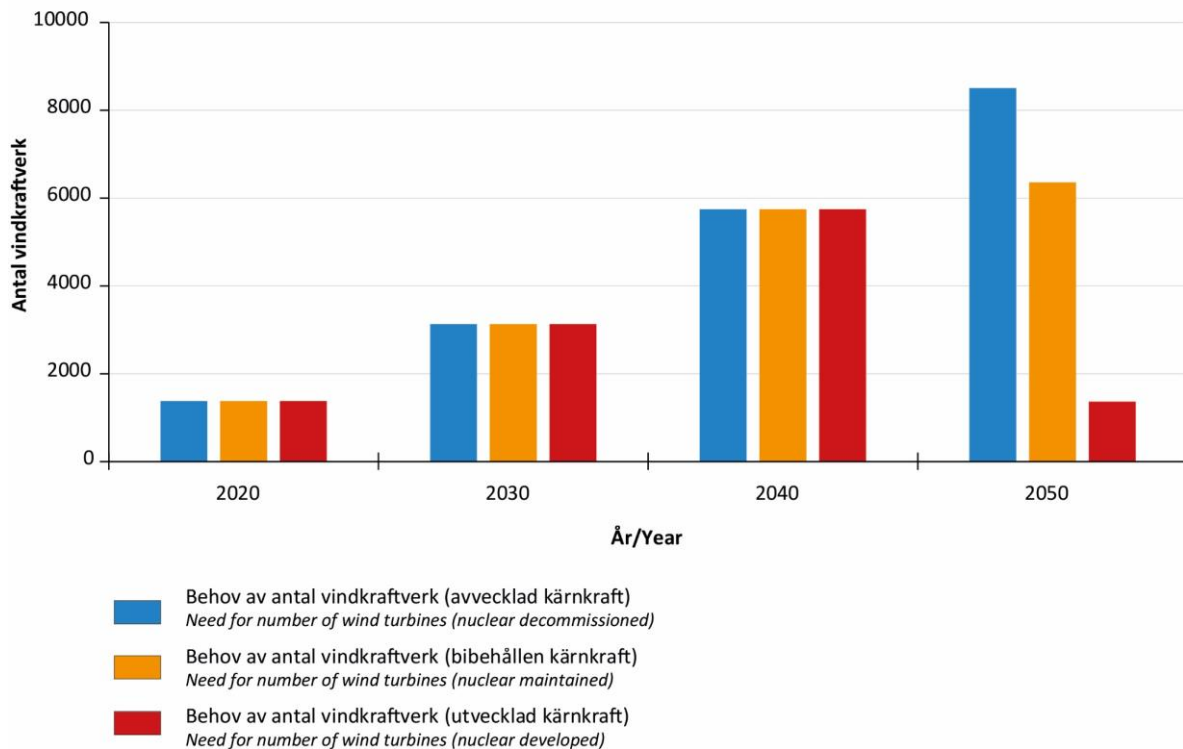
Utbyggnaden av den storskaliga vindkraften behöver generera en elproduktion mellan ca 25 och 180 TWh under perioden 2040–2050, beroende på om kärnkraften bibehålls, avvecklas eller utvecklas (Energimyndigheten 2021). I ett scenario utvecklas kärnkraften med 10 reaktorer fram till 2050, med kapacitet att leverera ca 100 TWh/år. De olika scenarierna innebär att vindkrafts-utbyggnaden skulle behöva omfatta mellan 1 250 och 8 500 vindkraftverk med effekten 6 MW, under perioden 2020–2050 (fig. 3 och 4).



**Figur 3.** Behov av elproduktion från vindkraft under perioden 2020–2050, vid tre olika kärnkraftscenarier (avvecklad, bibehållen och utvecklad).

*Need for electricity production from wind power in 2020–2050, at three different nuclear power scenarios (decommissioned, maintained (lifetime extension) and developed).*

**Behov av vindkraftverk (6MW) 2020–2050**  
*Need for wind turbines (6 MW) 2020–2050*



**Figur 4.** Utbyggnad av antal vindkraftverk (med en effekt av 6 MW) för elproduktion 25–170 TWh, vid tre olika kärnkraftsscenarioer (avvecklad, bibehållen och utvecklad).

*Expansion of wind turbines (with an output of 6 MW) for electricity production 25–180 TWh, in scenarios where nuclear power is maintained (and lifetime extended), decommissioned, or developed.*

## Vindkraftsutbyggnadens markanspråk

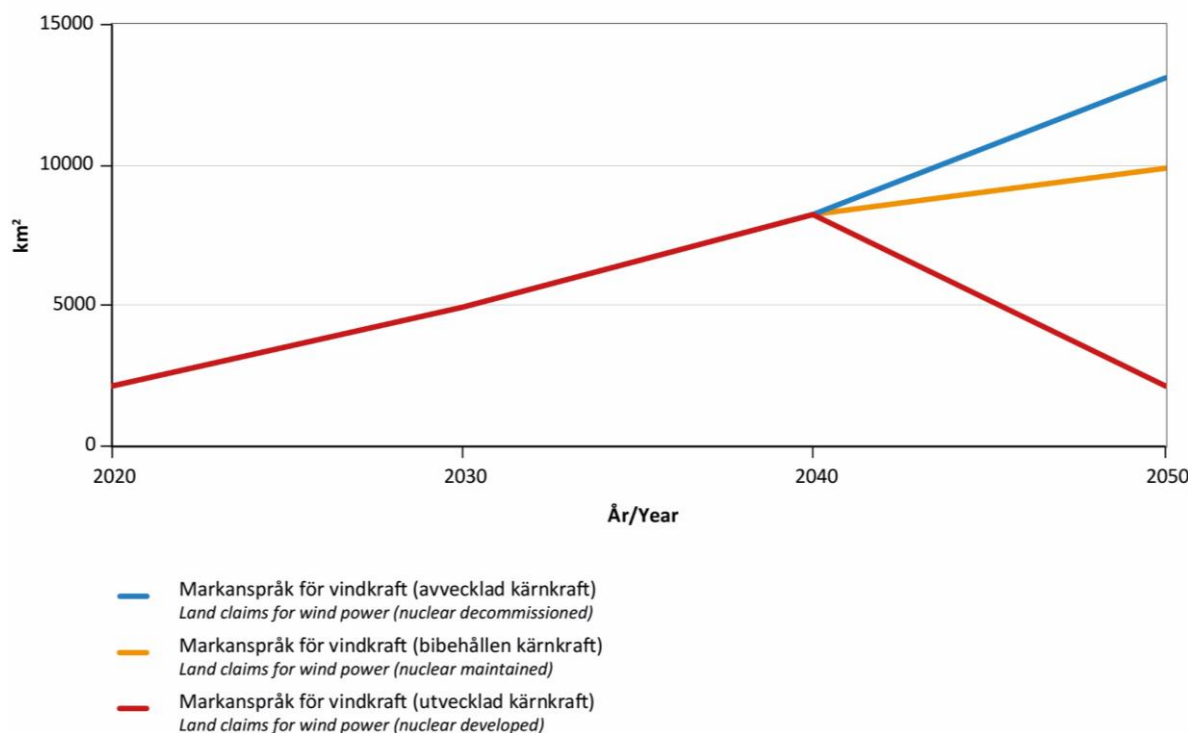
Centralt för möjliggörandet av vindkraftsutbyggnad är hur stora ytor som finns tillgängliga för ändamålet. I Sverige är den absoluta merparten av dagens vindkraft landbaserad. Det finns även planer på att bygga ut havsbaserad vindkraft. Potentialen för elproduktion vid havsburen vindkraft i Sverige är enligt Svensk Vindenergi (Thema 2021) mångdubbelt så stor jämfört med det vid landbaserad vindkraft. Detta då vinden blåser starkare och mer jämnt till havs jämfört med det på land (Energimyndigheten 2017). Konkurrenten med andra marina intressen är dock stor, speciellt i de sydliga delarna av Sverige (Thema 2021). Vad gäller den havsbaserade vindkraften, beräknas också kostnaden för underhåll vara högre än det för landbaserad vindkraft. Många av de bästa vindlägena är dessutom belägna på djupt vatten, där endast flytande monument är ett alternativ (Energimyndigheten 2017).

