

Rapport 2022/18

# Läckageeffekter från skog och skogsbruk

Kunskapsunderlag



© Skogsstyrelsen 2022

**Rapport** 2022/18

**Författare**

Robert Lundmark, Professor i Nationalekonomi, Luleå Tekniska Universitet

**Projektgrupp/författare**

Tina Nilsson  
Stefan Karlsson  
Jörgen Pettersson

**Omslag**

Ulf Lindroth

Skogsstyrelsens rapporter publiceras som pdf-filer på vår webbplats: [www.skogsstyrelsen.se](http://www.skogsstyrelsen.se).  
Här kan även tidigare publicerade rapporter, liksom böcker och övriga trycksaker laddas ner eller beställas.

# Innehåll

<b>Förord</b>	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>8</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>10</b>
1.1 Uppdraget	11
1.2 Rapporten disposition	12
<b>2 Svensk skogsmark och skogsbruk</b>	<b>13</b>
2.1 Skogsrelaterade klimateffekter	17
2.2 Klimatrelaterade styrmedel och mekanismer för skogs-bruket	17
2.2.1 Internationellt	18
2.2.2 EU	19
2.2.3 Sverige	22
<b>3 Vad är läckage</b>	<b>23</b>
3.1 Orsaker till läckage	24
3.2 Typer av läckage	26
3.3 Förmildrande omständigheter	28
<b>4 Kvantifiering av läckageeffekter</b>	<b>29</b>
4.1 Totala läckageeffekter	29
4.2 Marknadsförskjutande läckageeffekter	30
4.3 Riskbedömning av läckagekänslighet (utsläpps- och handelsintensitet)	33
<b>5 Vad säger forskningen?</b>	<b>36</b>
5.1 Sektoriellt läckage	36
5.2 Läckage från skogsbruk	38
5.2.1 Metod: CGE	39
5.2.2 Metod: Sektorsmodell	40
5.2.3 Metod: Övriga	42
5.2.4 Policyeffekter	44
<b>6 Resultatdiskussion av marknadsförskjutande läckageeffekter</b>	<b>46</b>
6.1 Ingående parametervärden	46
6.1.1 Utbuds- och efterfrågeelasticiteter	46
6.1.2 Kvoten för efterfrågeförskjutningen	47
6.1.3 Balanskvoten	48

6.1.4	Graden av substituerbarhet mellan inhemska och importerade sortiment	49
6.2	Simuleringsresultat	49
6.3	Känslighetsanalys	51
6.4	Kvalitativ styrmedelsanalys	54
6.4.1	Klimattullar	54
6.4.2	Kolinlagring och läckage	56
<b>7</b>	<b>Slutsatser och diskussion</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Referenser</b>	<b>59</b>

## Förord

Skogsstyrelsen har tagit fram ett kunskapsunderlag om läckageeffekter från skog och skogsbruk. Skogsstyrelsen har identifierat ett behov av att utreda existensen av läckage inom ett flertal projekt, exempelvis Skogliga Konsekvensanalyser 22, Strategisk planering för ökad kolsänka och Näringslivets klimatomställning. Även vid framtagande av kunskapsunderlag på beställning från Näringsdepartementet, exempelvis för avskogningsförordningen, förnybartdirektivet och LULUCF-förordningen.

Rapporten ingår i Skogsstyrelsens rapportserie. Författaren Robert Lundmark professor i nationalekonomi vid Luleå Tekniska universitet står för innehållet. Detta innebär att innehållet inte nödvändigtvis beskriver Skogsstyrelsens officiella syn, utan rapporten utgör ett kunskapsunderlag.

Rapporten syftar till att sammanställa kunskapsläget samt uppskatta storleken av läckageeffekter vid minskad svensk avverkning. Motivet är att ge underlag för fortsatt analys och diskussion om förekomsten av och storleken på läckageeffekter. Existensen av läckage innebär att effektiviteten minskar i en eventuell klimatpolitisk åtgärd som leder till en minskad avverkning i Sverige, om den helt eller delvis kompenseras av en ökad avverkning i andra länder. En del av klimatpåverkan flyttar då till andra länder.

Rapporten kommer till nytta som underlag vid analyser och diskussion om existensen av läckageeffekter från skog och skogsbruk.

Lycksele och Luleå december 2022

Magnus Viklund  
Chef, Enheten för policy och analys, Skogsstyrelsen

Robert Lundmark  
Professor i Nationalekonomi, Luleå  
Tekniska Universitet

---

# Sammanfattning

## Relevans

Skogen bidrar till klimat- och energiomställningen. Den binder koldioxid från atmosfären när den växer, den ersätter fossilintensiva material och bränslen samtidigt som dess vidareförädlade produkter bidrar till ett ökat kollager. För att förtydliga och synliggöra skogens bidrag måste skogens samtliga nyttor internaliseras i de privatekonomiska besluten. Det innebär att det kan finnas behov av politisk styrning, till exempel för att klimatrelaterade åtgärder ska ske inom skogsbruket. I detta sammanhang är det viktigt, om inte avgörande, att så kallade läckageeffekter beaktas.

## Definition, förekomst och exempel

I rapportens kontext uppstår ett läckage om en klimatpolitisk åtgärd, som resulterar i en minskad inhemsk avverkning, leder till en ökad avverkning i andra länder. Till exempel, om Sverige utökar antalet skogsbestånd som undantas från avverkning (oavsett anledning) uppstår ett läckage om detta kompenseras genom en ökad avverkning i andra länder. Existensen av läckage innebär att effektiviteten i den klimatpolitiska åtgärden minskar. Rapporten utgår från läckageeffekter mellan länder och regioner, normalt med av varandra fristående utsläppsredovisningar. Men läckage kan även uppstå inom ett land. Till exempel, en minskad avverkning i Norrbotten kan resultera i en ökad avverkning i Västerbotten. Men för att bedöma subnationella läckageeffekter måste nya tillförlitliga dataunderlag tas fram. Vidare utgår bedömningar av läckageeffekter normalt från skillnader i klimatpolitiska åtgärder. Det vill säga, en unilateral klimatpolitik kan orsaka läckageeffekter. Däremot, om länder har en gemensam klimatpolitik försvinner eventuella kostnadsfördelar och läckageeffekten reduceras eller försvinner helt.

## Syfte och valda nivåer för minskad avverkning

Rapporten har som syfte att sammanställa kunskapsläget kring metoder för att kvantifiera läckageeffekter av en minskad svensk skogsavverkning och diskutera hur olika styrmedel, åtgärder och naturgivna förutsättningar påverkar läckageeffektens storlek. Läckageeffekter bestäms kvantitativt för en minskad avverkning på 5, 10 respektive 20 procent för sågtimmer, massaved och brännved.

## Uppskattad storlek och variation av läckageeffekter

Resultaten indikerar relativa metodologiskt robusta läckageeffekter på mellan 23,7 och 27,3 procent för sågtimmer, mellan 43,8 och 52,6 procent för massaved och mellan 25,6 och 72,4 procent för brännved. Studier för jämförbara länder, eller regioner, visar på läckageeffekter i samma storleksordning. Till exempel, en avverkningsminskning i Norge skulle resultera i en läckageeffekt på mellan 60 och 100 procent beroende på storleken på avverkningsminskningen. Även på EU-nivå visar jämförbara studier på liknande läckageeffekter. En minskad avverkning på 20 procent i EU och Norge bedöms resultera i ett läckage på 79 procent.

Variationerna i läckageeffekterna för de olika sortimenten beror på storleken på avverkningsminskningen, efterfrågans och utbudets priskänslighet och tidshorisont (kort- eller lång sikt). Resultaten visar att: (1) mer omfattande

avverkningsminskningar innebär generellt ett procentuellt lägre läckage, (2) högre priskänslighet på efterfrågan innebär ett lägre läckage medan (3) högre priskänslighet på utbudet innebär ett högre läckage, och (4) läckageeffekten är högre på kort sikt jämfört med på lång sikt. Häri ligger även förklaringen till det relativt höga läckageeffekten för brännved på kort sikt (72,4 procent). Brännved är virke av lägre kvalitet som tas ut vid till exempel gallringar och slutavverkningar. Den har en relativt hög utbudselasticitet vilket har en positiv inverkan på läckageeffektens storlek. Den relativt höga utbudselasticiteten innebär att brännved är mer priskänsligt jämfört med massaved och sågtimmer, det vill säga en prisförändring har ett relativt stort genomslag på utbudens volym av brännved.

#### **Dubbelriktad effekt som inte studerats**

Det är också viktigt att påpeka att läckage går åt båda hållen. Svenska skogs- eller klimatpolitiska åtgärder får konsekvenser i andra länder genom läckageeffekterna. Samtidigt får liknande åtgärder i andra länder konsekvenser i Sverige. Denna dubbelriktade inverkan har inte studerats överhuvudtaget. Till exempel, om Sverige minskar sin avverkning oavsett orsak, är det rimligt att det uppstår ett visst läckage till andra länder. Men om dessa länder samtidigt inför åtgärder som minskar deras avverkning förväntas det leda till ett läckage till Sverige. Vad nettoeffekten blir måste studeras från ett systemperspektiv.

# Summary

## **Relevance**

The forest contributes to the climate and energy transition. It binds carbon dioxide from the atmosphere as it grows, it replaces fossil-intensive materials and fuels at the same time that its further processed products contribute to increasing carbon stocks. In order to clarify and make visible the contribution of the forest, all the benefits of the forest must be internalized in the private economic decisions. This means that there may be a need for political governance, for example for climate-related measures to take place within forestry. In this context, it is important, if not decisive, that so-called leakage effects are taken into account.

## **Definition, occurrence and examples**

In the context of the report, a leak occurs if a climate policy measure, which results in a reduction in domestic felling, leads to increased felling in other countries. For example, if Sweden increases the number of forest areas that are exempted from felling (regardless of the reason), a leakage occurs if this is compensated by increased felling in other countries. The existence of leakage means that the effectiveness of a climate policy measures decreases. The report is based on leakage effects between countries and regions, normally with separate emission reports. But leakage can also occur within a country. For example, a reduced felling in Norrbotten can result in an increased felling in Västerbotten. To assess subnational leakage effects, new reliable data must be produced. Furthermore, assessments of leakage effects are normally based on differences in climate policy measures. That is, a unilateral climate policy can cause leakage effects. On the other hand, if countries have a common climate policy, any cost benefits disappear, and the leakage effect is reduced or disappears completely.

## **Purpose and selected levels for reduced felling**

The purpose of the report is to compile the state of knowledge regarding methods for quantifying the leakage effects of reduced Swedish forest felling and to discuss how different control instruments, measures and natural conditions affect the size of the leakage effect. Leakage effects are determined quantitatively for a reduced felling of 5, 10 and 20 percent respectively for sawn timber, pulpwood and firewood.

## **Estimated size and variation of leakage effects**

The results indicate relative methodologically robust leakage effects of between 23.7 and 27.3 percent for sawn timber, between 43.8 and 52.6 percent for pulpwood and between 25.6 and 72.4 percent for firewood. Studies for comparable countries, or regions, show leakage effects of the same order of magnitude. For example, a felling reduction in Norway would result in a leakage effect of between 60 and 100 percent depending on the size of the reduction in felling. Even at EU level, comparable studies show similar leakage effects. A reduced felling of 20 percent in the EU and Norway is estimated to result in a leakage of 79 percent.



The variations in the leakage effects for the different assortments depend on the size of the reduction in felling, the price sensitivity of demand and supply, and the time horizon (short or long term). The results show that: (1) more extensive felling reductions generally mean a lower percentage of leakage, (2) higher price sensitivity of demand means lower leakage, while (3) higher price sensitivity of supply means higher leakage, and (4) the leakage effect is higher in the short term compared to the long term. This also explains the relatively high leakage effect for firewood in the short term (72.4 percent). Firewood is wood of a lower quality that is removed during, for example, thinning and final felling. It has a relatively high supply elasticity, which has a positive impact on the size of the leakage effect. The relatively high supply elasticity means that firewood is more price sensitive compared to pulpwood and sawn timber, i.e. a change in price has a relatively large impact on the volume of supplied firewood.

### **Two-way effect not studied**

It is also important to point out that leakage goes both ways. Swedish forest or climate policy measures have consequences in other countries through the leakage effects. At the same time, similar measures in other countries have consequences in Sweden. This two-way effect has not been studied at all. For example, if Sweden reduces its felling for whatever reason, it is reasonable that there will be some leakage to other countries. But if these countries simultaneously introduce measures that reduce their logging, it is expected to lead to a leak to Sweden. The net effect must be studied from a system perspective.

# 1 Inledning

Skogen ger många samhällsnyttor. Målkonflikter mellan vissa skogliga samhällsnyttor gör analyser mer komplexa och understryker vikten av att transparent redovisa underliggande analytiska antaganden och ställningstaganden. Utgångspunkten måste vara att skogen är en begränsad resurs. Den räcker inte till allt som samhället vill använda den till. Därför blir avvägningar och prioriteringar oundvikliga, och det är inte alltid självklart att forskningen objektivt kan bidra med kunskap till politiska ställningstaganden.

Skogen lagrar koldioxid vilket gör den intressant ur ett klimatpolitiskt perspektiv. Den tillhandahåller också råvara och bränsle till skogsindustrin och energisektorn. Enligt Skogsstyrelsen (2022) var nettoavverkningen i Sverige 77 miljoner m<sup>3</sup>fub (preliminärt) medan Riksskogstaxeringen (2022) anger den årliga tillväxten på produktiv skogsmark till cirka 90 miljoner m<sup>3</sup>fub (107 miljoner m<sup>3</sup>sk) med en naturlig avgång kring 11,8 miljoner m<sup>3</sup>fub (14,1 miljoner m<sup>3</sup>sk). Naturvårdsverket (2022) rapporterar i Sveriges nationella utsläppsinventering ett nettoupptag från markanvändning av skogsmark (LULUCF) år 2020 till strax över 38 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Skogens nettoupptag har legat relativt konstant sedan 1990.<sup>1</sup> Skogens kolbalans påverkas av många mekanismer som kan knytas till sociala, samhälleliga och naturliga processer. Nettoutfallet beror på vilka systemgränser och metod som tillämpas.

Ett problem som kan uppstå om styrmedel implementeras med syfte att öka skogens kolinlagring, eller för att minska avverkningen, är att ett så kallat läckage kan uppstå. Termen läckage används för enskilda skogsrelaterade program, normalt implementerade inom ramen för olika REDD+ eller LULUCF-aktiviteter. Läckage från dessa aktiviteter definieras av IPCC (2000) som den indirekta inverkan som en aktivitet på en viss plats och tidpunkt har på kolförrådet på andra platser eller tidpunkter. Det har även definierats som den oväntade ökningen eller minskningen av utsläpp utanför projektets ”bokföringsgränser” som ett resultat av olika aktiviteter. Läckage kan även uppstå från andra typer av systemgränser. Det kan uppstå om skogsindustrins behov av råvara tillfredsställs genom att avverkning flyttas från ett skogsbestånd (som undantagits från avverkning) till ett annat inom samma land, eller om den minskade inhemska avverkningen kompenseras av en ökad import från omvärlden. Från skogliga förhållanden kan läckageeffekter därmed bedömas utifrån ett klimat- eller från ett avverkningsperspektiv. De är sammankopplade men uttrycker läckaget i olika termer. Ett utsläppsläckage (klimatperspektivet) innebär att klimatpolitiska åtgärder med syfte att öka skogens klimatnytta inte får fullt genomslag på grund av aktivitets- eller marknadsförskjutande aktiviteter. Ett avverkningsläckage innebär att politiska åtgärder som leder till en minskad avverkning i Sverige förskjuter avverkningsvolymerna till andra länder<sup>2</sup>. De olika typerna av läckage kan omvandlas sinsemellan givet kännedom om omvandlingsfaktorer.

<sup>1</sup> Preliminära siffror för 2021 från Naturvårdsverket indikerar ett minskat nettoupptag i LULUCF-sektorn på grund av hög avverkning, lägre tillväxt och hög naturlig avgång.

<sup>2</sup> Givet att kvantitativa mått på utbuds- och efterfrågeelasticiteter tas fram på subnationell nivå, t.ex. länsnivå, kan även läckageeffekter inom Sverige beräknas.

Tidigare forskning visar på stor spridning av läckageeffekter, beroende på studerad region, metodval och typ av läckage. Sveriges totala utsläppsläckage har estimerats till 18,1 procent av de totala nationella utsläppen (Peters och Hertwich, 2008). Avverkningsläckage i Norge har uppskattats till mellan 60 och 100 procent vid en minskad avverkning (Kallio och Solberg, 2018). Det innebär att varje kubikmeter av rundvirke minskad avverkning förskjuts så att avverkning i andra länder ökar med mellan 0,6 och en kubikmeter.

Nationella eller internationella styrmedel kan resultera i läckage.<sup>3</sup> Till exempel, ett läckage kan uppstå om Sverige inför ett unilateralt styrmedel i syfte att minska utsläppen av koldioxid men som en konsekvens förskjuts (flyttar) utsläppen bara till andra länder. Läckage riskerar därmed att urholka effekten av styrmedel, speciellt om de är unilaterala. Det är därmed också viktigt att inkludera läckageeffekter för att inte över- eller underskatta (klimat)nyttan av olika styrmedel. Styrmedel som ger upphov till läckage behöver inte vara direkt kopplade till klimatpolitiken. Det kan röra sig om unilaterala klimatpolitiska styrmedel som ger ökade kostnader för företaget som släpper ut koldioxid. Läckageeffekter uppstår om de högre kostnader innebär att företagen (geografisk) flyttar sin produktion så att den inte längre omfattas av styrmedlet, eller om de resulterar i en ökad import. I båda fallen minskar utsläppen där det klimatpolitiska styrmedlet tillämpas men ökar på andra ställen, läckage uppstår. Det kan också röra sig om ett skogspolitiskt styrmedel som avser öka skogens kolinlagring. Som en konsekvens påverkas den inhemska råvaruförsörjningen och exporten av skogsprodukter. Även här kan företagen på kort sikt välja att minska sin produktionsnivå eller att öka importen av skogsråvara. På längre sikt kan de även välja att flytta ut produktionen till andra länder. Samtliga val har läckageeffekter.

Under senaste tiden har klimattullar på import diskuterats som ett sätt att minska utsläppsläckage, framför allt inom EU. Argumentet är att en importtariffen sätts på importerade varor (och tjänster) motsvarande det klimatpolitiska styrmedel som belastar de inhemska producenterna. Konkurrensen snedvrids därmed inte, det vill säga inhemska och internationella producenter konkurrerar på lika villkor. Huruvida skogsprodukter kommer att ingå är osäkert. Även styrmedel för att minska efterfrågan diskuteras, t.ex. genom ökad återvinning med lägre resursförbrukning som följd. Även innovations- och teknikutvecklingsstöd kan bidra till att minska resursförbrukningen. Sammantaget innebär en minskad efterfrågan på virke att läckageeffekten vid en minskad avverkning blir mindre. Men det förutsätter att efterfrågan minskar globalt eftersom de svenska skogsindustrierna verkar på globala marknader.

## 1.1 Uppdraget

Rapporten har gjorts på uppdrag av Skogsstyrelsen och omfattar följande tre delar:

1. Sammanställa kunskapsläget kring potentiella metoder för att möjliggöra kvantifiering av nationella och internationella läckageeffekter av minskad svensk skogsavverkning. Sammanställningen ska särskilt identifiera om

---

<sup>3</sup> Även lokala och regionala regleringar kan ge upphov till utsläppsläckage på beståndsnivå.

- val av styrmedel<sup>4</sup>, åtgärd<sup>5</sup> eller naturgivna förutsättningar<sup>6</sup> påverkar läckageeffektens storlek.
2. Kvantitativt estimeras nationella och internationella läckageeffekter av minskad svensk avverkning på 5, 10 respektive 20 procent. Skattningen och kvantifiering av läckageeffekter av minskad svensk skogsavverkning fördelas på sortimenten sågtimmer, massaved och brännved (primärt skogsbränsle exklusive grot).
  3. Redogöra för brister kopplade till kvantitativt estimeringar av läckageeffekter. Till exempel, bristande kunskap och statistik om korspriselasticitet, substituerbarhet eller andra ekonomiska eller skogliga variabler som är nödvändiga för att skatta läckageeffekter.

## 1.2 Rapporten disposition

Rapporten börjar med att ge en bakgrundbeskrivning av svensk skog och skogsmark, skogsrelaterade klimateffekter och styrmedel. Avsikten är att ge läsaren ett kontextuellt sammanhang till den efterföljande analysen. I kapitel 3 fortsätter rapporten med att konceptuellt beskriva läckage och definiera olika typer av läckage. De teoretiska resonemangen utvecklas mer konkret i kapitel 4 där tre olika perspektiv på läckage och dess bestämningsfaktorer förklaras. Tidigare forskning, med fokus på läckageeffekter från skogsbruk, presenteras i kapitel 5. En genomgång av litteraturen genomförs i kapitel 5 med förklaringar till tentativa orsaker till den uppvisade variationen i läckageestimatet. Ingen formell meta-analys genomförs dock. Kapitel 6 presenterar fastställandet av parametervärden, resultaten av modellsimuleringen, känslighetsanalyser av parametervärdena samt en kvalitativ styrmedelsanalys. Slutligen presenteras slutsatserna i kapitel 7.

---

<sup>4</sup> Exempelvis ekonomiskt stöd, skatter, avgifter, rådgivning, formellt skydd, frivilliga avsättningar m.m.

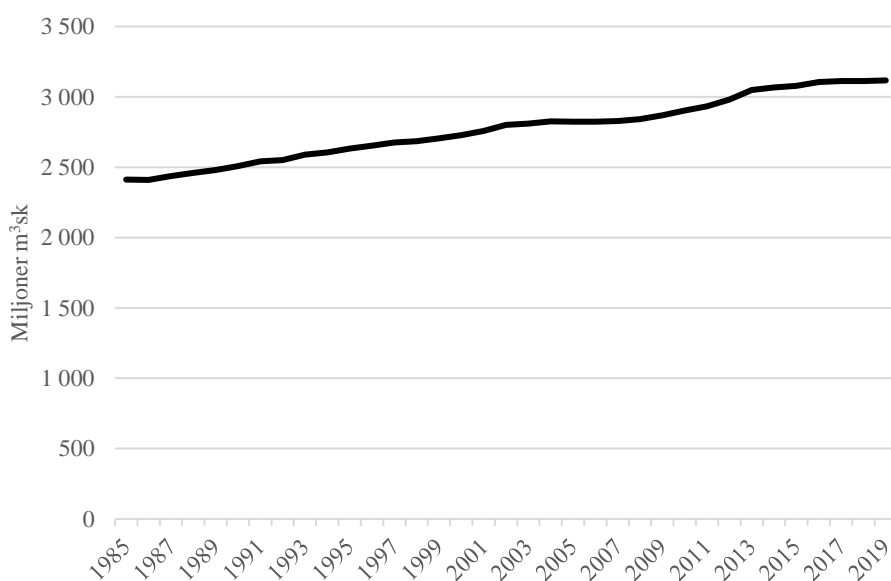
<sup>5</sup> Exempelvis avsättning av skog för naturvårdsändamål, förlängd omloppstid m.m.

<sup>6</sup> Exempelvis om skogsbestånd med höga naturvärden inverkar.

## 2 Svensk skogsmark och skogsbruk

Av Sveriges totala landareal på 40,7 miljoner hektar utgör skogsmark 27,9 miljoner hektar varav 23,4 miljoner hektar är produktiv skogsmark (Riksskogstaxeringen, 2022). Sedan 1900-talets början har virkesförrådet på produktiv skogsmark ökat. Figur 1 illustrerar virkesförrådet levande träd på produktiv skogsmark utanför formellt skyddade områden mellan 1985 och 2019. Under perioden har virkesförrådet ökat från 2,4 till 3,1 miljarder m<sup>3</sup>sk, en ökning med strax över 29 procent (virkesförrådet inom formellt skyddade områden låg år 2019 på 3,3 miljarder m<sup>3</sup>sk). En avgörande anledning till denna utveckling är produktions- och tillväxtbefrämjande skogsskötsel. Virkesförrådet per hektar uppgår till 141 (142) m<sup>3</sup>sk per hektar utanför (inom) formellt skyddade områden.

