



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, MINA

Ökad användning av bioenergi i Norge – En modelanalys för 2020 - 2065

Erik Eddie Fredrik Freij
Master i Skogfag

Förord

Denna masteruppsats är skriven hos Norges Miljø og Biovetenskapliga Universitet på fakulteten Biologi och Naturresursskötsel med ämnet bioenergi.

Detta arbetet har vart intressant och lärande som känns som ett högaktuellt ämne idag där Norge och resten av världen står för en utmaning för att hantera klimatförändringen och tapp av biodiversitet.

Jag vill tacka mina handledare Dr. Hanne Katrine Sjølie & Professor Birger Solberg vid Norges Miljø og Biovetenskapliga Universitet. Jag vill tacka de för deras tålmodighet med mig och svarat på mina frågor och hållit mig på rätt spår genom mitt arbete. Där de kommit med kommentarer på mitt arbete genom arbetets gång.

Även vill jag tacka min vän Carl Engström och Skrivare Christina Engström för att läst genom mitt arbete och kommit med intressanta kommentarer på arbetet och rättat upp språket i arbetet. Även vill jag tacka min familj och min flickvän som har stöttat mig genom arbetets gång.

Ås, Maj 2017.

“All models are wrong; some models are useful”
(Box et al. 2005).

Förord	1
Summary.....	3
Sammanfattning.....	4
1. Inledning	5
Mål med studien	6
2. Skogsektoren och klimat.....	7
a. Globalt	7
b. Europa	9
c. Norge	10
3. Klimatpolitiksmål om utsläppsreduktion och skogssektorns betydelse	11
a. Globalt	11
b. EU	14
c. Norge	15
4. Bioenergi i Norge – en modellanalys.....	18
4.1 Översikt över centrala sammanhang och tidigare studier.....	18
a. Principer.....	19
b. Användning av trä	20
c. Tillbud och efterfråga	21
d. Användelse	22
e. Effekten av ökad användelse av bioenergi	23
4.2 Metode	26
5. Resultat	33
Karbonflux	33
Karbonlagring.....	36
Avverkning.....	39
Stående kubikmassa i norskskog	41
Efterfråga på produkter.....	42
Export	50
6. Diskussion	59
Osäkerheten i resultatet.....	59
Vad är inte med i Analysen.....	59
Scenarierna	59
Norge vill öka sin bioenergianvändning samtidigt som de vill minska sina GHG-utsläpp, är detta en möjlighet?	61
Hur kommer CO ₂ -avgifter påverka uttaget av biomassa och produktionen av bioenergi?	63
Vilken typ av biomassa bör användas till bioenergi för att vara så kimateffektivt som möjligt?	63
Sammanfattning.....	64

Summary

Norway have adopted several national and international environmental agreement, of which is highlighted as an important part to achieving the environmental agreements. The main subject of this thesis is what significance will bioenergy may have in the future. It starts with a literature study, and later it will be a model analyses with NorFor which analyses the main subject.

EU are region who depending of import of energy. EU has similar solution as Norway, increasing the use of bioenergy. Norway are planning to reach 28 TWh bioenergy at 2020. Using CO₂ tax are very important instrument in Norway to increase the speed for converting to a carbon neutral society. Wood can be used for multiple purposes before it turns into energy. First it can be a house, for later be turn into a furniture, and after that into a piece of paper before it turns into energy. When the product use to a lot of different things it replaces energy demanding products and fossil energy.

NorFor is the model who have been used in this thesis for looking at 8 different scenarios. 4 of the scenarios has a CO₂ tax for be looking at how a CO₂ tax affects the developing of bioenergy use. The demand of wood and bioenergy will increase in all the scenarios. With increasing harvesting will reduce the carbon storage in the forest, but increasing the storage in wooden product. It will be more interesting to use wood chips instead of residuals for energy purpose. CO₂ tax will have an effect and eventually has lower emissions compering to non-CO₂ tax. Carbon flux has some more carbon emissions compering to BAU. Eventually increase use of bioenergy may has a lower carbon emissions compering with BAU.

Sammanfattning

Norge har antagit flera nationella och globala miljöavtal, var av bioenergi framhävs som en viktig del i att klara av dessa miljö mål. Huvudmålet med denna är att analysera vilken betydelse bioenergin kan komma till att få i framtiden i Norge. Den börjar med en litteraturstudie, för sedan göra en modelanalys i NorFor som analyserar själva problemställningen.

EU är en region som är stort beroende av import av energi. EU har liknande lösningar som Norge med stor tro på bioenergi som kommit med flera avtal som går ut på att öka bioenergianvändningen. Norge ska bland annat öka sin bioenergianvändning upp till 28 TWh fram till 2020. Att använda sig av en CO₂-avgift är ett viktigt styrmedel i Norge som ska öka farten till omställning till ett karbonneutralt samhälle. Trä kan användas till flera ändamål innan det blir energi, bland annat kan man bygga ett hus, som sedan återvinns till att bli en möbel, som i sin tur blir ett papper innan de omvandlas till energi. Genom att använda produkten till flera saker kan man ersätta energikrävande material och fossil energi.

NorFor är modellen som används i denna avhandling för att se på hur 8 st. Var av 4 av de har en CO₂-avgift för att se hur en sådan påverkar utvecklingen av bioenergianvändningen. Förbrukningen av trä och bioenergi kommer att öka i framtiden i alla scenarier. Ökad avverkning kommer karbonlagret i norsk skog att minska, medan karbonlagret i träprodukter kommer öka. Det kommer vara större intresse att använda sig av flis till bioenergi än att använda sig av GROT. CO₂-avgiften kommer ha effekt på scenarierna och ha lägre utsläpp av CO₂ jämfört med scenarierna utan CO₂-avgift på sikt. Om man kollar på karbonflux så är det generellt större utsläpp i scenarierna jämfört med BAU. På sikt kan det se ut som att ökad användning av bioenergi leder till lägre utsläpp av CO₂ jämfört med BAU.

1.Inledning

Europas skogar ses som en viktig komponent för funktioner i vår miljö. Skogen är viktig i för att minska klimatpåverkan, för vår hälsa, lagra våra vattenresurser, skydda våra jordar och bevaring av biodiversitet (Forest Europe 2015).

Skog är en förnyelsebar resurs, om man ser till förnyelse som kommer upp efter avverkning. Detta gör att bioenergi klassas som en CO₂ neutral resurs. Ju längre omloppstiderna är desto längre tid tar det för trädet att ta upp samma mängd CO₂ som trädet släppte ut vid förbränning eller nedbrytning (Haugland et al. 2011).

Den totala växthusgaser (GHG) utsläppen räknar FNs klimatpanel (IPCC) med att ca en tredjedel av mänsklig CO₂ utsläppen kommer från avskogning 1750 till 2011 och stått för 12 % av utsläppen mellan 2000 till 2009 (Smith et al. 2014).

I dagsläget är andelen stående timmer i Norge är den högsta sedan Norskaskogstaxeringen började göra mättningar 1919. Det innebär att det idag står det ca 942 miljoner m³ timmer i Norge, vilket är en ökning med 25,9 % de senaste 10 åren. Norska skogen har en årlig tillväxt på 26,1 miljoner m³ vilket är den högsta som någonsin har beräknats (SSB 2016a).

Norge har tagit på sig att uppfylla Kyotoprotokollet med 10 procentpoäng utöver de åtagna förpliktelserna. Även har Norge åtagit sig att minska sina växthusgasutsläpp med 30% i 2020, i relation till nivåerna 1990. Till 2050 ska Norge vara karbonneutralt. Om andra länder tar på sig att ambitiösa miljömål ska Norge vara karbonneutralt till 2030 istället för 2050 (Klima- og miljødepartementet 2014). I St. meld. Nr 34 (2006–2007) Norsk klimapolitik så läggs bioenergi fram som en potentiell del av lösningarna att nå målen. Detta förslag innebär att Norge bör få 14 TWh extra från bioenergin till 2020 jämfört med 2008 (Klima- og miljødepartementet 2007). 2012 producerades det ca 18 TWh från bioenergi, vilket innebär att det då var 10 TWh kvar till målet på sammanlagt 28 TWh till år 2020 (Brekke. Et al 2015)

Idag använder sig Norge av CO₂-avgifter för att minska sina utsläpp av CO₂. Olika näringar blir beskattade olika, exempelvis jordbruket som är fräntagen CO₂-avgiften (Miljødirektoratet 2017a). Utsläpp kan reducerad genom en CO₂-avgift vid att incitament till att reducera

användningen av produkter som leder till utsläpp, till exempel vid att gå över till mindre utsläppsintensiva alternativ. För en CO₂-avgift ska ha en signifikant effekt behövs CO₂-avgiften vara av betydande storlek (Bürger et al. 2008). CO₂-avgiften skulle kunna gå till produktion och användning av förnybar energi. Höga CO₂-avgifter kan vara svårt att få acceptans bland invånarna. Skattelättnader behöver inte ha någon större effekt än bidrag, men kan orsaka sociala orättvisor (Bürger et al. 2008).

Mål med studien

Norge har åtagit sig att minska sina utsläpp och uppfylla sina nationella och globala klimatmål. Norge innehar en resurspotential i form av skog som framhävs som en del av lösningen för att minska sina CO₂-utsläpp.

Huvudmålet med denna avhandling är att analysera vilken betydelse bioenergin kan komma till att få i framtiden i Norge. Det har jag gjort först genom att utföra en litteraturstudie där skogssektorns betydelse i klimatsammanhang värderats i globalt, europeiskt och norskt perspektiv. (Kap 2 och kap. 3), och för sedan utföra en modelanalys för att visa centrala effekter på norsk skogssektor av ökad satsning på bioenergi från skogsvirke. Modellanalysen utgör den största delen av avhandlingen, och analyserar specifika följande problemställningar:

- 1: Norge vill öka sin bioenergianvändning samtidigt som de vill minska sina GHG-utsläpp. Är detta en möjlighet?
- 2: Hur kommer CO₂-avgiften påverka uttaget av biomassa och produktionen av bioenergi?
- 3: Vilken typ av biomassa bör användas till bioenergi för att vara så klimateffektivt som möjligt?

2. Skogsektoren och klimat

När träden växer tar de upp CO₂ för sedan lagra karbonen i sin biomassa. Trädet lagrar karbonen i sin biomassa så länge trädet är i liv. När biomassan bränns i form av energiprodukt eller material så frigörs samma mängd karbon till atmosfären som trädet lagrat i form av fotosyntesen (Brekke et al. 2015). I en fullvuxen skog avtar tillväxten som i sin tur minskar trädens karbonupptag. Träden tar upp mest karbon när de växer som snabbast i en ung ålder (Brekke et al. 2015). Vid en avverkning kommer jorden och restprodukterna som grenar och barr exempelvis från avverkningen att släppa ut bunden CO₂ de första åren, för sedan när skogen börjar växa på sig så kommer den binda mer karbon än den släpper ut. Typisk rotationstid för norskbarrskog är 60–140 år, så det tar tid att binda karbonen som släpps ut vid förbränning (Brekke et al. 2015).

Förutom att ta upp CO₂ när träden växer så kan skogsbruket bidra med att ta fram råvaror som ersätter energikrävande material som metall, plast, cement och fossila energibärare. När trämaterial ersätter dessa produkter så lagras karbon i produkten som används (Skogsstyrelsen 2017). På marker där jordbruk och bete till djur har lagts ned skulle ny skog kunna planteras som skulle karbonlagret öka som förvaras i våra skogar (Skogsstyrelsen 2017).

a. Globalt

Koldioxidkretsloppet delas in i två områden: Det snabba, där CO₂ frigörs en kort tid efter att den tagits upp; och det långsamma där det tar längre tid innan CO₂ frigörs efter upptaget. Det snabba kretsloppet är karbon i vatten, översta lagret i sediment i havet, atmosfären och vegetation på land där karbon frigörs snabbt. Här varierar cykeln från bara några år i atmosfären till årtusenden i vegetation och hav. I det långsamma kretsloppet är CO₂ bunden till sedimentet och sten där den frigörs genom exempelvis erosion och/eller vulkanutbrott. Här tar kretsloppet minst 10 000 år och upp till miljontals år på sig för att frigöra CO₂. När mänskligheten nådde den industriella revolutionen och användningen av kol, gas och olja tog fart i stor omfattning, flyttades delar av det långsamma kretsloppet till det snabba. (Ciais et al. 2014).

Skogen är en viktig del av karbonkretsloppet på flera sätt. För det första frigörs CO₂ när skogen avverkas. Detta leder på kort sikt till ökad mängd CO₂ i atmosfären. Men på längre

sikt leder avverkning till att det blir minskad mängd CO₂ i atmosfären om skogsprodukterna ersätter utsläppsintensiva produkter och skogen föryngras tillräckligt (Flugsrud et al. 2016).

Hur mycket karbon som tas upp av skogen beror på dess typ. Boreala skogen har en toppnivå från ca 70 år till 120 år beroende på bonitet och täthet. Mellan en ålder av 30 - 120 år är skogen som mest produktiv och absorberar mest karbon, medan äldre skog blir mindre effektiv på att absorbera karbon. Den absolut lagrade karbonen är högre i gammelskog jämfört med yngre skog genom den har växt och har en högre mängd biomassa. Ungskog på 0 till 10 år ger ifrån sig mer karbon till atmosfären än vad den lagrar i biomassan (Pregitzer & Euskirchen 2004). Detta beror på när den unga skogen växer upp så strålar det in mycket solljus som ökar nedbrytningen ovan och under jord vilket släpper ut CO₂ (Schulze et al. 2000).

Plantering av skog i tempererade och boreala, stora områden kan ge en betydande påverkan av klimatförändringarna på grund av albedoeffekt (Betts 2000; Schaeffer et al. 2006). Marken har en ljusare yta jämfört med en skog, så när ljuset reflekteras på den ljusare marken minskar uppvärmningen av vår planet (Sjølje et al. 2013a). Ökad albedoeffekt kyler vår planet vilket är motsatsen till ökad mängd CO₂ i atmosfären som värmer vår planet (Myhre et al. 2013).

Det finns även en studie som säger att om den boreala skogen skulle avverkas och omvandlas till gräs och buskars istället från skog, så skulle den globala medeltemperaturen sjunka med 0,8 Kelvin fram till 2100. Trots att avskogningen skulle släppa ut 80 petagram karbon skulle albedoeffekt kyla klimatet (Bala et al. 2007). Detta beror på att snön är en viktig faktor, genom dess ljusa ytor (Betts 2000).

Sedan 1978 har instrålningen från solen haft ett medelvärde på 1361 W/m² med några få promilles differens i variation från medelvärdet (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut 2017). Avskogningen globalt har påvisat sig att ha ökat albedoeffekten med RF (Radiative forcing) mellan -0,25 till -0,05 W m⁻² (Stocker et al. 2013). Det har också visat sig att minskade arealer för skog och annan markanvändning ökar utsläppen av well mixed Greenhouse gases (WMGHG) (Stocker et al. 2013). Det är framförallt avskogningen som bidrar till detta. Den ökande RF som uppstår med avskogningen kan liknas med utsläpp av CO₂ vilket leder till högre medeltemperatur (Stocker et al. 2013). Unger (2014) studie visar att ökad utbredelse av jordbruksmark har haft en kylande effekt på klimatet $-11 \pm 0,17 \text{ W m}^{-2}$.

b. Europa

Mellan åren 2005 - 2015 absorberade Europas skogar i genomsnitt 719 miljoner ton CO₂/år från atmosfären. Totalt var det 12 541 Mt karbon lagrad i biomassan 2015 i Europas skogar. Karbonlagret i jorden är det största lagret som har ca 54,1 % av karbonen, Biomassan ovan jorden har ca 28,5 % karbonen lagrat i sig. 7,2 % ligger i biomassan under jorden som rötter. 9 % är i form av strö som löv och barr som fallit av träden och 1,2 % är i död ved (Forest Europe 2015). Att ersätta karbonförlusten vid avskogning med ny skog tar årtionden med att binda 1–2 ton karbon per hektar igen. Avskogningen i Europa släpper ut 25,7 Mt CO₂ per år i snitt, vilket är drygt 6 % av kolsänkan i skogen (Nabuurs & Masera 2007). Medan (Pan et al. 2011) säger det är ett nettoupptag av karbon i Europas skogar de senaste åren. Mellan år 2000 till 2007 blev 0,03 petagram karbon per år i nordeuropa, 0,2 petagram karbon per år i ryssland europa och 0,24 petagram karbon per år i europa. Avskogningen i Europa är tydlig i områden med högt befolkningstryck och expansiv jordbruksmark (Schulp et al. 2008). Sedan 1990 har Europas skogar växt till sig med ca 403 miljoner kubik årligen, vid 2015 var den stående kubiken i Europa på 10,1 miljarder kubik (Forest Europe 2015).

EU är beroende av energi-import för att tillfredsställa sitt energibehov. År 2014 behövdes 53,4 procent av den totala energin importeras (Calderón et al. 2016). Det är framförallt olja som importeras, följt av naturgas och kol. Europa tillhör de regionerna i världen som behöver importera mest energi. Inom EU-28 området har energianvändningen sjunkit med 17 % mellan 2004 till 2014 (Calderón et al. 2016). Under samma tid har användningen av förnybar energi dubblerats. Under 2000 var bioenergin användningen under 60 000 ktoe, medan den hade stigit till 105 489 ktoe. Enligt EU:s medlemsländernas preliminära planering ska mängden stiga till 140 000 ktoe till 2020, vilket skulle vara en ökning på 32 % från 2014. 73 % av bioenergianvändningen går till idag uppvärmning, 14 % går till elektricitet och 13 % till transportsektorn. Av användningen står 5 länder för 54 % av all användning av bioenergi av EU-28, och resterande 46 % används av övriga länder (Calderón et al. 2016). 2014 använde EU-28 10 % bioenergi, 6 % annan förnybar energi och 84 % fossil energi vid total energianvändning. Vid användning av värme och kyla var bioenergianvändningen 16 %, elektricitet användningen består av 5 % bioenergi. För transportsektorn är det 95 % fossil användning och 4,5 % av bioenergi och 0,5 % av annan förnybar energi. Om dubbelräkningssystemet används i transportsektorn kommer nivån upp till 5,4 % bioenergi

(Calderón et al. 2016). Bioenergi som består av avancerad/andra generationens bioenergi får dubbelräknas, vill säga om du använder 1 liter får du räkna den som 2 liter i statistiken, vill säga bioenergi som inte består av matgrödor (European Parliament & Council of the European Union 2009). 68 % av bioenergin kommer från skogen, 20 % kommer från jordbruket och 12 % är från avfall (European Biomass Association 2016).

c. Norge

I 2015 hade Norge ett utsläpp på 53,9 miljoner ton CO₂, vilket var en ökning på ca 1% från året innan. Jämfört med 1990 var det en ökning på 4,2%. Det är olja- och gasutvinning, industri och bergverk och vägtrafik som står för de största utsläppen. Det är dock energiförsörjningen som står för den avgjort största ökningen av utsläpp. Sedan 1990 har denna ökat med 311.3% eller 1,7 ton CO₂. Skogen har ett nettoupptag på 25,4 miljoner ton CO₂ och detta är en ökning på 58,8 % jämfört med 1990 (SSB 2017d).

Norge består av 12 miljoner hektar skog var av ca 8,6 miljoner hektar är produktiv skog. Ca 50% av de totalt 12 miljonerna är lönsam för skogsbruksdrift (SKOG22 2015). Skogen har växt från 300 miljoner m³ 1925 till 900 miljoner m³ till år 2010. Av dessa 900 miljonerna m³ som står är drygt 40 % avverkningsbar skog (SKOG22 2015). Enligt SSB, mellan 2010-2014 så bestod 40 % av stående skogsarealen av huggningsklass S2 på produktiv skog i Norge (SSB).

I Norge är det beroende på jordtyp och vattentillförsel som är i området på hur mycket karbon som lagras i jorden. Ca 50% av skogens lagrade karbon återfinns i jorden. (Strand et al. 2016). I en svensk undersökning granskades karbonförlusten i samband med skogsavverkning av gran och tall i södra och norra Sverige. 17–22 % av den lagrade karbonen i mineraljorden och humusen frigjordes vid avverkning av gran efter 15–16 år. I tall var det 7 % frigöring av karbon i norra Sverige, medan i södra Sverige frigjordes inget (Olsson et al. 1996). I en finsk studie som simulerade en avverkning konstaterade de att karbonen i jorden minskade med 5–10 % under en 20 årsperiod på marker dominerade av tall (Liski et al. 1998).

Att en kulturskog är en kolsänka är inte alltid fallet. I en svensk studie mättes karbonen efter 17 år, det som konstaterades var att skogen fungerade som en kolkälla. Detta undersöktes i skog som var runt 50 år gammal i norra Sverige. Trots att den var i växt fasen så släppte

skogen ut mer karbon till atmosfären än vad skogen absorberade från atmosfären (Hadden & Grelle 2016). Mätningarna gjordes 1997 till 2009, var av mellan 2010 till 2013 hade skogen en konstant förlust av karbon. Det var framförallt våren och hösten som skogen frigjorde karbon (Hadden & Grelle 2016). Piao et al. (2008) och Ueyama et al. (2014) har konstaterat att kulturskog i borealskogen kan fungera som kolkälla med framtida klimatförändringar. Den mest accepterade åsikten idag är att skogen är en kolsänka och inte en kolkälla (Hadden 2017). Bland annat Magnani et al. (2007) och Brekke et al. (2015) konstaterat att skogarna fungerar som kolsänka totalt.

Naturskog är oftast en kolsänka, detta genom skogen absorberat karbon i århundraden. Det är ofta färre träd i en naturskog, de är ofta större jämfört med träden i en kulturskog. Naturskog ger ett skydd till marken, vilket gör att skogen släpper ut mindre karbon jämfört med en ung skog (Luyssaert et al. 2008).

3. Klimatpolitiksmål om utsläppsreduktion och skogssektorns betydelse

a. Globalt

Från Förenta Nationen (FN) antogs ramkonventionen om klimatförändring (UNFCCC) 1992 och trädde sedan i kraft 1994. Länderna som har anslutit sig till UNFCCC måste lägga fram nationella strategier för att minska växthusgasutsläppen (GHG) och regelbundet lämna rapporter på nationella GHG utsläpp. Industriländerna som anslutit sig ska även stabilisera sina utsläpp motsvarande på 1990 års nivåer innan 2000. Detta var inte en bindande för de industriella länderna och utvecklingsländerna berördes inte av detta. UNFCCC gör skillnad på industriländer och utvecklingsländer på grund av att industriländerna ska ta största ansvaret för utsläppen (European Commission 2003).