Enligt en rapport från Svenskt Näringsliv (2022) upptar landbaserad vindkraft idag en yta om 4 MW/km<sup>2</sup>, havsbaserad 7 MW/km<sup>2</sup> och solkraft 44 MW/km<sup>2</sup> i Sverige. Utifrån dessa uppgifter kan markanspråk för landbaserad vindkraft i de olika scenarierna för kärnkraft (avvecklad, bibehållen, utvecklad) beräknas (fig. 5).

Markanspråket för vindkraft minskar i ett scenario där kärnkraften bibehålls (livstidsförlängs) eller utvecklas, men ökar i ett scenario där kärnkraften avvecklas. Markarealer (ca 2 100–13 100 km<sup>2</sup>) som behöver tas i anspråk vid de olika kärnkraftsscenarioerna, motsvarar jämförelsevis ytan av hela Uppsala kommun (ca 2 200 km<sup>2</sup>) till ytan av hela Skånes län (ca 12 000 km<sup>2</sup>).

## Markanspråk för vindkraft 2020–2050

Land claims for wind power 2020–2050



**Figur 5.** Markanspråk (i km<sup>2</sup>) för vindkraft i Sverige vid tre olika kärnkraftscenarier (avvecklad, bibehållen och utvecklad).  
*Land claims (in km<sup>2</sup>) for wind power in Sweden at three different nuclear power scenarios (decommissioned, maintained (and lifetime extended) and developed).*

## Behov av metaller och material för utbyggnad av vindkraft

Förutom tillgång till mark krävs även en mängd material till konstruktionen av ett vindkraftverk. I en rapport av EU-kommissionen (Carrara m.fl. 2020) har man beräknat hur mycket metaller, REE, stål, cement, glas och kompositmaterial som går åt för att generera en effekt av 1 GW i ett vindkraftverk (tabell 1). I denna beräkning är även havsbaserad vindkraft medtagen.

Skillnaderna är ganska stora i materialåtgång vad gäller olika typer av vindturbiner, där GB = GearBox betyder att turbinen utrustats med en växellåda, DD = DirectDrive betyder att den är steglös och inte har någon växellåda. Med EESG, DFIG och PMSG menas Electrically Excited Synchronous Generator, Double-Fed Induction Generator och Permanent Magnet Synchronous Generator. En del studier menar på att DD-turbinerna kommer att vara dominerande i framtiden, men att GB-turbinerna fortfarande blir kvar under lång tid (van de Kaa m.fl. 2020; Marx 2018). DD-turbinerna har högre totalvikt, effektivitet och kostnad jämfört med GB-turbinerna. DD och GB-turbinerna är utrustade med permanent-magneter där bland annat sällsynta jordartsmetaller (REE) såsom praseodym, neodym, terbium och dysprosium ingår. DD-turbinerna använder ingen växellåda, men generatorerna i DD-turbinerna består av större andelar koppar och är tyngre jämfört med GB-turbinerna (tabell 1). Vad gäller cementåtgången så beräknas den vara lägre för havsbaserad vindkraft jämfört med landbaserad vindkraft (Carrara m.fl. 2020).

Det ska dock observeras att beräkningen gjord av Carrara m.fl. (2020) inte tar hänsyn till den mängd koppar som går åt för att koppla ihop vindkraftverken till elnätet, eftersom detta är helt beroende av avstånd till befintligt nät. Behovet av koppar kan därför i vissa fall vara stort, speciellt vad gäller havsbaserad vindkraft där avstånden till det befintliga elnätet kan vara långa.

**Tabell 1.** Behov av material i ton/GW producerad effekt, för olika typer av vindkraftsturbiner (modifierad från Carrara m.fl. 2020).  
*Material usage estimates in tonnes/GW produced power, for different types of wind turbines (modified from Carrara et al., 2020).*