Svenska skogar består mestadels av barrskog (81,3 procent) ungefär jämnt fördelat mellan tall- och granskogar. Andelen lövskogar har ökat under senare tid och utgjorde 2019 cirka 18,5 procent av virkesförrådet på produktiv skogsmark utanför formellt skyddade områden.

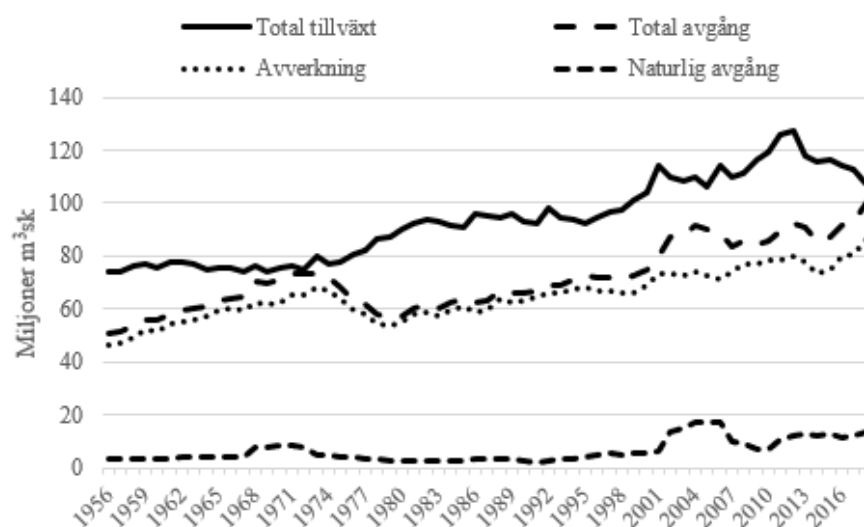


**Figur 1: Virkesförråd på produktiv skogsmark utanför formellt skyddade områden i Sverige 2005–2019 alla diameterklasser (miljoner m<sup>3</sup>sk)**

Källa: Riksskogstaxeringen (2022).

Figur 2 illustrerar den totala årliga tillväxten, totala årliga avgången, totala årliga avverkningen och total årlig naturlig avgång på produktiv skogsmark utanför formellt skyddade områden. Avverkningen har ökat från 46,7 till 86,4 miljoner m<sup>3</sup>sk mellan 1956 och 2018, motsvarande en ökning på 85 procent. Under samma period ökade den totala tillväxten från 74,1 till 107 miljoner m<sup>3</sup>sk, motsvarande en ökning på 44,4 procent. De naturliga avgångarna har legat relativt konstant fram till början av 2000-talet då omfattande stormfällningar skedde. Men nivån på naturliga avgångar verkar ha stabiliserats på en högre nivå efter det. Om de naturliga avgångarna adderas till avverkningen skiljer sig den totala tillväxten och den totala avgången med 6,5 miljoner m<sup>3</sup>sk. Slutavverkning står för den största delen av den avverkade volymen (66 procent) medan gallring är den arealmässigt

vanligaste avverkningsåtgärden (årligen 306 000 hektar) följt av röjning (272 000 hektar) och slutavverkning (231 000 hektar). Gran är det vanligaste trädslaget som avverkas, motsvarande 56 procent av den avverkanse volymen. Tall och lövträd står för 33 respektive 11 procent av den avverkanse volymen.



**Figur 2: Total årlig tillväxt, total årlig avgång, total årlig avverkning och total årlig naturlig avgång på produktiv skogsmark utanför formellt skyddade områden i Sverige 1956–2018 (miljoner m<sup>3</sup>sk).**

*Källa: Riksskogstaxeringen (2022).*

SCB (2022) sammanställer arealstatistik för formellt skyddad skogsmark, frivilliga avsättningar, hänsynsytor samt improduktiv skogsmark. Tabell 1 presenterar antal hektar för de olika typerna för 2018–2021. Totalt har cirka 26 procent av all skogsmark och cirka 13 procent av all produktiv skogsmark i Sverige någon form av avverkningsbegränsning. Totalt har Sverige cirka 2,4 miljoner hektar formellt skyddad skogsmark, fördelat på cirka en miljon hektar improduktiv och cirka 1,3 miljoner hektar på produktiv skogsmark. De frivilliga avsättningarna utgör cirka 1,3 miljoner medan hänsynsytor utgör cirka 0,5 miljoner hektar.

**Tabell 1: Formellt skyddad skogsmark, frivilliga avsättningar, hänsynsytor och improduktiv skogsmark i Sverige 2018–2021 (hektar)**

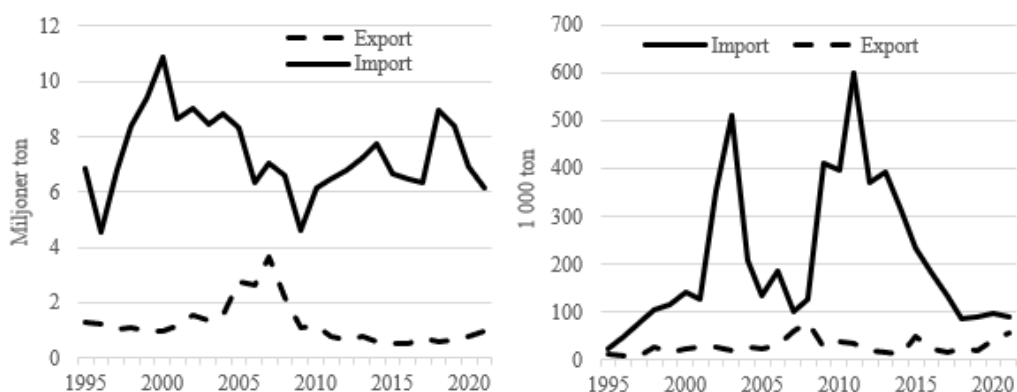
<b>Skogsmark</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<i>Formellt skyddad skogsmark</i>	2 335 400	2 352 700	2 350 400
<i>Frivilliga avsättningar</i>	1 231 400	1 280 200	1 277 400
<i>Hänsynsytor</i>	419 600	444 400	469 200
<i>Improduktiv skogsmark</i>	3 124 300	3 097 800	3 097 800
<b>Total</b>	<b>7 110 700</b>	<b>7 175 100</b>	<b>7 194 800</b>
<i>Andel</i>	25,5%	25,7%	25,8%
<b>Produktiv skogsmark (varav)</b>			
<i>Formellt skyddad skogsmark</i>	1 381 800	1 395 200	1 313 200
<i>Frivilliga avsättningar</i>	1 231 400	1 280 200	1 277 400
<i>Hänsynsytor</i>	419 600	444 400	469 200
<i>Improduktiv skogsmark</i>	0	0	0
<b>Total</b>	<b>3 032 800</b>	<b>3 119 800</b>	<b>3 059 800</b>
<i>Andel</i>	13,0%	13,3%	13,1%

Källa: SCB (2022).

Virkesförrådet på skogsmark inom formellt skyddade områden bedöms ligga på 279 miljoner m<sup>3</sup>sk, motsvarande åtta procent av det totala virkesförrådet (SLU, 2022). De skyddade områdena har ett lägre virkesförråd jämfört med skogsmark utanför dessa områden, 101 m<sup>3</sup>sk jämfört med 130 m<sup>3</sup>sk per hektar. Av den totala ökningen av virkesförrådet på skogsmark i Sverige står formellt skyddade områden för cirka 20 procent. Den årliga tillväxten på skogsmark inom formellt skyddade områden uppgår till cirka 4,7 miljoner m<sup>3</sup>sk, motsvarande cirka fyra procent av Sveriges totala tillväxt på skogsmark. Den naturliga avgången ligger på 1,6 miljoner m<sup>3</sup>sk per år, motsvarande cirka tio procent av den totala naturliga avgången på skogsmark i Sverige. Även en viss avverkning sker på skogsmark inom de formellt skyddade områdena. SLU (2022) bedömer denna avverkning till cirka 0,5 miljoner m<sup>3</sup>sk per år, vilket motsvarar 0,5 procent av den totala avverkningen i Sverige eller 0,2 procent av det totala virkesförrådet inom de formellt skyddade områdena.

Merparten av den svenska avverkningen av rundvirke konsumeras av skogsindustrierna i Sverige. Mellan 1995 och 2021 importerade Sverige i genomsnitt 7,4 miljoner ton rundvirke per år, vilket grovt omräknat motsvarar cirka 9,3 miljoner m<sup>3</sup>f.<sup>7</sup> Under samma period exporterades i genomsnitt 1,2 miljoner ton (1,5 miljoner m<sup>3</sup>f) rundvirke per år. Figur 3a illustrerar den årliga importen och exporten av rundvirke och grovt kanthugget virke. Importen minskade medan exporten ökade efter de stora stormfällningarna som skedde i mitten av 2000-talet. Sverige importerade i genomsnitt cirka 209 tusen ton brännved per år (261 tusen m<sup>3</sup>f) och exporterade cirka 28 tusen ton brännved per år (35 tusen m<sup>3</sup>f). Figur 3b illustrerar den årliga importen och exporten av brännved och träkol. Även här kan stormfällningarna i mitten av 2000-talet tydligt utläsas. En kraftig minskning av importen har även skett efter 2015. Som andel av den inhemska avverkningen motsvarar importen cirka 10,8 procent och exporten cirka 1,7 procent.

<sup>7</sup> Med en omräkningsfaktor på 0,800 ton per m<sup>3</sup>f.

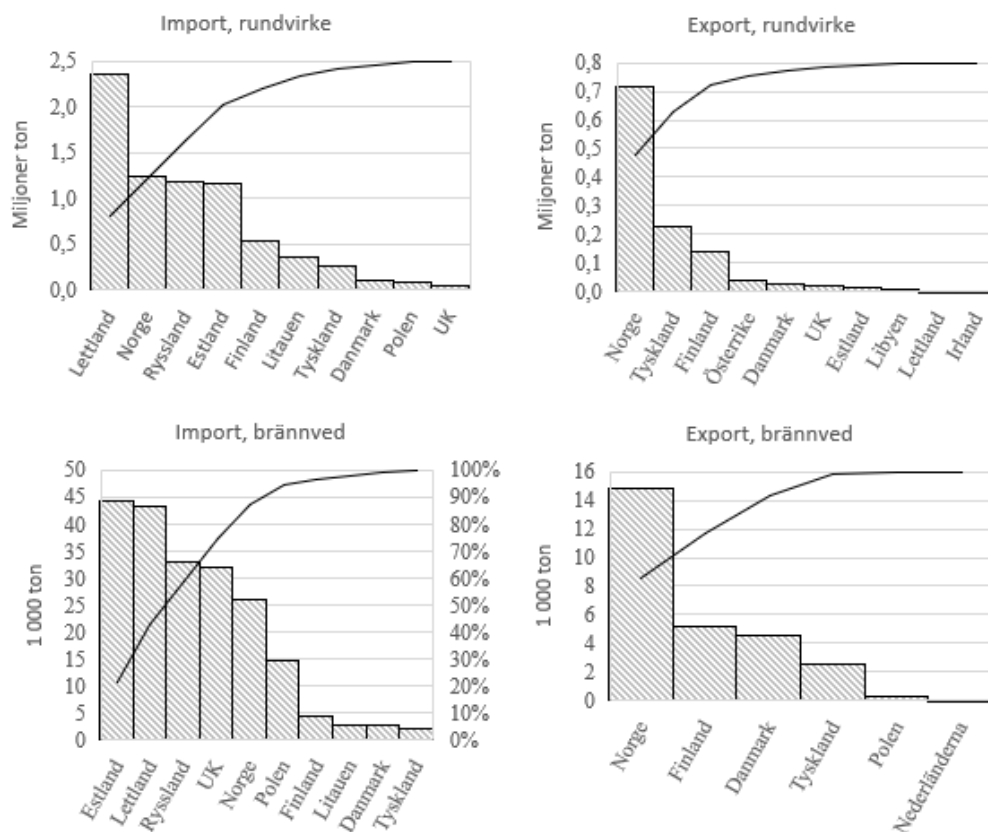


**Figur 3: Import till och export från Sverige av (a) rundvirke och grovt kanthugget virke (miljoner ton) och (b) brännved och träkol (1 000 ton), 1995–2021**

*Källa: SCB (2022).*

Sverige har ett begränsat antal storskaliga handelspartners av rundvirke och brännved. Figur 4 illustrerar de genomsnittliga importerade och exporterade kvantiteterna (och andelar) av rundvirke och brännved av Sveriges största handelspartners för perioden 1995–2021. I samtliga fall är det närliggande länder som Sverige handlar mest med. Lettland, Norge, Ryssland, Estland och Finland står för cirka 90 procent av import av rundvirke medan Norge, Tyskland och Finland tar emot för cirka 73 procent av exporten. Sverige importerar brännved primärt från Estland, Lettland, Ryssland, Storbritannien och Norge (cirka 90 procent), medan Norge, Finland, Danmark och Tyskland tar emot nästan 100 procent av den svenska exporten av brännved.





**Figur 4: Sveriges tio största handelspartners av import och export av (a) rundvirke och grovt kanthugget virke (miljoner ton) och (b) brännved och träkol (1 000 ton), 1995–2021**  
 Källa: SCB (2022).

## 2.1 Skogsrelaterade klimateffekter

Skogliga kolsänkor är inkluderade i de uppsatta klimatpolitiska målen och beräknade utsläppsbanorna. Skogsmarken lagrar kol i den levande biomassen (exempelvis träd och rotsystem) och i marken. Den släpper ut kol genom naturlig nedbrytning och dränerade torvmarker som används för skogsbruk.

Naturvårdsverket (2022) rapporterar i Sveriges nationella utsläppsinventering att skogen hade ett nettoupptag på cirka 38,3 miljoner ton koldioxidekvivalenter 2020. Utöver detta har cirka 7,4 miljoner ton koldioxidekvivalenter lagrats i avverkade träprodukter. Nettoinlagringen på skogsmark och i träprodukter är därmed sammantaget 45,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Skogsmarkens upptag fördelas mellan levande biomassa (31,1 miljoner ton koldioxidekvivalenter), mineraljord (11 miljoner ton koldioxidekvivalenter) och dött organiskt material (3,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter). Avgångarna fördelas mellan dikad torvmark (organogena jordar) (5,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter) och övriga utsläpp (1,4 miljoner ton koldioxidekvivalenter).

## 2.2 Klimatrelaterade styrmedel och mekanismer för skogsbruket

Klimatpolitiken är utformade för att minska utsläppen av växthusgaser, med fokus på fossil koldioxid. Sverige har nationella klimatpolitiska mål och styrmedel, EU-relaterade målsättningar och styrmedel samt internationella åtaganden att förhålla

sig till. Många av dessa berör skogsbruket. Ramarna för svensk klimatpolitik påverkas i hög grad av EU-beslut.

### **2.2.1 Internationellt**

I Parisavtalet enades världens länder i ett nytt klimatavtal. Premissen är att begränsa den globala uppvärmningen genom att minska utsläppen av växthusgaser. Avtalet förtydligar och konkretiserar FN:s klimatkonvention och stipulerar att den globala temperaturökningen ska hållas under 2°C med en strävan att hålla den under 1,5°C. Artikel 5 i Parisavtalet uppmuntrar länder att bevara, och om möjligt förstärka, kolsänkor inklusive skogar. Vidare uppmuntrar artikeln länder att bland annat genomföra och finansiera frivilliga system med syfte att förhindra avskogning i utvecklingsländerna. Skogen är även inkluderad i FN:s klimatkonvention gällande beräkningar av upptag och utsläpp av växthusgaser kopplat till skogsbruk samt i de stöd som kan ges till länder för att minska avskogning.

REDD (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation) är en incitamentbaserad mekanism för att kompensera länder som kan uppvisa vederlagda utsläppsminskningar från avskogningen, skogsförstörning och förbättring av markbundna kollager (Kuik, 2014). Mekanismen utvecklades under FN:s klimatkonvention. Ett antal studier har funnit att REDD-projekt är ett relativt kostnadseffektivt sätt att minska utsläppen av växthusgaser jämfört med åtgärder inom energiintensiva sektorer (e.g., Kim m.fl., 2014; Kuik, 2014). Mekanismer som REDD riktade mot utvecklingsländer kan dock få oavsiktliga konsekvenser för skogssektorn i andra länder. Genom sin utformning innebär ett framgångsrikt REDD-projekt<sup>8</sup> en minskad avskogning som resulterar i ett minskat utbud av virke och stigande virkespriser i deltagande utvecklingsländer. Prisökningen kan i sin tur resultera i utbudsökningar av virke utanför projektets geografiska gränser. Det är därför viktigt att fastställa omfattningen och storleken av dessa effekter eftersom de motverkar den initiala ambitionen att minska avskogningen. Sedan 2008 har utvecklingsländer, speciellt de i tropiska regnskogsregioner, gradvis implementerat REDD-projekt. Implementeringen av REDD-relaterade styrmedel står inför en rad utmaningar, bl.a. begränsade investeringsmedel, brister i offentlig styrningskapacitet, korruption, obeständigheten i kolupptagen över tiden (Agrawal m.fl., 2011). Även läckageeffekter bedöms vara en stor utmaning med REDD-relaterade projekt. Men möjligheten till utsläppsläckage behöver inte vara ett hinder för att genomföra REDD-aktiviteter, såvida nettoeffekten på klimatnyttan inte reduceras alltför kraftigt.

---

<sup>8</sup> REDD+ inom ramen för UNFCCC avser nationella eller subnationella (regionala) ansatser inom en övergångsperiod.

Inom ramen för Kyotoprotokollet kan en åtgärd för att reducera avverkningen av virke i ett Annex I land<sup>9</sup> med syfte att minska utsläpp enligt Artikel 3.3<sup>10</sup> och 3.4<sup>11</sup> resultera i utsläppsläckage om det minskade utbudet av virke innebär en ökad avskogning i ett non-Annex I land<sup>12</sup>. På motsvarande sätt kan klimatnyttan av en minskad avverkning läcka inom Annex I länder som ett resultat av påtvingad ökning av aktiviteter som inte är inkluderade i Kyoto-avtalet redovisningsystem, till exempel avverkning på arealer som förblir skogbevuxet. Denna typ av utsläppsläckage är bara ett problem om aktiviteten förskjuts till ett land som inte har en heltäckande inventering av sina utsläpp eller ett nationellt utsläppstak (e.g., non-Annex I länder).

Läckage skulle inte vara ett problem om varje land mäter och redovisar varje flöde av växthusgaser inom sina gränser på samma sätt. Eventuella läckageeffekter av klimatpolitiska åtgärder eller av enskilda klimatkompensationsprojekt i ett område skulle därmed registreras i andra områdets redovisningsystem av växthusgaser. Men under principen ”gemensam men differentierat ansvar”<sup>13</sup> i FN:s Klimatkonvention (UNFCCC, 1992) har utvecklade länder under Kyotoprotokollet bindande restriktioner för sina utsläpp av växthusgaser medan utvecklande länder inte har det. Detta differentierade tillvägagångssätt skapar risk för läckage eftersom världens ekonomier är alltmer sammankopplade. Förändringar i ekonomisk aktivitet och priser sprider sig lokalt och i omvärlden. Utan en heltäckande övervakning kan utsläppsminskningar från en geografiskt avgränsad åtgärd mätas, medan förskjutna utsläppsökningar utanför gränserna kanske inte kan mätas.

## 2.2.2 EU

I EU:s klimatlag är utsläppen av växthusgaser uppställda som nettomål, det vill säga utsläpp minus upptag. Målsättningen är att nettoutsläppen ska minska med minst 55 procent jämfört med 1990 års nivå fram till 2030 och med ett långsiktigt mål om klimatneutralitet till 2050 och negativa nettoutsläpp efter det (EU, 2021a).

EU:s klimatpolitik är uppbyggd runt tre system: EU ETS (utsläppshandel), ESR (förordning om ansvarsfördelning) och LULUCF (markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk). Utsläpp från energiintensiva industrier, större energianläggningar och flyg inom EU omfattas av EU ETS. De sektorer som inte omfattas av EU ETS faller under ESR. LULUCF omfattar kollager i skog och mark samt i träprodukter. Sektorernas utsläppsmål sätts centralt men styrningen skiljer sig åt. EU ETS är ett centralt styrmedel som omfattar alla medlemsstater

<sup>9</sup> Annex I länder inkluderar industrialiserade länder som varit medlem av OECD 1992, plus länder med övergångsekonomier (EIT-länder), inklusive Ryssland, de Baltiska staterna och flera central- och östeuropeiska stater.

<sup>10</sup> Artikel 3.3 i Kyotoprotokollet säger att beskogning och återplantering beaktas för att uppfylla Kyotoprotokollets utsläppsmål medan utsläpp från avskogning ska dras bort från mängden utsläpp ett Annex I land har under sin åtagandeperiod.

<sup>11</sup> Artikel 3.4 i Kyotoprotokollet säger att länder kunde välja ytterligare aktiviteter relaterade till LULUCF att inkludera i sin utsläppsredovisning under den första åtagandeperioden, t.ex. skogsförvaltning, förvaltning av jordbruksmark och betesmark och återväxt.

<sup>12</sup> Icke-Annex I länder är mestadels utvecklingsländer.

<sup>13</sup> Fritt översatt från “...common but differentiated responsibilities...” från artikel 3 i FN:s klimatkonvention (UNFCCC, 1992).

medan utsläppsminskningarna inom ESR och LULUCF tillåter nationellt anpassade styrmedel för att nå målsättningen.

För att öka kostnadseffektiviteten tillåts en viss begränsad överföring av utsläppsutrymmena mellan EU ESR och LULUCF-sektorerna. Om ett medlemsland inte uppfyller sitt mål för LULUCF kan underskottet täckas genom ett överskott i ESR eller genom ett köp av överskott från andra medlemsländers LULUCF. Om ett medlemsland har ett ökat nettoupptag av koldioxid inom LULUCF finns möjlighet att överföra en begränsad mängd av detta överskott till ESR. För hela EU är dessa överföringar begränsade till 262 miljoner ton koldioxidekvivalenter under perioden 2021–2030. För Sverige är överföringar begränsade till 4,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Utöver överföringar finns det en möjlighet att spara överskott i LULUCF till den andra perioden (2026–2030).

### 2.2.2.1 EU ETS (utsläppshandelssystem)

EU ETS (EU Emission Trading System) inrättades 2005 med målet att minska utsläppen av växthusgaser genom att sätta ett pris på utsläppen. Systemet har utvecklats över tiden och är nu inne i sin fjärde handelsperiod som sträcker sig till 2030. Det omfattar cirka 13 000 anläggningar i hela EU, varav cirka 750 i Sverige, motsvarande cirka 45 procent av de totala utsläppen av växthusgaser inom EU. Regleringen av EU ETS kan sammanfattas av följande punkter (Naturvårdsverket, 2022):

- Utsläppstaket bestäms av EU, det vill säga den totala mängden utsläpp av växthusgaser som tillåts inom EU.
- Utsläppsrätter motsvarande utsläppstaket fördelas antingen genom auktionsförsäljning eller gratis till berörda deltagare.
- Varje utsläppsrätt ger deltagaren rätt att släppa ut ett ton av koldioxid.
- Deltagarna måste varje år redovisa sina utsläpp och överlämna utsläppsrätter motsvarande den mängden.
- Deltagarna kan köpa och sälja utsläppsrätter mellan varandra.

Eftersom deltagarna kan handla med utsläppsrätter skapas en efterfrågan och ett utbud som tillsammans sätter ett marknadspris på utsläppsrätterna, och indirekt ett pris på utsläpp av växthusgaser.

Vid höga utsläppspriser kan den relativa kostnaden för utsläpp i länder utanför EU minska. Det som är en effektiv klimatpolitik för EU, det vill säga som minskar utsläppen inom EU, kan därmed innebära ökade utsläpp på andra ställen. Om så är fallet ger EU ETS upphov till ett läckage. Emellertid, den vetenskapliga litteraturen indikerar att EU ETS har gett upphov till relativt små läckageeffekter.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Sartor (2013) undersöker läckageeffekter av EU ETS för aluminiumindustrin, Branger m.fl. (2016) gör motsvarande undersökning för cement och stålsektorn medan Naegele och Zaklan (2019) gör det för tillverkningsindustrin.