Vid 1994 såg man att åtgärderna som gjorts av industriländerna inte skulle räcka för att minska GHG utsläppen globalt. Så vid 1997 i Kyoto, Japan antogs Kyotoprotokollet. Kyotoprotokollet bygger på ramen till UNFCCC. Kyotoprotokollet har bindande gränser för utsläpp av GHG för de industriella länderna. Kyotoprotokollet ger förslag på kostnadseffektiva

innovationer för att hålla ned kostnaderna för att minska GHG utsläppen. Det är 6 st. växthusgaser som industriländerna ska minska, var av koldioxid är den viktigaste (European Commission 2003).

I och med att GHG utsläpp är ett globalt problem och inte ett nationellt problem så har Kyotoprotokollet 3 st. marknadsmekanismer för att reducera GHG utsläppen. Handel med utsläppsrätter, gemensamt utförande och ren utveckling genom att industriländerna kan investera i projekt som är billigare att få ned GHG utsläppen i än på hemmaplan (European Commission 2003).

Kyotoprotokollet är uppdelat i åtagandeperioder där första perioden var mellan 2008 till 2012. Den andra perioden är för perioden 2013 till 2020 som har mer ambitiösa klimatmål för länderna som har åtagit sig Kyotoprotokollet (Naturvårdsverket 2016a). Första åtags perioden skulle industriella länderna minska sina utsläpp med 5 % motsvarande 1990 utsläppen. Andra perioden skulle utsläppen minskas med 18 % mot 1990 (UNFCCC 2014). UNFCCC blev undertecknat av 195 länder och Kyotoprotokollet av 192 länder. Det är några få industriländer som valt att stå utanför (Naturvårdsverket 2016a).

Kyotoprotokollet använder sig av 3 st. mekanismer för att få ned de globala GHG utsläppen. De är följande:

- Internationell handel med utsläppsrätter (International Emissions Trading)
- Mekanismer för ren utveckling (Clean Development Mechanism (CDM))
- Gemensamt genomförande (Joint Implementation (JI))

Internationell handel med utsläppsrätter går ut på att det finns ett tak på hur mycket GHG som ett land får släppa ut. Om ett land överstiger sin kvot utsläpp kan landet köpa kvoter av andra länder som släpper ut mindre GHG än vad de har rätt till. Tanken är att detta ska vara ett supplement på nationell nivå för att uppfylla Kyotoprotokollet (Miljødirektoratet 2016).

Norge ingår i EU:s handelssystem EU Emission Trading System (EU ETS) med utsläppsrätter som startade 2005. I det systemet ingår EU:s medlemsstater, Norge, Island och Lichtenstein (Naturvårdsverket 2016b). Idag berörs ca 11 000 st. verksamheter av systemet

och släpper ut ca 45 % av EU:s GHG (European Commission 2016). 2014 hade Norge 133 st. verksamheter som var kvotpliktiga, varav 11 st. verksamheter som arbetar med träförädling och 16 st. verksamheter som producerar fjärrvärme (Holm et al. 2014).

Företagen innanför kvotsystemet har ett begränsat antal European Union Allowance (EUA). För varje ton koldioxidekvivalent som en verksamhet släpper ut så behöver företaget lämna ifrån sig en EUA. Om verksamheten släpper ut mer ton koldioxidekvivalent som de har teckning för, så behöver verksamheten köpa fler kvoter eller investera i sin verksamhet som minskar utsläpp på sikt. Om verksamheten inte uppfyller detta så kommer företaget få betala en avgift. Det är ett begränsat antal utsläppsrätter på marknaden och högre efterfrågan är på dessa desto dyrare blir det att släppa ut koldioxid. Verksamheterna som befinner sig i detta system kan också välja att investera i CDM och JI för att öka kostnadseffektiviteten, se nedan (Energimyndigheten 2014).

Anläggningar som berörs av EU:s kvothandel är förbränningsanläggningar som överstiger 20 MW vilket inkluderar de flesta större bränslebaserade el och fjärrvärmeanlägg, förutom avfallsförbränning och farligt avfall. Andra verksamheter som berörs är produktion av organiska baskemikalier, mineraloljeraffinaderier, malmtillverkning, mineralindustrin (keramik, cement, glas, glasfibrer, kalk, keramik), papper och massabruk, järn- och stålanläggningar, produktion av icke järnmetaller, aluminiumtillverkning och flygtrafik inom EU (European Commission 2015).

CDM är tänkt att utvecklingsländer ska få hjälp med miljöanpassutveckling. Ofta så görs ett avtal mellan köparen och utvecklingslandet, ett så kallat "Emission Reduction Purchase Agreement" där utvecklingslandet åtar sig att uppfylla ett certifikat vid namn "Certified Emission Reduction Units" genom att minska sina utsläpp. Köparen betalar för utrustningen som behövs för att utvecklingslandet ska kunna reducera sina GHG utsläpp.

Utsläppsminskningen som sker kan köparen tillgodose som sin egna utsläppsminskning för att uppfylla Kyotoprotokollet. Syftet med CDM är inte bara att minska GHG utsläpp utan också bidra till en hållbar utveckling i landet som projektet sker i (Energimyndigheten 2014).

JI syfte är att ge länder och företag möjlighet i att reducera sina egna GHG utsläpp och uppfylla sina åtagande till Kyotoprotokollet via investeringar i utsläppsminskande projekt i andra länder och tillgodoräkna sig utsläppsminskningenheter Emission Reduction Units

(ERUs). Världsländet får Assigned Amount Units (AAUs) eller utsläppsläppsenheter som omvandlas till ERU som motsvarar minskningen som skett med hjälp av projektet (Energimyndigheten 2014).

Parisavtalet ett är globalt avtal som är det första juridiskt bindande avtalet där de som undertecknat avtalet måste lämna in utsläppsmål var 5 år. Avtalet trädde i kraft den 4 november 2016 (Klima- og miljødepartementet 2016). Avtalets syfte är i huvudsak att se till att medeltemperaturen inte stiger över 2 Celsius jämfört med innan industriåldern. Tanken är att försöka hålla sig under en medeltempreturökning på 1,5 grader Celsius (UNFCCC). Vid 13. Februari 2017 var det 131 länder som har skrivit under avtalet, medan USA har dragit sig ur avtalet (UNFCCC ; UNFCCC 2017)

Den 29 december 2016 publicerade den norska Regeringen på sin hemsida att länderna, som hade anslutit sig till Parisavtalet, stod för 96 % av de globala GHG utsläppen. Detta var innan USA drog sig från avtalet. Jämfört med Kyotoprotokollet som berör 10–13 % av de globala GHG utsläppen (Klima- og miljødepartementet 2016).

b. EU

EU har tagit ett beslut att innan 2020 ska 20 % av energin komma från förnybar energi och att minst 10 % av energin inom transportsektorn ska täckas av förnybar energi för varje medlemsland (Europaparlamentet & Europeiska Unionens Råd 2009). Till 2030 ska EU ha minskat sina CO₂ utsläpp med 40 % jämfört med 1990 och 27 % av energin ska komma från förnybar energi (European Commission 2014; European Council 2014). Verksamheterna som inte berörs av ETS har EU som mål de ska sänka sina utsläpp med 30 % till 2030 jämfört med 1990. Verksamheterna som berörs av ETS har EU som mål att de sänka sina utsläpp med 43 % jämfört med 2005 (European Council 2014). Att sänka sina utsläpp med 40 % fram till 2030 jämfört med 1990 är ett avtal som Norge har bundit sig till att genomföras (Klima- og miljødepartementet 2015). Vid 2005 var efterfrågan i EU på 85 Mtoe bioenergi. Efterfrågan antas ökas till 178 Mtoe till 2030 om EU:s mål med att sänka sina CO₂ utsläpp med 30 % till 2030 (European Commission 2014).

En ökad efterfrågan på bioenergi i EU kommer enligt Frank et al. (2016) att öka trycket på EU:s skogar för ett ökat uttag av biomassa. Det ökande trycket på skogarna skulle öka arealer

markanvändning, förändring av markanvändning och skogsmarker (LULUCF). Enligt European Council (2014) hade EU vid 2005 LULUCF kolsänka på 239 MtCO₂, den kommer troligen minska ned till 216 MtCO₂ vid 2030. Detta är ett scenario om EU uppfyller sitt mål med ökar sin produktion av förnybar energi i EU för att reducera CO₂ utsläppen (European Council 2014). Börjar EU använda sig av lignincellulosa från energigrödor, till större del som ersättare för biomassa från skogen, skulle LULUCF kolsänkan minska med 1 % inom EU från de 239 MtCO₂. Det mer troliga scenariet är att minskningen av LULUCF kolsänka minskar med 3 % inom EU på grund av ökande efterfråga på biomassa (Frank et al. 2016).

I Danmark, Finland och Sverige har bioenergin från fjärrvärme och elektricitet vart stabilt mellan 2010 till 2014. Största ökningen har vart i transportsektorn av användningen av bioenergi på grund av EU:s klimatmål. Av de nordiska länderna är det framförallt Danmark och Sverige som ökat sin användning av biodiesel (International Energy Agency 2016).

EU har som mål att reducera sina GHG utsläpp med 80 % fram till 2050. För att uppnå detta har EU två st. milstolpar som nämnt ovan att sänka utsläppen med 40 % innan 2030. I nästa steg ska de ha sänkt utsläppen med 60 % till 2040. För att uppnå detta så kommer EU tvingas ändra sin politik. Om EU fortsätter med dagens politik kommer utsläppen endast sjunkit med 40 % fram till 2050 jämfört med 1990. Det är i elproduktion, transport, byggnader, industri och jordbruk som man ser potential i att minska utsläppen, där bland annat att lagring av CO₂ i skog, jord och ökad användning av biodrivmedel ses som en möjlighet (European Commission 2017). Norge har som mål att vara ett lågutsläppsamhälle fram till 2050 så det ska vara karbonneutralt (Klima- og miljødepartementet 2014).

c. Norge

I St.meld.nr. 34 (2006-2007) Norsk klimapolitikk önskar regeringen att öka satsningen på bioenergi och höja bioenergianvändningen med 14 TWh innan år 2020 (Klima- og miljødepartementet 2007). Orsaken till att regeringen har detta som mål är följande:

- Säkrar energiförsörjningen
- Reducerar GHG utsläppen
- Skapar arbetsplatser på landsbygden
- Håller kulturlandskap öppna (Olje- og Energidepartementet 2008).

Huvudändamålen för bioenergi fokuserar på uppvärmning av hus och varmvatten, ånga och processvärme och vid kraftproduktion (Olje- og Energidepartementet 2008). Vid 2015 stod biobränslen och fjärrvärme för 8 % av energianvändningen. Detta var en ökning på 7 % hos biobränslen och 8 % ökning hos fjärrvärmens från året innan. Ökningen hos biobränslen stod ved för i huvudsak (SSB 2016c). Nyaste siffran om bioenergi användningen jag hitta var vid 2012 användes det 18,1 TWh bioenergi i Norge (Melbye et al. 2014). En rapport från SSB säger att det är svårt att uppskatta bioenergianvändningen i Norge. Detta för att bioenergin är i liten grad urskiljd från övrig statistik gällande energi och för att man har hög och låg energiutvinning från biomassa och det är möjligt att använda sig av både fossilt och biomassa som bränsle i anläggningen (Karlsen & Bergh 2014).

Framtidsprognosen för SKOG22 är att bioenergianvändningen 2020 kommer att ligga på strax under 25 TWh. Således nås inte målet med 28 TWh förrän vid 2030. Det är framförallt biodrivmedlen som kommer öka medan vedanvändningen kommer sjunka (SKOG22 2015).

2009 trädde EU:s-förnybardirektiv i kraft i Norge. Norge ska ha till 2020 ha en andel på förnybar energi på 67,5 %. Mellan 2013 och 2014 steg andelen förnybar energi med 66,7 % till 69,2 %. Detta beror bland annat på att 2014 var ett varmt år och energiförbrukningen gick ned samtidigt som vattenkraften ökade. Transportsektorn ska ha en andel på 10 % förnybar biodrivmedel (SSB 2016d). Det har kommit en önskan från stortinget att andelen förnybart biodrivmedel ska ökas till 20 % fram till 2020, varav 8 % ska vara från avancerat biodrivmedel. De avancerade biodrivmedlet är så kallat dubbelräknande, det vill säga att en liter motsvarar två liter i statistiken. Det beräknas med att det ska vara 600 miljoner liter av biodrivmedel fram till 2020 på den norska marknaden (Miljødirektoratet 2017b).

Handel med utsläppsrätter och CO₂-avgifter ses som de viktigaste tilltagen för att reducera CO₂ utsläppen från Norge. I Norge är det över 80 % av CO₂ utsläppen som berörs av avgiften eller EU EMS. Jordbruket är i det närmaste fritaget från avgifterna. CO₂-avgifterna varierar beroende på område. Från 29 kr per ton koldioxidekvivalenter till 430 kr per ton koldioxidekvivalenter på naturgas, beroende på område den används i. Fossilgas har CO₂-avgift på 420 kr per ton koldioxidekvivalenter och bensinen har 400 kr per ton koldioxidekvivalenter (Miljødirektoratet 2017a).

CO₂-avgifter ses som ett ekonomiskt styrmedel för att ändra beteende hos konsumenter och företagare till en mer önskvärd riktning från politiskt håll. Detta ska hjälpa miljön genom att få konsumenten att köpa den önskvärda varan lättare, genom att höja priset på den oönskade varan. Generellt kan ett styrmedel fungera som en piska eller morot, en CO₂-avgift fungerar som en piska genom man gör en oönskad vara dyrare (Aniansson 2005).

Tanken med en CO₂-avgift är att det ska bli dyrare att släppa ut karbon och på sikt uppmuntra till låg karbonsamhälle (Martin et al. 2016). CO₂-avgiften ska straffa verksamheter som använder sig av gammal teknik som är energikrävande och gynnar industri som gjort investeringar i ny miljövänligare teknik. Om avgiften blir för låg kommer den subsidierande effekten till annan verksamhet att utebli (OECD 2016).

Det har gjorts flera studier på att beräkna sannolikheten med att hålla sig under en ökning i medeltemperaturen på 1,5 grader Celsius, 2 grader Celsius och 3 grader Celsius med hjälp av CO₂-avgift från 2012 till 2100. Att använda sig av ett globalt CO₂ pris på 1 USD per ton CO₂ är sannolikheten klara sig under 2 grader Celsius ökning i medeltemperaturen lika med <1 %. Om priset ökar på CO₂ till 20 USD per ton CO₂ så ökar sannolikheten till 50 % att hålla sig under en 2 grader Celsius ökning. Om priset skulle ökas till 40 USD per ton CO₂ skulle sannolikheten öka till 66 % chans att behålla sig under 2 graders målet. Detta skulle kosta samhället runt 0,8 till 1,3 % av världens BNP (Rogelj et al. 2013). Ett högre CO₂ pris skulle hjälpa till med att reducera utsläppen, CO₂ är en långlivad gas och temperaturen skulle nå toppen innan det blir en effekten av den ökande CO₂-avgiften (Smith et al. 2012)

Dessa scenarier är beroende av när CO₂ priserna träder i kraft, teknikutveckling och av energibehov. Som exempel om inte koldioxidinfångning och lagring (capture and geological storage of carbon (CCS)) används och CO₂ priset är på 40 USD per ton koldioxidekvivalenter sjunker sannolikheten från 66 % till 50 % chans att man lyckas hålla sig under 2 grader Celsius målet. På vissa områden skulle ett högre CO₂ pris behövas där förnybar teknik och biomassa är begränsad för att klara målet. Detta är något som skulle behövt införas så snart som möjligt, om det dras ut på 10 till 20 år så sjunker sannolikheten ned till 10–35 % med ett CO₂ pris på 40 USD per ton koldioxidekvivalenter med 2 grader Celsius målet. Fortfarande så skulle 3 grader Celsius målet troligen uppnås med >90 % sannolikhet (Rogelj et al. 2013).

Med hjälp av en CO₂-avgift på 60 Euro per ton koldioxidekvivalenter och med skatt på utländsk eldningsolja och paraffin i Norge skulle fjärrvärmen producera 4000 GWh extra från bioenergi. Ska man producera 4000 GWh från pelletskaminer och centralvärme skulle CO₂-avgiften behöva vara på 100 euro per ton koldioxidekvivalenter (Sjølie et al. 2010) .

Att använda sig av subventioner i tillägg till en CO₂ skatt för att öka användningen av energi från trä är inte kostnadseffektivt med tanke på att minska CO₂ utsläppen från hela energisektorn. Istället för att subsidiera användning av trä till energiändamål är det mer effektivt att höja CO₂ priset (Moiseyev et al. 2014).

Sjølie et al. (2010) konstatera att ett investeringsbidrag på 50 % för fjärrvärme med träbaserad energi skulle kunna öka användningen av bioenergi i Norge. Att kombinera en CO₂-avgift och subvention inte garantera utsläppen minskar. Utan det är ett högre pris på produkten som minskar användningen av energi (Sjølie et al. 2010).

I Norge så använder de sig av subventioner idag, (Innovasjon Norge) har ett bioenergiprogram som riktar sig till gårdsbrukare och skogsägare. Där kan man ansöka om bidrag för att sälja bioenergi, värma sin gård, uppvärmning av växthus, produktion av biogas och flislager och flistork. Innovation Norge har flera program som stödjer bioenergin ut över bioenergiprogrammet, Miljøteknologiordningen och Teknologiutvikling bland annat (Melbye et al. 2014). Enova har program som stödjer bioenergi utbyggnaden som fjärrvärme och biogasproduktion för att nämna några. Även på lokala håll har Oslo kommun, Transnova och Statens Landbruksforvaltning egna program eller ger stöd till program för konvertering och utbyggnad av bioenergi (Melbye et al. 2014).

4. Bioenergi i Norge – en modellanalys

4.1 Översikt över centrala sammanhang och tidigare studier

a. Principer

Timret som tas ut vid en avverkning blir ca 45 % sågtimmer, 45 % massaved och 10 % bioenergi (Svenskt Trä 2016). Brekke et al. (2015) använder sig av siffrorna 47 % timmer 17 % GROT och annan biomassa blir 36 % vid avverkning. Av timret som går ut blir 52 % sågtimmer och 48 % massaved.

GROT är grenar och toppar i huvudsak och det föregår en del projekt för att försöka göra det lönsamt att ta med stubbarna men också för att se miljökonsekvenserna vid avverkning av stubbarna för energiändamål. Bioenergi är i huvudsak ett avverkningsavfall som samlas ihop för att användas som bioenergi. Användningen ökar för var år i takt med att miljömedvetandet ökar (Egnell & Skogsstyrelsen 2013).

När GROT används samlas avfallet ihop och läggs ihop i högar med massaveden och sågtimmer. GROT-högarna får normalt ligga kvar ute i skogen ett tag med förhoppningar om att de ska torka för att minska fuktigheten och askhalten vid förbränning. Det är även bra att försöka få löv och barren att bli kvar på avverkningsytan jämt fördelat för att behålla N (nitrogen) halten i skogen (Jacobson 2000). Det finns lite olika sätt på hantering av GROT innan de kommer till terminalen, men i slutändan så blir GROT:et sönderdelas eller flisas upp vid förbränning (Egnell & Skogsstyrelsen 2013).

Flis bildas när trä flisas med eller utan bark upp till max 150mm långa, flis består av huvudsak av returvirke, rundvirke eller GROT. Flis har olika egenskaper beroende på vad för träslag som de består av hur tillvägagångssättet de blivit flisade. Torrflis kan lagras längre än fuktig flis på grund av det fuktiga börjar nedbrytningen tidigare. Bland annat går det att tillverka pellets och briketter av flis eller bränna flisen direkt (Brekke et al. 2015).

När timmerstocken kommer in på sågbruket tas barken av och 80 % av denna går till energianvändning och 20 % går till bark för trädgårdsanvändning (Treindustrien). När timret ska bli plankor bildas det sågspån, torrflis och råflis, varav sågspån och torrflis står för 14 % av timmerstocken och används till bioenergi och råflis står för 31 % av timmerstocken går till pappersindustrin. Det är 55 % av timmerstocken som blir plankor, varav 8 % försvinner i torkningen. Så det är 47 % av stocken som kommer till slutkund i form av plankor (Svenskt Trä 2016). När massaveden kommer in på terminalen så tas barken bort och går till bioenergi och i huvudsak till egen energiproduktion (Svenskt Trä 2016).

b. Användning av trä

Livscykelanalys (LCA) är ett verktyg för att beräkna ut hur stor miljöpåverkan en produkt har. LCA ger en bild på resursflödet, vilket underlättar att hitta områden som kan behövas effektiviseras för att minska miljökonsekvenserna (Sveriges Lantbruksuniversitet 2016).

EU har kommit med ett förslag på hur trä ska användas för att minska miljöpåverkan vid användning av trä i en stegvis modell:

- Först gör man produkter gjorda i trä
- Sedan återanvänder man träprodukten
- För sedan återvinner man produkten
- Gör bioenergi av nya träprodukten
- För sedan bli avfall (European Commission 2013).

Produkter med lång livslängd bör användas i förstahand, som exempelvis hus som kan lagra karbon upp till 100 år beroende på när huset är byggt. För sedan göra en möbel av den som varar i ca 30 år. Sedan återvinna det till ett pappersark som har en livslängd på ca 6 år för sedan ersätta fossil energi (Skog & Nicholson 2000).