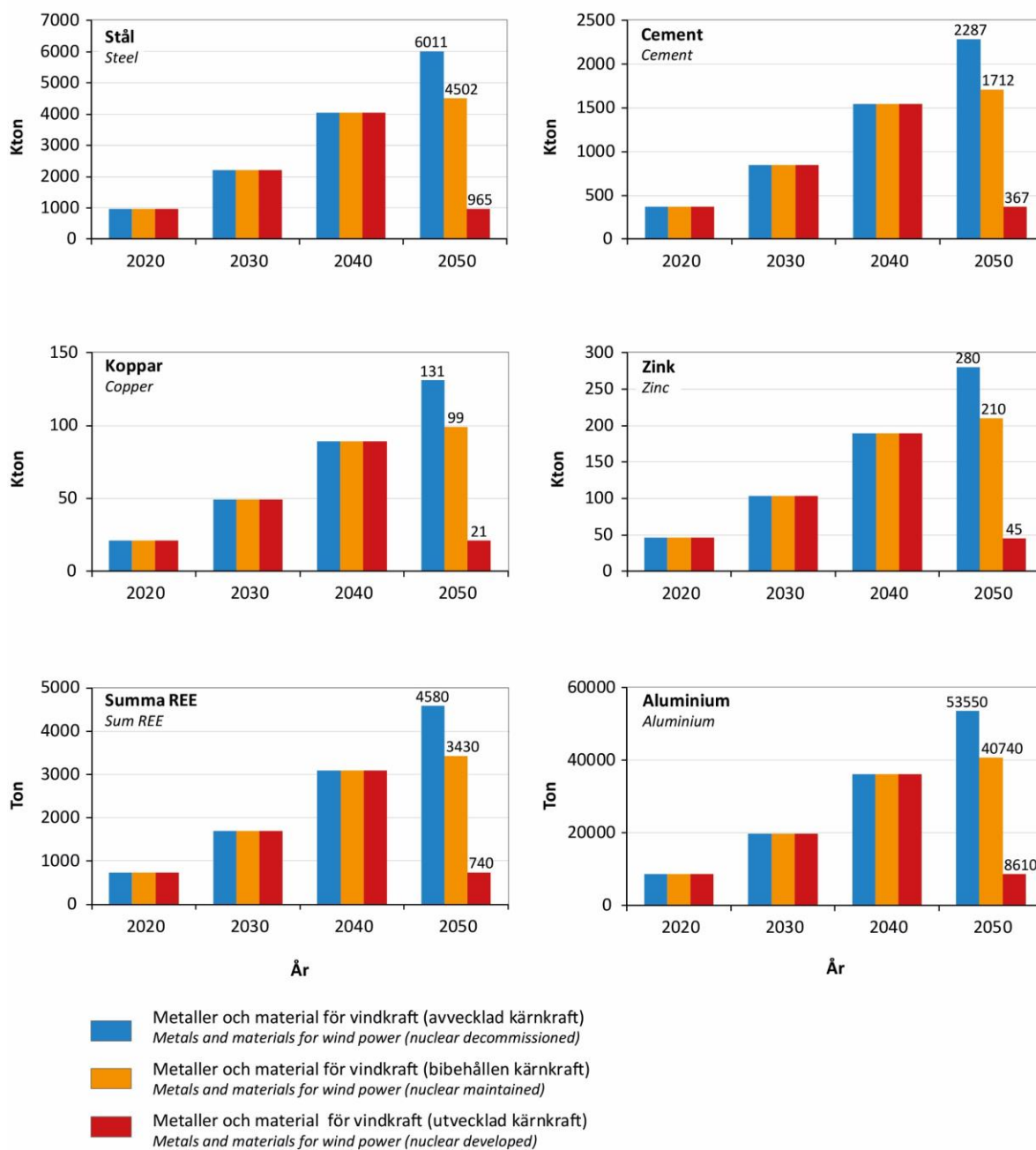
Material	Behov (ton/GW) medel	DD-EESG	DD-PMSG	GB-PMSG	GB-DFIG
Betong	345 000	369 000	243 000	413 000	355 000
Cement	44 850	47 970	31 590	53 690	46 150
Stål	117 875	132 000	119 500	107 000	113 000
Polymer	4 600	4 600	4 600	4 600	4 600
Glas/Komposit	8 075	8 100	8 100	8 400	7 700
Aluminium	1 050	700	500	1 600	1 400
Bor	1,75	0	6	1	0
Krom	525	525	525	580	470
Koppar	2 587,5	5 000	3 000	950	1 400
Dysprosium	7,75	6	17	6	2
Gjutjärn	19 750	20 100	20 100	20 800	18 000
Mangan	790	790	790	800	780
Molybden	109	109	109	119	99
Neodym	67,75	28	180	51	12
Nickel	362,5	340	240	440	430
Praseodym	12	9	35	4	0
Terbium	2,25	1	7	1	0
Zink	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500

För att kunna uppskatta den mängd material som behövs till en framtida elproduktion av ca 25–170 TWh/år har ett medelvärde av materialanvändningen för de olika typerna av vindkraftverk i tabell 1 använts. Beräkningen baseras på att ett enskilt vindkraftverk kan leverera en effekt på 6 MW och att den totala utbyggda effekten ska kunna producera ca 25–170 TWh/år. Vindkraftverken ska då kunna leverera en effekt på 8,3–51 GW under perioden 2020–2050 (beräknat på 6 MW × 1 380 vindkraftverk respektive 6 MW × 8 300 vindkraftverk). Mängden metaller och övrigt material som är nödvändig för att konstruera vindparksflottor med en kapacitet på 8,3–38,2 GW för bibehållen kärnkraft, 8,3–51 GW för avfasad kärnkraft samt för ett scenario där kärnkraft utvecklas framgår av figur 6. I scenariot där kärnkraften utvecklas uppskattas att ny kärnkraft kan komma att vara i drift kring år 2040, detta med tanke på tillstånds- och byggtid.

I ett scenario där kärnkraften fasas ut och avvecklas så kommer det att behövas ca 30 procent mer metaller, REE och material inbyggda i vindkraft under perioden 2040–2050, jämfört med om den bibehålls (och livstidsförlängs). Om man jämför scenarierna för utvecklad kärnkraft med bibehållen kärnkraft så kommer det att behövas ca 80 procent mindre metaller, REE och material inbyggda i vindkraft, under perioden 2040–2050 (fig. 6).

## Behov av metaller och material för vindkraft 2020–2050

Need for metals and materials for wind power 2020–2050



**Figur 6.** Behov av stål, cement, koppar, zink, sällsynta jordartsmetaller (REE) och aluminium i vindkraftsutbyggnad för scenarierna avvecklad, bibehållen (livstidsförlängd), samt utvecklad kärnkraft beräknat utifrån medelbehovet i olika vindkraftsturbiner (utifrån tabell 1).

Need for steel, cement, copper, zinc, rare earth elements (REE) and aluminium in wind power development at three different nuclear power scenarios (decommissioned, maintained (and lifetime extended) and developed). Calculated from the average need in different wind turbines (compiled in Table 2).

## ENERGI FRÅN SOLCELLER I SVERIGE PERIODEN 2025–2050

Det prognosticerade behovet av elektricitet från solceller för perioden mellan år 2025 och 2050 förväntas öka och motsvara ca 11,4 TWh/år vid periodens slut. I dagsläget utgör elproduktionen från solceller en marginell andel av den förnybara energimixen (ca 0,8 TWh/år). Detta innebär att elproduktion från solkraft i Sverige behöver mångdubblas fram till år 2050 (se figur 1; Energimyndigheten 2021). Energimyndigheten har utgått från antagandet att mängden elektricitet producerad från solkraft ökar under perioden 2025–2040, för att därefter vara relativt konstant (ca 10 TWh/år; fig. 2).

### Producerad elektricitet från solceller

Energien som kan produceras från solkraft är beroende av solens instrålning samt hur mycket som solcellsmodulen kan fånga upp. Producerad energimängd redovisas i KWh/m<sup>2</sup> och beräknas i dagsläget vara mellan ca 900 och 1300 KWh/m<sup>2</sup> och år i Sverige. I södra Europa är motsvarande värde ca 1700 KWh/m<sup>2</sup> och år. Verkningsgraden i en solcellsanläggning är vanligtvis ca 20 procent av solinstrålningen och är som högst vid en temperatur av 25 °C. Verkningsgraden är också beroende av elektriska överförings- och omvandlingsförluster samt sänkningar av verkningsgraden vid högre celltemperaturer (RISE 2021). Under svenska förhållanden erhålls vanligen en effekt om ca 1 000 kWh/kW. Den totala installerade effekten för en produktion på 0,8–11,4 TWh/år blir då 800–11 400 MW.

### Solkraftsutbyggnadens markanspråk

Solkraftens markanspråk har uppskattats till 2–4 hektar/MW, 20 000–40 000 m<sup>2</sup>/1 000 KW eller 20–40 m<sup>2</sup>/KW (Solar energy Portal 2022). För att installera en effekt om 11 400 MW så krävs det alltså ca 23 000–46 000 hektar mark, vilket motsvarar 230–460 km<sup>2</sup>. På flera platser har det visat sig att sol- och vindkraft kan samexistera, utan att effektiviteten påverkas negativt. Detta minskar markanspråket för förnybar energi totalt sett, men de minskade behoven av areal är inte möjligt att kvantifiera på ett rättvisande sätt.