### 2.2.2.2 LULUCF (markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk)

EU:s LULUCF-förordning fastställer medlemsländernas åtaganden och regler för bokföring av utsläpp och upptag av växthusgaser inom markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk (EU, 2018). Rapporteringen delas upp i flera markbokföringskategorier. För skog är de relevanta kategorierna beskogad mark, avskogad mark och brukad skogsmark (inklusive avverkade träprodukter). Kategorierna använder olika bokföringsregler för utsläppen och upptag, och inkluderar förändringar i kollagret av biomassa ovan respektive under jord, förna, död ved, organiskt kol i mark och avverkade träprodukter. Biobränslen anses vara koldioxidneutrala i energisektorn eftersom deras utsläpp bokförs i LULUCF-sektorn vid avverkning.

För beskogad mark och avskogad mark bokförs hela upptaget och utsläppen under de senaste 20 eller 30 åren. Brukad skogsmark är den kategori med de högsta kolflödena. För denna kategori fastställer medlemsländernas s.k. skogliga referensnivåer för årliga nettoinlagring i skogen, det vill säga en referens mot vilken man bokför utsläppsförändringar. För perioden 2021–2025 är Sveriges referensnivå 38,72 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år (EU, 2021b), vilket kan jämföras med det årliga nettoupptaget av svensk skog under perioden 2000–2009 på igenomsnitt 39,55 miljoner ton koldioxidekvivalenter.

Referensnivån utgår från ett framåtblickande referensscenario över upptag och utsläpp. Grundregeln är att medlemsländerna inte får ändra sitt skogsbruk och markanvändning så att nettoupptaget av växthusgaser minskar jämfört med referenssceneriet. Detta innebär exempelvis att om utsläppen från markanvändningen ökar måste dessa utsläpp kompenseras med en ökad inlagring av kol i skog, mark eller träprodukter. Men det finns utrymme för medlemsländer att tillfälligt öka sin avverkning, förutsatt att de totala utsläppen inom EU inte överstiger de totala upptagen i LULUCF-sektorn genom att föra över enheter från ESR, köpa enheter från ett annat land eller föra över från första perioden (2021–2025) till andra perioden (2026–2030).

Ett förslag har tagit fram av Europeiska kommissionen att det totala nettoupptaget inom LULUCF-sektor ska uppgå till 310 miljoner ton koldioxidekvivalenter fördelat mellan medlemsländerna som årliga nationella mål för perioden 2026–2030 (EC, 2021). Sveriges andel föreslås till strax över 47 miljoner ton koldioxidekvivalenter till år 2030. Samtidigt signalerar EU Kommissionen att nettoupptaget måste öka ytterligare på sikt för att målet om klimatneutralitet till 2050 ska nås. För detta bedömer EU Kommissionen ett nettoupptag på cirka 500 miljoner ton koldioxidekvivalenter som nödvändigt.

### 2.2.2.3 ESR (ansvarsfördelningsförordning)

EU:s ansvarsfördelningsförordning (ESR) reglerar utsläppen inom sektorer som inte omfattas av EU:s utsläppshandelssystem, det vill säga från byggnader, jordbruk, avfallshantering, transporter samt småskalig industri. Den nuvarande perioden löper 2021–2030 och stipulerar att utsläppen från berörda sektorer ska minska med 30 procent jämfört med 2005 års nivåer. Varje medlemsland tilldelas ett utrymme att minska utsläppen med mellan noll och 40 procent i nationellt

bindande mål baserat på BNP per capita. Sverige har tillsammans med Luxemburg det skarpaste utsläppsmålet om en minskning på 40 procent.

I en revidering av ESR föreslår EU Kommissionen att det övergripande målet skärps till 40 procent och att samtliga medlemsländer bidrar till ambitionshöjningen. De nationella målen skärps därmed också till mellan tio och 50 procent utsläppsminskning. Enligt förslaget ska målen fortsatt fördelas utifrån BNP per capita med viss justering för kostnadseffektivitet.

### 2.2.3 Sverige

Sveriges långsiktiga mål är att ha nettonollutsläpp av växthusgaser till 2045. Utsläppen från ESR och de anläggningar i Sverige som berörs av EU ETS får då högst uppgå till 15 procent av utsläppsnivå från 1990 om så kallade kompletterande åtgärder i enlighet med internationellt beslutade regler genomförs. De kompletterande åtgärderna avser (i) ökat nettoupptag av koldioxid i skog och mark (LULUCF), (ii) avskiljning och lagring av biogen koldioxid (BECCS) och (iii) utsläppsminskningar genom åtgärder i andra länder. Etappmålen för den svenska ESR-sektorn är att utsläppen 2030 ska vara 63 procent lägre än 1990 varav kompletterande åtgärder får stå för högst 8 procentenheter av minskningen. År 2040 ska utsläpp vara 75 procent lägre, varav kompletterande åtgärder får stå för högst 2 procentenheter av minskningen.

Utöver detta har Sverige även ett särskilt mål för utsläpp av inrikestransporter (luftfart exkluderat). Till 2030 ska dessa utsläpp minska med 70 procent jämfört med 2010. För att nå målsättningen fokuserar den svenska klimatpolitiken på ESR-sektorns fossila utsläpp av koldioxid, inte biogena. Reduktionsplikten, som riktas mot förnybara drivmedel, samt den svenska bränslebeskattningen är viktiga styrmedel. Reduktionsplikten innebär att utsläppen av växthusgaser per energienhet från drivmedlet ska minska sett ur ett livscykelperspektiv. Däremot finns det i princip inga direkta styrmedel för att öka kolinlagringen i skog, mark och långlivade träprodukter. Eftersom utsläpp från biobränsle inte omfattas av EU ETS eller beskattas på sitt kolinnehåll stimuleras snarare efterfrågan av biobränsle.

Av de 16 miljö kvalitetsmålen handlar Levande skogar specifikt om skogen, även om andra miljö kvalitetsmål berör skogen. Enligt detta mål ska skogens och skogsmarkens värde för biologisk produktion skyddas, samtidigt som den biologiska mångfalden bevaras samt kulturmiljö värden och sociala värden värnas. Inom ramen för Levande skogar har det fastställts nio preciseringar som utvärderas i uppföljningsarbetet: (1) skogsmarkens egenskaper och processer, (2) ekosystemtjänster, (3) grön infrastruktur, (4) gynnsam bevarandestatus och genetisk variation, (5) hotade arter och återställda livsmiljöer, (6) främmande arter och genotyper, (7) genetiskt modifierade organismer, (8) bevarade natur- och kulturmiljö värden, samt (9) friluftsliv.

### 3 Vad är läckage

En effektiv klimatpolitik ur ett skogligt perspektiv förknippas med flera utmaningar. Fokus i denna rapport ligger på läckageeffekter men det kan även vara värt att kortfattat nämna närliggande huvudutmaningar:

- **Additionalitet** innebär att klimatåtgärder specifikt riktade mot att öka kolinlagringen måste resultera i en kolinlagring över den nivå som skulle ha skett utan åtgärden. Att fastställa den utsläppsnivå (basscenario) som sker utan åtgärden är centralt. Den påverkas av faktorer som är svåra att fastställa på förhand, t.ex. val av skogsbruksmetod, effekter av framtidens klimat och andra riskfaktorer. Även förekomsten av asymmetrisk information mellan beslutsfattare och skogsägare påverkar fastställandet av basscenarioet.
- **Permanens** relaterar till hur bestående en åtgärd är. Det kan röra sig om risken för att en ackumulerad kolinlagring kan återgå till atmosfären av naturliga störningar (t.ex. skogsbränder) eller avverkning, eller som ett resultat av förändrad markanvändning. Beständigheten beror därmed devis på framtida virkespriser, politikens stabilitet och långsiktighet, samt förekomsten av naturliga störningar. Osäkerhet är speciellt viktigt att beakta. Klimatpolitiska styrmedel som leder till minskade utsläpp idag men ökade utsläpp i framtiden behöver dock inte vara ineffektivt. Det kan i stället reflektera en optimal allokering av åtgärder över tid (KI, 2021).

Även sidoeffekter och höga transaktionskostnader (för att t.ex. administrera, övervaka och kontrollera klimatpolitiken) kan påverka klimatpolitikens effektivitet. Sidoeffekter inkluderar positiva och negativa oavsedda effekter på andra miljöområden. De kan även ge upphov till målkonflikter.

Termen läckage<sup>15</sup> används för att beskriva hur den önskade effekten av olika former av styrning i ett geografiskt område läcker till andra områden. Det kan röra sig om ett utsläppsläckage (koldioxidläckage) där utsläppen från ett land med klimatpolitiska styrmedel förskjuts till länder med mindre ambitiös klimatpolitik. En relativt ambitiös klimatpolitik i ett land innebär generellt ökade produktionskostnader.<sup>16</sup> De högre produktionskostnaderna medför en lägre internationell konkurrenskraft som innebär att företag förlorar marknadsandelar både på exportmarknader och på hemmamarknaden. Företag i andra länder, som inte omfattas av klimatpolitiken, får komparativa fördelar och kan öka sin produktion. Alternativt kan företag som drabbas av klimatpolitiken geografiskt flytta sin produktion till länder utanför klimatpolitikens räckvidd. Produktionen minskar därmed i landet med den ambitiösa klimatpolitiken och ökar i landet med relativt mindre ambitiösa klimatpolitiken. I båda fallen reduceras effekten av det klimatpolitiska styrmedlet, det uppstår en skillnad mellan bruttoeffekten (det som händer inom landet) och nettoeffekt (det som händer inom landet minus läckaget).

<sup>15</sup> I den engelska litteraturen har negativa läckage även kallas ”off-site effect”, ”slippage”, ”offsets” och ”crowding-out”. Det har även definierats som en negativ externalitet av skogsåtgärder. Förekomsten av positiva läckageeffekter kallas bl.a. ”spill-over”.

<sup>16</sup> Porter-hypotesen (Porter, 1991) argumenterar för att en mer stringent miljöpolitik skapar incitament för ökad innovation och förbättrad effektivitet, som i sin tur kan minska produktionskostnaderna. Empiriska stöd för hypotesen är tvetydiga.

För måluppfyllelse och kostnadseffektivitet är det viktigt att utgå från nettoeffekten. Men om alla länderna har samma klimatpolitik och omfattas av ett gemensamt och heltäckande redovisningssystem blir diskussionen om utsläppsläckage irrelevant. Förenklat kan utsläppsläckage kvantitativt definieras som kvoten mellan den ökade mängden utsläpp som en följd av klimatpolitiska styrmedel i länder som inte implementerar klimatpolitiken och den minskade mängd utsläpp i landet som infört klimatpolitiken. Till exempel, om Sverige inför ett hypotetiskt klimatpolitiskt styrmedel som minskar utsläppen inom Sveriges gränser med 2 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Samtidigt ökar produktionen utanför Sverige som en konsekvens av klimatpolitiken och som ger upphov till ökade utsläpp på 0,4 miljoner ton CO<sub>2</sub>e. Detta fall blir utsläppsläckaget  $0,4/2 = 0,2$  eller 20 procent. Det finns praktiska problem att bedöma hur mycket utsläppen ökar i andra länder som en konsekvens av en mer ambitiös klimatpolitik i Sverige. Problemet kan dock mildras genom att tillämpa jämviktsmodeller för att analysera effekterna av styrmedel och skogliga åtgärder (se avsnitt 5.2.1 och 5.2.2).

Produktionen kan förskjutas antingen genom en direkt geografisk omlokalisering av produktionskapacitet, eller genom att de inhemska investeringarna blir mindre än utan klimatpolitiken medan de ökar i andra länder. Den senare effekten kallas investeringsläckage. Investeringsläckage kan fungera som en indikator på storleken på framtida utsläppsläckage eftersom investeringar grundar sig på företagets förväntningar om framtiden snarare än på effekterna av nuvarande klimatpolitik. Exempelvis, ett projekt som investerar i besogning av ett område kan tränga undan andra klimatinvesteringar (återplantering) som inte ingår i projektet. Läckage kan även uppstå på varumarknader, inklusive rundvirkesmarknaderna, men sannolikheten för läckage är som störst för de varor som har betydande internationell handel.

Det kan också röra sig om ett avverkningsläckage där ett utökat skogsskydd förskjuter avverkningen till andra regioner. Målet med att utöka arealen skyddade skogar behöver inte vara en klimatpolitisk åtgärd. Det kan i stället vara riktat mot andra ekosystemtjänster, som förbättrad biodiversitet. Men även i dessa fall kan climateffekten beräknas genom att analysera nettoförändringen av kolinlagringen i de skyddade skogarna i förhållande till den potentiella avverkningsökningen i andra regioner. Med andra ord, avverkningsläckage kan omvandlas till utsläppsläckage (och vice versa) om koldensiteten och tillväxt i skogsbestånden som avverkas beaktas tillsammans med övriga relevanta utsläppspunkter.

### 3.1 Orsaker till läckage

Generellt kan läckage uppstå på grund av specifika klimatpolitiska åtgärder och hur de implementeras. För att kunna analysera läckageeffekter är det viktigt att förstå varför de kan uppstå, vilka faktorer som påverkar risken för läckage och hur stora de kan bli. Läckage kan uppstå genom att:

- Företag geografiskt flyttar sin produktionskapacitet till andra länder för att sänka sina kostnader kopplade till en ambitiös klimatpolitik.
- Minskad inhemsk produktion föranlett av klimatpolitik ersätts med ökad import.



- Minskad export där mottagarlandet ersätter de importerade produkterna med egen produktion eller import från andra länder, som inte omfattas av klimatpolitiken.

Faktorer som påverkar andelen inhemsk produktion när klimatpolitiken leder till högre produktionskostnader (EU, 2020; Marcu m.fl., 2013):

- **Skillnaden mellan priset på utsläpp mellan regioner/länder.** Med en stor prisskillnad ökar risken att produktionen i högkostnadslandet ersätts med ökad produktion från lågkostnadsländer. En förändrad klimatpolitik som utjämnar produktionskostnaderna mellan länder (som internaliserar klimatkostnaderna korrekt) innebär inte ett läckage trots att det sker en spatial förändring av produktionsstrukturen. Det ska snarare förklaras som en effektivitetsvinst.
- **Produktens utsläppsintensitet.** Med en högre utsläppsintensitet följer en högre kostnadsökning till följd av klimatpolitiska styrmedel. Detta innebär en högre risk att inhemsk produktion ersätts med import, och att exporterade produkter ersätts med produkter från andra länder.
- **Storleken på handelskostnaderna och världshandelns omfattning.** Med låga kostnader att använda internationella marknader (t.ex. handelstariffer och andra handelshinder) ökar risken att produkten ersätts och därmed även risken för läckage. Handelskostnader kan betraktas som ett tröskelvärde klimatpolitikens kostnadsökningar måste överstiga för att ge upphov till läckage. Så länge det är billigare att betala klimatpolitikens kostnader jämfört med handelskostnaderna stannar produktionen kvar. Likaledes, om storleken på världshandeln är begränsad minskar möjligheten till internationell handel vilket också minskar risken för läckage.
- **Hur lätt det är att substituera mot andra produkter.** Substituerbarheten kan delas in i mellan ”samma” produkter men från olika länder och mellan olika produkter inom samma land. Den upplevda homogeniteten mellan inhemska och importerade produkter påverkar omfattningen av substitutionen. Trädens fysiologiska sammansättning, certifieringar och konsumenternas preferenser påverkar graden av homogenitet. En hög substituerbarhet mellan exempelvis svenskt och kanadensiskt sågtimmer, ökar risken att svenskt sågtimmer ersätts med kanadensiskt om de svenska virkespriserna stiger. Ett högre pris kan också innebära att en produkt som blir relativt dyrare (på grund av klimatpolitiken) och därmed ersätts med en annan relativt billigare produkt (det sker en förändring i relativpriset). Det kan röra sig om att trävaror ersätts av stål och betong i byggsektorn eller biodrivmedel ersätts av fossila bränslen i transportsektorn. Även substituerbarheten av exportprodukten påverkar storleken på utsläppsläckaget. Om exportprodukten är nischad, det vill säga saknar lämpliga substitut eller produktionskapacitet i andra länder, kan den klimatpolitiska kostnaden föras över till konsumenterna utan att riskera att ersättas med andra produkter. Därmed påverkas inte exportvolymen och läckaget blir mindre.
- **Konkurrensen på de internationella marknaderna.** Med en mer intensiv konkurrens på världsmarknaden är det svårare att föra över kostnadsökningar till konsumenterna eftersom risken för att produktionen ersätts med import blir större. Konkurrensen på världsmarknaden kan mätas

med hjälp av måttet handelsintensitet. Handelsintensitet mäter ett lands totala internationella handel i förhållande till den inhemska produktionen (import + export dividerat med BNP). Måttet har dock kritiserats för att vara ett bra mått på producenternas möjlighet att överföra kostnadsökningar till konsumenterna (Sato m.fl., 2015).

- **Omfattningen av klimatpolitikens administrativa område.** Om en mer stringent klimatpolitik enbart omfattar ett relativt litet område, t.ex. ett enskilt land, ökar risken att den inhemska produktionen ersätts av import. Detta eftersom en eventuell produktionsminskning i det enskilda landet är lättare att ersätta av produktionsökningar i omvärlden. Om ett större administrativt område inför en mer stringent klimatpolitik, t.ex. EU, är det större produktionsvolymerna som måste ersättas av en mindre omvärld.

### 3.2 Typer av läckage

Det är vanligt att dela upp analysen av läckage i primärt och sekundärt läckage. Termerna reflekterar i vilken ordning de ska utvärderas, snarare än deras storlek eller betydelse. Ett primärt läckage uppstår när klimatnyttan av ett program eller styrmedel helt eller delvis motverkas av ökade utsläpp från liknande processer i andra områden. I huvudsak innebär primärt läckage att den oönskade aktiviteten från basscenariot förskjuts i stället för att undvikas. Primärt läckage är därmed direkt kopplat till de aktiviteter som studeras i basscenariot och till de aktörer som orsakar dem. Primärt läckage kan delas upp i följande typer:

- **Aktivitetsförskjutning** innebär att aktiviteter som orsakar utsläpp, eller avverkning, inte helt kan undvikas utan förskjuts delvis till andra områden. Till exempel, om ett avgränsat skogsbestånd i Sverige skyddas från avverkning kan avverkningen flytta till andra närliggande bestånd. I andra länder kan ett skyddat skogsbestånd innebära att bofasta jordbrukare eller boskapsuppfödare flyttar och röjer andra skogsbestånd för sin verksamhet.
- **Outsourcing** innebär att de tjänster eller råvaror som tidigare kunde tillhandahållas i ett nyligen skyddat område nu kontrakteras. Till exempel, ett skogsföretag som tidigare avverkade i ett skyddat område men som nu köper in virke från andra företag för att kunna upprätthålla sin produktionsnivå.

Ett sekundärt läckage uppstår om en klimatpolitisk åtgärd skapar incitament för att öka utsläppen på andra ställen. Till skillnad från primära läckage är sekundära läckage inte specifikt kopplade till deltagare i klimatrelaterade styrmedel och åtgärder eller aktörer i ett visst geografiskt område. Sekundärt läckage kan delas upp i följande typer:

- **Marknadsförskjutningar** sker där utsläpps- eller avverkningsminskningar uppvägs av förskjutningar av utbudet eller efterfrågan för den påverkade tjänsten eller råvaran. Till exempel, en utökning av arealen skyddad skog kan innebära ett minskat utbud av virke som leder till ökade virkespriser, som i sin tur leder till ökad avverkning av en tredje part. Ett minskat utbud av skogsråvara innebär också att virkespriset pressas upp, vilket ger ett ökat incitament att öka tillväxten i skogen. Marknadsförskjutningar

(efterfrågedriven) kan uppstå när skogsavsättningar reducerar utbudet av skogsprodukter eller då efterfrågan tillmötesgår genom avverkning på andra ställen. Marknadsförskjutningar (utbudsdriven) kan även uppstå om skogsprodukterna från klimatsubventionerade skogsodlingar trycker ner priset så att icke-klimatsubventionerade skogsodlingar omvandlas till betesmark eller annan markanvändning med lågintensiv biomassetillväxt. (Fearnside, 1995). Denna typ av läckage kan kopplas till styrmedel och skogliga åtgärder som påverkar marknadsbaserade aktiviteter som kommersiellt jord- och skogsbruk samt storskaliga åter- och skogsplanteringsprojekt. Det är mindre troligt att det uppstår marknadsförskjutningar av förändring gjorda av självförsörjande hushåll. Skillnaden mellan marknadsförskjutningar och outsourcing (primärt läckage) är att marknadsförskjutningar uppstår av tredje part medan outsourcing sker av direktpåverkad part.

- **Acceptans av alternativa försörjningsmöjligheter** är en speciell typ av läckage som kan uppstå från de alternativa aktiviteter som en åtgärd tillhandahåller. Till exempel, ett styrmedel kan uppmuntra till alternativa försörjningsmöjligheter som reducerar behovet av att omvandla skogsmark till jordbruksmark. Som ett resultat kan en inflyttning av hushåll ske som deltar i aktiviteterna som programmet främjar.

Utöver dessa typer av läckage förekommer även förskjutning av livscykelutsläpp och ekologiskt läckage i litteraturen.

- **Förskjutning av livscykelutsläpp** innebär att åtgärder för att minska utsläpp ökar utsläppen hos upp- eller nedströmsaktiviteter. Exempelvis, ett kolinlagringsprojekt som leder till ökad vägtrafik från turister eller ett besöksprojekt som ökar utsläppen genom ökad användning av skogsmaskiner som drivs av fossila bränslen.
- **Ekologiskt läckage** uppstår när en förändring i utsläpp sker genom förändringar i kringliggande ekosystem. Till exempel, ett ekologiskt läckage skulle uppstå om ett kolinlagringsprojekt introducerar skadedjur i kringliggande skogar som leder till att fler träd dör och att skogen ger upphov till ett nettoutsläpp av koldioxid.

Läckage betraktas normalt som något oönskat eller negativt. Negativt i denna bemärkelse är mer utsläpp eller mindre kolinlagring. Negativa läckage är något som vi därmed vill undvika. Det finns också situationer där oavsiktliga resultat kan vara positiva, i.e., en högre utsläppsreduktion eller ökad kolinlagring. Det kan exempelvis röra sig om positiva effekter som härröra från utsläppsminskade aktiviteter som sprider sig frivilligt utanför projektområdet. Till exempel, Zhou m.fl. (2020) estimerar positiva läckageeffekter i Kina mellan regioner som deltar i ett testprogram för utsläppshandelssystem och regioner som inte deltar.

Läckage kan manifesteras sig på olika geografiska skalor. De är mest relevant att studera läckageeffekter inom ett land eller mellan länder/regioner. Om ett styrmedel påverkar lokala priser eller beteenden får det återverkningar på de lokala marknaderna och aktiviteterna. Men det är osannolikt att ett lokalt styrmedel påverkar de globala marknaderna, men den totala effekten av flera liknande styrmedel kan göra det. Läckageeffekten är även ett mindre problem om

skalan på redovisningsområdena skulle öka. Om redovisningen sker på nationell nivå spelar aktivitetsförskjutningar som sker inom landet ingen roll. Till exempel, om en minskad avverkning i Norrbotten innebär att avverkningen i Västerbotten ökar kan det ske en förskjutning av utsläpp från Norrbotten till Västerbotten. Men eftersom utsläppen från båda länen ingår i Sverige övergripande utsläppsredovisning sker inget utsläppsläckage. Läckage kan också uppstå inom ett land (och indirekt mellan länder) om t.ex. vissa LULUCF-aktiviteter inte ingår i det nationella redovisningssystemet.