Enligt IPCC lagras det 0,92 tCO₂ i 1 m³ trä, och att en gammelskog är mest optimalt för lagring av karbon. Detta sker sällan naturligt på grund av att skogen utsätts för mänskliga och naturliga förändringar som avverkning och sjukdomar (Nabuurs & Masera 2007). I Norden så är omloppstider på runt 100 år ganska vanligt. Om skogen inte huggs då, börjar trädet växa långsammare och tillslut kommer trädet att dö. När trädet dör så kommer den att frigöra all energi och CO₂ som trädet har absorberat under sin livstid. Om träet används till att bygga träramen till ett hus istället för cement och använder biomassan till bioenergi för att ersätta kol kommer CO₂ utsläppet att minska. Som exempelvis så hamnar energibalansen på 260 GJ när man bygger ett hus med cementram jämfört med om man bygger ett hus med träram så hamnar energibalansen på -1110 GJ. Träramen får minusvärden genom att vid framställningen frigörs det användbar bioenergi under livsloppsanalysen (LCA). Vid cementframställning går det åt en del kemikalier vilket ökar utsläppen vid produktionen (Gustavsson & Sathre 2006).

c. Tillbud och efterfråga

Landmassa som det går att odla på är begränsad och här ska trä-, jordbruksprodukter och bevaring av biologisk mångfald samspela på. Ökar produktionsarealen för en produkt kommer de andra få mindre plats. Med ökad användning av bioenergi av framförallt första generationen bioenergi som består av grödor från jordbruket kan man få räkna med konflikter om markanvändningen (Popp et al. 2014). Från 2010 till 2015 har EU:s jordbruksskördar ökat i alla medlemsländerna förutom Kroatien (Eurostat 2016). Samtidigt har Europas skogar växt sig större som tidigare sagt (Forest Europe 2015).

Norska staten har ett omsättningskrav på försäljare av drivmedel av att 7 % av drivmedlen som säljs ska vara biodrivmedel (Miljödirektoratet 2017b). 2015 var det 188 miljoner liter biodrivmedel på den norska marknaden, den stod för 4,6 % av försäljningen av drivmedel. Från 2005 till 2014 har det varit en ökning från 0 GWh till 1500 GWh biodrivmedel sålt. Det är framför allt biodieseln som står för försäljningen i Norge och har en marknadsdel på 90 %. I dieseln var det inblandat 2015 i snitt 6,1 % biodiesel. I bensinen var det i snitt 1,5 % bioetanol inblandat. Biobränslena består av i huvudsak av raps med ca 160 miljoner liter. Marknaden i Norge med avancerade biobränslen som är gjord på skogsavfall står bara för en liten andel. Det är raps som har den stora delen, så är det följt av majs, soja och sockerrör (Berg et al. 2017).

Biodrivmedel är ett förnybart bränsle som motsättning till det traditionella drivmedel som är på olja. Flytande biodrivmedel är ersättning för bensin, diesel och andra petro-baserade drivmedel. Det är i huvudsak biodiesel och bioetanol som tillverkas på den globala marknaden där bioetanolen står för 80 % och biodieseln står för 20 %. På den globala marknaden av transportbränslen står de för ca 3 %. Biodrivmedel har tillverkats sedan 1970-talet, men på senare år har det skett en ökning i produktionen. Ökningen beror på i huvudsak att från politisk styrning för att uppmuntra en blandning av fossila- och biodrivmedel för att reducera GHG utsläppen (Pöyry 2014).

Det lämnas 6–7 TWh GROT kvar vid avverkningar i Norge, det betyder att man skulle kunna öka de 14 – 15 TWh som används med ytterligare 6–7 TWh (SKOG22 2015, Olsen 2011). Det extra uttaget av GROT tros ge en lägre miljökonsekvens på biodiversiteten, detta genom att GROT:et kan användas till reducering av GHG utsläpp vilket kan ha en större positiv effekt (Olsen 2011).

d. Användelse

Vid sidan av timmer och massaved så är biobränsle den tredje största sortimentet (Egnell & Skogsstyrelsen). Det är biokraft, biovärme och biodrivmedel som bioenergi används till idag (Berg et al. 2017; Norheim et al. 2011; SKOG22 2015).

Idag kommer runt 14–15 TWh av bioenergin som används i Norge från skogen av de ca 18 TWh som produceras (Brekke et al. 2015; SKOG22 2015). Enligt SKOG22 (2015) finns de potential för ökad användning i bioenergi från industrin, biodrivmedel, flis, pellets och briketter, medan efterfrågan på ved kommer minska från nuvarande nivå. 2015 var det ca 1,2 miljoner ton ved som användes i Norge (SSB 2016e). Brännved med 40 % fuktighet ger 1 ton ved 1,2 m³ fast under bark (Sveaskog 2014). Vilket ger ca 2,44 miljoner m³ ved som används i Norge vid 2015. Det är 12 % av hushållens energiförbrukning som kommer från vedeldning (SSB 2016e). Detta är det näst lägsta nivån av vedförbrukning i Norge sedan SSB börja undersöka detta i 2005. Ved är fortsatt den största förbrukningen av biobränsle i Norge, efterföljt av flis/träavfall som används inom industrin som står för 22 % av biobränslen och på tredje plats kommer biodrivmedel med 14 % (SSB 2016e).

Ångturbiner är det vanligaste typen för att producera elektricitet i biokraftanläggningar som är en effektiv metod man bränner fasta biobränslen. Men finns andra tekniker som används också som gasmotor, gasturbin och ångmotorer för exempel. Gasturbiner används vid slam, vill säga våt-organiskt biobränslen. Om man inte har tillgång på gratis tillgång av biogas som i avfallscentraler exempelvis är det inte lönsamt att bygga biokraftverk. ORC-turbiner (organic rankine cycle) används vid lågtemperatur som exempelvis vid restvärme (Norheim et al. 2011).

Biokraft kan använda sig av både biomassa som är i gasform eller fastform. Ett biokraftverk producerar både värme i form av fjärrvärme och elektricitet om det monteras en kombinerad kraft och värme (CHP) (Olje- og energidepartementet 2012).

Andra generationens/avancerat biodrivmedel består av icke matbiomassa. Utan består av cellulosa från råmaterial från skogsavfall, halm och biprodukten efter sockerrörstillverkning. Även består avancerad biodrivmedel från jordbruksprodukter med kort rotationstid som energiskog exempelvis och organiskt avfall från hushåll. Jordbruksprodukter med kort omloppstid kommer troligen fortsätta att tävla mot matproduktionen (Sims et al. 2010).

Avancerat biodrivmedel är ökande och får investeringar från privata sällskap som bland annat sysslar med fossilolja som huvudsak (Sims et al. 2010). Produktionen på en kommersiell fabrik för bioetanol förväntas ligga mellan 50 till 100 miljoner liter per år vilket kommer kräva 500 000 till 1 000 000 m³ av trä för att tillfredsställa produktionskapaciteten (Pöyry 2014).

De 5,5 % biobränslen som tillverkas för norska marknaden är i huvudsak första generationen biodrivmedel. Det är 188 miljoner liter biodrivmedel som tillverkas på den norska marknaden och kan jämföras med ca 1 miljard liter som används av den svenska transportsektorn. (Berg et al. 2017; Kløvstad 2017). Biodrivmedlen som används på norska marknaden är i huvudsak raps och majs. Det är endast 1 % av biodrivmedlen som produceras på norsk skog (Berg et al. 2017).

Det är fyra st. anlägg som förser norska marknaden med biodrivmedel och är Slagentangen och Mongstad i Norge, Göteborg i Sverige och Amsterdam i Nederländerna. Distribution anlägg Sjørsøya vid Oslo förser marknaden med 40 % av behovet av biodrivmedel, medan det finns 45 st. distribution anlägg över Norge (Berg et al. 2017). De biodrivmedel som används är bioetanol, biodiesel och HVO. Bioetanol är framställt av plantor med socker och stärkelser, biodiesel framställs av plantfett eller oljor och HVO är en typ av biodiesel som framställs ofta av restprodukter som tallolja, slaktavfall och fityrolja exempelvis (Miljødirektoratet 2017b).

e. Effekten av ökad användelse av bioenergi

Jordbruket och skogsbruket hamnar ofta som två motparter när man diskuterar lagring av CO₂ i skog, det är alternativt att ha jordbrukslandskap eller att plantera skog på åkarna. Plantering

av skog på åkrar leder till att det blir dyrare för jordbruket att odla mat. Genom att jordbruket kommer behöva effektivisera sig mer och användning av kemikalier kommer öka för att kompensera förlorad åkermark (McCarl & Schneider 2001).

2011 kom den en artikel på LCA på uttag av bioenergi från skogen för att ersätta kol och olja med pellets och etanol E85. Det de undersökte var användning av avfall efter avverkning och på att ta ut stående trån till produktionen på en 100 års period. När man räknar med den totala utsläppen från förlorad kolsänka till ersättning av kol för pellets och använder sig av avfall från avverkning, så minskar man utsläppen med ca 40 MtCO₂-eg på 100 år jämfört med att låta skogen stå och fortsätta använda kol till uppvärmning (McKechnie et al. 2010).

Om man istället skulle ha använt avfallet från avverkningen till etanol så hade det gett en utsläppsminskning på nästan 10 MtCO₂-eg på 100 år. Om man skulle använda sig av stående trån till pellet så hade detta gett en minskning på drygt 100 MtCO₂-eg, medan gett en ökning på ca 50 MtCO₂-eg för produktion av etanol (McKechnie et al. 2010).

Repo et al. (2011) jämförde att låta skogsavfall ligga kvar i skogen mot att använda sig av avfallet på en period på 100 år. Det som undersöktes var att se om det var reducerad GHG utsläpp vid användning av skogsavfallet, jämför med att låta avfallet stanna i skogen.

Biomassan som undersöktes var grenar och stubbar. Efter 100 års av att omvandlat grenarna till energi så var det 71 % lägre CO₂ utsläppen än naturgas, 74 % lägre CO₂ utsläpp än olja och 79 % lägre CO₂ utsläpp än kol. Stubbar har sämre substituerad effekt jämfört med grenar gällande CO₂ utsläpp. Stubbar har 40 % lägre CO₂ utsläpp än naturgas, 46 % lägre CO₂ utsläpp än olja och 58 % lägre CO₂ utsläpp än kol.

På kortare sikt så är uttag av grenar och stubbar sämre än olja och naturgas. Det tar ca 22 år att utsläppen är lägre än naturgas och 14 år innan de är lägre än olja om man tar ut bioenergi från stubbar. Det tar mindre än 10 år innan bioenergi från grenarna har lägre CO₂ utsläpp än olja och naturgas (Repo et al. 2011).

Repo et al. (2012) konstatera att ersätta fossil energi med bioenergi inte är neutralt. Detta för att förbränningen av skogsavfall släpper ut GHG till atmosfären betydligt snabbare än vad naturlig nedbrytning gör. Utsläppen är som högst i början tack vare RF är som högst i början och uppsamling av skogsavfallen. GHG släpps ut direkt vid förbränning, men RF avtar med

tiden. Vilket gör att bioenergi på kort tid kan jämföras med fossil energi, medan under längre tidsperioder är bioenergi ett bättre alternativ jämfört med kol, olja och naturgas.

Att ta ut biomassa från skogen och omvandla det till energi för att reducera GHG utsläppen för att substituera för fossil energi kan ha en lång substituteffekt innan GHG utsläppen är lägre från bioenergin jämfört med fossil energi. Att öka avverkning för att endast ta ut biomassa för energiändamål har en lång substituttid. Som exempelvis om avverkningen ökar från 60 % till 80 % av årlig tillväxten skulle det ta 175 år för att ersätta kol och 300 år för att ersätta naturgas (Zanchi et al. 2012).

Att använda sig av avfall från avverkning, vill säga GROT, vilket har en kortare tillbakabetalningstid som tidigare sätt från (Repo et al. 2011) bland annat. Även Zanchi et al. (2012) konstatera att redan efter 30 år så var det 60 % lägre CO₂ utsläpp från bioenergi än kol bland annat. Ett ökat uttag av GROT kan även leda till att fågellivet påverkas negativt konstaterades i en amerikansk studie (Riffell et al. 2011). Fågellivet påverkades negativt åtminstone på kort tid när maskiner kommer in och stör och blir mindre biomassa kvar för byggande av fågelreden. I studien så var det mindre påverkan på däggdjur, reptiler och amfibier i ett negativt synsätt (Riffell et al. 2011). Troligen så kommer inte GROT uttagen vara på stora områden samtidigt, vilket minskar påverkan mer. Även så kommer det troligen existera mer död ved i andra delar av skogen som djurlivet kan använda sig av (Riffell et al. 2011).

Nya plantage av skog kan vara både bra och dåligt för bioenergiändamål. Det beror på vad det är för marktyper som plantagen planteras på och hur mycket karbon den har i sig. När en skog avverkas för att ge plats åt bioenergiplantage och skogen har ett högt karboninnehåll så är tillbakatiden kortare för att ersätta fossil energi jämfört med en skog som har lågt karboninnehåll. Detta beror på markens bördighet, det tar längre tid att absorbera samma mängd karbon på en mark med lågt ståndortsindex jämfört med en mark med högt ståndortsindex (Zanchi et al. 2012). Andra faktorer som påverkar växten hos en planta är ståndortsindexen är tillgång på vatten, ljus, luft, temperatur, näringstillgång och jordmånen (Finstad & Kjellsen 2011).

4.2 Metode

Om NorFor går det att läsa mer beskrivande i Sjølie et al. (2011) och Trømborg og Sjølie (2011), här kommer en kortare beskrivelse på metodiken i NorFor.

NorFor är en partial och rumslig likaviktsmodell av den norske skogssektorn (det vill säga skogsbruk, skogsindustri och bioenergi) där man förutsätter att alla aktörer har full kunskap om framtiden. Modellen maximerar välfärden i alla perioder samtidigt för att optimera möjligheterna för skogssektorn med de givna skrankorna. Modellen är uppbyggt med att skogssektorn inte påverkar resten av ekonomin. Vill säga den påverkar inte kostnaderna för kapital, arbetskraft och andra tjänster verksamheterna behöver förutom trä. Rumsligt är modellen indelad i 19 regionala delar, de norska landskapen, och 2 utländska delar, Sverige och resten av världen (Sjølie et al. 2011).

Efterfråga och utbud behövs balanseras i likaviktsmodellen. Den optimala lösningen i modellen ger antal produkter och priser på de. Stockar och mellanliggande produkter får sina pris i skuggpriset. Efterfrågan på slutprodukten kombineras med ingångs- och utgångsmatriser för bearbetning ger mängden av inmatningsfaktorer (trä och icke trä). Optimal tilldelning av trä baseras på restriktioner, antagande och objektets funktion från modellens sida. Syftet hos objektfunktionen är att maximera överskott hos konsumenter och producenter, värdet för karbonlagring och minimera kostnaden för transport och investeringar (Sjølie et al. 2011).

Till grunden för NorFor ligger Gaya, NTM II och Regional Model of Oregon (Adams & Latta 2005; Adams & Latta 2007). NorFor effektiviserar analysen av att se på effekten av hur politiska och ekonomiska beslut påverkar skogssektorn och hur skogssektorn kan hjälpa till att minska påverkan på klimatförändringen på sikt med ett span på 30 till 100 år (Sjølie et al. 2011). NorFor baserar sin skogsdata på data från norska skogstaxeringens permanenta försöksrutor som de har spritt över landet. Av 12 700 st. permanenta försöksrutor är det 8991 st. försöksrutor som ligger till grund för NorFor. Försöksrutorna som tagits ut ur NorFor är försöksrutorna som är placerade i icke produktiv skog och Finnmark (Trømborg & Sjølie 2011).

I modellen NorFor blir avverkning, skogsinvesteringar, skogsskötsel, skogsprodukttillverkning, industriinvesteringar och efterfrågan på slutprodukter intrigerade i modellen. Detta är en styrka genom man kan avgöra möjligt samspel mellan träproduktmarknaden och skogen. För att se hur beroendeförhållanden och anpassning för eventuella förändringar påverkar skogsnäringen på olika områden (Sjølie et al. 2011).

Gaya används i NorFor för att simulera avverkningstabblar för olika skötselåtgärder som är sammansluten med NorFor för att optimalt anslå konsumenter och industrin samspel. NorFor optimerar sina perioder samtidigt med 5 års periodlängd. Industrisektorn baseras på NTM II i NorFor, där skovor, papper och pappersmassa industrin är representerad på bruks nivå och sågbruksindustrin är representerad på länsnivå. Bioenergin är inkluderad i NorFor på hushåll, affärsmässigt och industrinivå med några modifikationer (Sjølie et al. 2011).

NTM har en kort till medellång tidsperiod som undersöks och Gaya har en lång tidsperiod som undersöks, och där Gaya inte ser på hur marknadsförändringar in i kalkylationen. Det är här NorFor kommer in för att fylla gapet mellan NTM och Gaya, NorFor kan studeras mer teoretiskt områden. NorFor är anpassningsbar till objektet för varje period som analyseras. NorFor består av 4 st. undersektorer tillväxt och skötsel av skogen, industri och konsumtion, transport och handel och CO₂ räkning (Sjølie et al. 2011).

Produkter i NorFor som konsumenterna efterfrågar är.

Mekaniskpappersmassa

Sulfatpappersmassa

Timmer från gran

Timmer från tall

Timmer från lövträd

Spånskivor

Träfiberplattor

Tidningspapper

Oklätt utskrivningspapper

Liners

Andra papper och skivor

Energiflis

Pellets
Ved
Värmepanna
Vattenburen värme
Biodiesel (Trømborg & Sjølie 2011)

För att producera dessa varor behövs trämatreal som NorFor kategoriserar som:

Sågtimmer från gran
Sågtimmer från tall
Sågtimmer från björk
Massaved från gran
Massaved från tall
Massaved från björk
(Trømborg & Sjølie 2011)

GHG räkningen i NorFor ingår i tillväxt och nedbrytning av skog, mängden CO₂ som lagras i finrötter, stubbar, råbark, barr, toppar, stammar, bark och död och levande grenar. CO₂ som släpps ut vid avverkningsavfall och avverkade områden där stubbar och rötter blir kvar. Även räknas den reducerar effekten när avverkningsavfall tas ut efter avverkning och används till energiändamål. Vid användning av maskinparken och transport räknas GHG utsläppen vid skogsskötsel, vid användning av skördare under avverkningen och vid transport av träprodukter och timmer. Vid bearbetning av industriproduktionen räknas GHG utsläppen ut. Slutbruket räknas med när produkterna blir slängda på soptippen, nedbrytning av produkten eller när den bränns. Sedan räknas subsidierande effekt ut när den ersätter fossil energi och material (Sjølie et al. 2011).

GHG flödet kalkyleras i två steg i NorFor, första steget är att under 5 årsperioden lokalisera NorFor alla lager med karbon och flödet blir kalkylerat. Genom att se på tidigare avverkning i nuvarande perioders nivå och jämföra med avverkningen i perioden innan. Karbonflödet är tidigare avverkade nivåerna i en period jämfört med avverkningen från perioden innan. Allt som avverkas och tas ut från skogen blir minus på skogens karbonlager. Skogsavfall som blir kvar i skogen efter avverkning som inte har brutits ned blir adderad i skogsavfallskarbonlagret. Skogsavfallet som tas ut från skogen blir adderad i et annat

karbonlager. GHG utsläppen vid avverkning, industri och transport baseras på LCA data. Träprodukter som är i bruk får ett karbonlager efter avverkning. Den subsidierade effekten kommer från fast trä och bioenergi är inkluderande i NorFor. Alla träprodukter som når slutprodukt tas förgivet att de kommer till förbränning vilket ger en subsidierande effekt (Sjølie et al. 2011).

Ekonomi

Skogsindustrin är beroende av transportsektorn till stor del. Skogar, fabriker och konsumenter kan ha stora avstånd mellan varandra. Träprodukter och trä kan bli transporterat mellan alla regioner utomlands som inom Norge om värdet på produkten är högre jämfört med kostnaden på transporten (Samuelson 1952). Transportkostnader i NorFor är exogena och vid bilateral handel så väljs det billigaste transportalternativet, när kostnaden på varan är högre än vad transportkostnaden är (Sjølie et al. 2011). Utbudselasticiteten är på export av trästockar -0.8 och 0,5 av träprodukter. Importen är på 0,8 av trästockar och -0.5 av träprodukter (Sjølie et al. 2013b). Priselasticiteten på bioenergi varierar från -0,3 till -0.9. Dessa är energi till egen panna, baserad på pellets eller ved, centralvärme eller fjärrvärme från pellets eller flis och värme från industri (Sjølie et al. 2013b). Diskonteringsräntan i NorFor är på 4 % och gällande skog över 90 år används ett ökande värde på 5 NOK/(m³/år) (Trømborg & Sjølie 2011).

Avverkningsvolym

Från och med period 3 (2020) i alla scenarier på balanskvantum förutom S0. Balanskvantum baseras på en mängd kvantum som kan avverkas årligen utan att behöva krympa avverkningen i framtiden. Balanskvantumet i denna studie ligger på 17 miljoner m³ årligen och är en ökning på 6 miljoner m³ från 2012 nivå. I de 17 miljonerna är miljöhänsyn tagen och med bortfall, som rote, skador och avkapat bland annat (Bergseng et al. 2012 Melbye et al, 2014).

Bioenergiuttag

När avverkning når den årliga balanskvantum är det möjligt att ta ut 16 TWh årligen från skogen till energiändamål (SKOG22. Bergseng, et al 2012. Melbye et al, 2014). De 16 TWh ska var för innanför ett pris på 30 öre per kWh till anlägggen och 60 % av biomassan kommer från restavfall (Bergseng et al. 2012; SKOG22).

Koldioxid

Som CO₂ pris valde jag att använda mig av 40 USD per ton koldioxidekvivalenter från (Rogelj et al. 2013) som baserar sitt scenario på en global skala. Jag valde detta pris på grund av att växthuseffekten inte är ett regionalt problem utan ett globalt.

Det blir en subventionerad effekt när en träprodukt används genom att den lagrar karbon, för sedan bli energi som subventionerar fossil energi (Trømborg & Sjølie 2011).

Scenarier

Det är 8 scenarier plus basituation som blev undersökta i denna studie. Scenarier BAL.KV till S8:BIOVÄRME+CO₂ baseras på att avverkningsnivån ligger på balansekvantum på 17 miljoner m³ årligen. CO₂ priserna/skatten som används i scenarier S2:BAL.KV+CO₂, S4:DRIVGROT+CO₂, S6:DRIVFLIS+CO₂, S8:BIOVÄRME+CO₂ och priset är 40 USD per ton. Andelen bioenergi som kan ökas är med 16 TWh från biomassa från skogen från dagens nivå.