### Behov av metaller och material för utbyggnad av solkraft

Solceller består av ett ljuskänsligt halvledarmaterial (oftast kiselbaserat) som omvandlar energin i solinstrålningen till elektrisk energi. De vanligaste solcellsteknologierna består i dagsläget av kristallina kiselceller (mono- och multikristallint kisel) samt tunnfilmssolceller (koppar-indium-gallium-selenid [CIGS] eller kadmium-tellurid [CdTe], amorft och mikroamorft kisel). Det finns också andra teknologier (t.ex. grätzellceller, perovskiter, organiska solceller), men dessa har inte fått något större kommersiellt genomslag ännu (RISE 2019). Marknaden för solcellsmoduler utgörs till största del (ca 95 procent) av kristallina kiselceller, där monokristallina solcellsmoduler är vanligare än multikristallina. I dagsläget tillverkas den absoluta merparten av världens solcellsmoduler i Kina, som innehar ca 80 procent av den globala marknaden (RISE 2021).

För att tillverka en kiselcell så behövs ultrarent kisel (nära 100 procentig renhetsgrad). Tillverkningen av ultrarent kisel sker i flera steg:

- I ett första steg hettas kvarts (SiO<sub>2</sub>) och en kolkälla (kol, koks, trä) upp till över 2 000 °C. Syret i kvarts avgår som kolmonoxid, och kisel separeras och gjuts till kiseltackor med en renhet av ca 98 procent.
- I de nästföljande stegen genomgår det så kallade industriella kiset (renhetsgrad 98 procent) ett antal renings- och destilleringsprocesser, renas till elektroniskt kisel (renhetsgrad 99,99 procent) och sedan ytterligare till så kallad *solar grade silicon* (SGS) med en renhetsgrad på nära 100 procent (9N purity Si).

Som råmaterial till ultrarent kisel används så kallad *high purity quartz* (mer än 99,997 procent SiO<sub>2</sub>). De största fyndigheterna återfinns i Nordamerika, men finns även i Norge, Mauretania, Australien, Ryssland m.fl. (Siseho 2016). Vid tillverkningen av en solcell skärs det ultrarena kiset i tunna skivor (s.k. *wafers*), för att sedan appliceras på en ställning och täckas med glas och kompositmaterial.

EU-kommissionen (Carrara m.fl. 2020) har beräknat åtgången av material och metaller för solkraftens elproduktion. I tabell 2 visas motsvarande beräkningar för Sverige under 2020–2050. Eftersom de produkter som finns på marknaden idag till största del (95 procent) bygger på en teknik baserad på kristallina kiselceller, och denna teknik uppskattas vara relativt bestående över tid, så utgår beräkningarna av materialåtgång från dessa typer av celler (Carrara m.fl. 2020). Beräkningarna i tabell 2 utgår även från antagandet att produktionen av elektricitet från solkraft ska öka från 0,8 TWh/år för 2020 (effekt 0,8 MW) till 11,4 TWh/år för 2050 (effekt 11,4 MW).

**Tabell 2.** Behov av material i ton/MW producerad effekt, samt det totala behovet av material (i ton) under tidsperioden 2020–2050 för kristallina solceller (modifierad från Carrara m.fl. 2020).

*Need for materials in tonnes/MW produced power, and the total need for materials in tonnes, in 2020–2050, for crystalline solar cells (modified from Carrara et al., 2020).*

Material	(ton/MW)	Behov (ton) år 2020	Behov (ton) år 2030	Behov (ton) år 2040	Behov (ton) år 2050
Cement	60,7	48 560	72 840	540 230	691 980
Stål	67,9	54 320	81 480	604 310	774 060
Polymer	8,6	6 880	10 320	76 540	98 040
Glas/Komposit	46,4	37 120	55 680	412 960	528 960
Aluminium	7,5	6 000	9 000	66 750	85 500
Koppar	4,6	3 680	5 520	40 940	52 440
Kisel	4,0	3 200	4 800	35 600	45 600
Silver	0,02	16	24	178	228

## KÄRNKRAFT I SVERIGE PERIODEN 2025–2050

För att möta det prognosticerade behovet av elektricitet så för nuvarande energipolitik fram ett behov av en utbyggnad av kärnkraften i Sverige under tiden fram till 2050. Detta är något som Energimyndigheten inte räknat med i sin studie (2021) där man tittat på elproduktion från kärnkraft utifrån två scenarier, avveckling eller bibehållande av kärnkraft fram till 2050. För att ta hänsyn till nuvarande energipolitik har i denna SGU-rapport därför beräkningar gjorts utifrån ytterligare ett scenario som innebär utvecklad kärnkraft.

Behovet av elektricitet från kärnkraft beräknas i detta avsnitt utifrån de tre nämnda scenarierna, det vill säga om kärnkraften i Sverige ska avvecklas, bibehållas eller utvecklas. Enligt Timbro (2022) så kan det vara möjligt att Sverige har ny kärnkraft på plats under 2040-talet. År 2023 finns i Sverige sex kärnkraftsreaktorer (tabell 3) med en sammanlagd effekt av ca 6 900 MW. De sex reaktorerna är:

- Forsmark: 1015, 1084, 1166 MW
- Ringhals: 1074, 1130 MW
- Oskarshamn: 1450 MW

## Producerad elektricitet från kärnkraft

Elproduktion från kärnkraft sker genom klyvning av atomkärnor, oftast uran. Det skapar energi som används för att koka vatten som bildar ånga. Vattenångan skapar ett högt tryck som driver turbiner som skapar el. De kärnkraftverk som finns i Sverige idag, är så kallade tryck- eller



kokvattensreaktorer. Termisk effekt (eller värmeeffekt) är den mängd värme som produceras i en kärnreaktor under en viss tidsperiod. Verkningsgraden vid en kärnreaktor är cirka 35 procent, vilket innebär att den termiska effekten måste vara ungefär tre gånger så hög som den önskade elektriska effekten. Som exempel så kan en reaktor med värmeeffekt på 2 000 MW omvandlas i turbingeneratoren och generera en effekt på ca 700 MW. Efter en timmes drift har 700 MWh elektricitet producerats (Strålsäkerhetsmyndigheten 2022). En viss andel av kärnbränslet i en reaktor byts ut en gång per år. I kokvattenreaktorer byts en femtedel av bränslet ut mot nytt bränsle per år, och i tryckvattenreaktorer byts en tredjedel av bränslet ut (Vattenfall 2022). Mängden uranbränsle som går åt per år är beroende av effekten som tas ut samt renhetsgraden i bränslet, som kan variera mellan 3–5 viktprocent  $U^{235}$ . Enligt en studie av Abousahl m.fl. (2021) så kan förbrukningen i ett kärnkraftverk vara mellan ca 20–30 ton uranbränsle per 1 000 MW, vilket ger en förbrukning i Sverige på ca 140–210 ton uranbränsle/år (beräknat på 6 900 MW). I Sverige förväntas elproduktionen från kärnkraft öka från 44–53 TWh under perioden 2040–2050, i ett scenario där kärnkraften bibehålls (Energimyndigheten 2021). Detta innebär att ytterligare effekt på ca 1 000 MW (totalt ca 7 900 MW) kommer att tas ut ur de befintliga kärnkraftverken. I tabell 3 uppskattas förbrukningen av uranbränsle i de tre scenarierna där kärnkraft avvecklas, bibehålls eller utvecklas under perioden 2020–2050 (se figur 2). I ett scenario där kärnkraften utvecklas så antas att tio nya reaktorer med en sammanlagd kapacitet på 100 TWh (ca 11500 MW) byggs under tiden 2040–2050.