### **3.3 Förmildrande omständigheter**

Det finns aspekter som mildrar effekterna av eventuella läckage:

- Potentialen till läckage minskar om stora delar av den internationella handeln sker mellan utvecklade länder med liknande klimatpolitik. För Sveriges vidkommande sker merparten av handeln med andra EU-länder, som till stor del omfattas av samma klimatregelverk.
- Alla sektorer har inte samma förutsättningar att geografiskt omlokalisera sin produktion, dessutom är det fler faktorer än klimatpolitiken som påverkar företagens lokaliserings- och produktionsbeslut. Dessa företag är relativt okänsliga för (små) skillnader i klimatpolitiken mellan länder.
- En ambitiös klimatpolitik innebär att företag i första hand försöker förbättra sin inhemska kostnadseffektivitet innan de överväger att omlokalisera sin produktion.
- Klimatpolitiska styrmedel stimulerar till innovationer som reducerar effekten av styrmedlet. Exempelvis, en skatt på koldioxidutsläpp stimulerar företag att finna lösningar som minskar utsläppen och därmed deras skattebörda. Empiriska studier visar bl.a. att styrmedel/policyer är viktiga för att stimulera innovationer inom bioteknologi (Lundmark och Bäckström, 2015).

## 4 Kvantifiering av läckageeffekter

Det har utvecklats olika metoder för att empiriskt bedöma aktivitets- och marknadsförskjutande läckageeffekter (Aukland m.fl., 2003). För kvantifiering av aktivitetsförskjutande läckageeffekter (primärt läckage) har bl.a. historiska skogliga åtgärder analyserats från nya perspektiv och jämförts mot kontrollområden. En sådan jämförelse skulle teoretiskt kunna visa om läckage uppstått utanför projektområdet eller om förändringen kan hänföras till andra faktorer som påverkar de underliggande orsakerna till t.ex. avskogning. Emellertid, det är sannolikt svårt att identifiera "matchande" kontrollområden, med hänsyn till behovet av att matcha både biofysiska och socioekonomiska faktorer. En annan vanligt förekommande metod för att bedöma aktivitetsförskjutande läckageeffekter är enkätundersökningar där respondenterna är de hushåll som påverkas av förändringen. Slutligen, "remote sensing" med hjälp av satellitdata kan bidra till att empiriskt bedöma aktivitetsförskjutande läckageeffekter. Metoder för att bedöma marknadsförskjutande läckageeffekter (sekundärt läckage) är mer bekymrade av produktionsnivåer, prisnivåer och marknadsbeteenden (elasticiteter). Från detta perspektiv gäller det att bedöma hur läckaget påverkas av förändrade avverkningsnivåer givet marknadsspecifika egenskaper (Sedjo och Sohngen, 2000; Murray m.fl., 2004).

Beroende på vilka systemavgränsningar som är relevanta framstår aktivitetsförskjutning eller marknadsförskjutning som de mest relevanta läckageeffekterna, även om de överlappar i viss utsträckning. Aktivitetsförskjutande läckage studeras normalt inom mindre geografiska områden för att utvärdera olika klimatpolitiska åtgärder, t.ex. koldioxidkompensationsprojekt. Om denna typ av projekt ger upphov till läckageeffekter måste kompensationen överstiga den mängd koldioxid som önskas lagras. Aktivitetsförskjutande läckageeffekterna fångas normalt inte heller av de nationella utsläppsinventeringarna eftersom enbart nettoeffekten från projekten framgår där. Slutligen, aktivitetsförskjutande läckage fångar inte effekterna av förändrade marknadsbeteenden. Svenskt skogsbruk bedrivs generellt på kommersiella grunder där prissignaler styr skogsägarnas beteende. För svenska vidkommanden är det därmed mindre relevant att analysera aktivitetsförskjutande läckageeffekter, men desto mer relevant att bedöma marknadsförskjutande läckageeffekter.

### 4.1 Totala läckageeffekter

Utsläppsläckage kan beskrivas som en utsläppsökning, utanför ett definierat området, som delvis eller helt uppväger en utsläppsminskning, inom ett definierat område, föranlett av t.ex. klimatpolitiska åtgärder styrmedel. En klimatpolitisk åtgärd kan därmed orsaka utsläppsminskningar i sitt administrativa område, som avsett, men samtidigt orsaka utsläppsökningar i andra områden. Den totala läckageeffekten ( $L$ ) kan uttryckas som en procentsats enligt (Atmadja och Verchot, 2012; Michalek och Schwarze, 2015; Pan m.fl., 2020):

$$L = \frac{\Delta pE^B}{-\Delta pE^A} \cdot 100 \quad (1)$$

Där  $\Delta p$  är förändringen av utsläpp  $E$  efter implementering av ett klimatpolitiskt styrmedel i ett område. Nämnaren ( $\Delta pE^A$ ) är utsläppsminskningen i området som infört det klimatpolitiska styrmedlet (område A). Täljaren ( $\Delta pE^B$ ) är utsläppsförändringen i området utan klimatpolitiska styrmedel (område B).

Om en utsläppsförändringen i område  $B$  är positiv och överstiger utsläppsminskningen i område  $A$  är läckageeffekten större än 100 procent vilket innebär att hela klimateffekten av den klimatpolitiska åtgärden i område  $A$  försvinner. Om  $0 \leq \Delta pE^B \leq \Delta pE^A$  är läckageeffekten mindre än 100 procent vilket innebär att utsläppsminskningen i område  $A$  partiellt kommer att uppvägas av utsläppsökningar i område  $B$ . Det är även möjligt att implementeringen av en åtgärd ger upphov till utsläppsminskningar i båda områdena, ett s.k. negativt utsläppsläckage (Gerlagh och Kuik, 2014;).

## 4.2 Marknadsförskjutande läckageeffekter

Murray m.fl. (2004) har utvecklat en intuitiv förklaringsmodell av marknadsförskjutande läckageeffekter ur ett nationalekonomiskt perspektiv. Vi utgår från två skogsbestånd, båda med begränsade arealer. En skogsåtgärd skyddar ett av bestånden från avverkning medan en avverkning tillåts i det andra beståndet. I det skyddade beståndet kommer kolet i den stående skogen, i marken och i den framtida tillväxten, att vara bundet under en längre period. I detta sammanhang kan ett läckage uppstå om det kol som binds i det skyddade skogsbeståndet utjämnas av en ökad avverkning och kolförlust i det oskyddade beståndet.

För enkelhetsskull utgår vi från att allt avverkat virke är perfekta substitut oavsett var det än avverkats.<sup>17</sup> Då har vi bara en efterfrågefunktion att beakta. Däremot har vi två utbudsfunktioner, en för varje skogsbestånd:

$$Q_R^S = Q_R^S(P, \mathbf{W}_R, I_R) \quad (2)$$

$$Q_N^S = Q_N^S(P, \mathbf{W}_N, I_N) \quad (3)$$

där  $Q_R^S$  är den utbjuden kvantitet av virke från det skyddade beståndet ( $R$ ) medan  $Q_N^S$  är densamma från det oskyddade beståndet ( $N$ ),  $P$  är virkespriset,  $\mathbf{W}$  är en prisvektor på insatsvaror för avverkning och  $I$  är virkesförrådet av avverkningsbar skog. Marknadsefterfrågan kan skrivas som:

$$Q^D = Q^D(P, \mathbf{Z}) \quad (4)$$

där  $\mathbf{Z}$  är en vektor av skiftvariabler. Marknadsjämvikt sker med det pris ( $P^*$ ) som likställer utbudet och efterfrågan.

<sup>17</sup> Det går att släppa på det antagandet.

$$Q_R^S(P^*, \mathbf{W}_R, I_R) + Q_N^S(P^*, \mathbf{W}_R, I_R) = Q^D(P^*, \mathbf{Z}) \quad (5)$$

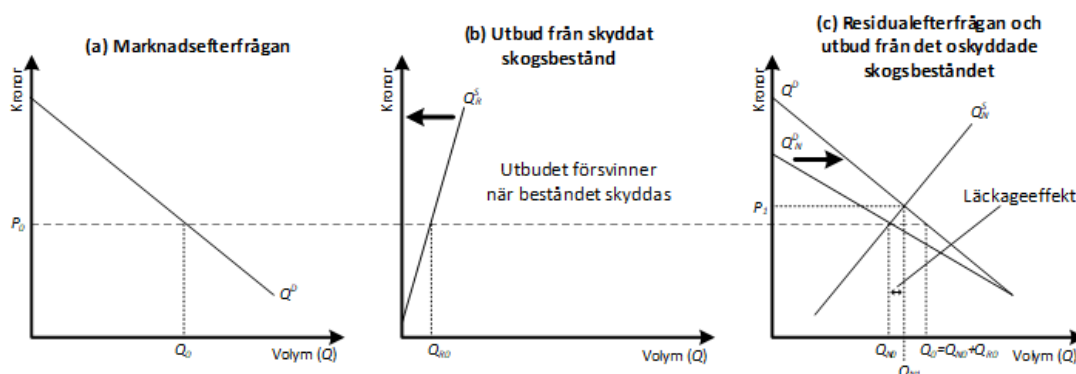
Residualefterfrågan av virke från det oskyddade skogsbeståndet ( $N$ ) är skillnaden mellan marknadsefterfrågan och utbudet från det skyddade beståndet ( $R$ ):

$$Q_N^D(P, \mathbf{Z}, \mathbf{W}_R, I_R) = Q^D(P, \mathbf{Z}) - Q_R^S(P, \mathbf{W}_R, I_R) \quad (6)$$

Residualefterfrågan kan sedan användas i marknadslösningen för att finna en jämviktslösning av virke från det oskyddade beståndet ( $N$ ):

$$Q_N^S(P^*, \mathbf{W}_N, I_N) = Q_N^D(P^*, \mathbf{Z}, \mathbf{W}_R, I_R) \quad (7)$$

Detta marknadsutfall återges grafiskt i Figur 5. Panel (a) illustrerar marknadsefterfrågan ( $Q^D$ ), panel (b) illustrerar utbudet från det skyddade skogsbeståndet ( $Q_R^S$ ), som försvinner när skyddet träder i kraft, och panel (c) visar på jämviktslösningen för det oskyddade skogsbeståndet ( $N$ ). Initialt visar den residualefterfrågan ( $Q_N^D$ ) skillnaden mellan marknadsefterfrågan ( $Q^D$ ) och virkesutbudet från det skogsbeståndet som avses skyddas ( $Q_R^S$ ). I det läget är marknadspriset ( $P_0$ ) och den total avverkade volymen ( $Q_0$ ), fördelat mellan det tilltänkta skyddade beståndet ( $Q_{R0}$ ) och det oskyddade beståndet ( $Q_{N0}$ ).



**Figur 5: Schematisk illustration av hur skydd av skogsbestånd kan flytta avverkning till oskyddade bestånd**

*Källa: Murray m.fl. (2004).*

När skogsbeståndet  $R$  väl skyddas försvinner dess virkesutbud ( $Q_R^S$ ) från marknaden och marknadsefterfrågan måste tillfredsställas enbart av utbudet från det oskyddade beståndet ( $Q_N^S$ ). Detta återspeglas i figur 5 av förskjutningen av  $Q_R^S$  till den vertikala axeln så att  $Q_R^S = 0$  samt av förskjutningen av residualefterfrågan tills den sammanfaller med marknadsefterfrågan ( $Q_N^D = Q^D$ ). Vid det initiala jämviktspriset ( $P_0$ ) är förskjutningen av residualefterfrågan lika med volymen virke som skulle ha avverkas i det skyddade beståndet om det inte hade skyddats. När skogsbeståndet  $R$  skyddas uppstår därmed ett efterfrågeöverskott. För att en ny marknasjämvikt ska etableras måste virkespriset öka vilket får två effekter. För det första, med ett högre virkespris ökar den utbudna volymen virke från det oskyddade beståndet. För det andra, med ett högre virkespris minskar efterfrågan. Den nya marknadslösningen etablerar ett virkespris på  $P_1$  och en avverkade

volym på  $Q_{N1}$ . Som en konsekvens av åtgärden minskar den totala avverkningen från  $Q_0$  till  $Q_{N1}$  medan avverkningen i det oskyddade beståndet ökar från  $Q_{N0}$  till  $Q_{N1}$ . Det är den prisdrivande avverkningsökningen i det oskyddade beståndet som är läckageeffekten. Läckageeffekt kan analyseras antingen som ett utsläppsläckage eller som ett avverkningsläckage beroende på syfte.

Storleken på efterfrågeförskjutningen från det oskyddade skogsbeståndet kan mätas av kvoten mellan den initiala utbudna volymen virke från det skyddade beståndet och den initiala utbudna volymen från det oskyddade beståndet ( $\phi$ ).

$$\phi = \frac{Q_{R0}}{Q_{N0}} \quad (8)$$

Komparativ statistik kan användas på marknadsjämvikten definierat av ekvation (2) till (7) för att härleda ett kvantifierbart uttryck på läckageeffekten som en funktion av exogena parametrar. Storleken på läckaget kan beräknas som kvoten mellan förändringen i kolbalansen i det oskyddade beståndet och kolbalansen i det skyddade området (multipliserat med 100 för att uttrycka läckaget som procent):

$$L = 100 \frac{dQ_N}{Q_{R0}} \times \frac{C_N}{C_R} \quad (9)$$

där  $dQ_N$  är förändringen i avverkad volym i det oskyddade beståndet,  $Q_{R0}$  är den volym av virke som försvinner från marknaden som en konsekvens av den klimatpolitiska åtgärden,  $C_N$  är kolinnehållet per enhet i det oskyddade beståndet och  $C_R$  är desamma för det skyddade beståndet (den uteblivna avverkningen). För att konkret beräkna utsläppsläckaget måste vi göra antagande gällande förändringen i residualefterfrågan (efterfrågan på virke från det skyddade beståndet):

$$dQ_N^D = \phi Q_{N0} + \varepsilon^D (1 + \phi) Q_{N0} \frac{dP}{P} \quad (10)$$

där  $\varepsilon^D$  är efterfrågeelasticiteten. Den första termen på höger sida i ekvation (10) reflekterar förskjutningen av virkesefterfrågan från det oskyddade beståndet när det andra beståndet skyddas från avverkning. Den andra termen reflekterar hur virkesköpare reagerar på förändringen i virkespriset. Förändringen i utbudna volym från det oskyddade beståndet är:

$$dQ_N^S = \varepsilon^S Q_{N0} \frac{dP}{P} \quad (11)$$

där  $\varepsilon^S$  är utbudselasticiteten. Genom att likställa förändringarna i ekvationerna (10) och (11) ( $dQ_N^D = dQ_N^S$ ) och lösa för den proportionerliga prisförändringen ( $dP/P$ ) erhålls:

$$\frac{dP}{P} = \frac{\phi}{\varepsilon^S - \varepsilon^D (1 + \phi)} \quad (12)$$



Sedan använder vi ekvation (10) i (11):

$$dQ_N^D = dQ_N^S = \frac{\varepsilon^S \phi Q_{N0}}{\varepsilon^S - \varepsilon^D(1 + \phi)} \quad (13)$$

Slutligen kan vi använda en omskrivning av ekvation (8) ( $Q_{R0} = \phi Q_{N0}$ ) och använda den i ekvation (11) så att:

$$L = 100 \frac{\varepsilon^S C_N}{[\varepsilon^S - \varepsilon^D(1 + \phi)] C_R} \quad (14)$$

Läckageeffekten ( $L$ ) kan beräknas enligt ekvation (14) och uttrycks i procentuella termer. En enkel analys av ekvationen visar att utsläppsläckaget är 47 procent om  $\varepsilon^S = 1$ ,  $\varepsilon^D = -1$ ,  $\phi = 0,1$  och  $C_N = C_R$ .

Differentiering av ekvation (14) visar att läckaget blir större med högre priskänslighet på utbudet ( $dL/d\varepsilon^S > 0$ ) men däremot blir läckaget lägre med högre priskänslighet på efterfrågan ( $dL/d|\varepsilon^D| < 0$ ). Ett högre värde på kvoten mellan koldensiteten på de oskyddade och skyddade skogsbestånden ( $dL/d[C_N/C_R] > 0$ ) ger också en större läckageeffekt. Ekvationen indikerar också att läckaget är proportionerligt större när den relativa storleken av det skyddade beståndet minskar ( $dL/d\phi < 0$ ). Med andra ord, skyddade bestånd har en större proportionerlig läckageeffekt desto mindre de är. I absoluta termer har givetvis mindre skyddade bestånd ett mindre läckage men i förhållande till större skyddade områden har de ett större proportionerligt läckage.

Om virket från de två bestånden inte är perfekta substitut förändras inte analysen i särskilt stor utsträckning. En substitutionsparameter ( $\gamma$ ) kan inkluderas i modellen som fångar hur mycket av den minskade avverkningen från det skyddade beståndet som förskjuts till det oskyddade beståndet. Om  $\gamma = 1$  är timret perfekta substitut och om  $\gamma = 0$  finns det inga substitutionsmöjligheter alls (och därmed inget läckage). Ekvation (14) kan modifieras så att den inkluderar substitutionsparametern. Ekvation (15) indikerar att läckaget ökar med graden av substituerbarhet ( $dL'/d\gamma > 0$ ).

$$L' = 100 \frac{\varepsilon^S \gamma C_N}{[\varepsilon^S - \varepsilon^D(1 + \gamma\phi)] C_R} \quad (15)$$

### 4.3 Riskbedömning av läckagekänslighet (utsläpps- och handelsintensitet)

Utan att direkt mäta läckageeffekter har det inom EU utvecklats metoder som bedömer olika sektors läckagekänslighet. Under fas 4 av EU ETS (2021–2030) kommer gratis tilldelning av utsläppsrätter att fokuseras till sektorer med en hög risk att omlokalisera sin produktion utanför EU. Kriteriet för att fastställa om en sektor har en hög risk för läckage bedöms utifrån sektorns utsläpps- och handelsintensitet (EC, 2022). Inom EU upprättas en lista av sektorer som bedöms

ha en hög risk för läckage. Dessa sektorer tilldelas utsläppsrätter gratis motsvarande 100 procent av relevant benchmark.

Utsläppsintensitet är ett mått som indikerar totala utsläpp per producerad enhet. Det kan mätas i olika enheter, exempelvis utsläpp av koldioxid(ekvivalenter) per förädlingsvärde (kg CO<sub>2</sub>e per krona), utsläpp per producerad enhet (t.ex. kg CO<sub>2</sub>e per kWh) eller utsläpp per produktvolym eller vikt (t.ex. kg CO<sub>2</sub>e per m<sup>3</sup> eller per kg). Utsläppsintensiteten ( $C_i$ ) för sektor  $i$  kan definieras som (Sato m.fl., 2015):

$$C_i = \frac{(D_i + I_i)P}{N} \quad (16)$$

där  $D$  är mängden direkta utsläpp och  $I$  är indirekta utsläpp,  $P$  är priset på utsläppsrätterna och  $N$  är önskad enhetsmått (t.ex. förädlingsvärdet). Handelsintensiteten ( $H_i$ ) kan definieras som:

$$H_i = \frac{V_{RoW}^X + V_{RoW}^M}{Q_i} \quad (17)$$

där  $V_{RoW}^X$  är det totala exportvärdet till länder som inte omfattas av klimatpolitiken,  $V_{RoW}^M$  är det totala importvärdet från dito och  $Q_i$  är den inhemska marknadsstorleken.

Det normala är att läckagekänsligheten beräknas för enskilda sektorer, antingen med data på företagsnivå eller direkt på sektornivå. Risker för läckage beror på sektorns känslighet för platsspecifika styrmedel och vikten av att förlägga sin produktion till en specifik plats. För skogsindustrin är det viktigt att de regionala naturliga geografiska förutsättningarna ger en riklig och billig tillgång på skogsråvara. En omlokalisering, pådriven av t.ex. en ambitiös klimatpolitik, försvåras om det inte finns regioner att omlokalisera till med samma tillgång och pris på skogsråvaran. En avvägning måste ske där kostnaderna av en ambitiös klimatpolitik bedöms mot högre kostnader för skogsråvaran. En annan generell aspekt som påverkar risken för läckage är kostnaden av klimatpolitiken i förhållande till sektorns förädlingsvärde. Om klimatpolitikens kostnader är låga i förhållande till förädlingsvärdet är det mindre risk för läckage genom omlokalisering. Slutligen, klimatpolitiska styrmedel som påverkar den internationella konkurrensen kan öka risken för läckage. Om möjligheterna är stora att övervältra kostnadsökningar orsakade av klimatpolitiska styrmedel på konsumenterna, eller om råvarupriserna kan pressas ner genom utövande av marknadsmakt, minskar risken för omlokalisering av produktionen. Med en intensiv internationell konkurrens minskar dock dessa möjligheter.

Sektorer som verkar i en intensiv internationell konkurrens och som har relativt höga utsläpp per förädlingsvärde bedöms mer känsliga för en stringent klimatpolitik. Det vill säga, det finns en risk att produktionen flyttar utomlands vid en stringent klimatpolitik och därmed orsakar ett utsläppsläckage. I en SNS-studie baserat på SCB:s mikrodata beräknas utsläpps- och handelsintensiteten hos svenska industriella branscher för att kartlägga de branscher som är mest känsliga för läckage (Ferguson m.fl., 2022). Den inkluderar bland annat branscherna: (1)

tillverkning av faner och träbaserade skivor, (2) massatillverkning och (3) pappers- och papptillverkning. Studien utgår från tre olika definitioner på handelsintensitet: importintensitet, importsubstitutionselasticiteten och exportintensitet. Resultaten varierar beroende av vald definition men indikerar att branscher med en omfattande export och höga utsläpp påverkas av en stringent klimatpolitik i större utsträckning än andra branscher. Många typer av massa- och papperstillverkning har både höga utsläpp och en omfattande export.

Utsläppsintensiteten av att avverka en m<sup>3</sup> sågtimmer, massaved eller brännved bör ligga relativt nära varandra i Sverige eftersom alla tre sortiment erhålls samtidigt i ett trakthyggesbruk. Emellertid, variationen i utsläppsintensiteten förväntas öka om alternativa skogsbruksmetoder utvecklas eller blir mer populära. Det kan dock skilja sig från motsvarande mått i andra länder bland annat beroende på vilket skogsskötselsystem som tillämpas. Det vill säga, utsläppsintensiteten av virke kan variera mellan till exempel Sverige och Kanada. Variationen i utsläppsintensitet mellan produkter, skogsbruksmetod och länder innebär att storleken på utsläppsläckaget också varierar beroende på var avverkningen minskar och var den ökar, vilka skogsbruksmetoder som används på respektive ställe samt vilka virkessortiment som ökar och vilka som minskar. Storleken på läckaget av en minskad avverkning i Sverige beror således inte enbart på om och i vilken utsträckning avverkningen flyttar till andra länder, utan också på vilket skogsbruksmetod som tillämpas i dessa länder.

## 5 Vad säger forskningen?

Ett antal studier som empiriskt och kvantitativt estimerar läckageeffekter har identifierats. De som utvärderar läckageeffekter fastställer definitioner och typologier samt analytiska ramverk. Empiriska studier har genomförts för multiregion-, multisektor- samt på program-, nationell- eller global nivå. Tillämpningarna kan delas upp i övergripande och specifika studier. De övergripande studierna utgår normalt från en unilateral förändring i klimatpolitiken och analyserar det potentiella aggregerade läckaget. Dessa studier inkluderar sällan detaljerade analyser av läckageeffekter från skogsbruket utan tar ett helhetsperspektiv med fördjupningar i utsläppsintensiva sektorer av ekonomin. De mer skogsbruksspecifika studierna analyserar läckageeffekter som kan (ex-ante) eller har (ex-post) uppstått på grund av politiska åtgärder. Till skillnad från de övergripande studierna som fokuserar på klimatpolitiska förändringar, analyserar de skogsbruksspecifika studierna förändringar i fler politikområden. Litteraturoversiktens fokus ligger på skogsbruksspecifika läckagestudierna.

Läckageeffekter kan modelleras från ett teoretiskt eller empiriskt perspektiv, med eller utan policy-scenarier. Båda angreppssätten beaktar interaktionen mellan beteendenaspekter, priser och andra ekonomiska variabler. Det teoretiska perspektivet kallas ibland för ex-ante studier eftersom de simulerar utfall för att t.ex. möta uppsatta klimatpolitiska mål. Ex-ante studier utgår normalt från hypotetiska klimatpolitiska scenarier vilket gör att de kan studera läckageeffekter från policyförslag. Det empiriska perspektivet kallas för ex-post studier eftersom de bygger på analyser efter att en händelse har skett, t.ex. införandet av ett klimatpolitisk styrmedel.