Biodrivsmedelproduktionen ligger på 150 000 liter, för att producera en liter biodrivmedel går det åt 3,71 m³ gran plus 2,14 m³ tall. S4:DRIVGROT och S5:DRIVGROT+CO₂ producerar biodrivmedlet av GROT. S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ producerar det av flis.

För lättare jämföra detta scenario med de andra används samma mängd virke för att producera värme som biodrivmedel. Värdeinnehållen i gran är 1,975 MWh/m³ och för tall är det 2,287 MWh/m³. Vilket ger 1,833 TWh eller 1,466 TWh vid en verkningsgrad på 80 % vid förbränning. I BAU produceras det 5,254 TWh vid 2025, så i modellen är den inlagt att det måste produceras minst 5,254 TWh vid 2025. Detta gäller för S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO₂.

CO₂-avgiften som S2:BAL.KV+CO₂, S4:DRIVGROT+CO₂, S6:DRIVFLIS+CO₂ och S8:BIOVÄRME+CO₂ använder sig av ligger på 40 USD per CO₂ ton som släpps ut.

Scenarierna modellerades på 15 perioder från start 2010 med 5 år åt gången. Perioden är mellan 2010 till 2080 som modellerades och kommer att undersökas. Det som jag valt att kolla på är 2020 till 2065.

De 9 scenarierna definieras närmare sådan:

BAU: är scenarier som visar hur situationen kommer bli om inga ytterligare åtgärder än de som gjorts idag kommer ske innan 2080.

S1: BAL.KV: Att avverkningen ökar till 17 miljoner m³ årligen vid 2020 och fram till 2080.

S2: BAL.KV+CO2: Avverkningen ökar till 17 miljoner m³ årligen vid 2020.

S3: DRIVGROT: Avverkningen ökar till 17 miljoner m³ årligen vid 2020 och biodrivmedel som produceras kommer från GROT.

S4: DRIVGROT+CO2: Avverkningen ökar till 17 miljoner m³ årligen vid 2020, biodrivmedel som produceras kommer från GROT.

S5: DRIVFLIS

: Avverkningen ökar till 17 miljoner m³ årligen vid 2020 och biodrivmedel som produceras kommer från flis som produceras från sågverken.

S6: DRIVFLIS+CO2: Avverkningen ökar till 17 miljoner m³ årligen vid 2020, biodrivmedel som produceras kommer från flis som produceras från sågverken.

S7: BIOVÄRME: Avverkningen ökar till 17 miljoner m³ årligen vid 2020 och flisen som produceras vid sågbruken går till biovärme.

S8: BIOVÄRME+CO2: Avverkningen ökar till 17 miljoner m³ årligen vid 2020 och flisen som produceras vid sågbruken går till.

Det är 9 scenarier undersöks nedkortad:

S0: BAU.

S1: BAL.KV. Avverkning på balansekvantum.

S2: BAL.KV+CO2. Avverkning på balansekvantum. + CO2-pris.

S3: DRIVGROT. Avverkning på balansekvantum + Drivmedel från GROT.

S4: DRIVGROT+CO2. Avverkning på balansekvantum. + Drivmedel från GROT + CO2-pris.

S5: DRIVFLIS. Avverkning på balansekvantum. + Drivmedel från flis.

S6:DRIVFLIS+CO2. Avvirkning på balansekvantum. + Drivmedel från flis + CO2-pris.

S7:BIOVÄRME. Avvirkning på balansekvantum. + Biovärme från flis.

S8:BIOVÄRME+CO2. Avvirkning på balansekvantum. + Biovärme från flis + CO2-pris.

Vid export och import av träprodukter så baseras statistiken på den historiska data från SSB som använder sig av FNs Standard International Trade Classification (SITC) i stor grad för handel med varor (SSB 2017b). Det som jag har hämtat data från SSB för är följande kategorier:

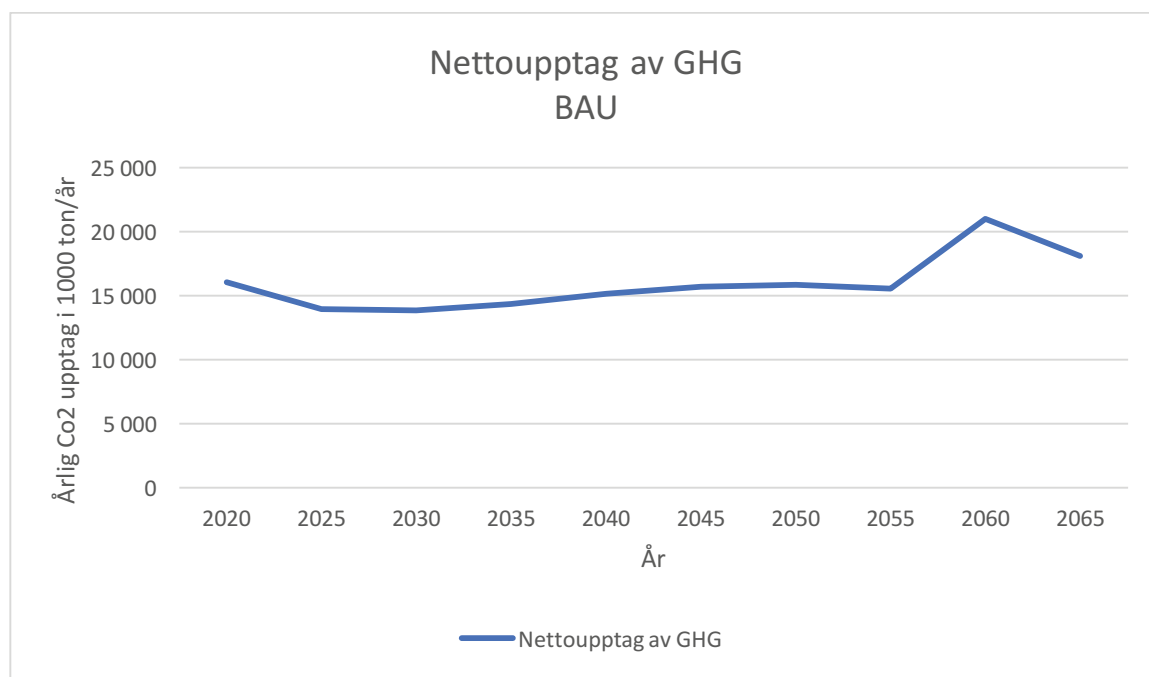
- Spånskivor
- Sågat virke
- Pappersmassa
- Energibärare
- Sågtimmer
- Massaved
- Flis från gran och tall

5. Resultat

Det har modellerats för 75 år från 2010 till 2085, det som jag valt att presentera är data mellan 2020 till 2065. Det vill säga första perioden är redan förbi, 2010–2014, och andra perioden 2015 till 2019 har vi redan kommit halvvägs i. Så fokusen kommer vara på 2020 till 2065 där flera olika miljömål ska uppfyllas som globala som norska.

Karbonflux

Nettoupptaget av GHG kommer att sjunka i basscenariot (fig.1) från 2020 till 2030 från drygt 16 miljoner ton CO₂ ned till ca 13,9 miljoner ton CO₂ för sedan stiga till drygt 21 miljoner ton CO₂ vid 2060 för sedan sjunka ned till drygt 18,1 miljoner ton CO₂. Den största ökningen är mellan 2055 och 2060. 2055 hade en liten nedgång från året innan, för att hamna på ca 16 miljoner ton CO₂ lagrat, för att öka till ca 21 miljoner ton CO₂. Det som är inräknat i mängden CO₂ är upptaget av skogen, det som lagras i GROT efter avverkning, vad maskinparken som behövs inom skogsbruket, avverkning av skogen, transporten av timret och bearbetningen av trät släpper ut. Sedan vad som lagras i träprodukterna efter bearbetning och vid förbränning av träavfall på hur mycket det subsidierar fossil energi.



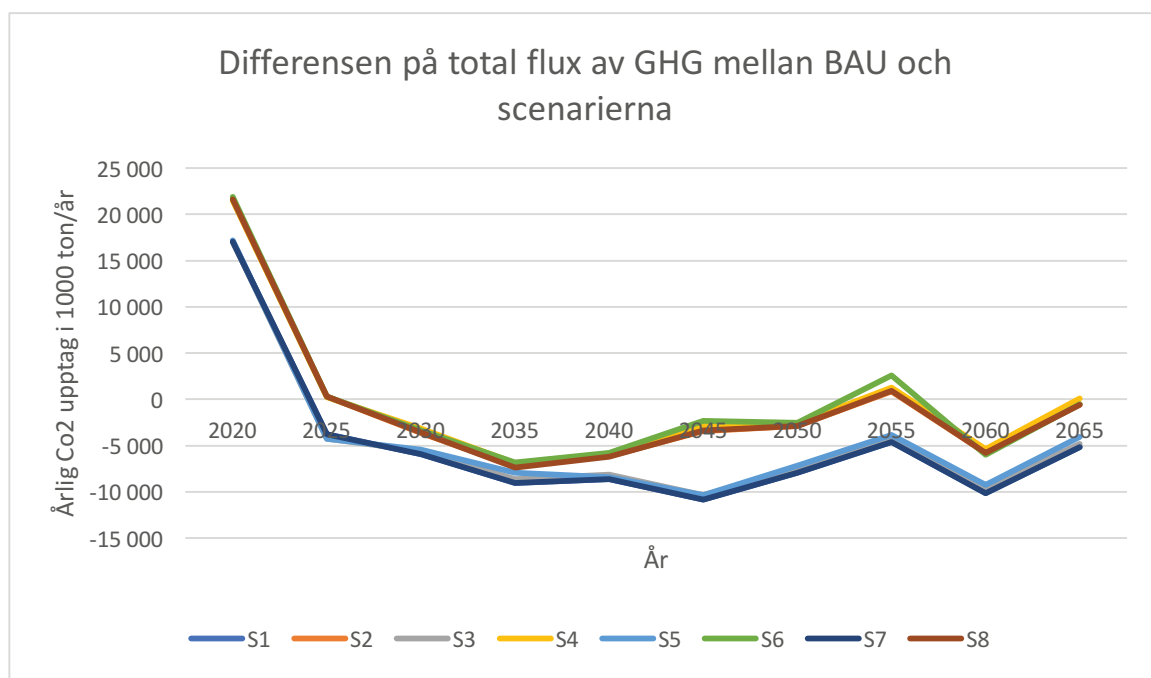
Figur 1: Nettoupptag av GHG under BAU. Siffrorna sammanfattar, flux i skogen, GROT, avverkning, maskinpark, transport, bearbetning, lagring i träprodukter, substitution och förbränning. flux i skogsskötsel är uttagen ur datasättet.

För att få en tydligare bild på hur de olika scenariernas förändringar mot basscenarier så använder jag mig av differensen på scenarierna mot basscenarier. Det vill säga om ett scenario hamnar på 0 i Y-axeln så har scenariet lika värde som BAU har. Om den hamnar över 0 på Y-axeln har scenarierna ett högre värde än BAU, medan om scenario hamnar under 0 på Y-axeln har scenariet ett mindre värde än BAU.

I fig.2 ser man att det skiljer sig mellan de olika scenarierna, det är scenarierna S2: BAL.KV+CO₂, S4: DRIVGROT+CO₂, S6: DRIVFLIS+CO₂ och S8: BIOVÄRME+CO₂ som har minst differens med BAU. Det är scenarierna som har en CO₂-avgift som diffar minst jämfört med BAU. Medan scenarierna BAL.KV, S3: DRIVGROT, S5: DRIVFLIS och S7: BIOVÄRME har en högre differens med BAU. Alla scenarier börjar mellan ca 17 till 22 miljoner ton CO₂ mer lagrat än BAU, för sedan minskar scenarierna med CO₂-avgiften ned till drygt 294 000 ton CO₂ mer jämfört med BAU vid 2025. Scenarierna BAL.KV, S3: DRIVGROT, S5: DRIVFLIS och S7: BIOVÄRME utan CO₂-avgiften hamnar vid 2025 på dryga 3.8 miljoner ton CO₂ mindre än BAU.

Scenarierna med CO₂-avgift lägsta punkt är vid år 2035 under perioden 2020 till 2065, vid 2035 är det mellan 6,8 – 7,4 miljoner ton CO₂ lägre jämfört med BAU. Det är scenario S6: DRIVFLIS+CO₂ som har högst värde från BAU vid 2035, medan S8: BIOVÄRME+CO₂ har lägst. Scenarierna är på den positiva sidan om BAU från 2020 till 2025 och 2055. Övriga perioder är det på negativ sida om BAU mellan 2020 – 2065. Vid 2055 så är det S6: DRIVFLIS+CO₂ som har det högsta positiva talet av scenarierna med strax över 2,6 miljoner ton CO₂ mer än BAU som är det högsta värdet förutom vid 2020. Det är S6: DRIVFLIS+CO₂ som skiljer sig ut mest av scenarierna med CO₂-avgift, annars följer de åt generellt.

Scenarierna utan CO₂-avgift har ett lägre flux av CO₂ än jämfört med scenarierna med CO₂-avgift och BAU under 2020 och 2065. Vid 2045 når BAL.KV, S3: DRIVGROT, S5: DRIVFLIS och S7: BIOVÄRME sina lägsta värden på runt 10 – 11 miljoner ton CO₂ lägre än BAU. 2045 är också perioden som det är längs emellan scenarierna med och utan CO₂-avgift. Efter 2045 börjar det gå uppåt för scenarierna utan CO₂-avgift, för att hamna på sitt näst högsta värde vid 2065 på 4,1 till 5,1 miljoner ton CO₂, vilket är det näst högsta värdet efter 2020.

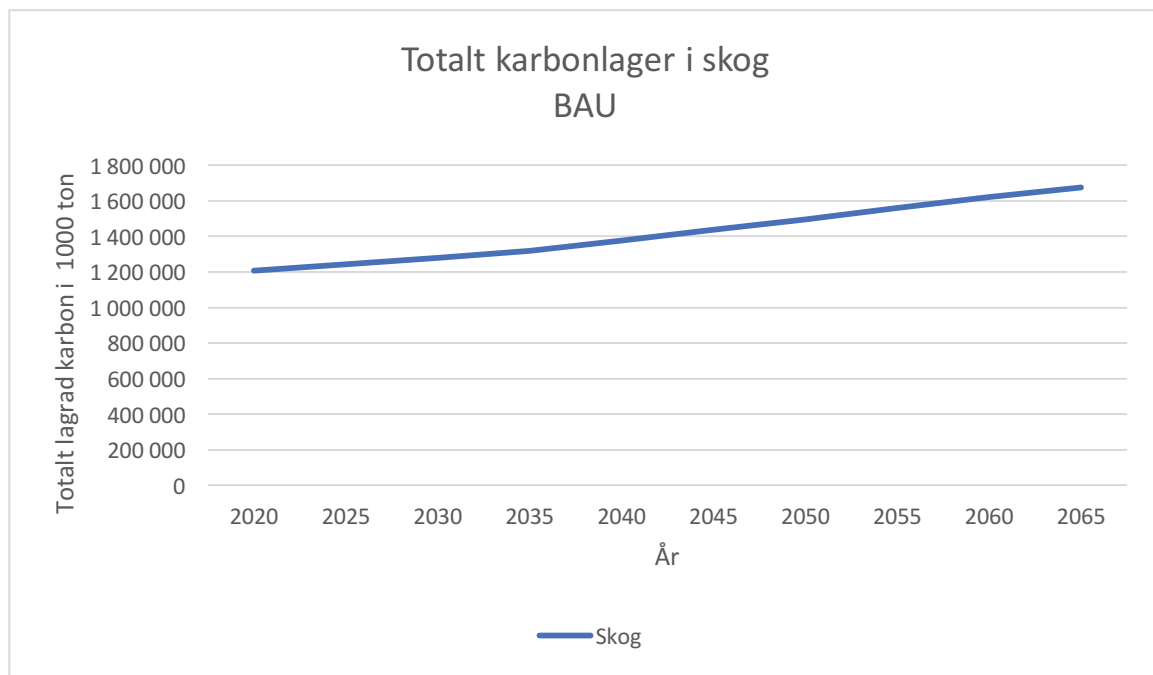


Figur 2: Beskriver differensen på nettoupptagen av GHG mellan BAU och scenarierna. Är scenarierna minus BAU för att få fram differensen. Siffrorna sammanfattar, flux i skogen, GROT, avverkning, maskinpark, transport, bearbetning, lagring i träprodukter, substitution och förbränning. flux i skogsskötsel är uttagen ur datasättet.

Karbonlagring

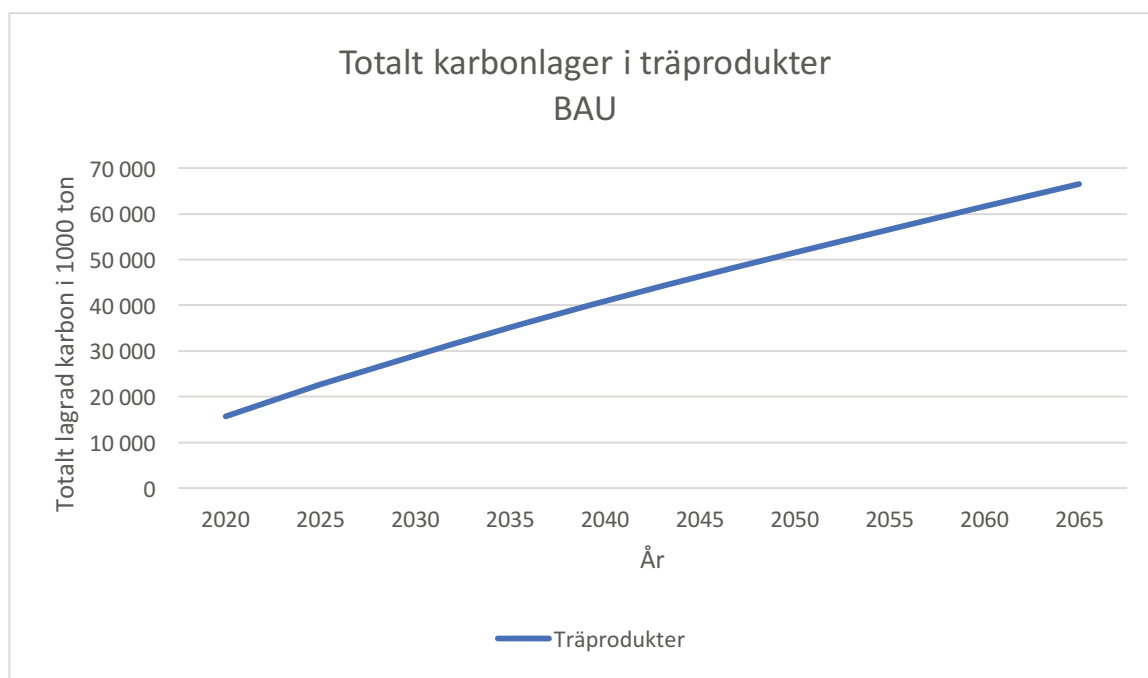
Vid karbonlagring så är det siffror på hur mycket karbon som blir lagrat i skogen och hur mycket som blir lagrat i träprodukter.

Vid 2020 är det drygt 1,2 miljarder ton CO₂ som blir lagrat i norsk skog totalt för BAU (Fig.3). Sedan har den en stadig ökande tillväxt i lagret för att nå vid nästan 1,7 miljarder ton CO₂ vid 2065. Under 45 år i BAU scenariot så skulle det lagras en halv miljard extra ton CO₂ i norsk skog.



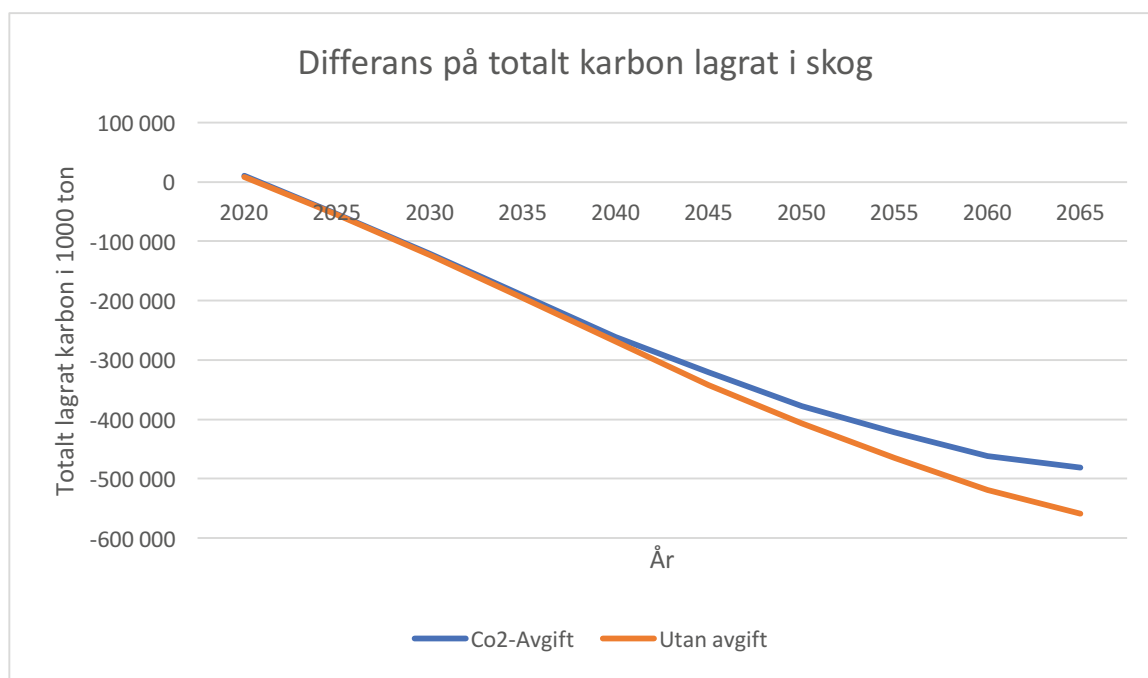
Figur 3: Totalt karbonlager i skogen för BAU. Är det totala lagrade karbonen i norsk skog.

Karbonen som blir lagrad i träprodukter har en större ökning under de 45 år jämfört med lagret i norskaskog. Handlar om en betydligt lägre mängd karbon som blir lagrat (Fig. 4). Vid 2020 blir det lagrat nästan 16 miljoner ton CO₂ i träprodukter i BAU. Vid 2065 har denna siffra nått drygt 66 miljoner ton CO₂. Det är en ökning på mer än 4 gånger så högt lager med CO₂ vid 2065 jämfört med 2020.