## Kärnkraftens markanspråk

Vad gäller markanspråk för kärnkraft så uppskattar den amerikanska energimyndigheten (U.S. Energy Information Administration 2019) att kärnkraften i USA upptar en yta av ca 385 MW/km<sup>2</sup>. I det scenario där kärnkraften i Sverige avvecklas kommer effekten i de svenska reaktorerna att gradvis minska från 6 900 MW till 0 MW under perioden 2040–2050. I de scenarier där kärnkraften bibehålls och/eller utvecklas kommer effekten i svenska reaktorer gradvis öka från 6 900 MW till 11 500 MW. Om man utifrån detta uppskattar markanspråket för den svenska kärnkraften så blir det ca 18 km<sup>2</sup> vid en effekt av 6 900 MW (bibehållen kärnkraft), 20,5 km<sup>2</sup> vid en effekt av 7 900 MW (utveckling via livstidsförslängning) samt 30 km<sup>2</sup> vid en effekt av 11 500 MW (utveckling via ny kärnkraft).

De beräknade markanspråken förutsätter en säker drift. Efter kärnkraftsolyckorna i Tjernobyl år 1986 och Fukushima år 2011 uppskattas att hundratusentals kvadratkilometer mark har kontaminerats med radioaktivt avfall. Skyddszonerna runt dessa platser, det vill säga där människor inte kan bo, är fortsatt stora än idag och upptar arealer av 1 200–3 000 km<sup>2</sup> (Sveriges radio 2022).

## Behov av metaller och material för utbyggnad av kärnkraft

För att bygga och driva ett kärnkraftverk så behövs framför allt uran, stål och betong, men också koppar och aluminium. Uppskattningar av behovet av kärnbränsle (med 3–5 viktprocent uran<sup>235</sup>) samt dessa metaller och material under perioden 2020–2050 visas i tabell 3 och figur 9.

Materialåtgången skiljer sig mellan olika typer av reaktorer. Enligt Abousahl m.fl. (2021) så är tryckvattenreaktorn den mest vanliga, med en global marknadsandel på över 70 procent. Därför har även materialbehovet i Sverige vid en eventuell utbyggnad av kärnkraften beräknats utifrån byggnation av en tryckvattenreaktor (figur 7). I Abousahl m.fl. (2021) antas en materialåtgång av 31–61 ton stål per varje MW installerad effekt från kärnkraft, för beräkningarna i figur 7 har ett snitt av 31 och 61 använts, det vill säga 45 ton/MW. I övrigt så har cementåtgången antagits till 50 ton/MW, aluminium till 0,2 ton/MW och koppar till 1,5 ton/MW, detta enligt Abousahl m.fl. (2021).

I scenariot där kärnkraften utvecklas så sker detta fram till år 2050. I detta skede byggs kärnkraften ut med 100 MW, vilket är mer än dubbelt så mycket som finns installerat i dagsläget (ca 47 MW). Detta ger en ökning av metall- och materialbehovet till kärnkraftsutbyggnaden på mer än 100 procent under perioden 2040–2050. Detta gäller även förbrukningen av uran<sup>235</sup> som ökar från ett spann på 1 400–2 100 till ett spann på 3 700–5 550 ton under en tioårsperiod (tabell 3).

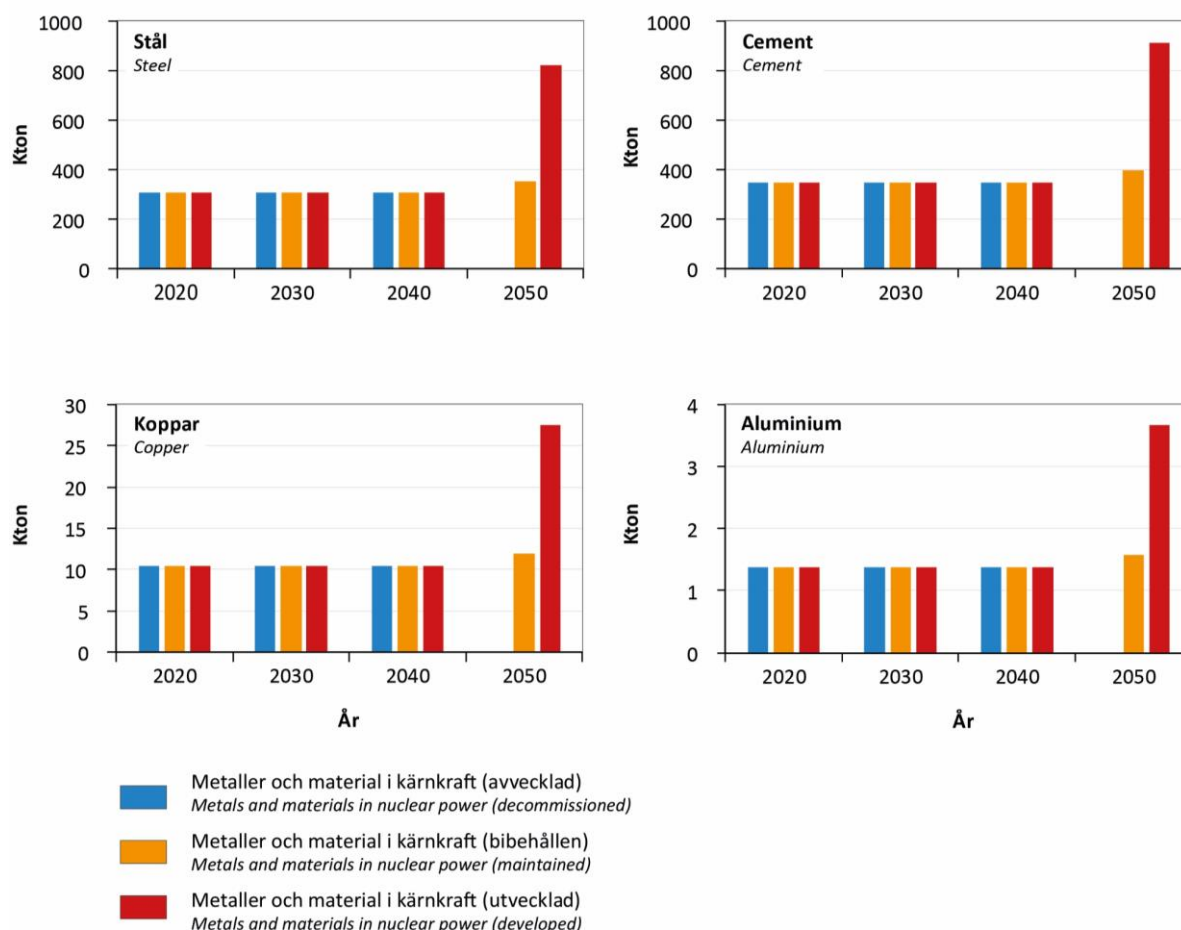
**Tabell 3.** Behov av uran<sup>235</sup> i ton vid tre olika kärnkraftsscenarioer (avvecklad, bibehållen och utvecklad) i Sverige under tidsperioderna 2020–2030, 2030–2040 och 2040–2050.