### 5.1 Sektoriellt läckage

Läckageeffekter har studerats relativt omfattande. Två generella metoder kan urskiljas i forskningslitteraturen:

- Tillämpande allmänna jämviktsmodeller, s.k. computable general equilibrium (CGE), som inkluderar flera sektorer och kan även inkludera flera länder. CGE utgår från ett bredare ekonomiskt perspektiv och modellerar explicit hur olika sektorer är aktiva i nationella (och internationella) värdekedjor.
- Tillämpade partiella jämviktsmodeller, s.k. partial equilibrium (PE), som fokuserar på enskilda sektorer (eller ett fåtal) normalt även i enskilda länder. Benämns även som sektorsmodeller.

Båda metoderna har sina för- och nackdelar. Studier som tillämpar CGE-modeller tenderar att ge relativt lägre läckageeffekter eftersom de inkluderar en blandning av sektorer med varierande utsatthet för läckage. Studier som tillämpar partiella jämviktsmodeller ger normalt relativt högre läckageeffekter eftersom de tenderar att fokusera på sektorer som förväntas vara mer känsliga för läckage.

Studier som tillämpar CGE-modeller utgår normalt från hypotetiska klimatpolitiska scenarier (ex-ante studier) men deras strukturella antaganden och

parametrisering skiljer sig åt. Tidiga studier, t.ex. Babiker (2005), visar på relativt höga läckageeffekter, upp till 130 procent. Det vill säga, inhemska utsläppsminskningar mer än uppvägs av utsläppsökningar i andra länder. Felder och Rutherford (1993) estimerar utsläppsläckaget från ett unilateralt försök av OECD att minska de globala utsläppen. Beroende på sammanhang bedömer de att utsläppsläckaget blir upp till 40 procent. Emellertid, senare forskning som tillämpar CGE visar på mindre läckageeffekter. Till exempel, vid en jämförelse av resultat från 12 CGE-modeller ligger läckaget mellan fem och 19 procent (Böhringer m.fl., 2012). I en liknande sammanställning visar Branger och Quirion (2014) en spännvidd på utsläppsläckaget mellan fem och 25 procent för unilaterala klimatpolitik utan specifika åtgärder för att minska läckaget. I en senare studie justeras utsläppsläckaget till ett span mellan tio och 30 procent (Böhringer m.fl., 2018). De flesta av dessa studier använder allmänna jämviktsmodeller (CGE) för att estimerar utsläppsläckage.

Utöver CGE-modeller är det vanligt att använda partiella jämviktsmodeller (PE). Dessa modeller inkluderar enbart ett urval av sektorer och länder. Det möjliggör en mer detaljerad analys av läckageeffekter. Sektorer som bedöms vara mest sårbara för utsläppsläckage har studerats mest, som t.ex. cement-, stål-, aluminium-, raffinaderi- och elsektorerna. Till skillnad från CGE-modellerna genererar PE-modellerna ofta högre läckageeffekter. Detta kan förklaras av att PE-modeller fokuserar på mycket speciella sektorer som har en hög grad av sårbarhet (t.ex. av klimatpolitiken) men som inte tillskrivs en hög vikt i de nationella bedömningarna (EU, 2020). Det är fullt möjligt att en sektor kan uppvisa höga utsläppsläckage om den studeras isolerat, medan en CGE-analys med samma klimatpolitik kan finna betydligt lägre läckageeffekter. Till exempel, med ett genomsnittligt koldioxidpris på EUR 20, estimerar Demailly och Quiron (2008a) utsläppsläckaget från EU till cirka 25 procent. Med samma koldioxidpris estimerar Ponsard och Walker (2008) utsläppsläckaget till 70 procent för cementindustrin.

På energimarknader uppstår utsläppsläckage om klimatpolitiken påverkar efterfrågan eller utbudet av energi som sedan påverkar energipriser i andra länder. Den teoretiska argumentationen är att om klimatpolitiska åtgärder införs minskar landets totala efterfrågan på fossila bränslen (förutsatt att politiken lyckats utforma effektiva och ändamålsenliga styrmedel). Det innebär också en minskad global efterfrågan på fossila bränslen (om än marginellt i fallet Sverige) vilket trycker ner världsmarknadspriset. Med ett lägre pris ökar konsumtionen i andra länder.<sup>18</sup> Läckage kan även uppstå om ett land väljer att minska sin produktion av fossila bränslen med syfte att minska de globala utsläppen, t.ex. om Norge minskar sin produktion av olja. Det innebär att det globala utbudet av olja minskar samtidigt som priset stiger. Ett högre pris ökar incitamenten att öka utvinningen i andra länder. Som en konsekvens minskar den globala produktionen med mindre än den initiala produktionsminskningen. Fæhn m.fl. (2017) uppskattar läckaget för olja till cirka 50 procent. Exempelvis, om Norge skulle minska sin oljeproduktion med ett fat skulle andra oljeproducerande länder öka sin produktion med 0,5 fat.

<sup>18</sup> Argumentationen är bygger på samma principer som rekyleffekten (rebound) men i stället för att analysera direkta efterfrågeförändringar på en vara som rekyleffekten gör, analyserar läckageeffekter indirekta effekter som uppstår som en konsekvens om efterfrågeförändringarna.

Chomitz (2002) utvärderar och jämför läckage från markförändringar i skogen (LUCF) och åtgärder med syfte att öka uttaget av biobränsle. Han fann inga systematiska skillnader i sannolikheten att det skulle uppstå läckage mellan LUCF och åtgärder för att öka biobränsleuttaget. I stället fann han att storleken på läckaget beror på hur välintegrerade aktiviteterna är med de fysiska och ekonomiska systemen. Pan m.fl. (2020) uppskattar ett genomsnittligt läckage till cirka 16 procent från studier som analyserar storleken på läckage från energiintensiva sektorer (t.ex. aluminium, cement, kemi, stål, papper och raffinaderier).

Studier som utvärderar läckageeffekter orsakade av EU-policy visar på blandade resultat (EU, 2020). Med en unilateral klimatpolitik uppskattas läckageeffekten till 28 procent för energisektorn (Paroussos m.fl., 2015). Inom jordbrukssektorn uppstår utsläppsläckage av en unilateral prissättning av utsläpp, i vissa fall upp till 50 procent (Key och Tallard, 2012; OECD, 2021). Om EU ETS studeras isolerat från övrig klimatpolitik identifieras knappt något direkt utsläppsläckage alls. Men om EU ETS sätts in i ett bredare klimatpolitiskt perspektiv visar studier att läckage har uppstått. För cementindustrin i EU har läckaget bedömts till mellan 70 och 73 procent beroende på priset på utsläppsrätterna och till cirka 30 och 50 procent för aluminium respektive stålsektorn (Ponssard and Walker, 2008; Demailly and Quirion, 2008b). De studier som inkluderar skogssektorn i sina CGE-modeller, indikerar att skogssektorns läckage kan vara mindre än läckaget från utsläppsintensiva sektorer (t.ex. Paltsev, 2001), eller på jämförbara läckagenivåer (Sedjo och Sohngen, 2000). Även potentiellt högre läckageeffekter kan uppstå i skogssektorn jämfört med energisektorn (Pan m.fl., 2020). Det kan delvis förklaras av att skogsprodukter är mer homogena och har en mer omfattande internationell handel med mindre handelshinder (Kallio m.fl., 2018). Med andra ord, klimatpolitiska åtgärder riktade mot skogssektorn kan vara mer känsliga för läckageeffekter.

## 5.2 Läckage från skogsbruk

Klimat- och skogspolitiska åtgärder har studerats empiriskt utan försök att kvantifiera läckageeffekter. Dessa studier baseras på spatiala markanvändningsdata och kvalitativ information. De inkluderar studier som diskuterar potentiella läckageeffekter från specifika åtgärder och från olika geografiska skalor (Mayer m.fl., 2005; 2006). Andrasko (1997) argumenterar kvalitativt hur en 21-procentig reduktion av skogsavverkningen i USA med syfte att öka kolinlagringen över perioden 2000–2040 (mestadels genom bevarande av äldre skogsbestånd) kompenseras genom avverkningsökningar i andra länder. Resultaten indikerar att den reducerade avverkningen kompenseras av en ökad import från Kanada samt en ökad avverkning i Europa och Sibirien. Den avverkning som förskjuts till Kanada fångas av deras nationella utsläppsinventering och klimatåtaganden. Men om avverkningen skiftar till länder som saknar utsläppsinventeringar, eller som inte har något utsläppstak, sker ett läckage.

Korrelationen mellan storleken på skydda inhemsk skog och import av skogsprodukter har studerats för olika regioner och aspekter, även de utan försök

att kvantifiera läckageeffekter. I en metaanalys identifierar och kvantifierar Pan m.fl. (2020) faktorer som påverkar läckaget från skogs- och energisektorerna. Av de studier som ingår i analysen är det genomsnittliga läckaget från energisektorn 16 procent medan det från skogssektorn är 40 procent. Resultaten från metaanalysen indikerar att klimatpolitiska styrmedel tenderar att ge upphov till ett cirka 13 procent högre läckage i skogssektorn jämfört med energisektorn. De visar också att studier som inte inkluderar förändringar i markanvändningen tenderar att överskatta läckageeffekten med 41 procent. Överraskande finner de att klimatpolitikens geografiska omfattning, dvs hur många länder/regioner som ingår, har ett positivt förhållande till storleken på läckageeffekten för skogssektorn. Den vanliga utgångspunkten är att ju fler länder som omfattas av en viss klimatpolitisk åtgärd desto mindre blir läckaget. Slutligen visar de att inkomstnivå (BNP per capita) är en viktig förklaringsfaktor för läckage. Rikare länder tenderar att ha högre läckageeffekter jämför med fattigare länder. Jonsson m.fl. (2012) genomför en litteraturgranskning av marknadsförskjutande läckage orsakande av REDD-baserade skogsåtgärder på tropiska skogsbestånd i utvecklingsländer. De drar slutsatsen att programmen kan öka avverkningen i andra delar av världen, inklusive Europa. Implementeringen av REDD-program kan därmed resultera i potentiellt höga läckageeffekter.

Tabell 2 sammanfattar, och rangordnar i storleksordning, identifierade studier som empiriskt kvantifierar läckageeffekter från skog. Uppdelningen av studierna baseras på deras geografiska avgränsningar, klimatzon, utvärderad styrmedel och metodval. Gällande metodval så är CGE och sektorsmodeller de mest vanligt förekommande. Totalt har 24 studier identifierats som tillsammans ger 39 läckageestimat med ett genomsnittligt läckage på 47,8 procent. Spridningen av läckageestimaten är stor, där studierna systemgränser är avgörande för resultaten. Generella slutsatser är svåra att göra då storleken på läckageeffekten varierar från fall till fall beroende på antaganden, kontext och policy. Sammanställningen visar därmed att storleken på läckageeffekter måste undersökas empiriskt. För svenskt vidkommande saknas studier nästa helt. Studier som utgår från svenska förhållanden och förutsättningar är viktiga för att korrekt bedöma läckageeffekter från politiska åtgärder.

### 5.2.1 Metod: CGE

Totalt 17 estimat på läckageeffekter fördelat över 6 studier tillämpar CGE-modeller med en genomsnittlig läckageeffekt på 61,7 procent. Spridningen är dock hög bland estimaten. Baylis m.fl. (2016) estimerar läckaget av en minskad avverkning i Indonesien. Modellen tillåter förändrad markanvändning (jordbruksmark till skogsbruk) för att bibehålla produktionen av skogsråvara. Deras estimeringar av läckageeffekten ligger mellan -10,31 och 7,45 procent. De finner att skogsmark som är närliggande till de skyddade arealerna utsätts för ökad avskogning. En slutsats är att läckaget blir mindre om de skyddande arealerna redan består av skogsmark i stället för t.ex. jordbruksmark. De finner också att andra verksamheter (typ och omfattning) måste inkluderas i analyser av läckage. Kuik (2014) studerar läckageeffekten av program för en minskad avverkning, inom ramen för REDD+, i flera länder med tropiska skogar under en 20-årsperiod. De estimerar temporalt stabila läckageeffekter mellan 0,6 procent för Brasilien till 10,7 procent för Malaysia. De noterar att fördelningen av läckaget mellan

studerade länder/regioner är relativt jämn men att olikheter i ekonomiska och teknologiska villkor mellan regioner är viktigt att beakta. Kvoten mellan avskogad mark och odlad mark bedöms som viktigt. Desto högre kvoten är ju högre blir prisökningarna på odlad mark om avskogningen minskar (dvs. en utbudsrestriktion av mark) och därmed också ett högre läckage. Michetti och Rosa (2012) studerar läckageeffekter av skogsplanteringar för att öka kolinlagringen i EU 27 i syfte att uppnå en nettominskning av utsläpp med 20 respektive 30 procent i förhållande till 1990 års nivåer. De finner en läckageeffekt mellan 26 och 28 procent beroende på styrmedlets ambition och att det unilaterala EU-styrmedlet ökar efterfrågan på kolintensiva produkter utanför EU. Bosello m.fl. (2010) undersöker läckageeffekter i EU av att införa prissatta REDD-krediter kopplade till EU ETS för en minskad avverkning. Deras CGE-modell inkluderar både direkta och indirekta läckageeffekter från en lägre avskogningstakt. Afrika söder om Sahara, Central- och Sydamerika och Sydöstra Asien tillåts ta del av EU ETS genom att sälja REDD-krediter. De estimerar läckaget till 45,4 procent av EU:s utsläppsreduktion utan REDD-krediter. Med obegränsade REDD-krediterna är läckaget 12,2 procent. De drar slutsatsen att handel med REDD-krediter effektivt minskar avskogningen med en begränsad effekt på mark- och virkesmarknaderna. Hu m.fl. (2014) estimerar läckageeffekter i Kina av olika styrmedel som begränsar avverkningen. De finner att läckageeffekten ligger på mellan 79,7 och 88,8 procent beroende på tillämpat styrmedel. Förskjutningen av kinesisk virkesproduktion sker främst till Ryssland, sydöstra Asien och EU. De finner att de mest effektiva scenarierna för att reducera läckaget är (1) skogsbruksreformer för stärkt äganderätt och snabbväxande skogsplantager för att öka den inhemska virkesproduktionen, samt (2) öka importtarifferna för att minska virkesimporten. Gan och McCarl (2007) estimerar nationella läckageeffekter av minskad avverkning till mellan 42,3 och 95,4 procent beroende på land och samarbetsform mellan länder. Läckageeffekten minskar generellt om fler länder samarbetar, men ett samarbete mellan ett fåtal länder har mindre effekt. Utan samarbete har Ryssland det högsta läckaget (95 procent) medan Kanada har det lägsta (42 procent). Övriga länder/regioner uppvisar utsläppsläckage kring 65 procent. Även om USA, Kanada, EU och Australien samarbetar och när regioner med tropisk skog samarbetar sker ingen större förändring av läckagen. Den minskade avverkningen förskjuts från de studerade länderna till utvecklingsländer som redan är i stor fara för avskogning. T.ex. av en minskad avverkning i EU flyttas 75 procent till utvecklingsländer, mestadels till tropiska områden.

### 5.2.2 Metod: Sektorsmodell

Sektorsmodeller är mest förekommande bland läckagestudierna. Totalt 10 studier tillämpar sektorsmodeller med 12 läckageestimat presenterade i Tabell 2. Deras genomsnittliga läckageeffekt är 38 procent. Päivinen m.fl. (2022) studerar läckaget från en minskad avverkning på cirka 4,5 procent i EU, Storbritannien och Norge och estimerar ett läckage på 64 procent fram till 2030.

Avverkningsminskningen baseras på att efterleva EU:s skogsreferensnivåer (FRL) för de två perioderna (2021–25 och 2026–30). Kallio och Solberg (2018) visar att en minskad avverkning i Norge kan resultera i ett läckage på mellan 60 och 100 procent beroende på hur mycket avverkningen av sågtimmer minskar med (10, 30 eller 50 procent). Studerad tidsperioden är 2015 till 2040 där förutsättningarna för avverkningsminskningarna gradvis implementerats till 2020. Nästan allt läckage



sker till andra europeiska länder, där Sverige kompenserar för nästan hälften av den norska avverkningsminskningen fram till 2025 för att sedan falla tillbaka till 4–14 procent. Kallio m.fl. (2018) estimerar läckaget för skogssektorn inom EU+Norge om avverkningen begränsas till maximalt fem procent av den årliga tillväxten. Det innebär att avverkningen av rundvirke minskar med cirka 20 procent. De bedömer läckageeffekten till 79 procent fram till 2030. På kort sikt är läckaget mindre eftersom handel och avverkningskapaciteten måste anpassa sig till den nya situationen. Nepal m.fl. (2013) bedömer läckageeffekterna i USA vid minskad avverkning om det kopplas till kolkrediter. Det innebär att skogsägare som frivilligt avsätter skog avstår från all avverkning på de arealerna under 100 år men kompenseras med kolkrediter. De uppskattar läckaget till mellan 71 och 88 procent beroende på priset på kolkrediterna (5, 10 eller 15 USD per ton rent kol). De visar att så länge det förväntade kolkreditpriset är högre än det förväntade värdet av avverkning ökar kolinlagring. Men ju mer skog som avsätts desto högre förväntas priset på virke blir vilket innebär att högre kolkreditpriser krävs. Acosta-Morel (2011) tillämpar en global skogssektorsmodell för att estimerar läckageeffekter i Nord-, Central- och Sydamerika. De estimerar läckaget som skillnaden mellan ett tillstånd utan kolkrediter för kolinlagring och ett där ett system av kolkrediter implementeras. De finner att läckaget ligger mellan 9 och 22 procent. De finner också ett positivt samband mellan priset på kolkrediterna och storleken på läckaget. Sun och Sohngen (2009) anlägger ett globalt perspektiv och analyserar läckageeffekter från tre scenarier med olika ersättningssystem för skogsavsättningar för kolinlagring. De definierar avsättningar som skogsmark som permanent undantas från avverkning och förändrad markanvändning i syfte att tillhandahålla andra nyttor, som kolinlagring. De estimerar läckaget till mellan 47 och 52 procent beroende på scenario. Amerikanska naturvårdsverket (EPA, 2005) bedömer från ett 100-årsperspektiv ett läckage på 24 procent av skogsplanteringar och ett negativt läckage på -2,8 procent om planteringarna kombineras med en förändrad skogsskötsel. Merparten av läckaget sker under de första 20 åren efter skogsplanteringen. Murray m.fl., (2004) estimerar läckageeffekter av minskad avverkning med kompensation i USA till mellan 7 och 17 procent beroende på priset på kolkrediterna (5–500 USD per ton av koldioxid). De estimerar också läckageeffekter för enskilda regioner i USA och med olika styrmedel. Regionalt, och utan kompensation, ger en minskad avverkning ett läckage på mellan -4,4 och 92,2 procent medan skogsplantering ger ett läckage på mellan 18,3 och 42,5 procent. Sohngen och Brown (2004) estimerar läckageeffekten från klimatkompensationsprojekt i Bolivia under olika scenarier till mellan 2 och 42 procent. De visar att storleken på läckaget varierar mest under olika antaganden på biomassans nedbrytningshastigheten och efterfrågeelasticiteten (om den inhemska efterfrågeelasticiteten på virke blir mer inelastisk så ökar läckaget). Om avverkning undviks i tropiska områden förskjuts den till tempererade klimatzoner med minskat läckage som följd. Men ett motsatt flöde av avverkade volymer innebär ett ökat läckage. Dieter m.fl. (2020) analyserar läckageeffekter från en implementering av EU:s biodiversitets strategi. De bedömer att avverkningen minskar med 42 procent som en konsekvens av direktivet inom EU-27 men att icke EU-länder kompenserar denna minskning med 73 procent. Läckaget går mestadels till USA, Ryssland, Kanada och Brasilien. Sedjo och Sohngen (2000) analyserar globala läckageeffekter från skogsplanteringar. De finner läckageeffekter på mellan 0,4 och 15,6 procent över en 100-årsperiod. Sohngen m.fl. (1999) utgår från en skogssektorsmodell för att

analysera läckageeffekter från en minskad avverkning motsvarande en skogsavsättning på fem och tio procent i Nordamerika och Europa. De bedömer läckaget till 1,1 procent från länder som genomför skogsavsättningarna till de länder som inte har gjort det.

### 5.2.3 Metod: Övriga

Övriga tillämpade metoder fördelas mellan ekonometri och simuleringar. Totalt fyra studier tillämpar ekonometri som tillsammans ger sex läckageestimat med ett genomsnitt på 41,6 procent. Fortmann m.fl. (2017) estimerar läckageeffekter av en minskad avverkning i Guatemala till mellan -5,7 och 14,5 procent. Deras modell fångar enbart aktivitetsförskjutande läckageeffekter och inkluderar därmed inte marknadsförskjutande läckageeffekter som kan uppstå på grund av förändrade marknadspriser. Alix-Garcia m.fl. (2012) estimerar läckageeffekter inom ramen av ett klimatkompensationssystem för att minska avverkningen i México. De finner en genomsnittlig läckageeffekt på fyra procent, men att läckaget varierar beroende bl.a. på skogsägarnas förmögenhet (desto högre förmögenhet ju mindre läckage). Meyfroidt m.fl. (2010) estimerar läckageeffekterna av en minskad avverkning för åtta länder som genomfört (historiskt eller nyligt) förändringar i sina skogsbruksmetoder. För denna grupp av länder skatter de läckageeffekten till 55,6 procent. Wear and Murry (2004) estimerar storleken på läckaget vid minskade avverkningar för tre geografiska skalor: privatägd skog i västra USA, hela USA och Nordamerika. De finner en läckageeffekt på 43,3 procent för västra USA som ökar till 57,7 procent för USA och till 84,4 procent för Nordamerika.

Även fyra simuleringsstudier har identifierats som ger ett läckageestimat per studie. Deras genomsnittliga läckage är 27,8 procent. Jadin m.fl. (2016) simulerar läckageeffekter av en minskad avverkning i Bhutan. De finner en läckageeffekt på 27 procent. Meyfroidt och Lambin (2009) simulerar storleken av läckaget från en minskad avverkning i Vietnam. De delar upp analysen i policy- och efterfrågedrivet läckage. Den policydrivande delen kommer från införda avverkningsbegränsningar och den efterfrågedrivna delen från en ökad efterfrågan (inhemsk och export). De estimerar det totala avverkningsläckaget till 39,1 procent fördelat på policydrivande 22,7 procent och efterfrågedrivande 16,4 procent. De argumenterar att utan åtgärder för att öka arealen av snabbväxande skogsplantager skulle läckaget ha varit högre. Styrmedel för att begränsa avverkningen kombinerades med styrmedel för att öka utbudet av skogsprodukter. Hooda m.fl. (2007) simulerar läckageeffekter av skogsplantering i Indien och finner att ett läckage på mellan 10 och 20 procent över 30 år. Lasco m.fl. (2007) simulerar läckageeffekt från en minskad avverkningen i Filippinerna. Baserat på skillnaden mellan bas- och projektscenarier beräknas läckaget till mellan 19 och 41 procent. De mesta av läckagen sker under projektets tio första år.