Figur 4: Totalt karbonlager i träprodukter för BAU. Totalt lagrat karbon i träprodukter som är i bruk.

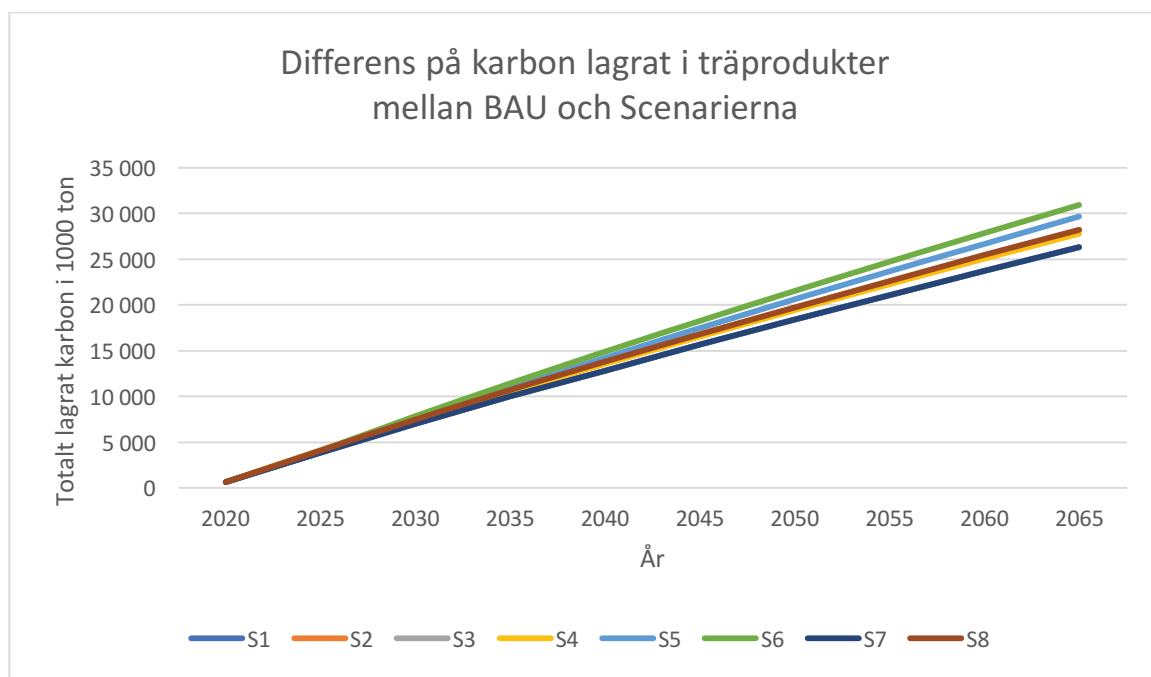
I Fig.5 kan man se att alla scenarier får en minskning i CO₂ lagret från och med 2025 fram till 2065 jämfört med BAU. Här är BAL.KV, S3:DRIVGROT, S5:DRIVFLIS och S7:BIOVÄRME i Utan avgift och S2:BAL.KV+CO₂, S4:DRIVGROT+CO₂, S6:DRIVFLIS+CO₂ och S8:BIOVÄRME+CO₂ är Co₂-avgift. Det är vid 2045 som man börjar se skillnad mellan scenarierna och att det är scenarierna med CO₂-avgift som börjar platta ut jämfört med de övriga scenarierna. När detta sker så är scenarierna med CO₂-avgift lagrat drygt 320 miljoner ton CO₂ mindre jämfört med BAU. Scenarierna utan CO₂-avgiften har lagrat drygt 340 miljoner ton CO₂ mindre jämfört med BAU. År vid 2065 som det är störst skillnad mellan de olika scenarierna med CO₂-avgift lagrar ca 482 miljoner ton CO₂ mindre än BAU och scenarierna utan CO₂-avgift lagrar ca 558 ton CO₂ mindre än BAU.



Figur 5: Totalt karbonlager i träprodukter för BAU. Totalt lagrat karbon i träprodukter som är i bruk.

Karbon som lagras i träprodukter kan vi se ett annat mönster än innan, (Fig 6). Här ökar lagret av karbon i scenarierna i träprodukterna jämfört med BAU. Alla scenarier går ganska lika och inte förrän 2065 som man börjar se skillnaden mellan de. Är det S6:DRIVFLIS+CO₂ som har högst CO₂ lager på 31 miljoner ton CO₂, S5:DRIVFLIS med nästan 30 miljoner ton CO₂, S8:BIOVÄRME+CO₂, S4:DRIVGROT+CO₂ och S2:BAL.KV+CO₂ med runt 28 miljoner

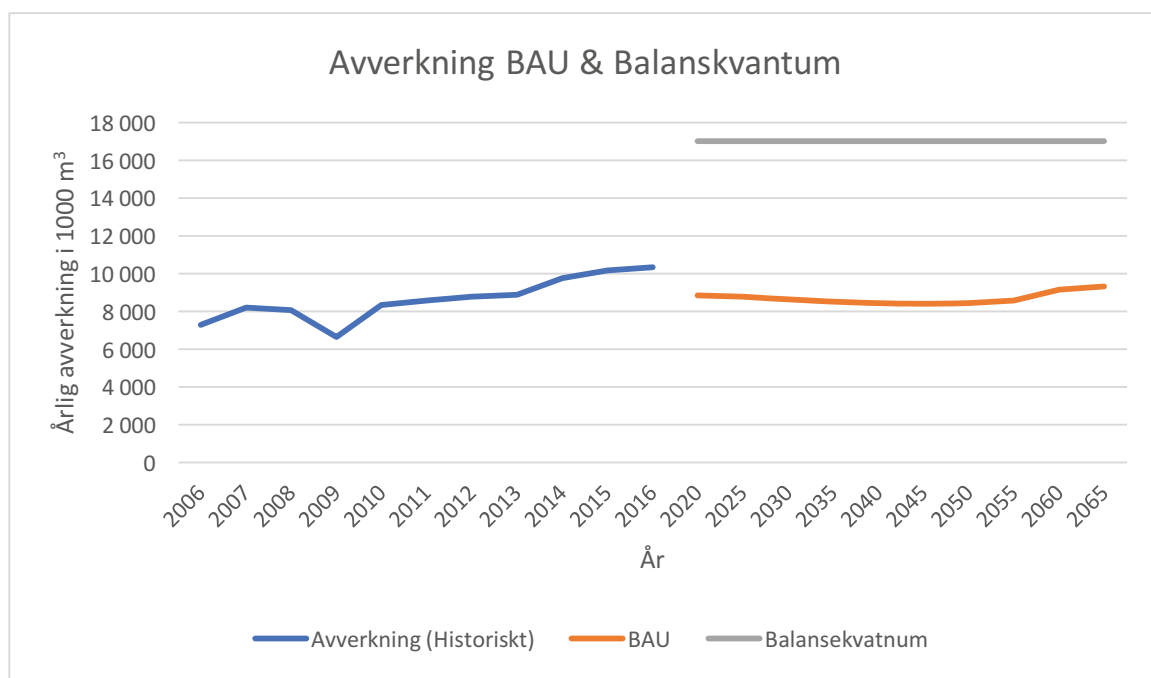
ton CO₂, BAL.KV, S3:DRIVGROT och S7:BIOVÄRME med drygt 26 miljoner ton CO₂ mer jämfört med BAU.



Figur 6: Differensen mellan BAU & scenarierna för totalt lagad karbon i träprodukter.

Avverkning

Historiskt kan vi se (Fig. 7) att avverkningen vart runt 8 miljoner till drygt 10 miljoner kubik årligen mellan 2006 till 2016 för industritimer. BAU scenariot ligger ganska stabilt på runt 8 - 9 miljoner kubik årligen mellan 2020 till 2065. Balanskvantumet ligger stabilt på 17 miljoner kubik årligen för alla scenarier.

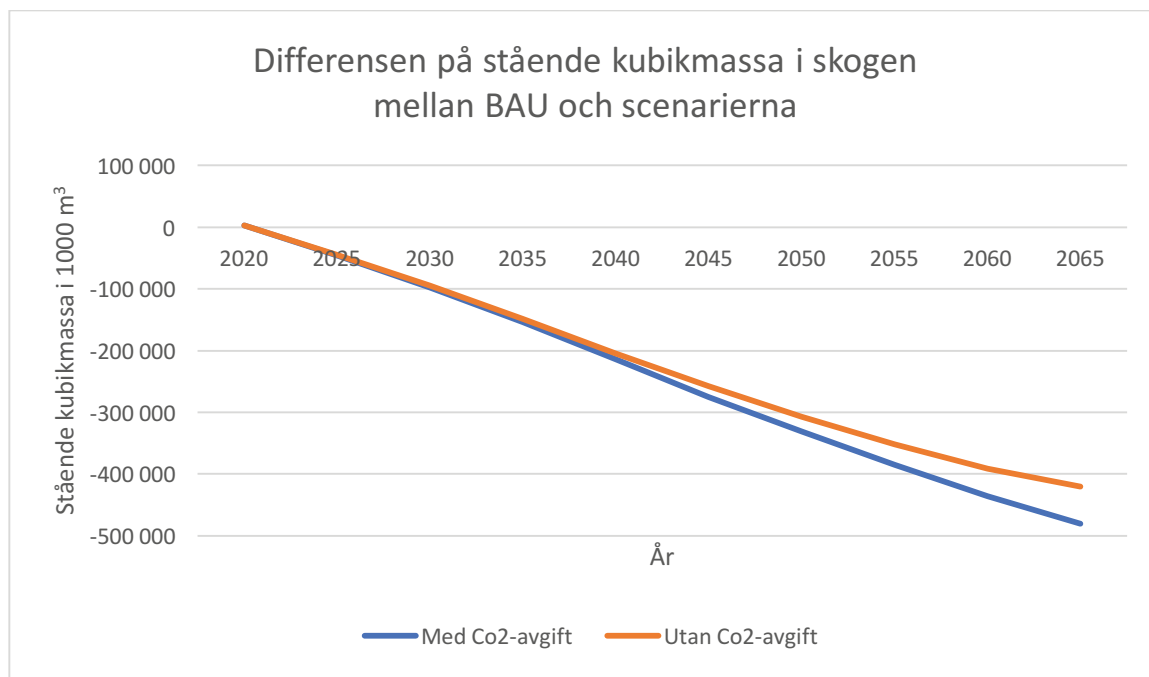


Figur 7: Avverkning historiskt, för BAU och balanskvantum. I Balanskvantum ingår alla scenarierna. Observera att y-axeln är från 2006 till 2016 varje år för sedan blir 2020 fram till 2065 med 5 års perioder. Källa för historisk data: (SSB 2017a).

Stående kubikmassa i norskskog

Från 2006 till 2015 ökade den stående kubikmassan i norsk skog från ca 748 miljoner m^3 i vid 2006. Vid 2010 har kubikmassan ökat till ca 942 miljoner m^3 (SSB). I BAU scenariot kommer kubikmassa fortsätta öka de kommande perioderna. Vid 2020 är kubikmassan på 858 miljoner m^3 som har ökat till 1,2 miljarder m^3 år 2065.

I Scenarierna så kommer den stående kubikmassan att sjunka från 2025, (Fig 8). Scenarierna med CO_2 -avgift kommer ha en utplanade tendens runt 2060, medan BAL.KV, S3:DRIVGROT, S5:DRIVFLIS och S7:BIOVÄRME minskar sin stående kubikmassa till BAU hela sin period fram till 2065. Vid 2065 har scenarierna med CO_2 -avgift minskat med drygt 420 miljoner m^3 medan scenarierna utan CO_2 -avgift har minskat drygt 481 miljoner m^3 jämfört med BAU.



Figur 8: Differensen mellan BAU och scenarierna på stående kubikmassa i norsk skog.

Efterfråga på produkter

Efterfrågan på granvirke kommer bara öka med åren som går. Vid 2020 kommer efterfrågan vara på ca 1,8 miljoner m³ som ökar till drygt 2,3 miljoner m³ till 2065.

Efterfrågan på furuvirke kommer ha liknande utveckling som granvirke, efterfrågan kommer att öka. Vid 2020 är efterfrågan på ca 780 000 m³ som ökar fram till 2065 till drygt 1 miljon m³.

Efterfråga på spånskivor ingår det endast spånskivor på grund av spånskivor räknas i kubik medan övriga träskivor räknas i ton i NorFor. Jag har valt att inte visa en figur för efterfrågan på spånskivor enligt BAU. Det som kommer ske är spånskivor kommer öka enligt BAU, från drygt 353 000 m³ vid 2020 för en stadig ökning till nästan ca 508 000 m³ spånskivor vid 2065.

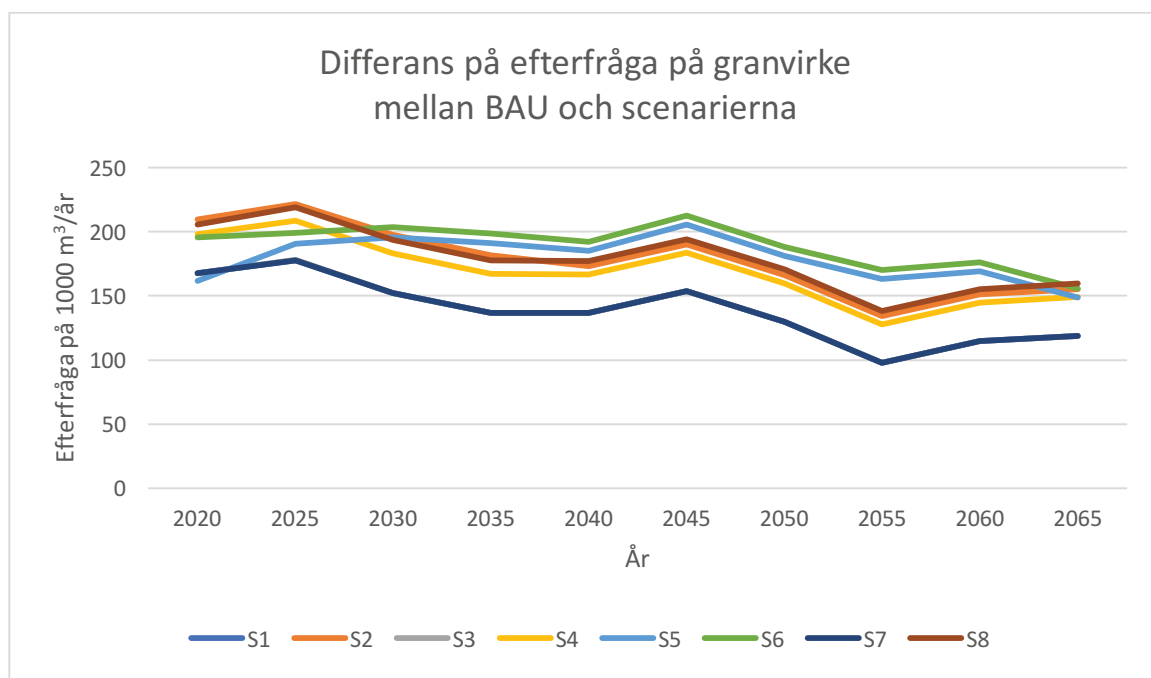
Efterfrågan på träskivor och pappersprodukter ingår det Träskivor, fiberskivor och andar skivor. Valt att inte visa någon figur för efterfrågan för träskivor och pappersprodukter enligt BAU. Papper är Liner, tidningspapper, oklätt utskrivningspapper, sulfat och upplöst pappersmassa och annat papper. Sulfat och upplöstpappersmassa och träklätt utskrivningspapper har en efterfråga på 0 i alla perioder. Tidningspapper har en stadig efterfråga på nästan 267 000 ton för varje period. Medan de andra produkterna ökar med var period som går. Det är framförallt andra papper och skivor som ökar. Det mer än dubblar från 2020 till 2065 med ca 410 000 ton till nästan 910 000 ton. Fiberskivor ökar från nästan 300 000 ton vid 2020 till drygt 545 000 ton vid 2065. Oklätt utskrivningspapper ökar från 600 000 ton vid 2020 till drygt 700 000 ton vid 2065. Liner har en ökning från ca 128 000 ton vid 2020 till drygt 282 000 ton vid 2065 vilket är mer än en fördubbling. Totalt är efterfrågan på träskivor och pappersprodukter vid 2020 på drygt 1,83 miljoner ton som ökar stadigt upp till ca 2,45 miljoner ton.

Efterfrågan på energi till egen panna med ved eller pellets i BAU har en uppgång från 2020 till 2065. Vid 2020 är det ca 3 TWh vid 2020 till drygt 4 TWh vid 2065. Mellan 2055 till 2060 så är det den största ökningen mellan två perioder från ca 3,6 TWh MWh till 3,9 TWh.

Efterfrågan på bioenergi till vattenburen värme som centralvärmning och fjärrvärme som använder sig av flis och pellets kommer minska i BAU. Från toppen 2020 är efterfrågan ca

0,8 TWh till botten 2060 är efterfrågan ca 0,63 TWh. För sedan öka igen till ca 0,67 TWh vid 2065.

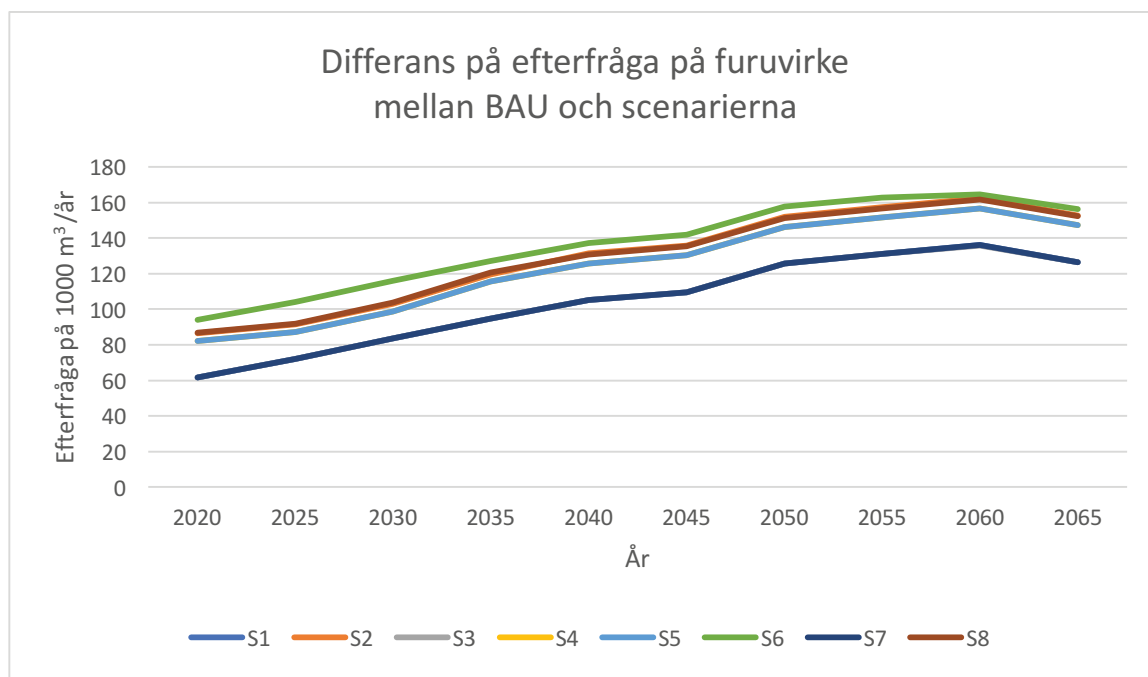
I de olika scenarierna är det övergripande en ökad efterfråga på granvirke (Fig. 9) jämfört med BAU. S5:DRIVFLIS har den minsta ökningen vid 2020 av de olika scenarierna på 168 000 m³. Vilket ökar snabbt till en tredje plats vid 2030 med 196 000 m³. S5:DRIVFLIS hamnar strax under S2:BAL.KV+CO2 som har en efterfråga vid 2030 på 198 000 m³. S6:DRIVFLIS+CO2 är det som har högst efterfråga vid 2030 med 204 000 m³. De som har lägst efterfråga av scenarierna mellan 2020 och 2065 är BAL.KV och S7:BIOVÄRME som börjar på 168 000 m³ och vid 2065 har det minskat ned till 119 000 m³. Vid 2055 nådde de lägsta efterfrågan med 98 000 m³ högre jämfört med BAU. Är S2:BAL.KV+CO2, S6:DRIVFLIS+CO2 och S4:DRIVGROT+CO2 som har högst efterfråga mellan 2030 till 2060. Vid 2065 är det S8:BIOVÄRME+CO2 som har högst efterfråga på 160 000 m³ mer jämfört med BAU.



Figur 9: Differensen mellan BAU och scenarierna för efterfrågan på granvirke.

Efterfrågan på furuvirke är det en ökande efterfråga på alla scenarier (Fig. 10) jämfört med BAU. BAL.KV och S3:DRIVGROT som ligger jämt under de övriga scenarierna med en lite mindre efterfråga jämfört med de andra scenarierna. Vid 2020 är efterfråga hos BAL.KV och S3:DRIVGROT 62 000 kubik till 136 000 kubik vid 2060 för sedan sjunka vid till 127 000

m³ vid 2065. S2:BAL.KV+CO2, S4:DRIVGROT+CO2, S5:DRIVFLIS, S6:DRIVFLIS+CO2, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO2 är efterfrågan vid 2020 82 000 – 94 000 m³ för sedan öka till runt 160 000 m³ vid 2060 för sedan sjunka ned till runt 150 000 m³ mer jämfört med BAU.