*Consumption of uranium<sup>235</sup> in three different nuclear power scenarios (decommissioned, maintained and developed) in Sweden during the time periods 2020–2030, 2030–2040 and 2040–2050.*

Scenario	År 2020–2030	År 2030–2040	År 2040–2050
Avveckling	1400–2100	1400–2100	0
Bevarande	1400–2100	1400–2100	1600–2400
Utveckling	1400–2100	1400–2100	3700–5550

### Mängd material inbyggd i kärnkraft 2020–2050

*Quantities of materials embedded in nuclear power 2020–2050*



**Figur 7.** Mängd stål, cement, koppar och aluminium i ton/MW inbyggd i kärnkraft vid tre olika kärnkraftsscenarioer (avvecklad, bibehållen och utvecklad) under tidperioden 2020–2050. Källa: JRC 2021.

*Quantities of steel, cement, copper, and aluminium embedded in nuclear power at three different nuclear scenarios (decommissioned, maintained and developed) in the period 2020–2050 (tonnes/MW taken from JRC, 2021).*

## SJÄLVFÖRSÖRJNINGSGRAD AV MATERIAL FÖR FOSSILFRI ENERGI

Den ökade elanvändningen i Sverige fram till 2050 medför en utbyggnad av de fossilfria energislagen och leder i sin tur till ett större behov av metaller och mineral. Tabell 4 visar behovet av en rad metaller samt stål och cement för sol- vind- och kärnkraft år 2030, samt hur mycket av dessa råvaror som producerades i Sverige under år 2021.

I Sverige produceras främst koppar, zink, järn, cement och stål, vilka är viktiga för den framtida energiförsörjningen. Men vad gäller flera övriga metaller – såsom krom, mangan, molybden, nickel, uran och REE – så återfanns ingen produktion av dessa i Sverige år 2021. Vindkraftsetableringen fram till år 2030 beräknas kunna producera ca 63 TWh, kärnkraften producerar 45 TWh och vad gäller solkraftsetableringen så förväntas den kunna producera 1,2 TWh.

Om man endast ser till åtgången av koppar, zink, järn, cement och stål kan den inhemska produktionen tyckas vara tillräcklig för en vind-, kärn- och solkraftsetablering fram till år 2030. Då är dock inte den inhemska konsumtionen inräknad. Enligt statistik från Refinitiv World Bureau of Metal Statistics (RWBMS 2022), Jernkontoret (2022) samt Boverket (2022) så uppgick år 2020 den svenska konsumtionen av koppar till 136 kton, av stål till 4 000 kton och av cement till 2 988 kton (beräknat på 6,225 Mm<sup>3</sup> förbrukning av betong). Detta gör att självförsörjningsgraden för dessa material till en framtida sol- och vindkraftsetablering i Sverige blir mycket låg. I dessa beräkningar är också åtgången av koppar att betrakta som underskattad, detta då den mängd som krävs för att koppla ihop sol- och vindkraftverken till elnätet ej är medräknad.

**Tabell 4.** Den beräknade åtgången, i kton, av ett antal metaller samt stål och cement för sol-, kärn- och vindkraft i Sverige år 2030. Samt den inhemska produktionen och konsumtionen av dessa metaller och material år 2021 respektive 2020.

*Estimated consumption of copper, zinc, iron, steel, cement, chromium, manganese, molybdenum, nickel, uranium, silver and REE in solar, nuclear and wind power in the year of 2030 in Sweden. As well as the domestic production and consumption of these metals and materials in 2021 and 2020, respectively.*

Material	Vindkraft beräknad åtgång 2030	Solkraft beräknad åtgång 2030	Kärnkraft beräknad åtgång 2030	Total åtgång för fossilfri energi 2030 <sup>5</sup>	Produktion i Sverige 2021	Konsumtion i Sverige 2020
<b>Koppar</b>	34,9	5,5	10,35	187	86,3 <sup>1</sup>	136
<b>Zink</b>	103	0	0	103	237,2 <sup>1</sup>	i.u.
<b>Järn</b>	266,6	0	0	266,6	3100 <sup>2</sup>	i.u.
<b>Stål</b>	2217	81,4	310	7308	4700 <sup>2</sup>	4000
<b>Cement</b>	844	72,8	345	4250	2800 <sup>1</sup>	2988 <sup>3</sup>
<b>Krom</b>	9,98	0	0	9,98	0	i.u.
<b>Mangan</b>	14,9	0	0	14,9	0	i.u.
<b>Molybden</b>	2,05	0	0	2,05	0	i.u.
<b>Nickel</b>	6,82	0	0	6,82	0	i.u.
<b>REE</b>	1,68	0	0	1,68	0	i.u.
<b>Silver</b>	0	0,02	0	0,438	0,436 <sup>1</sup>	i.u.
<b>Uran</b>	0	0	0,14–0,21 <sup>4</sup>	0,14–0,21 <sup>4</sup>	0	i.u.

<sup>1</sup> Bergverksstatistik (2021)

<sup>2</sup> Jernkontoret (2021)

<sup>3</sup> Boverket (2022)