**Tabell 2: Sammanställning av läckageeffekter relaterade till skogsbruk**

Läckage	Skala (Plats)	Klimat	Policy	Metod		Referens
95,4%	Nationell (Ryssland)	Tempererat	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
89,0%	Multinationell (Australien och Nya Zeeland)	Varierande	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
87,2%	Multinationell (Afrika söder om Sahara)	Varierande	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
86,1%	Multinationell (EU)	Tempererat	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
84,4%	Multinationell (Nordamerika)	Tempererat	Minskad avverkning	Ekonometri		Wear och Murray (2004)
79,7 – 88,8%	Nationell (Kina)	Varierande	Minskad avverkning	CGE		Hu m.fl. (2014)
60–100%	Nationell (Norge)	Tempererat	Minskad avverkning	Sektorsmodell		Kallio och Solberg (2018)
71 – 88 %	Nationell (USA)	Tempererat	Minskad avverkning med kompensation	Sektorsmodell	Kolpris USD 5, 10 och 15 per ton C	Nepal m.fl. (2013)
79,0%	Multinationell (EU och Norge)	Tempererat	Minskad avverkning	Sektorsmodell	Max 5 procent av årlig tillväxt	Kallio m.fl. (2018)
77,9%	Multinationell (Sydöstra Asien, Latinamerika och södra Afrika)	Varierande	Minskad avverkning	CGE	Samarbete mellan visa länder	Gan och McCarl (2007)
76,7%	Nationell (USA)	Tempererat	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
76,2%	Multinationell (Sydöstra Asien)	Varierande	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
74,2%	Multinationell (Latinamerika)	Varierande	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
64 – 84%	Multinationell (EU+UK+Norge)	Tempererat	Minskad avverkning	Sektorsmodell		Päivinen m.fl. (2022)
73	Multinationell (EU)	Tempererat	Minskad avverkning	Sektorsmodell		Dieter m.fl. (2020)
69,8%	Multinationell (Östra Asien)	Varierande	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
65,0%	Global	Varierande	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
63,9%	Multinationell (USA, Kanada, EU, Australien och Nya Zeeland)	Tempererat	Minskad avverkning	CGE	Samarbete mellan visa länder	Gan och McCarl (2007)
57,7%	Nationell (USA)	Tempererat	Minskad avverkning	Ekonometri		Wear och Murray (2004)
55,6%	Multinationell	Varierande	Minskad avverkning	Ekonometri		Meyfroidt m.fl. (2010)
–4,4 – 92,2%	Regional (US regions)	Tempererat	Minskad avverkning	Sektorsmodell		Murray m.fl., (2004)
43,3%	Regional (västra USA)	Tempererat	Minskad avverkning	Ekonometri		Wear och Murray (2004)
42,3%	Nationell (Kanada)	Tempererat	Minskad avverkning	CGE	Inget samarbete	Gan och McCarl (2007)
39,1%	Nationell (Vietnam)	Tropiskt	Minskad avverkning	Simulering		Meyfroidt och Lambin (2009)
18,3 – 42,5%	Regional (US regions)	Tropiskt	Skogsplantering	Sektorsmodell		Murray m.fl., (2004)
19 – 41%	Nationell (Filipinerna)	Tempererat	Minskad avverkning	Simulering	Egna beräkningar baserat på data i Lasco m.fl. (2007)	Lasco m.fl. (2007)
12,2 – 45,4%	Multinationell (EU)	Varierande	Minskad avverkning	CGE	Utsläppspriser USD 8–46 per ton CO <sub>2</sub>	Bosello m.fl. (2010)

26 – 28%	Multinationell (EU)	Tropiskt	Skogsplantering	CGE		Michetti och Rosa (2012)
27,0%	Nationell (Bhutan)	Variérande	Minskad avverkning	Simulering		Jadin m.fl. (2016)
2 – 42%	Nationell (Bolivia)	Tempererat	Minskad avverkning	Sektorsmodell		Sohnen and Brown (2004)
9 – 22%	Global	Tropiskt	Minskad avverkning med kompensation	Sektorsmodell	Kolpris USD 10–900 per ton C	Acosta-Morel (2011)
10 – 20%	Nationell (Indien)	Tropiskt	Skogsplantering	Simulering		Hooda m.fl. (2007)
7 – 17%	Nationell (USA)	Tropiskt	Minskad avverkning med kompensation	Sektorsmodell	Kolpris 5–500 USD per ton CO <sub>2</sub>	Murray m.fl., (2004)
-2,8 – 24%	Nationell (USA)	Tempererat	Skogsplantering med kompensation	Sektorsmodell	Kolpris USD 15 per ton CO <sub>2</sub>	US EPA (2005)
0,4 – 15,6%	Global	Tropiskt	Skogsplantering	Sektorsmodell		Sedjo och Sohnen (2000)
0,6 – 10,7%	Multinationell (Indonesien, Kambodja/Lao PDR, Malaysia, Brasil, Bolivia/Ecuador, Peru, Colombia, Afrika)	Tempererat	Minskad avverkning	CGE		Kuik (2014)
-5,7 – 14,5%	Nationell (Guatemala)	Variérande	Minskad avverkning	Ekonometri		Fortmann m.fl. (2017)
4,0%	Nationell (México)	Variérande	Minskad avverkning	Ekonometri	USD 27–36 per hektar	Alix-Garcia m.fl. (2012)
1,1%	Multinationell (EU och Nordamerika)	Tempererat	Minskad avverkning	Sektorsmodell	5% markläckage	Sohnen m.fl. (1999)
-10,3 – 7,5 %	Nationell (Indonesien)	Tempererat	Minskad avverkning	CGE		Baylis m.fl. (2016)

### 5.2.4 Policyeffekter

Utformningen och omfattningen av klimatpolitiska åtgärder som påverkar skogsbruket påverkar storleken på läckaget i varierande omfattning (Schwarze m.fl., 2002a). Studierna i Tabell 2 placeras inom två generella policyområden: Minskad avverkning eller skogsplantering. Minskad avverkning kan ske genom direktpåverkande åtgärder som avverkningsbegränsningar, eller genom indirekt påverkande åtgärder som utökningar av skyddade skogsbestånd. I detta sammanhang tolkas läckageeffekten som den andel av den policydrivna minskningen i avverkning som förskjuts till andra bestånd/regioner/länder som inte omfattas av policyn. Till exempel, om läckageeffekten är 60 procent innebär det att för varje kubikmeter som inte avverkas inom det området som omfattas av policyn ökar avverkningen med 0,6 kubikmeter i andra områden som inte omfattas av policyn. De totalt 34 läckageestimat baserade på en minskad avverkning har ett genomsnittligt läckage på 52,2 procent. Om läckage även delas upp mellan klimatzoner uppvisar den tempererade klimatzonen ett genomsnittligt läckage på 61,2 (59,3) procent utan (med) kompensationssystem. Den tropiska klimatzonen<sup>19</sup> har ett genomsnittligt läckage på 14,8 procent. De studier som inkluderar länder i olika klimatzoner (varierande) har ett genomsnittligt läckage på 65,6 procent.

<sup>19</sup> Inklusivt den subtropiska klimatzonen.

I de studier som utvärderar läckageeffekter av skogsplantering tolkas läckageeffekten lite annorlunda. Till exempel, om läckaget är 60 procent innebär det att varje kubikmeter på planterade arealer tränger undan 0,6 kubikmeter investeringar i tillväxt på andra arealer. Det genomsnittliga läckaget av skogsplanteringar är 18,2 procent baserat på fem läckageestimat. För den tempererade klimatzonen är det genomsnittliga läckaget 22,7 procent, och för den tropiska klimatzonen 15 procent.

Tidigare studier indikerar att klimatpolitiska åtgärder som direkt eller indirekt minskar avverkningen resulterar i relativt höga läckageeffekter jämfört med skogsplanteringar. Läckaget är större för länder i den tempererade klimatzonen jämfört med länder i den tropiska klimatzonen. Med stor sannolikhet agerar de olika klimatzonerna som proxy för ekonomiska utveckling, infrastruktur och industriell utbyggnad i de olika länderna. Detta kan också kopplas mot att konsumtion och produktion av skogsprodukter varierar stort mellan olika inkomstgrupper av länder. Höginkomstländer är den enda grupp som har en nettoimport och som skyddar egna skogar men tillägnar sig resurser från fattigare länder för att upprätthålla sin konsumtion av skogsprodukter (Mills Busa, 2013; Berlik m.fl., 2002). Om klimatpolitiska åtgärder med minskad avverkning som följd kombineras med styrmedel som kompenserar skogsägare minskar generellt läckageeffekten. Skogsbruket behöver inte flytta sin verksamhet till andra områden för att bibehålla sin inkomstnivå, utan kompenseras för de inkomstförluster en ofrivillig avverkningsminskning innebär.

## 6 Resultatdiskussion av marknadsförskjutande läckageeffekter

Genom att tillämpa Ekvation 15 kan vi beräkna läckageeffekter för en minskad avverkning och analysera läckageeffekter för sågtimmer, massaved och brännved enskilt eftersom de möter olika elasticiteter. Utöver utbuds- och efterfrågeelasticiteter måste även antaganden ske av kvoten för efterfrågeförskjutningen ( $\phi$ ), balanskvoten ( $C_N/C_R$ ) och graden av substituerbarhet mellan inhemska och importerade sortiment ( $\gamma$ ).

### 6.1 Ingående parametervärden

Analysen bygger på antagandet att den svenska avverkningen av rundvirke minskar med 5, 10 eller 20 procent i förhållande till valt basår. Alla sortiment minskar i samma omfattning. Tabell 3 presenterar scenarioutfallen med 2020 års avverkningsnivå som basår.

**Tabell 3: Scenariobaserade avverkningsminskningar (miljoner m<sup>3</sup>fub)**

	Avverkning 2020 <sup>1</sup>	Avverkningsminskning		
		5%	10%	20%
Sågtimmer	37,2	1,9	3,7	7,4
Massaved	31,5	1,6	3,2	6,3
Brännved	5,1	0,3	0,5	1,0

<sup>1</sup> Skogsstyrelsen (2022).

#### 6.1.1 Utbuds- och efterfrågeelasticiteter

Tillgängliga estimeringar av utbuds- och efterfrågeelasticiteter påverkar möjligheten att bedöma temporala och spatiala läckageeffekter för olika sortiment av rundvirke. Ju mer detaljerade dessa estimat är desto mer finfördelat kan läckageeffekter bedöms. Tabell 4 och tabell 5 sammanställer representativa elasticitetsestimeringar.<sup>20</sup>

Estimeringar av utbuds- och efterfrågeelasticiteter i Tabell 4 är hämtade från Geijer m.fl. (2011).<sup>21,22</sup> Deras ekonometriska skattningar är baserade på årlig svensk skogsdata för 1966–2006, medan elasticiteterna beräknas på genomsnittliga priser och volymer för åren 2000–2004.<sup>23</sup> Efterfrågeelasticiteterna är uppdelade i kortsiktiga (KS) och långsiktiga (LS) effekter för sågtimmer, massaved och brännved. I denna typ av studier definieras kort sikt normalt som

<sup>20</sup> En omfattande litteraturgenomgång av relevanta elasticitetsberäkningar har inte skett inom ramen för detta projekt. I stället presenteras en känslighetsanalys som visar hur läckageeffekterna varierar inom rimliga förändringar av de presenterade elasticiteterna.

<sup>21</sup> Geijer m.fl. (2011) visar också att sortimenten är substitut till varandra vilket innebär att avverkningsbeslutet inte är binärt (avverka eller inte avverka) utan en avverkningsmix av de olika träsortimenten måste bestämmas.

<sup>22</sup> Geijer m.fl. (2011) hämtar sin prisdata från Sveriges officiella statistik.

<sup>23</sup> Det skulle vara önskvärt att estimerar uppdaterade elasticiteter tillsammans med en kritisk diskussion om datakvaliteten på skogsråvara.

den tidsrymd då företagets kapital (maskiner, byggnader etc.) inte är påverkningbart. Lång sikt är den tidsrymd då företagen kan påverka kapitalet. Tyvärr saknas uppgifter för en uppdelning av utbudselasticiteten i en kort- och en långsiktig effekt. Ekonometrisk studier visar att utbudet av massaved är mindre priselastiskt än sågtimmer (Tian m.fl., 2017).

**Tabell 4: Ingående storlek på inhemska utbuds- och efterfrågeelasticiteter för sågtimmer, massaved och brännved**

	Sågtimmer		Massaved		Brännved	
	KS	LS	KS	LS	KS	LS
Efterfrågeelasticitet (Sverige)	-0,71	-0,75	-0,12	-0,15	-0,2	-1,33
Utbudselasticitet (Sverige)	0,28		0,14		0,55	

Källa: Geijer m.fl. (2011).

Eftersom efterfrågeelasticiteten i Tabell 4 gäller för svensk efterfrågan blir de beräknade läckageeffekterna för marknadsförskjutningar inom Sverige. Morland m.fl. (2018) och Skjerstad m.fl. (2021) beräknar globala efterfrågeelasticiteter för rundvirke respektive barrträd för Sveriges viktigaste handelspartners av rundvirke (se figur 4). De kan användas för att bedöma läckageeffekterna av marknadsförskjutningar till en ökad avverkning i andra delar av världen, som en konsekvens av en minskad svensk avverkning.

**Tabell 5: Ingående storlek på globala efterfrågeelasticiteter för rundvirke**

	Rundvirke	
	KS	LS
Estland <sup>1</sup>	-0,04	-0,08
Lettland, Ryssland <sup>1</sup>	-0,16	-0,46
Finland, Norge <sup>2</sup>	-0,27	
<b>Medel</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,27</b>

<sup>1</sup> Skjerstad m.fl. (2021), avser barrträd.

<sup>2</sup> Morland m.fl. (2018), beräknat som ett ovägt medelvärde av skattade efterfrågeelasticiteter för rundvirke.

Samtliga elasticiteter i Tabell 4 och Tabell 5 är baserade på totala volymer (jämfört med per capita). Tyvärr bedöms några av elasticiteterna som statistiskt insignifikanta. Av den anledningen, tillsammans med variationen i estimerade elasticiteter mellan olika studier, genomförs även en känslighetsanalys av läckageeffekterna där elasticiteterna tillåts variera i en avgränsad omfattning.

### 6.1.2 Kvoten för efterfrågeförskjutningen

Storleken på efterfrågeförskjutningen från det oskyddade skogsbeståndet mäts av kvoten mellan den initiala utbudna volymen virke från det skyddade beståndet och den initiala utbudna volymen från det oskyddade beståndet ( $\phi$ ).

$$\phi = \frac{Q_{R0}}{Q_{N0}} \Rightarrow Q_{R0} = \phi Q_{N0} \quad (19)$$

Eftersom det är läckageeffekterna från en minskad avverkning som är av intresse fastställs kvoten exogent av den önskade avverkningsminskningen och den utbudna volymen från det oskyddade beståndet, t.ex. virkesproduktionen från oskyddad produktiv skogsmark i Sverige under ett visst år. Det innebär att det är

den utbudna volymen från det skyddade beståndet ( $Q_{R0}$ ) som varierar för att uppnå avverkningsminskningen. I detta fall sätts kvoten till avverkningsminskning på motsvarande 5, 10 och 20 procent ( $\phi_1 = 0,05$ ;  $\phi_2 = 0,10$ ;  $\phi_3 = 0,20$ ). Avverkningsminskningar, som inte är direkt kopplade till marknadsorsaker, kan givetvis ske av andra orsaker än en utökning av skyddade områden. Men för analysen är det storleken på själva avverkningsminskningen som är viktigt, inte dess orsaker. Hur avverkningsminskningarna uppnås (önskat eller oönskat) är en separat fråga.

En annan aspekt av kvoten är att den inte beaktar skillnader i t.ex. bonitet, det är utbudna volymer som ingår inte arealen på de skyddade respektive oskyddade bestånden. Till exempel, om ett skogsbestånd produktiv skogsmark i Norrbotten skyddas måste bortfallet i avverkningen från det beståndet först beräknas för att sedan jämföras med önskad nationell avverkningsminskning multiplicerat med riksgenomsnittet av avverkning per hektar.

### 6.1.3 Balanskvoten

Med balanskvoten avses kvoten ( $C_N/C_R$ ). Den kan återge balansen mellan olika storheter per enhet i de oskyddade och skyddade bestånden. Om utsläppsläckage är av intresse kan balanskvoten visa på kolhalten i de olika bestånden (C per ton). Om i stället avverkningsläckage är av intresse kanske trätätheten (densitet) är av större intresse (ton per  $m^3$ ). Om en marknadsförskjutning innebär en ökad avverkning av samma trädsort som i det skyddade beståndet, blir balanskvoten ett och påverkar därmed inte läckageeffekten. Men om ett bestånd med tall skyddas och där marknadsförskjutning innebär att avverkningen av gran på andra bestånd ökar kommer balanskvoten att skilja sig från ett. Variationen inom ett och samma trädslag kan också variera beroende på olika omständigheter. Balanskvoten kan även utformas för att inkludera förändringar i kringliggande faktorer, till exempel skillnader i markkolen.

Utan specifika uppgifter på de påverkade skogsbestånden är det omöjligt att bedöma storleken på balanskvoten. Men eftersom Sverige domineras av tall och gran samtidigt som våra största internationella handelspartner även de befinner sig i den boreala regionen med liknande egenskaper utgår den grundläggande simuleringen av läckageeffekter från en balanskvot på ett ( $C_N/C_R = 1$ ). En känslighetsanalys genomförs dock för att studera hur läckageeffekten påverkas med en balanskvot med en spridning runt ett. Tabell 6 presenterar densitet, kol och koldioxidhalt för de vanligaste trädsorterna i Sverige.

**Tabell 6: Densitet, kol- och koldioxidhalt i utvalda träd**

	Densitet $ton (m^3sk)^{-1}$	Kolhalt $ton C (m^3sk)^{-1}$	Koldioxidhalt $ton CO_2 (m^3sk)^{-1}$
Tall	0,663	0,332	1,216
Gran	0,781	0,391	1,432
Löv	0,841	0,421	1,542

Källa: Lundblad m.fl., (2022).



### 6.1.4 Graden av substituerbarhet mellan inhemska och importerade sortiment

Graden av substituerbarhet mellan inhemska och importerade sortiment indikerar hur mycket av den minskade avverkningen från det inhemska skyddade beståndet som förskjuts till oskyddade bestånd i utlandet. Substituerbarhet bestäms av naturgivna förutsättningar, men också av beteendemässiga aspekter. Försök till produktdifferentiering efter ursprungsland kan förekomma i syfte påverka substituerbarheten men i slutändan är det köparen av virket som bedömer om en m<sup>3</sup> furu från Sverige är desamma som en m<sup>3</sup> furu från ett annat land. Även om det också kan förekomma substitutionsbegränsningar inom Sverige är det mindre troligt det har en avgörande betydelse.

Substitutionsparametern ( $\gamma$ ) i Ekvation (15) fångar graden av substituerbarhet. Om  $\gamma = 1$  är sortimentet perfekta substitut och om  $\gamma = 0$  finns det inga substitutionsmöjligheter alls (och därmed inget läckage). Om import och inhemska rundvirke antas vara homogena kan därmed läckageeffekten överskattas. Ett mått för substituerbarheten mellan import och inhemska varor är Armington substitutionselasticitet. Det är en parameter som vanligtvis används i modeller för internationell handel och CGE-modeller och som mäter substitutionen mellan import och inhemska varor på grund av förändringar i relativpriset mellan varorna. Det baseras på antagandet att varor som handlas internationellt kan differentieras efter ursprungsland (Armington, 1969). En hög Armington substitutionselasticitet innebär att importerade och inhemska rundvirke är nära substitut.

En nackdel med att använda Armington substitutionselasticitet som substitutionsparameter är att den inte har en övre gräns. Värden på Armington substitutionselasticitet som överstiger värde ett saknar därmed direkt tolkning som substitutionsparameter. Det finns ett flertal empiriska studier som estimerar Armington substitutionselasticitet för olika skogsprodukter. Sauquet m.fl. (2011) beräknar Armington substitutionselasticiteter mellan franska och till Frankrike importerat barr- och lövsågtimmer. De finner att substitutionselasticiteter kring 0,51 för lövsågtimmer och 0,92 för barrsågtimmer. I en liknande studie för Sverige finner Lundmark och Shahrammehr (2011) att substitutionselasticiteten för rundvirke ligger kring 1,0. Eftersom merparten av både avverkning och import till Sverige är barrträd ligger studierna nära varandra i sina resultat. Den grundläggande simuleringen av läckageeffekter utgår från en substitutionsparameter på ett ( $\gamma = 1$ ) med en efterföljande känslighetsanalys för att bedöma läckageeffekterna om importerade sortiment är imperfekta substitut till de svenska.

## 6.2 Simuleringsresultat

Resultaten indikerar att ett avverkningsläckage skulle uppstå vid en avverkningsminskning i Sverige där delar av den minskade avverkningen förskjuts till andra länder. Avverkningsminskningen kan bero på politiska åtgärder (klimat, energi, skog), beteendeförändringar hos skogsägare eller naturliga förändringar. Tabell 7 presenterar de estimerade läckageeffekterna vid olika nivåer på avverkningsminskningen för sågtimmer, massaved och brännved.

Värdena i tabellen tolkas som den procent av avverkningsminskningen som förskjuts till andra länder. Exempelvis, om avverkningen av sågtimmer minskar med tio procent ( $\phi = 0,10$ ) kommer 26,4 procent av minskningen att förskjutas till andra länder på kort sikt och med 25,3 procent på lång sikt. Alternativt för varje kubikmeter minskad avverkning i Sverige ökar avverkningen i andra länder med 0,264 kubikmeter på kort sikt och med 0,253 kubikmeter på lång sikt. För sågtimmer ligger läckageeffekten mellan 23,7 och 62,5 procent, för massaved mellan 30,2 och 52,6 procent och för brännved mellan 25,6 och 76,6 procent. Det relativt höga kortsiktiga läckageeffekten för brännved kan kopplas till den relativt höga utbudselasticiteten (0,55) som innebär att skogsägarna är relativt känsliga för prisförändringar i deras utbud av brännved. Vid prisförändringar sker då större förändringar i den utbudens volym av brännved, som kompenseras genom förändrade handel från andra länder. Dessa estimat är jämförbara med de från tidigare forskning för tempererade klimatzoner och för klimatpolitiska åtgärder som resulterar i en minskad avverkning. Storleken på läckageeffekten beror på antaganden kring avsättningsmarknaderna för den svenska avverkningen, analyserad tidshorisont och storleken på avverkningsminskningen. Resultaten beräknas som konsekvensbedömningar under antagandet att alla andra faktorer hålls konstanta. Det är således inte en prognos som presenteras.

**Tabell 7: Simuleringsresultat av läckageeffekter (%)**

	Avverkningsminskning					
	5%		10%		20%	
	$(\phi = 0,05)$		$(\phi = 0,10)$		$(\phi = 0,20)$	
<b>Svensk efterfrågan</b>	<i>KS</i>	<i>LS</i>	<i>KS</i>	<i>LS</i>	<i>KS</i>	<i>LS</i>
<i>Sågtimmer</i>	27,3	26,2	26,4	25,3	24,7	23,7
<i>Massaved</i>	52,6	47,1	51,5	45,9	49,3	43,8
<i>Brännved</i>	72,4	28,3	71,4	27,3	69,6	25,6
<b>Global efterfrågan</b>						
<i>Sågtimmer</i>	62,5	49,7	61,4	48,5	59,3	46,4
<i>Massaved</i>	45,5	33,1	44,3	32,0	42,2	30,2
<i>Brännved</i>	76,6	66,0	75,8	64,9	74,1	62,9

Antar  $\gamma = 1$  och  $C_N/C_R = 1$ .

Resultaten är uppdelade i en svensk och en global efterfrågan på svenskt rundvirke. Enbart en mindre andel av det svenska rundvirket går oförädlad på export. Av den anledningen bedöms resultaten baserade på svenska elasticiteter (svensk efterfrågan) vara mer rimliga utgångspunkter. Men om den internationella handeln ökar och den globala elasticiteten ökar i betydelse kan vi förväntas oss att en minskad avverkning av sågtimmer och brännved kommer att ge upphov till ökande läckageeffekter, medan läckageeffekterna för massaved förväntas minska. På grund av den relativt inelastiska efterfrågan på rundvirke ökar läckageeffekten på grund av ökad avverkning i andra länder.

Den stora variationen och storleken i läckageeffekterna överensstämmer med tidigare studier. Mest intressant är det att jämföra resultaten med Kallio m.fl. (2018) och Kallio och Solberg (2018). För EU och Norge visar Kallio m.fl. (2018) på en läckageeffekt motsvarande 79 procent till omvärlden av en cirka 20 procentig avverkningsminskning fram till 2030. Ansatsen i Kallio och Solberg (2018) ligger närmast ansatsen i denna studie, även om metoden skiljer sig åt. De

studerar läckageeffekter från en 10, 30 eller 50 procentig avverkningsminskning av sågtimmer i Norge. Även de finner höga läckageeffekter på mellan 60 och 100 procent vid en minskad avverkning. De visar också på en minskade läckageeffekter över tiden.