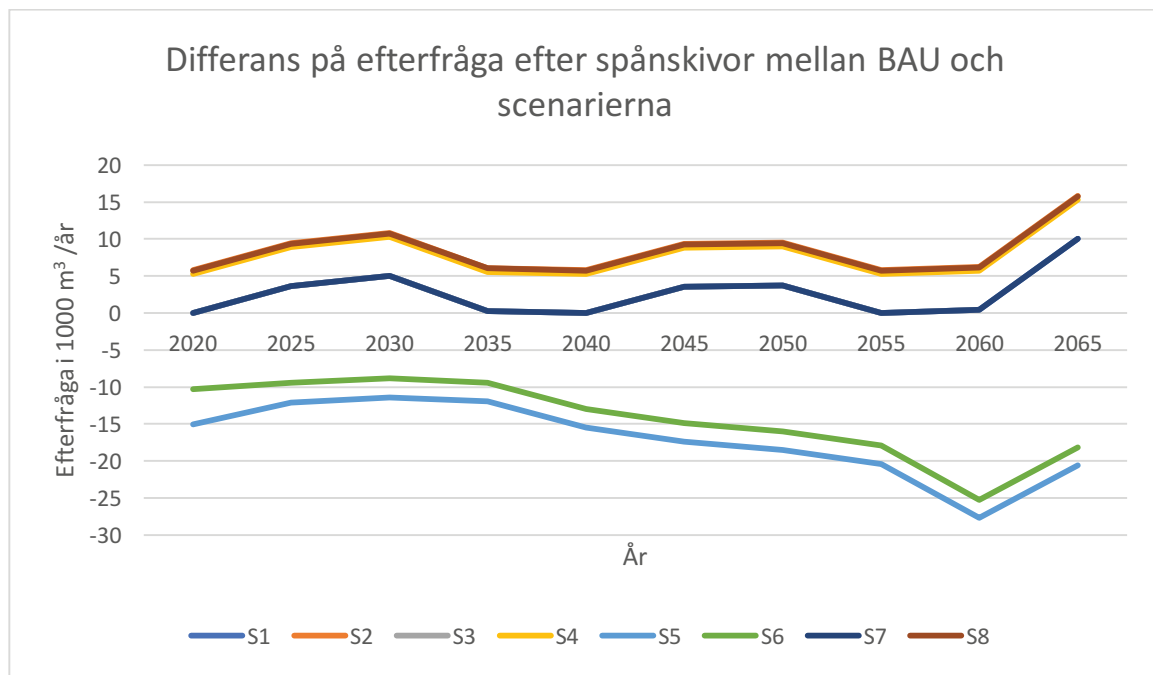


Figur 10: Differensen mellan BAU och scenarierna för efterfrågan på furuvirke.

Efterfrågan på spånskivor (Fig.11) så kommer S5:DRIVFLIS & BAL. KV. + BIODRIVMEDEL + CO2-PRIS ha lägre efterfråga jämfört med BAU och övriga scenarier. De övriga scenarierna kommer ha en högre efterfråga jämfört med BAU. Det är scenarierna med CO₂-avgift som kommer ge en högre efterfråga jämfört med de utan CO₂-avgift. S5:DRIVFLIS är scenariot med lägst efterfråga. Vid 2020 ligger den på drygt 15 000 m³ mindre än BAU för sedan öka upp till drygt 11 000 m³ vid 2030 för sedan sjunka ned till ca 28 000 m³ mindre vid 2060 för öka lite till drygt 18 000 m³. BAL. KV. + BIODRIVMEDEL + CO2-PRIS ligger hela tiden lite ovanför S5:DRIVFLIS och har en lite högre efterfråga på ca 1 500 m³ mer mellan 2025 till 2065.

Övriga scenarier har liknande mönster där scenarierna med CO₂-avgift har lite högre efterfråga än de utan CO₂-avgift. De utan CO₂-avgift har samma värde som BAU vid 2020 för sedan öka till drygt 5000 m³ vid 2030 för sedan hamna på 0 kubik igen vid 2040 jämfört med BAU. För sedan öka till 3700 m³ vid 2045-2050 för att hamna på 0 m³ åter igen. För sedan

dra iväg upp till 10 000 m³ mer än BAU. Scenarierna med CO₂-avgift har runt 6 000 m³ mer än de utan CO₂-avgift.

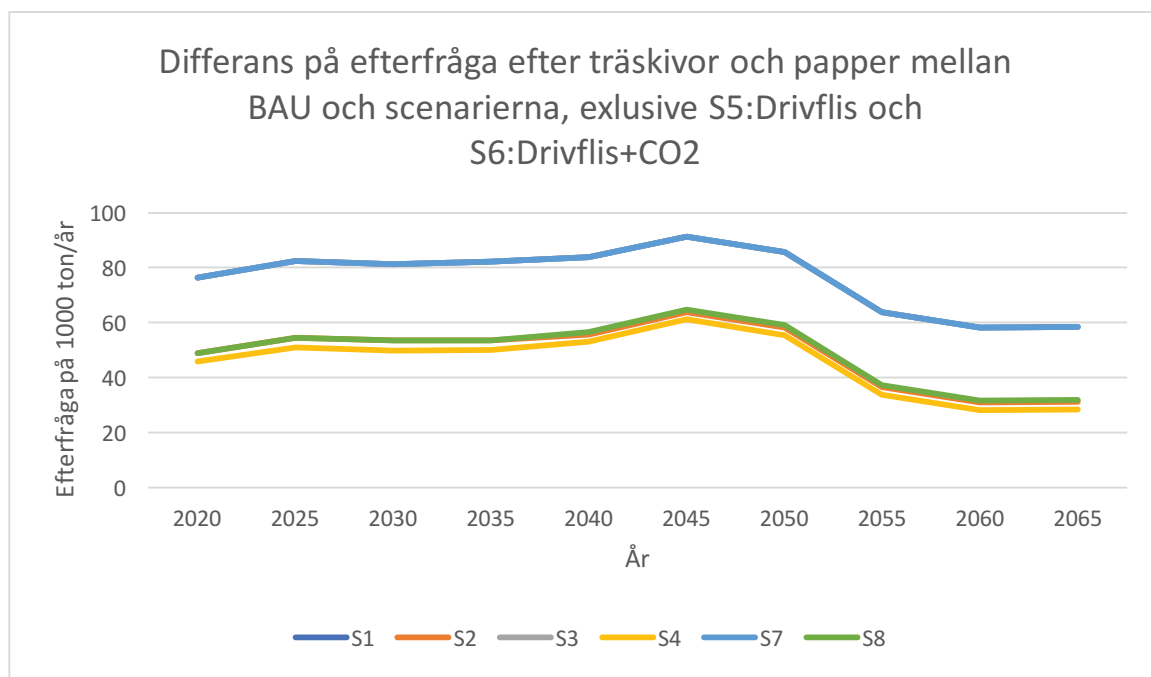


Figur 11: Differensen mellan BAU och scenarierna för efterfrågan på furuvirke.

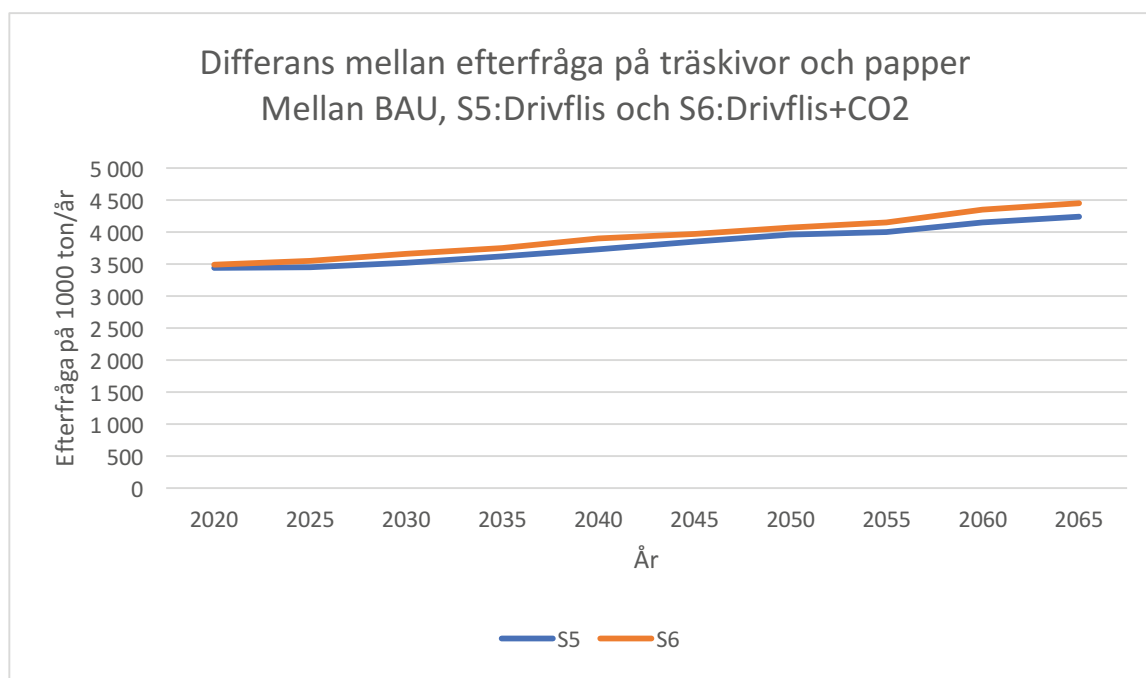
Efterfrågan på träskivor och papper kommer att öka i alla scenarier (Fig. 12 & 13) jämfört med BAU, med en ojämn ökning. Det är framförallt scenarier S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ (Fig. 13) som har högst ökning jämfört med BAU. Vid 2020 är nästan 3,5 miljoner ton ökning på efterfrågan jämfört med BAU. Figur 13 har en stabilare tillväxt jämfört med scenarierna i figur 12. Vid 2065 har ökningen i S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ ökat till drygt 4,4 miljoner ton. Den stora skillnaden på S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ är att de har en efterfråga på Sulfat och upplöstpappersmassa och träklätt utskrivningspapper jämfört med BAU och de övriga scenarierna.

I figur 12 är det scenarierna utan CO₂-avgifterna som har den högsta ökningen BAL.KV, S3:DRIVGROT och S7:BIOVÄRME, som börjar på 76 000 ton vid 2020 för att nå en högpunkt vid 2045 med 91 000 ton för sedan sjunka ned till 58 000 ton vid 2060. För att gå fortsätta ganska plant ut till 2065. Det är oklätt utskrivningspapper som efterfråga är högre hos i BAL.KV, S3:DRIVGROT och S7:BIOVÄRME jämfört med S2:BAL.KV+CO₂, S4:DRIVGROT+CO₂ och S8:BIOVÄRME+CO₂. Vilket ligger på ca 756 000 ton jämfört med 720 000 ton totalt.

S2:BAL.KV+CO2, S4:DRIVGROT+CO2 och S8:BIOVÄRME+CO2 ligger på 46 000 – 51 000 ton vid 2020 och når högsta punkten vid 2045 med 61 000 - 64 000 ton för sedan ha en nedgång till 28 000 – 32 000 ton vid 2065



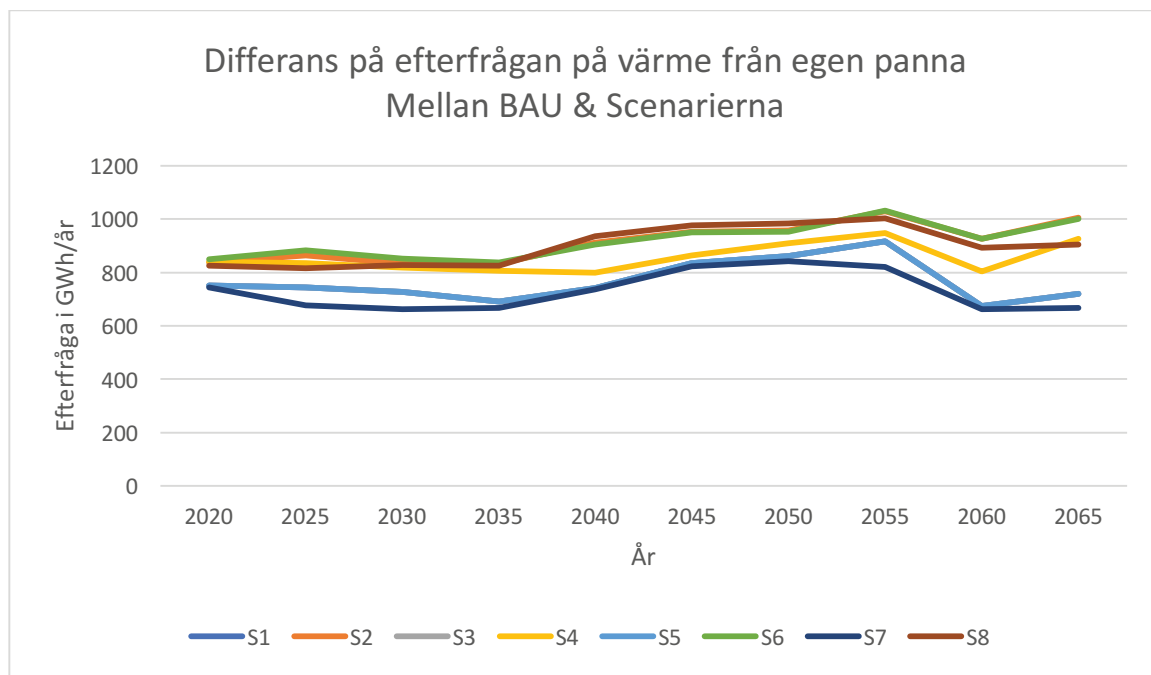
Figur 12: Differensen mellan BAU och scenarierna för efterfrågan på träskivor och papper. Träskivor är fiberskivor och andar skivor. Papper är Liner, tidningspapper, oklätt utskrivningspapper, sulfat och upplöst pappersmassa och annat papper.



Figur 13: Differensen mellan BAU och S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 för efterfrågan på träskivor och papper. Träskivor är, fiberskivor och andrar skivor. Papper är Liner, tidningspapper, oklätt utskrivningspapper, sulfat och upplöst pappersmassa och annat papper.

Efterfrågan på energi till egen panna kommer öka (Fig. 14) i scenarierna jämfört med BAU. Det som är den största skillnaden mellan scenarierna är att scenarierna utan CO₂-avgift har en lägre efterfrågan jämfört med de scenarierna som har en CO₂-avgift. Scenarierna med CO₂-avgift har vid 2020 runt 0,84 TWh, till 2040 där S4:DRIVGROT+CO2 fortsätter med ca 0,8 TWh medan S2:BAL.KV+CO2, S6:DRIVFLIS+CO2 och S8:BIOVÄRME+CO2 stiger till runt 0,96 TWh. Efter det så fortsätter S4:DRIVGROT+CO2 ligga lite under de övriga scenarierna fram till 2065. Scenarierna med CO₂-avgift når en toppnivå vid 2055 med 1 TWh för sedan sjunka lite igen i nästa period för sedan S2:BAL.KV+CO2 och S6:DRIVFLIS+CO2 återhämtar sig igen för att nå 1 TWh i 2065.

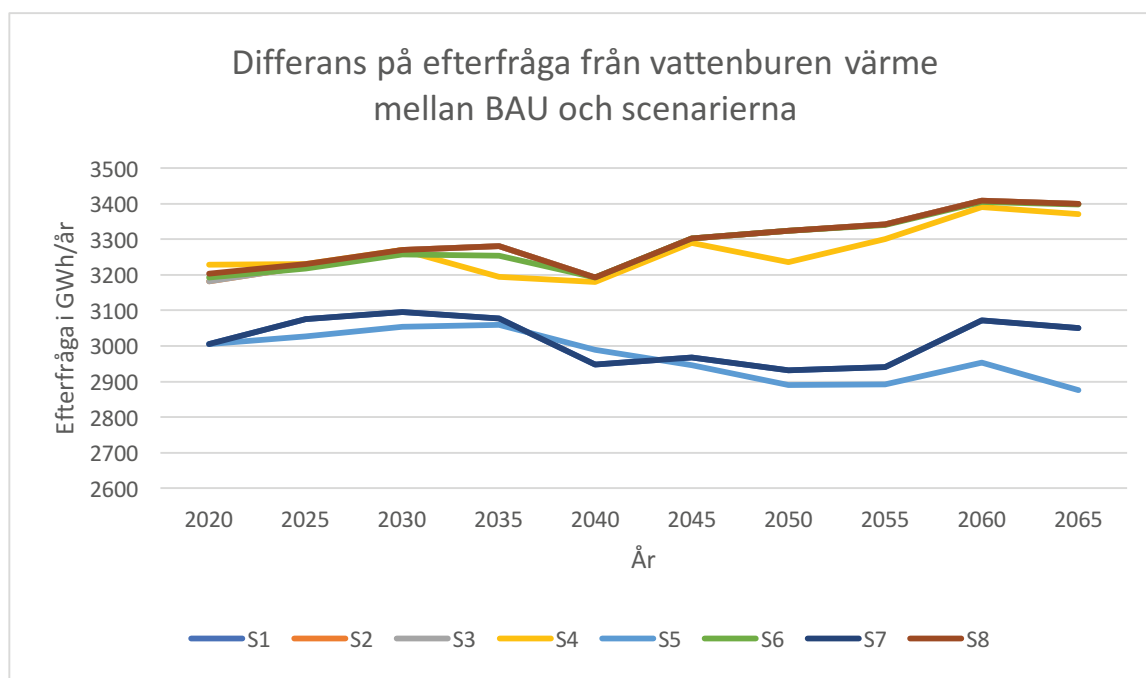
Scenarierna utan CO₂-avgift har vid 2020 runt 0,75 TWh mer än BAU för att sedan minska vid 2035 alla scenarior utan CO₂-avgift förutom S7:BIOVÄRME som sjunker vid 2025 ned till 0,68 TWh. Övriga scenarion sjunker ned till 0,69 TWh vid 2035 och S7:BIOVÄRME sjunkit ned till 0,67 TWh. Vid 2055 är BAL.KV, S3:DRIVGROT och S5:DRIVFLIS kommer upp till ca 0,92 TWh medan S7:BIOVÄRME nåde högst perioden innan på ca 0,84 TWh. För sedan en nedgången vid 2060 samlas scenarierna utan koldioxidskatt igen på 0,72 TWh förutom S7:BIOVÄRME som sjunker ned till 0,67 TWh.



Figur 14: Differensen mellan BAU och scenarierna för efterfrågan på energi från egen värmepanna.

Efterfrågan på energi till vattenburen värme är alla scenarier med CO₂-avgift och S3:DRIVGROT samlade tillsammans (Fig. 15) ganska bra genom 2020 till 2065. Vid 2020 ligger de runt 0,32 TWh, för sedan stiga till 0,33 TWh vid 2030. Vid 2040 når de en nedgång på efterfrågan med och lägger sig strax under 0,32 TWh. Vid 2060 planar kurvan ut till 0,34 TWh.

BAL.KV, S5:DRIVFLIS och S8:BIOVÄRME+CO₂ har en lite lägre efterfråga än de andra scenarierna men fortfarande högre än BAU på ca 0,3 TWh vid 2020. De når sin högsta punkt vid 2035 0,38 – 0,36 TWh. För sedan ha en nedgång till för att lägga sig strax under 0,3 miljoner TWh vid 2055. Där BAL.KV och S8:BIOVÄRME+CO₂ stiger till strax över 0,3 TWh till 2065 medan S5:DRIVFLIS sjunker ned till strax under 0,39 TWh.



Figur 15: Differensen mellan BAU och scenarierna för efterfrågan på energi från vattenburen värme.

S2: BAL.KV+CO₂, S4: DRIVGROT+CO₂, S6: DRIVFLIS+CO₂ och S8: BIOVÄRME+CO₂ har i period 3, vill säga 2020 finns det efterfråga på ca 0,4 GWh från industrivärme.

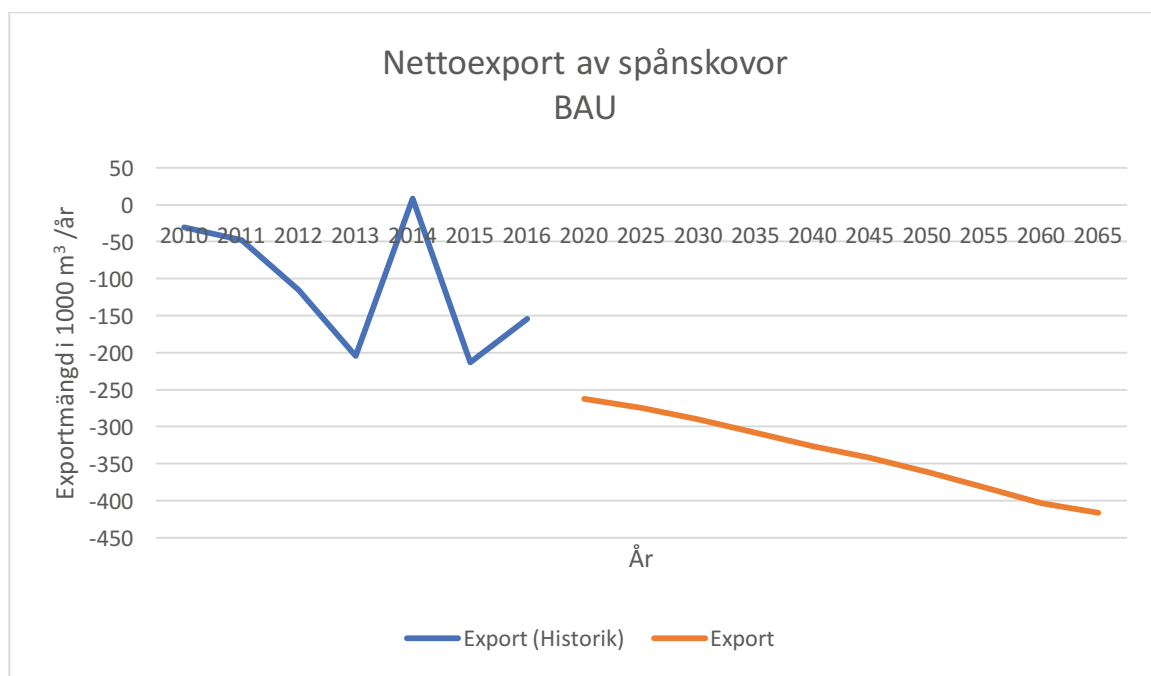
S8: BIOVÄRME+CO₂ försätter sedan med att producera nästan 0,42 GWh för 2025 också innan efterfrågan försvinner helt.