<sup>4</sup> Förbrukning/år

<sup>5</sup> Baserat på förbrukning år 2020

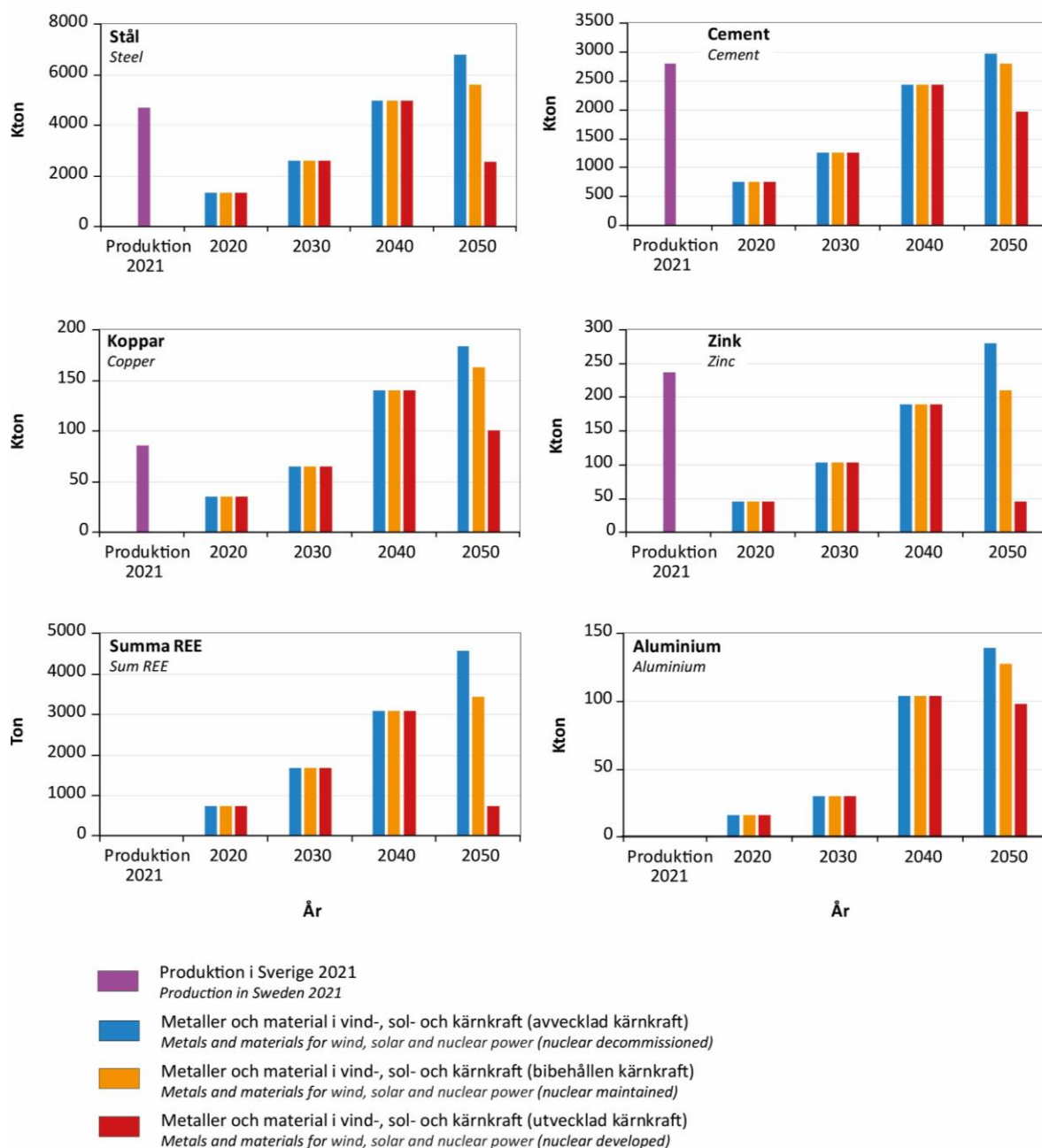
Behovet av samtliga metaller i tabell 4 kommer att öka i framtidens utbyggnad av sol- och vindkraft, oavsett om kärnkraft avvecklas, bevaras eller utvecklas. För att Sverige ska kunna öka självförsörjningsgraden av metaller och material till en framtida sol- och vindkraftsutbyggnad så behöver den inhemska produktionen öka. Det finns även ett stort behov av en produktion av de metaller och material som inte traditionellt producerats i Sverige tidigare (tabell 4). Studier av Eilu m.fl. (2021) samt SGU (2016) pekar ut ett antal fyndigheter – av till exempel uran, REE, nickel, koppar och mangan i Sverige – som vid brytning väsentligt skulle kunna öka graden av självförsörjning av metaller och mineral till en kommande utbyggnad av den svenska fossilfria energiförsörjningen.

Den totala mängden metaller och material som behövs i vind-, sol- och kärnkraft under perioden 2020–2050 har i figur 8 beräknats utifrån de tre scenarierna där kärnkraften antingen avvecklas, bevaras eller utvecklas. Enligt beräkningarna så minskar mängden metaller inbyggda i framtida energilag (framför allt i vindkraftsetableringar) i ett scenario där kärnkraften utvecklas. Även här kan den inhemska produktionen av metaller och material (koppar, zink, järn, stål och cement) tyckas vara tillräcklig, men inte heller i dessa beräkningar ingår den inhemska konsumtionen. Beräkningarna visar att det i ett scenario där kärnkraften utvecklas inte kommer att finnas ett behov av att tillföra metaller till utbyggnad av sol-, vind- eller kärnkraft under perioden 2040–2050, undantaget uran (tabell 3, figur 8). I ett scenario där kärnkraften utvecklas, så kommer dock förbrukningen av kärnbränsle (med 3–5 viktprocent uran<sup>235</sup>) mer än fördubblas och öka från 140–210 ton/år till 370–550 ton/år (tabell 3).

Vad gäller markanspråk för utbyggnad av fossilfri energi i Sverige under perioden 2020–2050 så är det som högst i det scenario där kärnkraften avvecklats (ca 13 100 km<sup>2</sup> år 2050) och som lägst i det scenario där kärnkraften utvecklats (ca 2050 km<sup>2</sup> år 2050). Vid samtliga scenarier har utbyggnaden av vindkraft störst effekt på markanspråket.

## Mängd material inbyggd i vind-, sol- och kärnkraft 2020–2050

Quantities of materials embedded in wind, solar and nuclear power 2020–2050



**Figur 8.** Mängd stål, cement, koppar, zink, sällsynta jordartsmetaller (REE) och aluminium inbyggd i vind-, sol- och kärnkraft vid tre scenarier där kärnkraften antingen avvecklas, bevaras eller utvecklas under perioden 2020–2050. Där uppgifter finns visas även produktionen av dessa metaller under 2021.

Quantities of steel, cement, copper, zinc, rare earth elements (REE) and aluminium embedded in wind, solar and nuclear power at three scenarios where nuclear power is decommissioned, maintained (lifetime extension), or developed, in 2020–2050. Production of these metals in 2021.

## SLUTORD

Energiomställningen i Sverige – där fossila bränslen ska fasas ut – kommer att öka behovet av elektricitet markant fram till år 2050. Detta innebär i sin tur att en utbyggnad av den svenska energiförsörjningen behövs, där energislag som vindkraft, solkraft, vattenkraft och kärnkraft kan ingå. Inom dagens energipolitik debatteras huruvida kärnkraften i Sverige ska avvecklas, bibehållas (livstidsförlängas) eller utvecklas. I denna rapport har markanspråket samt behovet av metaller och material beräknats i en framtida utbyggnad av energiförsörjningen utifrån dessa tre scenarion för kärnkraften.

Den mängd elektricitet som i framtiden inte produceras från kärnkraft prognosticeras komma från vindkraft. I ett scenario där kärnkraften utvecklas kommer konsumtionen av uranbränsle öka markant, samtidigt som det totala markanspråket och behovet av metaller och material i utbyggnaden av energiförsörjningen minskar. Det motsatta gäller om kärnkraften avvecklas, det vill säga att konsumtionen av uranbränsle minskar samtidigt som markanspråket och behovet av metaller och material ökar. I ett scenario där kärnkraften bibehålls och livstidsförlängs så ökar såväl konsumtionen av uranbränsle som markanspråket och behovet av metaller och material.