Förväntningen är att läckageeffekterna ska vara högre för en mindre avverkningsminskning än en stor, eftersom en mindre minskning lättare kan kompenseras av en ökad avverkning i andra länder. Resultaten överensstämmer med denna förväntning. Men för de enskilda sortimenten är förändringen i läckageeffekterna relativt liten vid en större avverkningsminskning. Till exempel, med enbart en svensk efterfrågan skiljer sig den kortsiktiga läckageeffekten för massaved enbart med 3,3 procent mellan den 5 och 20 procentiga avverkningsminskningen. Detta kan förklaras av (i) tillgängliga volymer i andra länder, (ii) få handelsbegränsningar, (iii) unilaterala åtaganden om att minska avverkningen.

Läckageeffekten är lägre för sågtimmer än för massaved. Det kan förklaras av att sågtimmer har en begränsad användning som insatsvara i produktionen av sågade trävaror, medan massaved har fler värdekedjor den kan används i. Vidare har massaved fler substitut jämfört med sågtimmer, som t.ex. sågverksflis. Slutligen, eftersom delar av sågtimret kommer tillbaka till fibermarknaden i form av sågverksflis, påverkas utbudet och efterfrågan av massaved indirekt av förändringar på marknaden för sågtimmer.

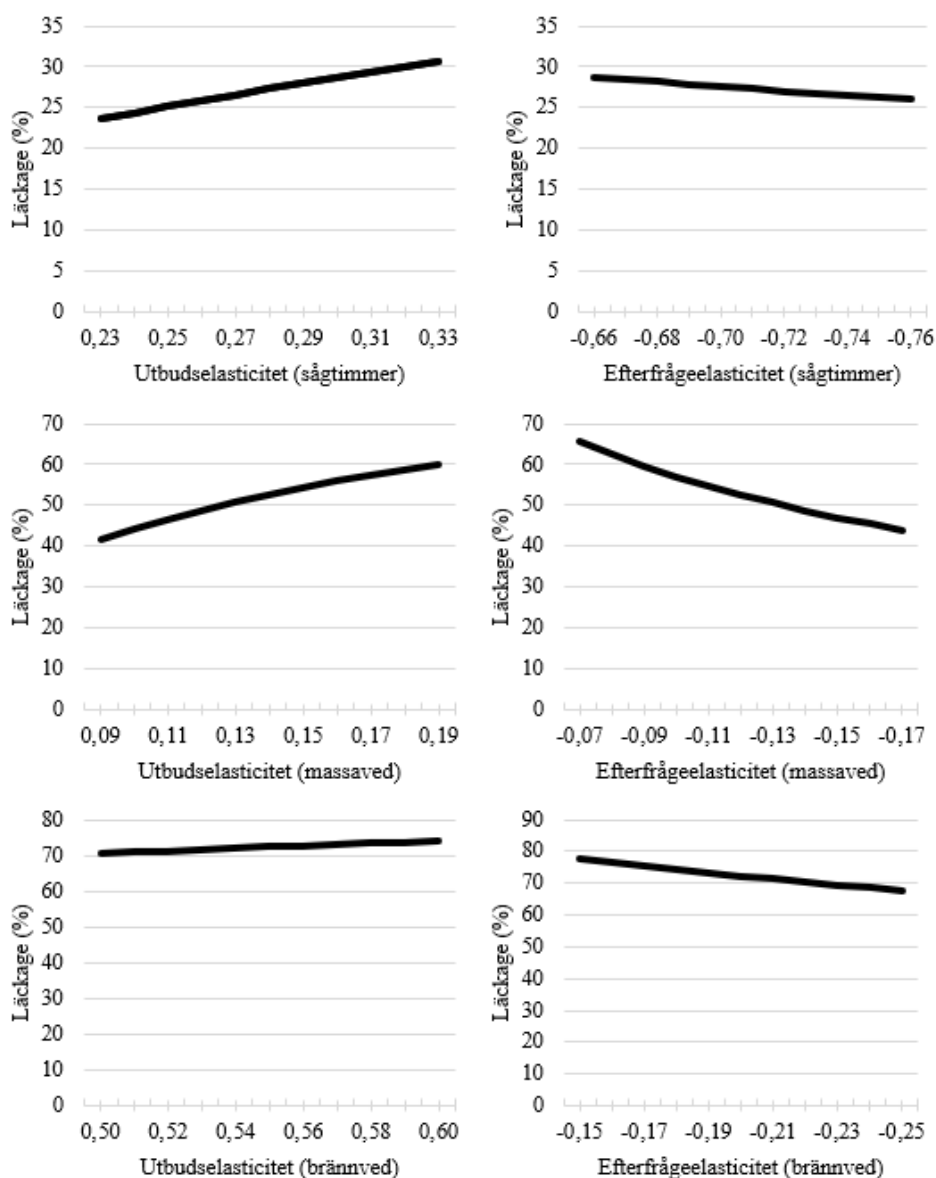
Brännved har ett relativt högt läckage på kort sikt medan det på längre sikt minskar (Tabell 7 med svensk efterfrågan). Brännved är virke av lägre kvalitet som tas ut vid t.ex. gallringar och slutavverkningar. Normalt används brännved för husbehov men kan även används i kraft- och kraftvärmeverk. Hushåll kan på längre sikt byta ut sitt uppvärmningssystem vilket gör att brännved som insatsvara har en hög långsiktig efterfrågeelasticitet. Den relativt höga långsiktiga läckageeffekten för brännved kan därmed förklaras av den relativt höga utbudselasticitet (Tabell 4) som har en positiv inverkan på läckagets storlek (jfr. ekvation 14 och 15). Den relativt höga utbudselasticiteten innebär att brännved är mer priskänsligt jämfört med massaved och sågtimmer, det vill säga en prisförändring har ett relativt stort genomslag på utbudens volym av brännved. Förändringen mellan det kort- och långsiktiga läckaget av brännved kan förklaras av motsvarande skillnad i efterfrågeelasticiteterna.

### 6.3 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen genomförs för att bedöma hur osäkerheten i de ingående parametervärdena påverkar läckageeffekten.

För att bedöma känsligheten av elasticiteterna på läckaget låter vi de variera runt sina initiala värden. Känslighetsanalysen baseras på de svenska kortsiktiga efterfrågeelasticiteterna. Efterfrågeelasticiteterna för sågtimmer varierar med  $-0,71 \pm 0,05$  medan utbudselasticiteten varierar med  $0,28 \pm 0,05$ . För massaved varierar efterfrågeelasticiteten med  $-0,12 \pm 0,05$  och för utbudselasticiteten med  $0,14 \pm 0,05$ . Slutligen, för brännved varierar efterfrågeelasticiteten med

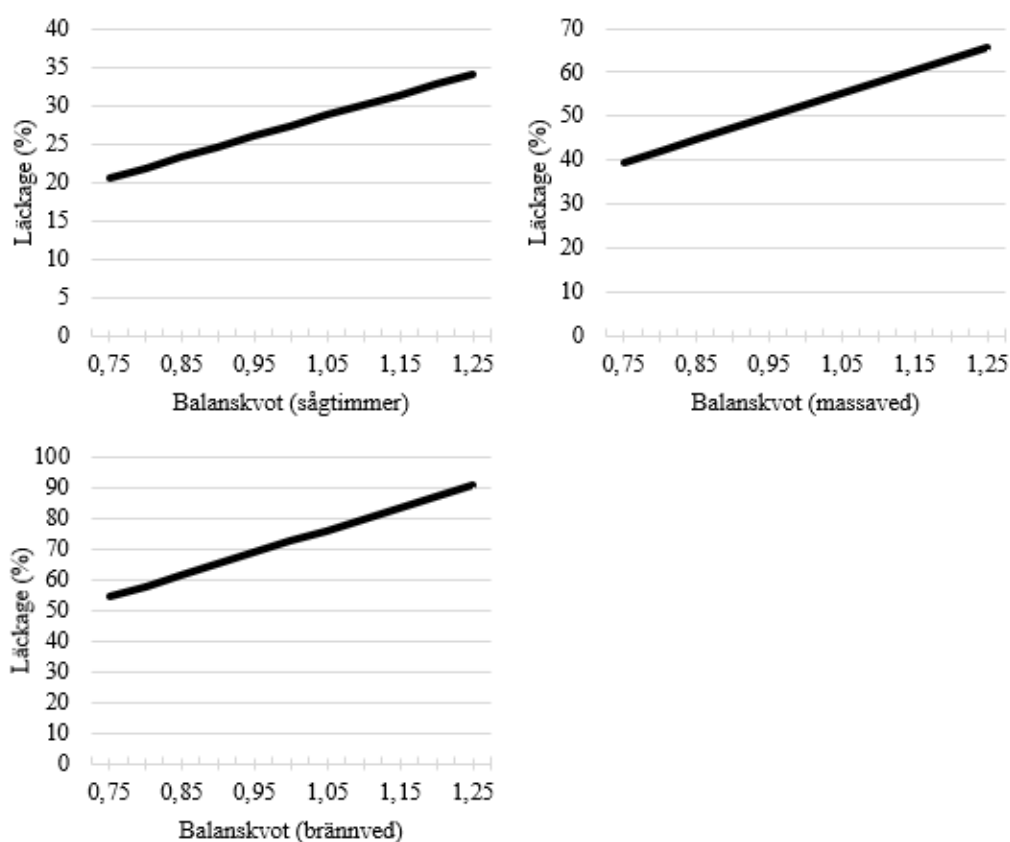
-0,20 ± 0,05 och för utbudselasticiteten med  $0,55 \pm 0,05$ . Vi förväntar oss att läckaget blir större med högre priskänslighet på utbudet ( $dL/d\varepsilon^S > 0$ ) och mindre med högre priskänslighet på efterfrågan ( $dL/d|\varepsilon^D| < 0$ ). Figur 6 illustrerar förändringen i läckageeffekten när elasticiteterna tillåts variera. Som förväntat blir läckaget större med en högre utbudselasticitet och lägre med en mindre efterfrågeelasticitet. Förändringar i elasticiteterna för massaved har störst effekt på läckageeffekten. Även utbudselasticiteten för sågtimmer visar relativt stora förändringar medan övriga elasticiteter visar på mindre känslighet för små förändringar.



**Figur 6: Känslighetsanalys av kortsiktiga utbuds- och efterfrågeelasticiteterna för sågtimmer, massaved och brännved**

Balanskvoten ( $C_N/C_R$ ) återger balansen mellan olika storheter per enhet i de oskyddade och skyddade bestånden. I resultaten antogs det att det inte är någon skillnad i antigen densitet eller kolhalt i de skyddade och oskyddade bestånden. Detta är ett rimligt antagande så länge en minskad svensk avverkning

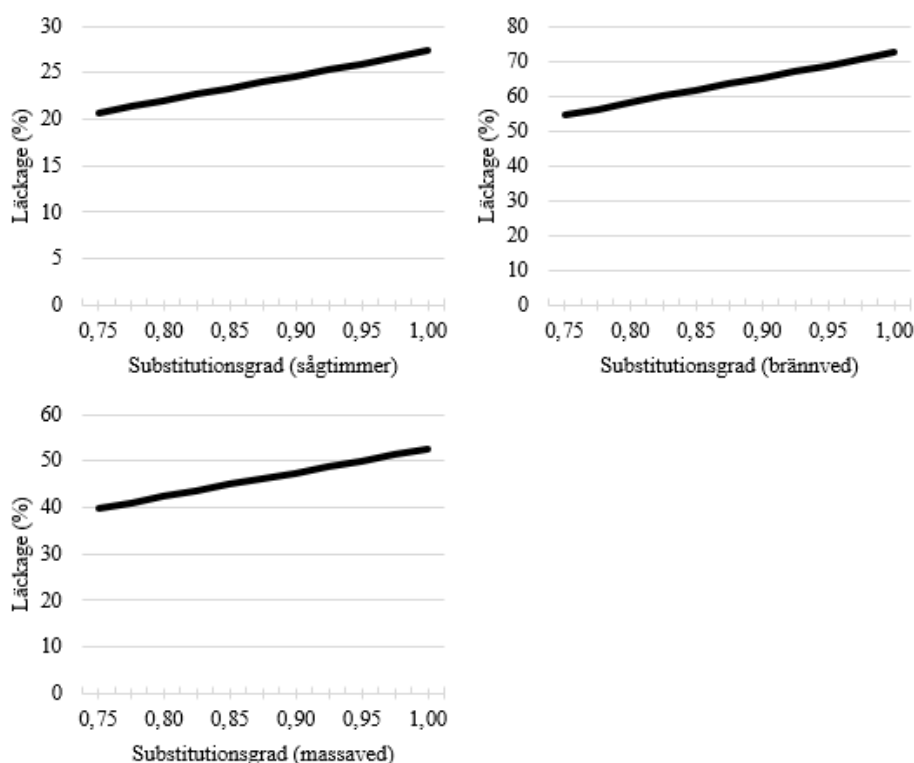
kompenstras av en ökad avverkning i liknande skogsbestånd. För att testa känsligheten i detta antagande låter vi balanskvoten variera med  $1 \pm 0,25$ . Värdet över ett innebär att t.ex. kolhalten är större i det oskyddade området, medan ett värde under ett innebär att kolhalten är större i det skyddade området. Vi förväntar oss att ett högre värde på balanskvoten ( $dL/d[C_N/C_R] > 0$ ) ger en högre läckage. Figur 7 visar förändringen i balanskvoterna för sågtimmer, massaved och brännved. Som förväntat ger högre värden på balanskvoten ett högre läckage. För sågtimmer visar känslighetsanalysen en läckageförändring på cirka 14 procentenheter mellan minimum- och maximumvärdena. För massaved och brännved visar motsvarande känslighetsanalys en läckageförändring på 26 respektive 36 procentenheter.



**Figur 7: Känslighetsanalys av balanskvoten för sågtimmer, massaved och brännved**

Inhemskt och importerade rundvirkessortiment antogs vara perfekta substitut i resultatsimuleringen. Om vi släpper på detta antagande, det vill säga  $\gamma < 1$ , kan vi testa för antagandets känslighet mot storleken på läckaget. I detta fall tillåter vi parametervärdet variera nedåt från ett med 0,25 enheter (det finns ingen tolkning av parametervärden högre än ett varför det inte är intressant att analysera). Vi förväntar oss att läckaget ökar med graden av substituerbarhet ( $dL'/d\gamma > 0$ ). Figur 8 illustrerar resultaten för känslighetsanalysen för variationer i substitutionsgraden för sågtimmer, massaved och brännved. Som förväntat ökar läckaget med en högre grad av substituerbarhet mellan inhemskt och importerat, för samtliga sortiment. Skillnaden i läckage mellan imperfekta substitut ( $\gamma = 0,75$ ) och perfekta substitut ( $\gamma = 1$ ) är störst för brännved, en skillnad på

cirka 18 procentenheter. För massaved och sågtimmer skiljer sig läckaget med cirka 13 respektive sju procentenheter.



**Figur 8: Känslighetsanalys av substitutionsgraden för sågtimmer, massaved och brännved**

## 6.4 Kvalitativ styrmedelsanalys

Läckageeffekter av olika styrmedel har studerats relativt ingående. Huvuddelen av denna forskning är koncentrerad på olika effekter av klimattullar på importerade varor. För Sveriges del innebär det klimattullar fastställda av EU på varor som importeras av EU-länder. Men handel mellan EU-länder omfattas inte av EU:s klimattullar. Sveriges handel med rundvirke sker idag huvudsakligen med andra EU-länder (eller ESS-länder) och kommer därmed inte att omfattas av eventuella klimattullar. Dessutom är det oklart huruvida klimattullarna omfattar import av rundvirke. Ett annat relevant styrmedelsområde är LULUCF-sektorn. Fokus inom detta område ligger främst på att förbättra förutsättningar för en ökad kolinlagring i mark och växande biomassa. Läckageeffekter inkluderas normalt inte i dessa analyser. Däremot finns det studier som bedömer läckageeffekter av exogena styrmedelsscenarion.

### 6.4.1 Klimattullar

Unilaterala klimatpolitiska åtgärder för att korrigera klimateffekter mellan import och inhemsk produktion, kan delas in i olika kategorier. Varje kategori har många varianter samtidigt som kombinationer av varianter och över kategorier kan komma i fråga. Ingen kategori är dock en "magisk kula", som Branger och Quirion (2014) uttrycker det, där ekonomisk effektivitet, rättvisaspekter, och praktisk genomförbarhet beaktas (Böhringer m.fl., 2012b). De tre huvudkategorierna är:

- En global strategi, där den första-bästa lösningen är ett enhetligt globalt pris på koldioxidutsläpp under internationella klimatavtal och med flexibilitetsmekanismer.
- Kostnadsutjämning av koldioxid, kan ske genom t.ex. investeringssubventioner, sektorsundantag eller gratis tilldelning av utsläppsrätter för att därigenom minska utsläppskostnaderna för utvalda sektorer.
- Klimattullar (Carbon Border Adjustment, CBA) med syfte att minska de klimatrelaterade kostnadsskillnaderna av internationellt handlade varor mellan länder.

För att minska risken för läckage drivet av klimatpolitiska åtgärder har s.k. klimattullar diskuterats, både politiskt och vetenskapligt. Grundkonceptet med klimattullar är att ålägga en importtarriff på importerade varor motsvarande den ökade nettokostnaden inhemska producenter har på grund av klimatpolitiken. Genom detta snedvrids inte konkurrensen mellan inhemska och importerade varor och risken för att produktion flyttar utomlands minskar och därmed även läckagerisken. Den underliggande motiveringen till klimattullar är därmed att konsumenterna möter ett konsistent pris på kolinnehållet i de produkter de köper.

Medan klimattullar kan verka enkla och intuitiva, bland annat genom ett större fokus på konsumtionsbaserad kolprissättning, är de svårare att utforma och implementera (Cosbey m.fl., 2019). Flera och komplicerade regulatoriska avvägningar och val måste fattas där varje val har ekonomiska och klimatomfattiga implikationer som påverkar effektiviteten av klimattullen. Detta inkluderar (Branger och Quirion, 2014):

- Inkluderande sektorer. Det finns en generell uppfattning att enbart sektorer med betydande risk för utsläppsläckage ska inkluderas, men klassificeringen av dessa sektorer kan vara kontroversiellt.
- Inkluderade länder. Vissa länder kan undantas, t.ex. utvecklingsländer av rättviseskäl eller länder som har implementerat jämförbara klimatåtgärder. Men eftersom klimatpolitiska åtgärder inkluderar ett brett spektrum av åtgärder är det svårt att avgöra vad som är jämförbart.
- Inkludering av indirekta utsläpp är svårt att implementera av CBA på grund av bl.a. skillnader i länders energimix.
- Fastställandet av produkters kolinnehåll. Det kan ske genom att tillämpa exportlandets genomsnittliga utsläppsnivå, importlandets genomsnittliga utsläppsnivå, produktionsteknik (självdeklarant eller jämfört med en benchmark, t.ex. bästa tillgängliga teknik). Att fastställa kolinnehåll för varje importerad produkt bedöms som svårt på grund av asymmetrisk information och höga administrationskostnader.

Övergripande ex-ante modeller visar att CBA kan minska marknadsförskjutande läckage men har problem med rätt till indirekta läckage. Till exempel, Branger och Quirion (2014) visar en minskning av utsläppsläckaget på sex procent. Fisher (2015) finner att CBA har högre måluppfyllelse jämfört med skatteundantag och produktionsbaserade skatterabatter.

#### 6.4.2 Kolinlagring och läckage

Klimatpolitiska styrmedel kan påverka marknaderna för skogsprodukter på många sätt (Binkley och van Kooten, 1994; Jonsson m.fl., 2012), inklusive:

- Direkt genom att ersätta fossil-intensiva material med träbaserade material och bränslen.
- Genom utveckling och användning av biobränslen och bioenergi.
- Indirekt genom skoglig kolinlagring.

För att öka kolinlagringen i skogen är det viktigt att synliggöra och inkludera värdet av kolinlagringen för skogsägarna genom prissättningsmekanismer. På så sätt inkluderas värdet i skogsägarnas avverknings- och gallringsbeslut. Prissättningen kan ske genom att skogsägarna erhåller en ersättning (subvention) för den koldioxid som tas upp av växande biomassa och sedan beskattas på den koldioxid som frigörs vid avverkning (van Kooten m.fl., 1995). Denna typ av styrmedel förlänger rotationsperioden. Noland (2021) visar att en ersättningsnivå motsvarande den svenska koldioxidskatten på 1 150 kronor skulle öka den optimala rotationsperioden i södra Sverige från 70 till 95 år, i Mellansverige från 80 till 125 år. I norra Sverige skulle det aldrig bli optimalt att avverka (en evig rotationsperiod). Även omfattningen av gallringar skulle kraftigt reduceras och därmed minska utbudet av skogsbränsle. Även andra prissättningsmekanismer har föreslagits som beskattar koldioxid som frigörs till atmosfären från skogens kolförråd och som subventionerar den koldioxid som skogen tar upp när den växer. Gemensamt är att de är utformade för att ge skogsägarna incitament att vidta åtgärder för att förbättra skogens nettoupptag men kan ge olika statsfinansiella konsekvenser (KI, 2021). Givet att en fungerade prissättning av skogens nettoupptag av koldioxid implementeras kommer skogsägarna att inkludera skogens nytta som kolsänka i sina beslut. Prissättningen ger flexibla lösningar som kan anpassas till förändrade marknadsförutsättningar, både när det gäller substitutionseffekter mellan träprodukter och fossilintensiva material och bränslen, samt kolinlagring i långlivade träprodukter.

På grund av läckageeffekterna av en avverkningsminskning kan klimateffekten av dessa styrmedel emellertid bli begränsade om efterfrågan på skogsråvara inte påverkas. En fungerade prissättning av skogens nettoupptag innebär att värdet av kolupptaget inkluderas i skogsägarnas avverkningsbeslut som bedöms resultera i längre rotationsperioder och minskad avverkning. Men om detta enbart innebär att avverkningen i andra länder ökar för att tillgodose den svenska efterfrågan är inget vunnet. För att motverka läckage kan det vara lämpligt att även utforma styrmedel som stödjer åtgärder för att öka tillväxten i skogen (t.ex. gödsling) som reducerar rotationsperioden. Även styrmedel som stimulerar en minskad inhemsk efterfrågan på skogsråvara kan minska läckageeffekterna, t.ex. innovationsstöd för mer resurseffektiv produktionsteknik eller produktutveckling).



## 7 Slutsatser och diskussion

Skogen ger ett omfattande bidrag till klimatarbetet. Den binder koldioxid från atmosfären när den växer, den ersätter fossilintensiva material och bränslen samtidigt som dess vidareförädlade produkter bidrar till att lagra kol i långlivade träprodukter. Rapportens resultat indikerar att läckageeffekter är en viktig faktor som måste beaktas vid utvärderingar av klimatpolitiska åtgärder som påverkar skogsbruket. Ett läckage innebär att en del av en minskad inhemska avverkning förskjuts till andra länder. Till exempel, om Sverige utökar antalet skogsbestånd som undantas från avverkning (oavsett anledning) kompenseras detta genom en ökad avverkning i andra länder och en ökad import till Sverige. Som en konsekvens undergräver därmed läckaget effektiviteten i den klimatpolitiska åtgärden.

Den mekanism som fått mest uppmärksamhet är marknadsförskjutande läckage som verkar genom internationella marknader för skogsprodukter. Denna mekanism fungerar oavsett hur eventuell prissättningen av koldioxid är implementerad, t.ex. genom unilateralt utsläppshandelssystem eller koldioxidskatt. Om både importör och exportör har samma pris på koldioxid påverkas inte relativkostnaden mellan länderna men med unilaterala åtgärder ändras relativkostnaden. Forskningslitteraturen indikerar att marknadsförskjutande läckage är större desto:

- Mindre konstellationen av länder med klimatpolitiska åtgärder är i förhållande till den globala marknaden.
- Större prisskillnaden på koldioxid är mellan länder.
- Mer utsläppsintensiv produktionen är.
- Lägre handelskostnaderna är (t.ex. regulatoriska handelshinder eller transportkostnader).
- Lättare det är att substituera inhemska varor med importerade.