Biodiesel kommer det efterfråga på i period 3 till 6, vill säga 2020 till 2050 för S2: BAL.KV+CO₂. För S3: DRIVGROT, S5: DRIVFLIS kommer biodieseln i 2020 med 0,15 TWh som sedan försätter ut hela modelleringstiden. För S4: DRIVGROT+CO₂ är det vid 2020 drygt 27 GWh som sedan fortsätter resten av modelleringstiden på 0,15 TWh. S5: DRIVFLIS börjar 2020 ca 4,6 GWh biodiesel innan efterfrågan stiger till 0,15 TWh för resten av den modellerade tiden. S8: BIOVÄRME+CO₂ producerar ingen biodiesel alls under modelleringen.

Export

Vid 2010 var nettoexporten drygt -30 000 m³ spånskivor (Fig. 16), vid 2013 hade den sjunkit ytterligare ned till -200 000 m³ spånskivor i nettoexport. Vid 2014 ökade nettoexporten upp till ca 8000 m³. För sedan sjunka ned till drygt -210 000 m³ vid 2015, för öka lite till 2016 till drygt -150 000 m³.

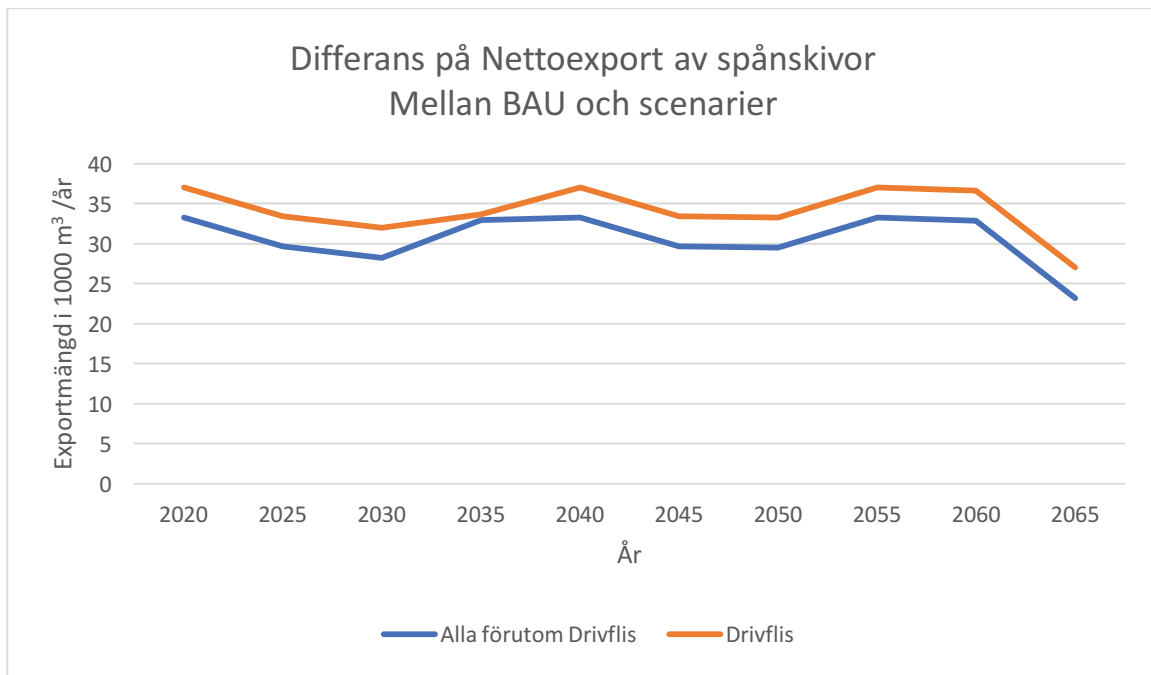
BAU (Fig. 20) visar att från 2020 till 2065 kommer efterfrågan i Norge öka vilket leder till ett underskott på spånskivor i Norge vilket gör att Norge blir behov att importera mer spånskivor än vad de exporterar. Ca -262 000 m³ behövs nettoexport till Norge under 2020 för att minska vid varje år tills behovet av nettoexporten ca -417 000 m³ vid 2065



Figur 16: Export av spånskivor historiskt och med BAU. Observera att y-axeln är från 2010 till 2016 varje år för sedan blir 2020 fram till 2065 med 5 års perioder. Källa för historiska data. (SSB 2017c).

I scenarierna så är det högre nettoexport av spånskivor jämfört med BAU (Fig. 17). Alla scenarier går lika förutom S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 som har en högre nettoexport jämfört med de andra scenarierna. Vid 2020 var nettoexporten på S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 ca 37 000 m³ högre av spånskivor jämfört med BAU. De övriga scenarierna är det drygt 33 000 m³ spånskivor högre i nettoexport jämfört med BAU. Sedan försätter det ganska lika mellan scenarierna tills 2065 där alla scenarier minskar sin nettoexport. S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 nettoexporten ca 27 000 m³ spånskivor

högre i nettoexport jämfört med BAU. De andra scenarierna drygt 23 000 m³ spånskivor högre nettoexport jämfört med BAU.



Figur 17: Differens mellan BAU och scenarierna på export av spånskivor.

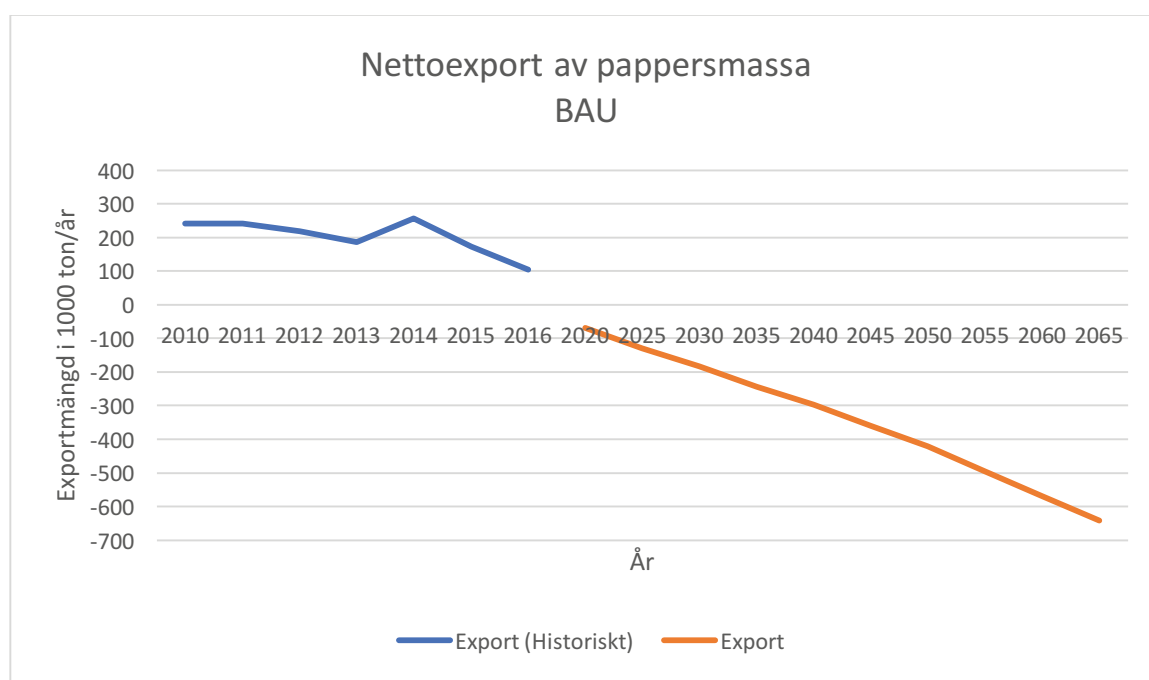
Nettoexporten med sågat virke var vid 2010 på -29 000 m³ för sedan sjunka ned till -157 000 m³ vid 2013. Vid 2016 hade nettoexporten av sågat virke gått upp till -100 000 m³ (SSB).

Från 2020 till 2065 kommer import av sågat virke öka till Norge för BAU. Vid 2020 är nettoexporten på drygt -780 000 m³ som ökar för var period för att vid 2065 vara på -1,6 miljoner m³.

Jag har valt att inte ha med en figur för differensen för nettoexporten av sågat virke mellan BAU och scenarierna. Nettoexporten kommer vara högre för de olika scenarierna jämfört med BAU. Vid 2020 är alla scenarier på runt 640 000 m³ sågat virke mer i nettoexport jämfört med BAU. Vid 2025 så ökar nettoexporten ytterligare för S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 medan BAL.KV, S2:BAL.KV+CO2, S3:DRIVGROT, S4:DRIVGROT+CO2, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO2 ökar med tiden och vid 2065 är ökningen i nettoexporten till 700 000 m³. S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 ökar till drygt 770 000 m³ vid 2025 för att öka med tiden fram till 2065 med ca 810 000 m³.

Vid 2010 är nettoexporten i Norge drygt 210 000 ton pappersmassa (Fig.18) för sedan sjunka ned till drygt 185 000 ton vid 2013. Detta ökade till dryga 257 000 vid 2014 för sedan börja sjunka igen ned till dryga 105 000 ton vid 2016.

Vid 2020 blir importen större än exporten för BAU och nettoexporten hamnar på drygt -64 000 ton pappersmassa. De kommande perioderna minskar nettoexporten och vid 2065 når nettoexporten drygt -641 000 ton pappersmassa.



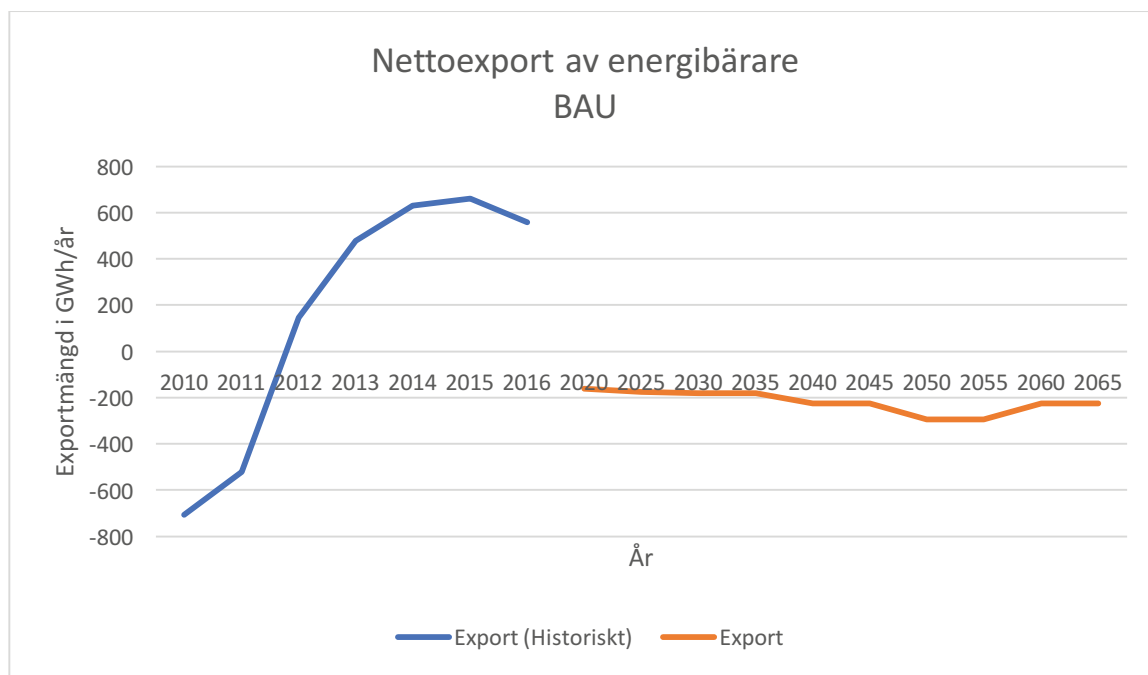
Figur 18: Export av pappersmassa historiskt och med BAU. Observera att y-axeln är från 2010 till 2016 varje år för sedan blir 2020 fram till 2065 med 5 års perioder. Källa för historiska data (SSB 2017c).

För de olika scenarierna så har de en lägre import jämfört med BAU, (Fig. 19). Vid 2020 ligger alla scenarierna på ca 195 000 ton mindre i import jämfört med BAU. Alla scenarierna följer varandra, och vid 2035 har nettoexporten ökat mellan 270 000 – 277 000 ton jämfört med BAU. För sedan planat ut någorlunda och vara på runt 285 000 – 289 000 ton vid 2065.

SSB använder statistik på ton, så jag har konverterat antal ton till MWh med följande tabellen via Sveaskog (2014) som använder att ett ton brännved med 40 % fuktighet innehåller 2.5 MWh. Från 2010 till 2015 ökade nettoexporten från att importen var större än exporten till att

exporten blev större än importen. 2010 låg nettoexporten på drygt -0,71 TWh, och vid 2015 låg exporten på ca 0,66 TWh. Vid 2016 minskade ned till ca 0,56 TWh i nettoexport.

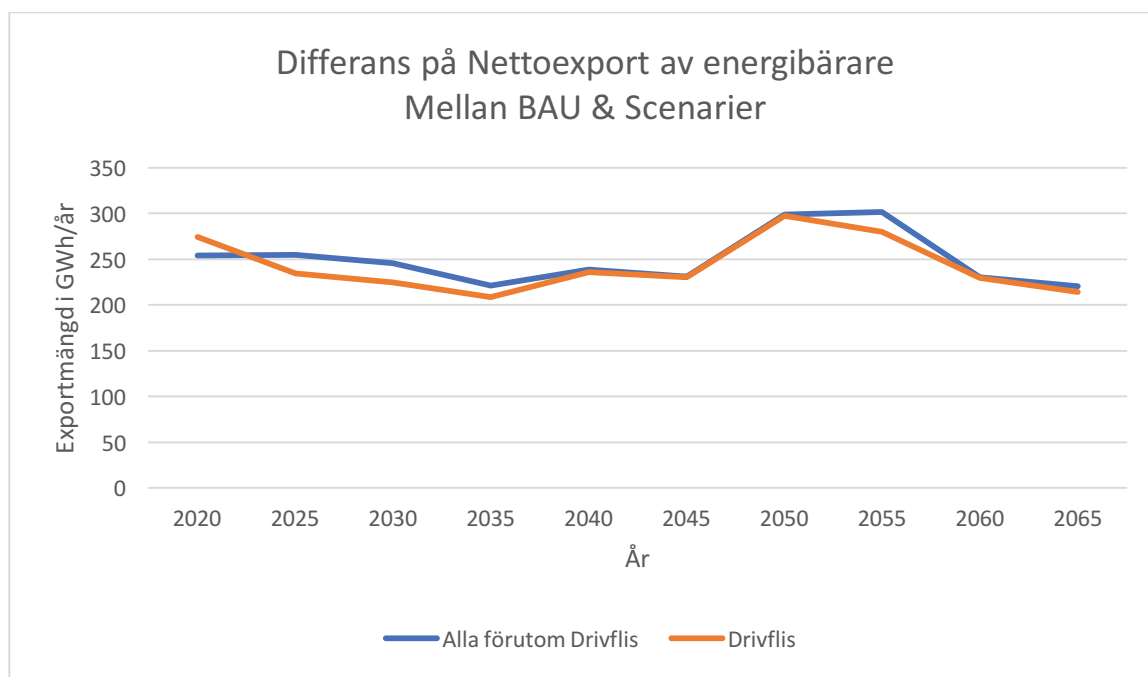
Vid 2020 för BAU så är nettoexporten på drygt -0,16 TWh för sedan sjunka ned till ca -0,29 TWh vid 2050 – 2055, för sedan öka upp till ca -0,23 TWh vid 2060 - 2065.



Figur 19: Export av biovärme historiskt och med BAU. Observera att y-axeln är från 2010 till 2016 varje år för sedan blir 2020 fram till 2065 med 5 års perioder. Källa för historiska data (SSB 2017c).

Skillnaden mellan scenarierna är små, S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ skiljer sig lite emot de andra scenarierna från 2020 till 2035 och 2055. Resterande tid är de bättre samlade (Fig. 20). Vid 2020 så har S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ ca 0,27 TWh mer i nettoexport jämfört med BAU och BAL.KV, S2:BAL.KV+CO₂, S3:DRIVGROT, S4:DRIVGROT+CO₂, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO₂ har drygt 0,25 TWh mer i nettoexport jämfört med BAU. BAL.KV, S2:BAL.KV+CO₂, S3:DRIVGROT, S4:DRIVGROT+CO₂, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO₂ fortsätter ganska flat fram till 2045, för sedan öka upp till drygt 0,3 TWh vid 2055, för sedan sjunka ned till 0,22

TWh vid 2065. S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 sjunker ned till 0,21 TWh vid 2035 för sedan hamna på ca 0,3 TWh vid 2050 för sedan sjunka ned till ca 0,21 TWh vid 2065.



Figur 20: Differens mellan BAU och scenarierna på export av biovärme.

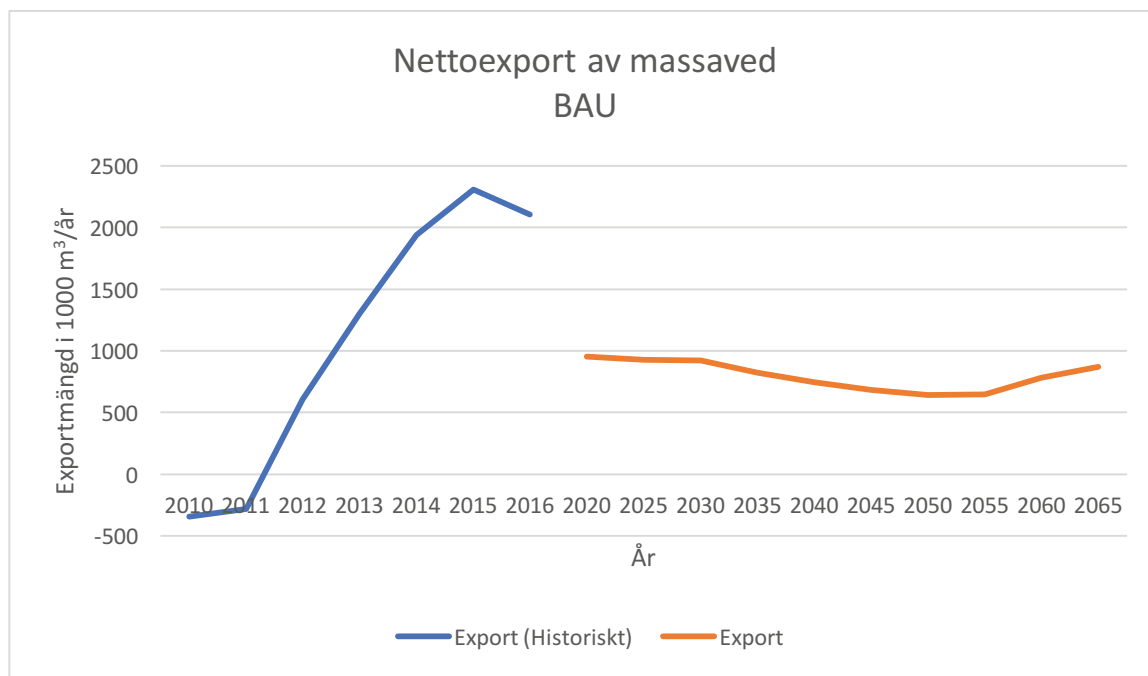
Från 2010 till 2015 ökade nettoexporten av sågtimmer från ca -77 000 m³ till ca 1,3 miljon m³ i nettoexport. För sedan sjunka ned till ca 906 000 m³ i nettoexport vid 2016 (SSB).

Från 2020 till 2065 för BAU så är kurvan flat, vid 2020 var nettoexporten ca 239 000 m³ för att sjunka till 217 000 m³ vid 2055. Vid 2065 har nettoexporten ökat till 240 000 m³ sågtimmer.

De olika scenarierna håller ihop ganska bra mellan 2020 till 2065. Vid 2020 var nettoexporten av sågtimmer på 293 000 kubik mer jämfört med BAU, för sedan sjunka ned till drygt 210 000 m³ i nettoexport. Vid 2055 var nettoexporten på 213 000 m³ mer jämfört med BAU för sedan plana ut fram till 2060. Vid 2060 är nettoexporten nere på ca 181 000 m³. Vid 2065 så hade nettoexporten sjunkit ytterligare till ca 180 000 m³ mer jämfört med BAU.

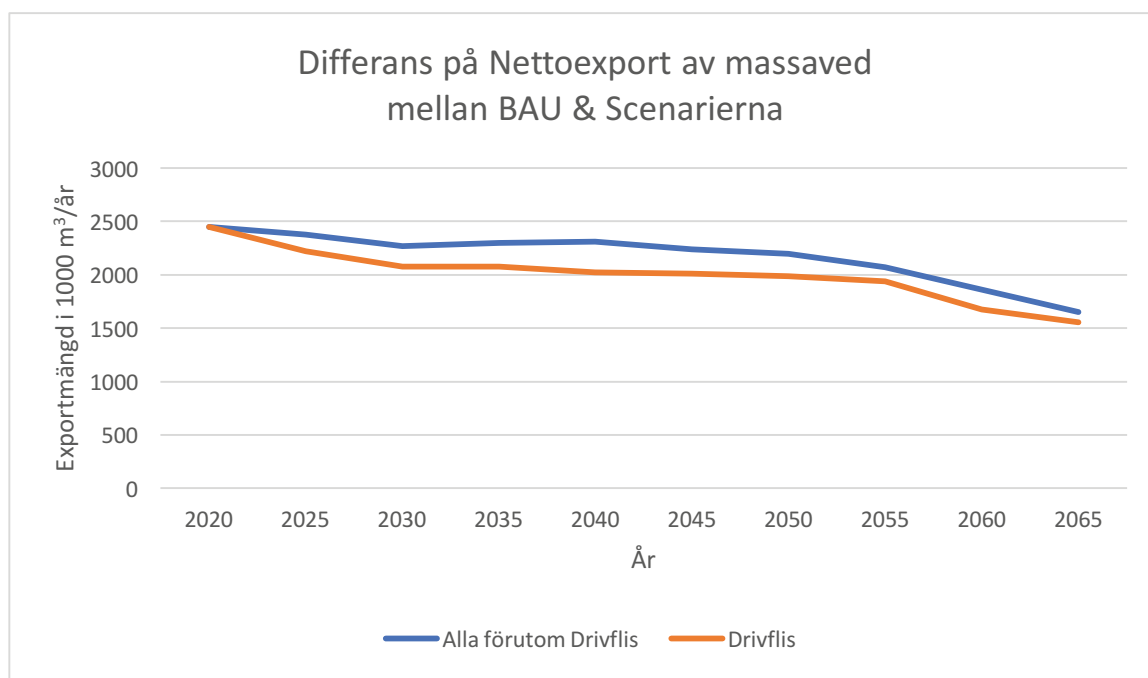
Vid 2010 till 2011 hade Norge ett litet minus i nettoexport med massaved, (Fig. 21), där importen låg på ca -345 000 m³ vid 2010 i nettoexport för att öka till drygt -282 000 m³ i 2011. Sedan ökade exporten till 2,3 miljoner m³ vid 2015 för sedan sjunka ned till ca 2,1 miljoner m³ vid 2016.