Självförsörjningsgraden för samhällets totala behov av metaller och material kommer som rapporten visar även fortsättningsvis vara låg i Sverige, oavsett vägval i energipolitiken. Det gäller inte bara för de metaller och material som traditionellt inte brutits i Sverige – såsom sällsynta jordartsmetaller (REE), aluminium, molybden och mangan – utan även för koppar, cement, stål och zink för vilka utvinning finns idag. Utbyggnaden av de olika energislagen kommer därför att kräva import eller ökad utvinning av en hel del insatsvaror i form av metaller och material, oavsett vilket energislag som dominerar i framtiden.

## REFERENSER

- Abousahl, S., Carbol, P., Farrar, B., Gerbelova, H., Konings, R., Lubomirova, K., Martin Ramos, M., Matuzas, V., Nilsson, K., Peerani, P., Peinador Veira, M., Rondinella, V., Van Kalleveen, A., Van Winckel, S., Vegh, J. & Wastin, F., 2021: *Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation')*, EUR 30777 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-40538-2, doi: 10.2760/207251, JRC125953. 387 s.
- U.S. Energy Information Administration, 2019: *The ultimate fast facts guide to Nuclear Energy*. <<https://www.energy.gov/sites/default/files/2019/01/f58/Ultimate%20Fast%20Facts%20Guide-PRINT.pdf>> Åtkommen 2 juni 2023.
- Boverket, 2022: *Efterfrågan på cement och möjliga klimateffekter av ökad import*. Rapport 2022:11, 46 s. <<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2022/efterfagan-pa-cement-och-mojliga-klimateffekter-av-okat-import-tillg.pdf>> Åtkommen 2 juni 2023.
- Carrara, S., Alves Dias, P., Plazzotta, B. & Pavel, C., 2020: *Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system*, EUR 30095 EN, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-16225-4, doi:10.2760/160859, JRC119941. 74 s.
- Eilu, P., Bjerkgård, T., Franzson, H., Gautneb, H., Häkkinen, T., Jonsson, E., Keiding, J.K., Pokki, J., Raaness, A., Reginiussen, H., Róbertsdóttir, B.G., Rosa, D., Sadeghi, M., Sandstad, J.S., Stendal, H., Þórhallsson, E.R. & Törmänen, T., (2021): *The Nordic supply potential of critical metals and minerals for a Green Energy Transition*. Nordic Innovation Report. ISBN 978-82-8277-115-3 (digital publication), ISBN 978-82-8277-114-6 (printed). 94 s. <<https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1593571/FULLTEXT02>> Åtkommen 2 juni 2023.
- Erlström, M., Mellqvist, C., Schwarz, G., Gustafsson, M., & Dahlqvist, P., 2016: Geologisk information för geoenergianläggningar – en översikt. *SGU-rapport 2016:16*, Sveriges geologiska undersökning, 56 s.
- Gehlin, S., Andersson, O. & Rosberg, J-E., 2022: *Geothermal energy use, country update for Sweden*. Proceedings of the European Geothermal Congress, Berlin 17–22 October 2022. 12 s.
- IEA, 2021: *Projected Costs of Generating Electricity, 2020 Edition*. International Energy agency, Bonn, Tyskland. 223 s.
- IRENA, 2022: *Renewable Power Generation Costs in 2021*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 4 s.
- Jernkontoret, 2022: *Branschfakta och Statistik – Stålproduktion*. <<https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/branschfakta-och-statistik/produktion/>> Åtkommen 30 augusti 2022.
- Liljenstolpe, C., Åkerhammar, P., Hamberg, R., Selbach, H., Larsson, D. & Johansson, M., 2022: Bergverksstatistik 2021. Sveriges geologiska undersökning, *Periodiska publikationer 2022:1*. 86 s.
- Marx, A., 2018: *An in-depth comparative study of direct drive versus gearbox wind turbine*. Master of Science Thesis. KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology, Division of Heat & Power SE-100 44 Stockholm, Sweden. 67 s.
- Naturvårdsverket, 2022: *Sveriges utsläpp av växthusgaser, data och statistik*. <<https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/>> Åtkommen 29 augusti 2022.
- NEA, 2022: Levelized Cost of Electricity Calculator. Nuclear Energy Agency. <<https://www.oecd-nea.org/lcoe/>> Åtkommen 21 oktober 2022.

- Refinitiv World Bureau of Metal Statistics, 2022: Statistics about metal production and consumption worldwide. <<https://world-bureau.co.uk/publications-services/publications/>> Åtkommen 5 oktober 2022.
- RISE, 2021: Klimateffektiv Solenergi: Jämförelse av klimatpåverkan från tillverkning av olika solcellsmoduler. Research institutes of Sweden, *RISE Rapport 2021:78*. 34 s.
- SGU, 2016: Mineralmarknaden 2015, tema: energimetaller. *Periodiska publikationer 2016:2*, Sveriges geologiska undersökning, 76 s.
- Siseho, K.R., 2016: *Characterization of quartz in some potential high purity quartz deposits in the Damara orogenic belt*. Master thesis, The University of Namibia. 135 s.
- Solar energy Portal, 2022: *Solar panel yield per square meter*. <<https://photovoltaicsolarenergy.org/solar-panel-yield-per-square-meter/>> Åtkommen 5 oktober 2022.
- Energimyndigheten, 2017: *Havsbaserad vindkraft. En analys av samhällsekonomi och marknadspotential*. Energimyndigheten. 34 s.
- Energimyndigheten, 2021: *Framtidens elektrifierade samhälle. Analys för en hållbar elektrifiering*. Energimyndigheten. 177 s.
- Strålsäkerhetsmyndigheten, 2022: *Kärnkraftsanläggningar i drift i Sverige*. <<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/omraden/karnkraft/karntekniska-anlaggningar-i-drift-i-sverige/>> Åtkommen 24 oktober 2022.
- Svenskt näringsliv, 2022: *Kraftsamling elförsörjning, scenarioanalys 2050*. 115 s.
- Thema, 2021: *Offshore wind development key to meet Sweden's climate and growth targets*. Thema Consulting group, rapport på uppdrag av Svensk Vindenergi. 12 s.
- Timbro, 2022: *Så kan ny kärnkraft bli verklighet*. Marknadsliberal tankesmedja. <<https://timbro.se/smedjan/sa-kan-ny-karnkraft-bli-verklighet/>> Åtkommen 31 oktober 2022.
- van de Kaa, G., van Ekb, M., Kampa, L.M & Rezaeia, J., 2020: *Wind turbine technology battles: Gearbox versus direct drive – opening up the black box of technology characteristics*. 7 s. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119933>
- Vattenfall, 2022: Avveckling av Ringhals 1 och 2. <<https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/ringhals/produktion/avveckling-ringhals-1-och-2>> Åtkommen 7 november 2022.
- World Cement Consumption Database, 2020: *World Cement Statistics Booklet with Country Level Data*. <<http://www.globbulk.com/media/news/documentos/World%20Cement%20Statistics%20Booklet%20R0.pdf>> Åtkommen 2 juni 2022.