Rapporten har sammanställt kunskapsläget kring metoder för att kvantifiering läckageeffekter av en minskad svensk skogsavverkning och diskuterat hur olika styrmedel, åtgärd och naturgivna förutsättningar påverkar läckageeffektens storlek. Vidare har rapporten kvantitativt estimerat läckageeffekter av minskad svensk avverkning på 5, 10 respektive 20 procent. Kvantifieringen av läckageeffekter presenteras fördelat sortimenten sågtimmer, massaved och brännved (primärt skogsbränsle). Tidigare empiriska studier visar på en stor spridning av läckageeffekter. Utfallet påverkas av tillämpad metod, utvärderad klimatpolitisk åtgärd, studerad klimatzon och geografiska avgränsningar. Tidigare studier med snarlika angreppssätt uppvisar emellertid jämförbara resultat som denna rapport. Men en påfallande brist är akademiska studier som analyserar skogsbrukets läckageeffekter från ett svenskt perspektiv.

Med läckageeffekter på cirka 26 procent för sågtimmer och cirka 50 procent för massaved innebär det att för varje kubikmeter av sågtimmer (massaved) i minskad avverkning i Sverige kommer avverkningen att öka med 0,26 (0,50) kubikmeter i andra länder. De volymer som inte förskjuts till andra länder innebär en minskad efterfrågan. För sågtimmer innebär det att efterfrågan minskar med 0,74

kubikmeter och massaved med 0,50 kubikmeter. Den minskade efterfrågan är en beteendeanpassning som reflekterar ökade transportkostnader (p.g.a. ökad import), åtgärder för att förbättra resurseffektiviteten, nedläggningar av verksamheter, m.m. Höga läckageeffekter indikerar att efterfrågesidan har höga kostnader att ställa om sin produktion i den utsträckning som behövs.

Det är också viktigt att lyfta tre aspekter av läckage som inte omnämns särskilt ofta. För det första, läckage går åt båda hållen. Svenska skogs- eller klimatpolitiska åtgärder får konsekvenser i andra länder genom läckageeffekterna. Samtidigt får liknande åtgärder i andra länder konsekvenser i Sverige. Denna dubbelriktade inverkan har inte studerats överhuvudtaget. Till exempel, om Sverige minskar sin avverkning oavsett orsak, är det rimligt att det uppstår ett visst läckage till andra länder. Men om dessa länder samtidigt inför åtgärder som minskar deras avverkning förväntas det leda till ett läckage till Sverige. Empiriskt måste nettoeffekten studeras i komplexa jämviktsmodeller som inkluderar både temporal och spatial dimensioner. För marknadsförskjutande läckage bör förändringar i relativpriserna kunna förklara riktningen och storleken på läckaget. För det andra, en förskjutning av avverkningen på grund av läckage antar explicit att andra länder har kapacitet att öka sin avverkning. Det är ett antagande som tenderar att förstärka läckageeffekterna. Att andra länder inte kan öka sin avverkning kan bero på tekniska eller ekonomiska restriktioner, men också av liknande önsningar av att minska sin egen avverkning på grund av t.ex. klimatpolitiska åtgärder. Finns inte den kapaciteten i länderna som Sverige handlar med idag kan nya marknader etableras men till en högre kostnad och därmed troligen därmed också med mindre läckageeffekter. Det finns även en risk att importen ökar från relativt sett mer känsliga områden än de områden som avsätts från produktion i Sverige (både i termer av klimateffekt och biodiversitet). Även förändringar i sociala aspekterna i de exporterande länderna kan vara betydande vid en importförändring. Slutligen, om en minskad svensk avverkning förskjuts till bättre förvaltade skogsbestånd, eller om avverkningen förskjuts till mer energi- och resurseffektiva lösningar kan läckageeffekten vara ett positivt fenomen. Emellertid, läckage från Sverige bedöms ha svårt att uppfylla dessa kriterier, däremot kan läckage till Sverige göra det. Men det förutsätter att Sverige kan och är villig att öka sin avverkning för att kompensera en minskad avverkning i andra länder.

Klimatpolitiska åtgärder med syfte att öka skogens klimatnytta måste beaktas som en del av ett större system och sammanhang. Välfungerade marknader tenderar att utöka risken för läckage eftersom de utökar den geografiska omfattningen av handel och därmed även risken för läckage. Även mindre åtgärder måste bedömas utifrån deras läckagepotential eftersom läckaget kan utgöra en betydande del av projektets beräknade klimatnytta. Med större projekt minskar normalt proportionen mellan utsläppsläckaget och projektets klimatnytta. Det är önskvärt att bryta ner analysen genom att estimeras och tillämpa regionalt uppdelade elasticiteter, kanske per län eller prisområde, och genom att inkludera fler trädsortiment. Avgörande för mer detaljerade analyser och modellutveckling är tillgången på kvalitetssäkrade data.

## 8 Referenser

- Acosta-Morel, M. (2011). Land Use Change, Forest Carbon Leakage, and REDD. Ohio State University, doktorsavhandling. Tillgänglig via:  
[https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws\\_etd/send\\_file/send?accession=osu1306880501&disposition=inline](https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=osu1306880501&disposition=inline)
- Agrawal, A., D. Nepstad och A. Chhatre. (2011). Reducing emissions from deforestation and forest degradation. *Annual Review of Environment and Resources*, 36:373-396.
- Alix-Garcia, J.M., E.N. Shapiro och K.R.E. Sims. (2012). Forest Conservation and Slippage: Evidence from Mexico's National Payments for Ecosystem Services Program. *Land Economics*, 88(4):613-638.
- Andrasko, K. (1997). Forest management for greenhouse gas benefits: Resolving monitoring issues across project and national boundaries. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2:117-132
- Armington, P.S. (1969). A theory of demand for products distinguished by place of production. *IMF Staff Papers*, 16(1):159-176.
- Atmadja, S. och L. Verchot. (2012). A review of the state of research, policies and strategies in addressing leakage from reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD+). *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17:311-336.
- Aukland, L., P.M. Costa och S.A. Brown. (2003). A conceptual framework and its application for addressing leakage: the case of avoided deforestation. *Climate Policy*, 3:123-136.
- Babiker, M.H. (2005). Climate change policy, market structure, and carbon leakage. *Journal of International Economics*, 65:421-445.
- Baylis, K., D. Fullerton och P. Shah. (2013). *What drives forest leakage?* Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois. Working paper.
- Berlik, M.M., D.B. Kittredge, D.R. Foster och H. Forest. (2002). The illusion of preservation: a global environmental argument for the local production of natural resources. *Journal of Biogeography*, 29:1557-1568.
- Binkley, C.S. och G.C. van Kooten. (1994). Integrating climatic change and forests: Economic and ecologic assessments. *Climate Change*, 28:91-110.
- Böhringer, C., E.J. Balistreri och T.F. Rutherford. (2012b). The role of border carbon adjustment in unilateral climate policy: overview of an energy modeling forum study (EMF 29). *Energy Economics*, 34:S97-S110.
- Böhringer, C., E.J. Balistreri och T.F. Rutherford. (2018). Embodied Carbon Tariffs. *Scandinavian Journal of Economics*, 120(1):183-210.
- Böhringer, C., J.C. Carbone och T.F. Rutherford. (2012). Unilateral climate policy design: efficiency and equity implications of alternative instruments to reduce carbon leakage. *Energy Economics*, 34:S208-S217.
- Bosello, F., F. Eboli, R. Parrado och R. Rosa. (2010). EU-Mitigation, REDD and the Carbon Market: A General Equilibrium Assessment. Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, RP0094.  
[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1676734](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1676734).
- Branger, F., och P. Quirion. (2014). Climate policy and the 'carbon haven' effect. *Wiley Interdisciplinary Reviews – Climate Change*, 5(1):53-71.

- Branger, F., P. Quirion och J. Chevallier. (2016). Carbon leakage and competitiveness of cement and steel industries under the EU ETS: much ado about nothing. *Energy Journal*, 37(3):109-135.
- Chomitz, K.M. (2002). Baseline, leakage and measurement issues: how do forestry and energy projects compare? *Climate Policy*, 2(1):35-49.
- Cosbey, A., S. Droege, C. Fischer och C. Munnings. (2019). Developing guidance for implementing border carbon adjustments: Lessons, cautions, and research needs from the Literature. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(1):3-22.
- Demailly, D. och P. Quirion. (2008b). *Changing the allocation rules in the EU ETS: impact on competitiveness and economic efficiency*. Fondazione Eni Enrico Mattei. FEEM Working Paper No. 89.  
[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1302768](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1302768).
- Demailly, D., och P. Quirion. (2008). European emission trading scheme and competitiveness: A case Study on the iron and steel industry. *Energy Economics*, 30:2009-2027.
- Dieter, M., H. Weimar, S. Iost, H. Englert, R. Fischer, S. Günter, C. Morland, H-W. Roering, F. Schier, B. Seintsch, J. Schweinle och E. Zhunusova. (2020). *Assessment of possible leakage effects of implementing EU COM proposals for the EU Biodiversity Strategy on forestry and forests in non-EU countries*. Thünen Institute of International Forestry and Forest Economics, Thünen Working Paper 159.
- EC – European Commission. (2022). *Carbon leakage*.  
[https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/carbon-leakage\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/carbon-leakage_en)
- EC - Europeiska kommissionen. (2021a). Proposal for a regulation of the European parliament and the council amending Regulations (EU) 2018/841 as regards the scope, simplifying the compliance rules, setting out the targets of the Member States for 2030 and committing to the collective achievement of climate neutrality by 2035 in the land use, forestry and agriculture sector, and (EU) 2018/1999 as regards improvement in monitoring, reporting, tracking of progress and review. COM(2021) 554 final.
- EU – Europeiska unionen. (2018). Förordning (EU) 2018/841.  
Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/841 av den 30 maj 2018 om inbegripande av utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk i ramen för klimat- och energipolitiken fram till 2030 och om ändring av förordning (EU) nr 525/2013 och beslut nr 529/2013.
- EU – Europeiska unionen. (2021a). Förordning (EU) 2021/1119.  
Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/1119 av den 30 juni 2021 om inrättande av en ram för att uppnå klimatneutralitet och om ändring av förordningarna (EG) nr 401/2009 och (EU) 2018/1999 (europeisk klimatlag).
- EU – Europeiska unionen. (2021b). Förordning (EU) 2021/268. Kommissionens delegerade Förordning (EU) 2021/268 av den 28 oktober 2020 om ändring av bilaga IV till Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/841 vad gäller de referensnivåer för skog som medlemsstaterna ska tillämpa under perioden 2021–2025.

- EU (2020). *Briefing: Economic assessment of carbon leakage and carbon border adjustment*. Policy Department for External Relations Directorate General for External Policies of the Union PE 603.501. doi: 10.2861/577601.
- Fæhn, T., C. Hagem, L. Lindholt, S. Mæland och K.E. Rosendahl. (2017). Climate policies in a fossil fuel producing country: Demand versus supply side policies. *The Energy Journal*, 38(1):77-102.
- FAO – Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2022). FAOSTAT – Forestry trade flows. [www.fao.org/faostat/en/](http://www.fao.org/faostat/en/).
- Fearnside, P. (1995). Global warming response options in Brazil's forest sector: Comparison of project-level costs and benefits. *Biomass and Bioenergy*, 8(5): 309-322.
- Felder, S. och T.F. Rutherford. (1993). Unilateral CO<sub>2</sub> reductions and carbon leakage: the consequences of international trade in oil and basic materials. *Journal of Environmental Economics and Management*, 25(2):162-176.
- Ferguson, S., R. Forslid och M. Sanctuary. (2022). *Koldioxidläckage eller konkurrensfördel? Om balansgången mellan industri- och klimatpolitik*. SNS Forskningsrapport 2022.09.27. [www.sns.se](http://www.sns.se)
- Fischer, C. och A. Fox. (2009a). *Combining rebates with carbon taxes: Optimal strategies for coping with emissions leakage and tax interactions*. Resources for the Future Discussion Paper, RFF DP 09-12. <https://www.rff.org/publications/working-papers/combining-rebates-with-carbon-taxes-optimal-strategies-for-coping-with-emissions-leakage-and-tax-interactions/>.
- Fischer, C. och A. Fox. (2009b): *Comparing policies to combat emissions leakage: Border tax adjustments versus rebates*. Resources for the Future Discussion Paper, RFF DP 09-02-REV. <https://www.rff.org/publications/working-papers/comparing-policies-to-combat-emissions-leakage-border-tax-adjustments-versus-rebates/>.
- Fortmann, L., B. Sohngen och D. Southgate. (2017). Assessing the Role of Group Heterogeneity in Community Forest Concessions in Guatemala's Maya Biosphere Reserve. *Land Economics*, 93(3):503-526.
- Gan, J. och B.A. McCarl. (2007). Measuring transnational leakage of forest conservation. *Ecological Economics*, 64(2):423-432.
- Geijer, E., G. Bostedt och R. Brännlund. (2011). Damned if you do, damned if you do not - Reduced Climate Impact vs. Sustainable Forests in Sweden. *Resource and Energy Economics*, 33(1):94-106.
- Gerlagh, R. och O. Kuik. (2014). Spill or leak? Carbon leakage with international technology spillovers: A CGE analysis. *Energy Economics*, 45:381-388.
- Harvey C.A., B. Dickson och C. Kormos. (2010). Opportunities for achieving biodiversity conservation through REDD. *Conservation Letters*, 3:53-61.
- Hooda, N., M. Gera, K. Andrasko, J. Sathaye, M.K. Gupta, H.B. Vasistha, M. Chandran och S.S. Rassaily. (2007). Community and farm forestry climate mitigation projects: case studies from Uttaranchal, India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12:1099-1130.
- Hu, X., G. Shi och D. Hodges. (2014). International market leakage from China's forestry policies. *Forests*, 5(11):2613-2625.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2000). *Land-Use, Land-Use Change, and Forestry - A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Eds. Watson R.T., I.R. Noble, B. Bolin, N.H

- Ravindranath, D.J. Verardo and D.J. Dokken. Section 2.3.5.2. Leakage, [https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/land\\_use/](https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/)
- Jadin, I., P. Meyfroidt och E.F. Lambin. (2016). Forest protection and economic development by offshoring wood extraction: Bhutan's clean development path. *Regional Environmental Change*, 16:401-415.
- Jonsson, R., W. Mbongo, A. Felton och M. Boman. (2012). Leakage Implications for European Timber Markets from Reducing Deforestation in Developing Countries. *Forests*, 3:736-744.
- Kallio, A.M.I. och B. Solberg. (2018). Leakage of forest harvest changes in a small open economy: case Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(5):502-510.
- Kallio, A.M.I., B. Solberg, L. Käär och R. Päivinen. (2018). Economic impacts of setting reference levels for the forest carbon sinks in the EU on the European forest sector. *Forest Policy and Economics*, 92:193-201.
- Kastner, T., K-H. Erb och S. Nonhebel. (2011). International wood trade and forest change: A global analysis. *Global Environmental Change*, 21:947-956.
- Key, N. och G. Tallard. (2012). Mitigating methane emissions from livestock: a global analysis of sectoral policies. *Climatic change*, 112(2):387-414.
- KI – Konjunkturinstitutet. (2021). *Miljö, ekonomi och politik 2021: Skogen, klimatet och politiken*. Konjunkturinstitutet, Stockholm, [www.konj.se](http://www.konj.se).
- Kim, M.K., D. Peralta och B.A. McCarl. (2014). Land-based greenhouse gas emission offset and leakage discounting. *Ecological Economics*, 105:265-273.
- Kuik, O. (2014). REDD+ and international leakage via food and timber markets: a CGE analysis. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(6):641-655.
- Lasco, R.D., F.B. Pulhin och R.F. Sales. (2007). Analysis of leakage in carbon sequestration projects in forestry: a case study of upper Magat watershed, Philippines. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12:1189-1211.
- Latta, G., D.M. Adams, R.J., Alig och E. White. (2011). Simulated effects of mandatory versus voluntary participation in private forest carbon offset markets in the United States. *Journal of Forest Economics*, 17(2):127-141.
- Lundblad, M., J. Stendahl, D. Henn och A. Lindahl. (2022). *Om att skapa underlag för att skatta förlust av kolförråd och växthusavgång i samband med exploatering av mark*. Sveriges lantbruksuniversitet, PM.
- Lundmark, R. och K. Bäckström. (2015). Bioenergy innovation and energy policy. *Economics of Innovation and New Technology*, 24(8):755-775.
- Lundmark, R. och S. Shahrammehr. (2011). Forest biomass and Armington elasticities in Europe. *Biomass and Bioenergy*, 35(1):415-420.
- Marcu, A., C. Egenhofer, S. Roth and W. Stoefs. (2013). *Carbon leakage: an overview*. Centre for European Policy Studies, CEPS Special Report No. 79. <https://www.ceps.eu/ceps-publications/carbon-leakage-overview/>.
- Mayer, A.L., P.E. Kauppi, P.K. Angelstam, Z. Yu och M.T. Päivi. (2005). Importing timber, exporting ecological impact. *Science*, 308(5720):359-360.
- Mayer, A.L., P.E. Kauppi, P.M. Tikka och P.K. Angelstam. (2006). Conservation implications of exporting domestic wood harvest to neighboring countries. *Environmental Science and Policy*, 9(3):228-236.
- Meyfroidt, P. och E.F. Lambin. (2009). Forest transition in Vietnam and displacement of deforestation abroad. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(38):16139-16144.

- Meyfroidt, P., T.K. Rudel och E.F. Lambin. (2010). Forest transitions, trade, and the global displacement of land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(49):20917–20922.
- Michalek, G. och R. Schwarze. (2015). Carbon leakage: pollution, trade or politics? *Environment, Development and Sustainability*, 17:1471-1492.
- Michetti, M. and R. Rosa. (2012). Afforestation and Timber management compliance strategies in climate Policy – A Computable general equilibrium analysis. *Climate Change*, 77:139-148.
- Mills Busa, J.H. (2013). Deforestation beyond borders: Addressing the disparity between production and consumption of global resources. *Conservation Letters*, 6:192-199.
- Morland, C., F. Schier, N. Janzen och H. Weimar. (2018). Supply and demand functions for global wood markets: Specification and plausibility testing of econometric models within the global forest sector. *Forest Policy and Economics*, 92:92-105.
- Murray, B.C., B.A. McCarl och H-C. Lee. (2004). Estimating Leakage from Forest Carbon Sequestration Programs. *Land Economics*, 80(1):109-124.
- Naegele, H. och A. Zaklan. (2019). Does the EU ETS cause carbon leakage in European manufacturing? *Journal of Environmental Economics and Management*, 93:125-147.
- Naturvårdsverket. (2022). *Nettoutsläpp och nettoupptag av växthusgaser från markanvändning (LULUCF)*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-nettoutslipp-och-nettoupptag-fran-markanvandning/>
- Naturvårdsverket. (2022). Vad är utsläppshandel? <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/utslappshandel/om-utslappshandel/vad-ar-utslappshandel/>
- Nepal, P., P.J. Ince, K.E. Skog och S.J. Chang. (2013). Forest carbon benefits, costs and leakage effects of carbon reserve scenarios in the United States. *Journal of Forest Economics*, 19(3):286-306.
- Nolander, C. (2021). *Carbon Sink or Energy Source Economic perspectives on future uses of forest resources in Sweden*. Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet.
- OECD (2021). Global assessment of the carbon leakage implications of carbon taxes on agricultural emissions. OECD Food, Agricultural and Fisheries Paper, no 170. [www.oecd-ilibrary.org](http://www.oecd-ilibrary.org).
- Päivinen, R., A.M.I. Kallio, B. Solberg och L. Käär. (2022). EU Forest reference levels: The compatible harvest volumes compiled and assessed in terms of forest sector market development. *Forest Policy and Economics*, 140:102748.
- Paltsev, S.V. (2001). The Kyoto Protocol: Regional and sectoral contributions to the carbon leakage. *Energy Journal*, 22(4):53-79.
- Pan, W., M-K Kim, Z. Ning och H. Yang. (2020). Carbon leakage in energy/forest sectors and climate policy implications using meta-analysis. *Forest Policy and Economics*, 115:102161.
- Paroussos, L., P. Fragkos, P. Capros och K. Fragkiadakis. (2015). Assessment of carbon leakage through the industry channel: the EU perspective. *Technological Forecasting & Social Change*, 90:204-219.
- Ponssard, J.P. och N. Walker. (2008). EU emissions trading and the cement sector: A spatial competition analysis. *Climate Policy*, 8(5):467-493.
- Porter, M. (1991). America's green strategy. *Scientific American*, 264(4):168.

- Putz F.E. och K.H. Redford. (2009). Dangers of carbon-based conservation. *Global Environmental Change*, 19:400-401.
- Riksskogstaxeringen. (2022). SLU Riksskogstaxeringen: Officiell statistik om de svenska skogarna. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/>
- Rose S.K. och B. Sohngen. (2011). Global forest carbon sequestration and climate policy design. *Environment and Development Economics*, 16:429-454.
- Sartor, O. (2013). *Carbon leakage in the primary aluminium sector: what evidence after 6.5 years of the EU ETS?* USAEE Working Paper No. 13-106, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2205516>
- Sato, M., K. Neuhoff, V. Graichen, K. Schumacher and F. Matthes. (2015). Sectors under scrutiny: Evaluation of indicators to assess the risk of carbon leakage in the UK and Germany. *Environmental and Resource Economics*, 60:99-124.
- Sauquet, A., F. Lecocq, P. Delacote, S. Cauria, A. Barkaoui och S. Garcia. (2011). Estimating Armington elasticities for sawnwood and application to the French Forest Sector Model. *Resource and Energy Economics*, 33(4):771-781.
- SCB – Statistiska Centralbyrån. (2022). *Statistikdatabasen*. [www.statistikdatabasen.scb.se](http://www.statistikdatabasen.scb.se)
- Schwarze, R., J.O. Niles och J. Olander. (2002). Understanding and managing leakage in forest-based greenhouse-gas-mitigation projects. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 360(1797):1685-1703
- Sedjo, R. och B. Sohngen. (2000). Forestry Sequestration of CO<sub>2</sub> and Markets for Timber. RFF (Resources for the Future), Discussion paper 00-35. <https://www.rff.org/publications/working-papers/forestry-sequestration-of-co2-and-markets-for-timber/>
- Skjerstad, S.H.F., A.M.I. Kallio, O. Bergland och B. Solberg. (2021). New elasticities and projections of global demand for coniferous sawnwood. *Forest Policy and Economics*, 122:102336.
- SLU – Sveriges Lantbruksuniversitet. (2022). *Skogsdata 2022*. [www.slu.se/riksskogstaxeringen](http://www.slu.se/riksskogstaxeringen).
- Sohngen, B. och S. Brown. (2004). Measuring leakage from carbon projects in open economies: a stop timber harvesting project in Bolivia as a case study. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(4):829-839.
- Sohngen, B., R. Mendelsohn och R. Sedjo. (1999). Forest management, conservation, and global timber markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 81(1):1-13.
- Sun, B. och B. Sohngen. (2009). Set-asides for carbon sequestration: implications for permanence and leakage. *Climatic Change*, 96:409-419.
- Tian, N., N.C. Poudyal, R.M. Augé, D.G. Hodges och T.M. Young. (2017). Meta-Analysis of Price Responsiveness of Timber Supply. *Forest Products Journal*, 67(3/4):152-163.
- U.S. EPS. (2005). Greenhouse gas mitigation potential in U.S. forestry and agriculture. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 430-R-05-006.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. (1992). [https://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf)



- van Kooten, G.C., C.S. Binkley och G. Delcourt. (1995). Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(2):365-374.
- Wear, D.N. och B.C. Murray. (2004). Federal timber restrictions, interregional spillovers, and the impact on US softwood markets. *Journal of Environmental Economics and Management*, 47(2):307-330.
- West, P.C., H.K. Gibbs, C. Monfreda, J. Wagner, C.C. Barford, S.R. Carpenter och J.A. Foley. (2010). Trading carbon for food: Global comparison of carbon stocks vs. crop yields on agricultural land. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46):19645-19648.
- Zhou, B., C. Zhang, Q. Wang och D. Zhou. (2020). Does emission trading lead to carbon leakage in China? Direction and channel identifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132:110090.