Vid 2020 är nettoexporten för BAU ca 956 000 m³ massaved, för sedan sjunka ned till 649 000 m³ vid 2055 – 2060 i nettoexport. Sedan ökar nettoexporten upp till 869 000 m³ vid 2065.



Figur 21: Export av massaved historiskt och med BAU. Observera att y-axeln är från 2010 till 2016 varje år för sedan blir 2020 fram till 2065 med 5 års perioder. Källa för historiska data (SSB 2017c).

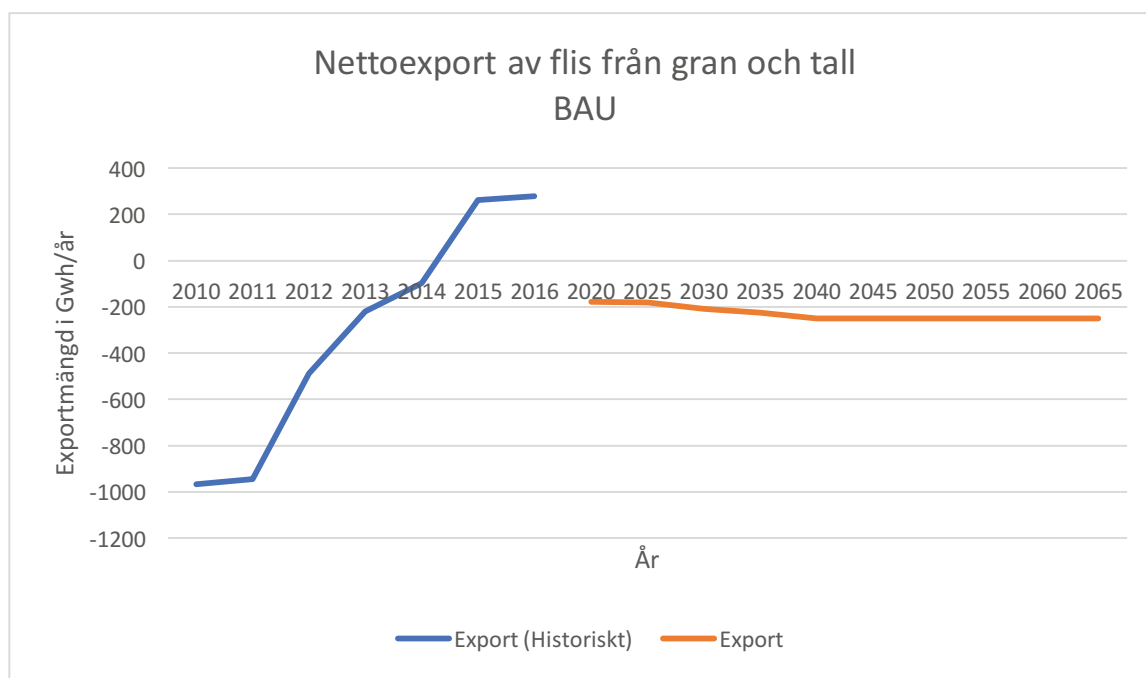
Differensen mellan BAU och scenarierna är att scenarierna har en högre nettoexport av massaved jämfört med BAU. Vid 2020 hade scenarierna ca 245 000 m³ mer (Fig. 22) i nettoexport jämfört med BAU. Sedan sjunker scenarierna där S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 till ca 208 000 m³ vid 2030 för sedan sjunka ned till ca 194 000 m³ vid 2055. Vid 2065 sjunker massaved ned till ca 155 000 m³ vid 2065. BAL.KV, S2:BAL.KV+CO2, S3:DRIVGROT, S4:DRIVGROT+CO2, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO2 har en lägre nedgång i nettoexporten jämfört med S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2. Vid 2030 hade BAL.KV, S2:BAL.KV+CO2, S3:DRIVGROT, S4:DRIVGROT+CO2, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO2 en nettoexport på ca 227 000 m³, för sedan sjunka ned till 207 000 m³ vid 2055. Vid 2065 sjunker nettoexporten ned till 165 000 m³.



Figur 22: Differens mellan BAU och scenarier på export av massaved.

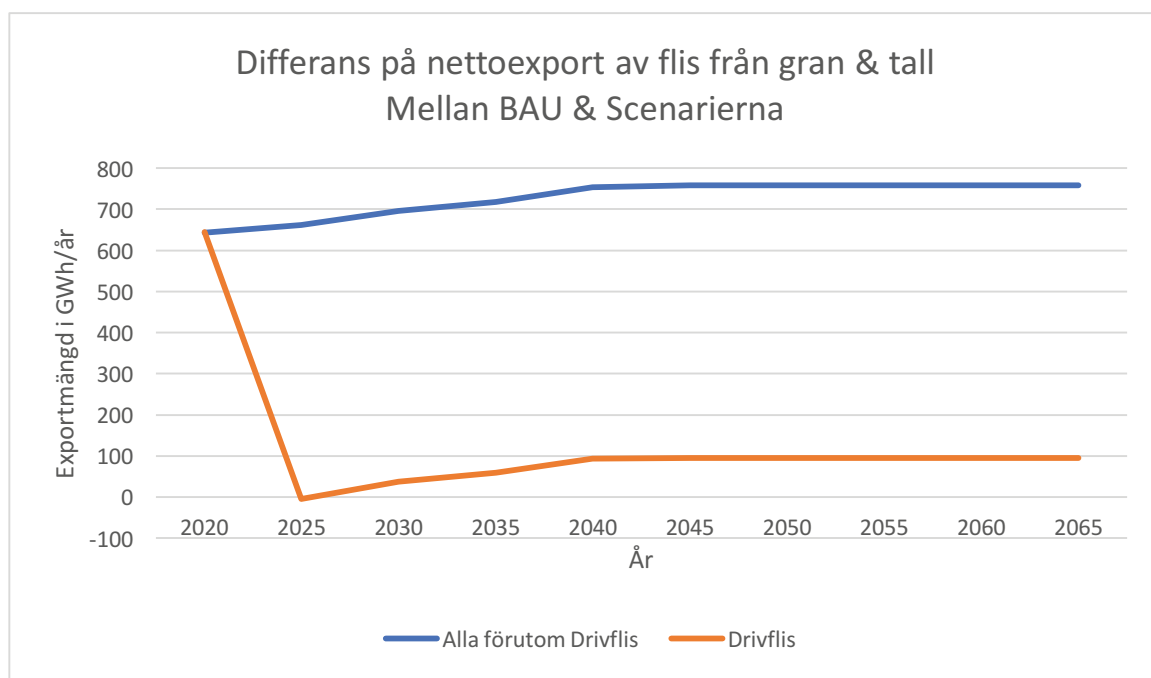
Från 2010 till 2014 hade Norge minus i nettoexport på flis från gran och tall (Fig. 23) och nettoexporten var på -0,97 TWh i vid 2010 och vid 2014 var nettoexporten på drygt -99 GWh. Från 2015 till 2016 var nettoexporten på plus sidan och vid 2015 var den på 0,26 TWh och vid 2016 var den på 0,28 TWh.

Från 2020 till 2065 kommer importen vara större än exporten för BAU. Vid 2020 ligger nettoexporten på drygt -0,18 TWh för att sjunka ned till ca -0,25 TWh vid 2040, för sedan gå flat ut fram till 2065.



Figur 23: Export av flis från gran och tall historiskt och med BAU. Observera att y-axeln är från 2010 till 2016 varje år för sedan blir 2020 fram till 2065 med 5 års perioder. Källa för historiska data (SSB 2017c).

Differensen mellan BAU och scenarierna har en högre nettoexport (Fig. 24) jämfört med BAU vid 2020 på drygt 0,64 TWh. S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 får en lägre nettoexport jämfört med BAU vid 2025 på ca -4,68 GWh. Vid 2030 ökar nettoexporten till ca 37 GWh vid 2030, sedan ökar upp till ca 94 GWh vid 2040 till 2065. BAL.KV, S2:BAL.KV+CO2, S3:DRIVGROT, S4:DRIVGROT+CO2, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO2 har en högre nettoexport jämfört med BAU, S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO2 från 2025 till 2065. Vid 2040 har BAL.KV, S2:BAL.KV+CO2, S3:DRIVGROT, S4:DRIVGROT+CO2, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO2 de en nettoexport på ca 0,75 TWh mer jämfört med BAU som har ökat till drygt 0,76 TWh vid 2065 mer jämfört med BAU.



Figur 24: Differans mellan BAU och scenarier på export av flis från gran och tall.

6. Diskussion

Osäkerheten i resultatet

Så fort man gör analyser på framtiden så blir det osäkerheter. Att anta att man vet all information som behövs för att analysera framtiden så blir osäkerheten hög. Vad för teknik och energi som är aktuell om 50 år exempelvis ger höga osäkerheter. Bioenergi kan vara oaktuell som superaktuell energi i framtiden beroende på tekniken utveckling på området.

Vad är inte med i Analysen.

I analysen har inte albedoeffekten tagits med, som sagt innan så kan albedoeffekten ha en betydande effekt på klimatet. Där mörka ytor som lövträsbestånd på vinterhalvåret kan ha en uppvärmande effekt medan ljusa ytor som kalhyggen på vintern med snö kan ha en kylande effekt.

Hur mycket energi som kommer efterfrågas i framtiden är inte heller med gällande fossil energianvändning, utan tar endast med bioenergi efterfrågan. För risken är om energin ökar kan priserna på energin gå ned vilket leder till att konsumenter börjar använda mer energi istället för att ersätta den fossila energin med bioenergi. I scenarier S2: BAL.KV+CO₂, S4: DRIVGROT+CO₂, S6: DRIVFLIS+CO₂ och S8: BIOVÄRME+CO₂ är det en CO₂ avgift vilket man kan se hur en avgift påverkar efterfrågan på produkterna. Detta kan ge en information om hur konsumtionen påverkas.

Analysen ger inte heller svar på om Norge klarar sina miljömål de har åtagit sig att genomföra. Men det ger information om Norge går åt rätt håll. Genom att jag inte kollat på efterfrågan för energi vid varje period ut över bioenergi så kan efterfrågan på andra förnybara resurser vara hög medan fossil energi är låg.

Scenarierna

I BAU kommer nettoupptagen av GHG att öka mellan perioderna 2020 till 2065 med ca 10 miljoner ton CO₂. Det som sker när avverkningen når balanskvantum kommer nettoupptagen att sjunka och ligga under BAU nettoupptag under hela perioden mellan 2020 till 2065 om ingen CO₂-avgift införs. Även om en CO₂-avgift införs kommer nettoupptagen att ligga under

BAU nivåer förutom vid 2055. Med en CO₂ avgift kommer nettoupptaget tapp vara lägre vid avverkning på balanskvantumsnivåer än om man inte skulle ha en CO₂ avgift. Det är inte mycket men det är scenarierna som tillverkar biodrivmedel som ligger på överkanten av scenarierna. Dessa ger ett lite mindre nettoupptagstapp jämfört med att tillverka S7:Biovärme.

Karbonlagringen kommer öka för varje period i BAU, både i skogen och i träprodukterna. Detta tyder på att skogen kommer fortsätta växa mer än vad som avverkas och samtidigt kommer träprodukterna öka i Norge. När man börjar avverka vid balanskvantum kommer inte skogen växa mer än vad som avverkas vilket kommer leda till att karbonlagringen kommer minska jämfört med BAU. Den kommer stanna av och kommer ha en liknande karbonlagring i skogen för varje år som går. Det som man kan se i fig. 5 är att scenarierna med en CO₂-avgift kommer börja flata ut mot 2060–2065 jämfört med scenarierna som inte har en CO₂-avgift.

Karbon som är lagrat i träprodukter kommer öka för varje period som går i scenarierna jämfört med BAU. Vill säga att avståndet mellan BAU och scenarierna ökar för varje period som går. Det är scenarier S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ med biovärme som får en högre karbonlagring jämfört med de andra scenarierna. Medan scenarierna utan CO₂-avgifter förutom S5:DRIVFLIS har lägst lagring av karbon. Mellan 2020 till 2065 är det ingen stor skillnad, och vid 2065 är det 6 miljoner ton CO₂ som skiljer den högsta och de lägsta scenarierna.

Efterfrågan på träprodukter kommer att öka från 2020 till 2065 i BAU för alla produkter förutom energi till vattenburen värme. Alla scenarierna visar på att efterfrågan på produkterna kommer öka mer jämfört med BAU. Det är för biodrivmedel och industrivärme som BAU inte har någon efterfråga i. De är lite skillnad mellan de olika produkterna på vilket scenarier som leder till högst ökning.

Det man kan se hur scenarierna påverkar efterfrågan hos granvirke är att de första två perioderna 2020 och 2025 så är efterfråga högst hos scenarierna med CO₂ avgift. För sedan blir S6:DRIVFLIS+CO₂ och S5:DRIVFLIS de två scenarierna som har högst efterfråga fram till 2060. Annars är det BAL.KV, S3:DRIVGROT och S7:BIOVÄRME som saknar CO₂ avgift som har den lägst efterfrågan av scenarierna. Medan scenarierna med CO₂ avgift,

S2:BAL.KV+CO₂, S4:DRIVGROT+CO₂ och S8:BIOVÄRME+CO₂ som ligger i mitten för att hamna på samma nivå vid 2065 som scenarierna med S7:Biovärme.

Scenario S6:DRIVFLIS+CO₂ är scenariot som har högst efterfråga på produkter. Det är framförallt efterfrågan på träskivor och papper som S6:DRIVFLIS+CO₂ och S5:DRIVFLIS skiljer sig ut mot de andra scenarierna. Där ligger S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ vid 2045 4 miljoner ton mer än BAU medan övriga scenarier ligger S2:BAL.KV+CO₂, S4:DRIVGROT+CO₂ och S8:BIOVÄRME+CO₂ med CO₂-avgift mellan 70 000 – 74 000 ton mer än BAU och BAL.KV, S3:DRIVGROT, S7:BIOVÄRME har 95 000 ton mer än BAU. När det gäller energi till värme så är det scenarierna med högst efterfråga jämfört med BAU är det scenarierna med CO₂ avgift.

När det gäller export av varor i BAU så är importen större än exporten i alla områden förutom vid sågtimmer och massaved. Det betyder att samtidigt Norge kommer behöva mer varor säljer de resurserna för att tillverka produkterna. Historiskt kan man se att överlag har Norge exporterat mer än vad de har importerat när det gäller träprodukter. Det är vid sågat virke som Norge har haft en litet högre import jämfört med exporten.

I alla scenarierna kommer Norge få en högre export jämfört med import om man ser på differensen med BAU. Spånskivor och sågat virke kommer S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ ha en högre export jämfört med de andra scenarierna, medan övriga produkter kommer S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ ha en lägre export än övriga scenarier. Det är framförallt exporten av flis från gran och tall som sjunker i scenarierna för S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂. Vid spånskivor och sågat virke är importen fortfarande större än exporten i scenarierna. Medan i övriga produktkategorier är exporten större än importen, förutom i biovärmekategorien för S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ vid 2055 och flis från gran och tall för S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂.

Norge vill öka sin bioenergianvändning samtidigt som de vill minska sina GHG-utsläpp, är detta en möjlighet?

Norge har sedan 1990 ökat sina utsläpp med 4,7 % till 2015, under samma period har Sverige lyckats minska sina utsläpp med 25 %. En av orsakerna till detta sägs vara på grund av

bioenergisatsningen från att ersätta olja med el och fjärrvärme. Samtidigt har skogens upptag av koldioxid ökat med 40 % sedan 1990 i Sverige (Naturvårdsverket 2016b).

Med ökad användning av norsk skog så kommer det att lagras mindre karbon i norsk skog. Karbonlagret kommer att ökas i träprodukter som produceras och används. Det som sker med BAU är det kommer lagra karbon i den ökade levande biomassan som står i norsk skog. I scenarierna där man avverkar vid balanskvantum, kommer det bli ökad avverkning, vilket minskar mängden skog jämfört med BAU, vilket leder till minskat karbonupptag i skogen. Den ökade karbonen som lagras i träprodukterna ersätter inte tappet som uppstår när skogen avverkas. Det blir mindre karbon lagrat i skog och träprodukter totalt när det avverkas efter balanskvantum. Medan efterfrågan på energi från träprodukter kommer öka och ha ett lägre CO₂-utsläpp jämfört med fossil energi.

Nettoupptagen av GHG i BAU kommer att öka mellan 2020 till 2065 med ca 10 miljoner ton om skogspolitiken försätter som idag. För scenarierna kommer vara perioder där karbonupptaget är högre och lägre än vid 2020. I det hela kommer det vara ganska stabilt om man jämför med de olika scenarierna. Vid 2020 kommer alla 8 scenarier ha en högre GHG upptag jämfört med BAU för sedan sjunka kraftigt när avverkningen hamnar på balanskvantumnivåer. Den tydliga trenden som man kan se så är det scenarierna med en CO₂-avgift kommer ha ett högre nettoupptag av CO₂ jämfört med scenarierna utan CO₂-avgift. Scenarierna med CO₂-avgiften har vid 2055 en högre nettoupptag av GHG än BAU, men inte med mycket. Annars så ligger BAU på ett högre nettoupptag jämfört med scenarierna.

Trots att det kommer bli en större mängd avverkad skog som minskar upptaget av karbon, så kommer inte miljöeffekterna bli så stora gällande CO₂ utsläppen. Vilket tyder på att Norge har möjlighet till att öka sin avverkning utan ha större påverkningar på miljön gällande CO₂. Om man ser på en trend så minskar avståndet mellan BAU och scenarierna med och vid 2065 är det på gränsen scenarierna med CO₂-avgift är på samma nivå som BAU. Vilket kan betyda att scenarierna är på väg att gå om BAU och bli ett bättre alternativ för att minska CO₂ utsläppen på jämfört med BAU.

Hur kommer CO₂-avgifter påverka uttaget av biomassa och produktionen av bioenergi?

Med ökat utbud av bioenergi på marknaden kan leda till prissänkningar på energi som leder till att konsumtionen ökar istället för att ersätta fossil energi med bioenergi. Här kommer CO₂-avgiften in som kan förhindra ökad konsumtion av energi och hjälpa till med att den fossila energin blir ersatt med bioenergi exempelvis. Då handlar det om att avgiften inte är för låg så att effekten uteblir.

Rogelj et al. (2013) konstatera att det var 66 % sannolikhet att hålla sig under 2 graders målet om en CO₂-avgift infördes på 40 USD. Längre tid det tar att införa denna avgiften desto lägre blir sannolikheten att klara 2 graders målet eller att det blir kostsammare för samhället.

Vid nettoupptagen kan vi se (Fig.2) att CO₂-avgiften har en effekt. Det är lägre tapp i scenarierna med CO₂-avgiften jämfört med scenarierna utan avgiften. Till och med år 2055 kommer scenarierna med CO₂-avgiften ha högre nettoupptag jämfört med BAU. Om man kollar på figur 5 så ser man att karbonen som lagras i skogen kommer ha en utjämnande effekt som börjar runt 2045 i scenarierna med CO₂-avgift jämfört med scenarierna utan avgift. Men lagringen kommer ha ett lägre värde jämfört med BAU. En liknande effekt som lagring i skogen kan man se i stående kubikmassa som i karbonlagringen i skogen, där scenarierna med CO₂ avgiften har en utplanade trend runt 2045 jämfört med scenarierna utan CO₂-avgiften. Tappet är fortfarande större än i BAU.

När det gäller efterfrågan är det figur 18 som vi kan se en trend med att CO₂-avgiften har någon betydelse. Det är efterfrågan på energi till egen panna som har högre efterfråga än de andra scenarierna och BAU. Exporten av varor så kan man inte se en trend på om det har med skatten att göra.

Vilken typ av biomassa bör användas till bioenergi för att vara så klimateffektivt som möjligt?

Om man ska bygga ut och använda sig av bioenergi så är det viktigt att använda sig av en CO₂-avgift som tidigare sagt. Det man kan se i figurerna är att det scenario S6:DRIVFLIS+CO₂ är ofta scenariot som har som har lägst tapp på nettoupptaget av GHG i figur 2. Är scenariot som har högst lagring av karbon i träprodukter (Fig. 6). Som ger högst

efterfråga på produkter vid granvirke, furuvirke, energi till egen panna och energi till vattenburen värme. Även ger S6:DRIVFLIS+CO₂ lägre import med spånskivor, sågat virke, pappersmassa och biovärme än BAU. Vid export på flis från gran och tall så är importen lägre än i BAU men högre än med BAL.KV, S2:BAL.KV+CO₂, S3:DRIVGROT, S4:DRIVGROT+CO₂, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO₂. Även ger S6:DRIVFLIS+CO₂ högre export av sågtimmer och massaved än BAU. Massaveden ger lägre export än jämfört med BAL.KV, S2:BAL.KV+CO₂, S3:DRIVGROT, S4:DRIVGROT+CO₂, S7:BIOVÄRME och S8:BIOVÄRME+CO₂.

Sammanfattning

Det vi kan se är att efterfrågan på träprodukter kommer öka i framtiden. Både i basscenariot (BAU) om det fortsätter som idag och om avverkningen kommer öka som i Scenarierna BAL.KV till S8:BIOVÄRME+CO₂. Det som är den stora skillnaden är att S5:DRIVFLIS och S6:DRIVFLIS+CO₂ kommer ge en generellt högre efterfråga på trämaterial. Det är större intresse i att använda biprodukten flis för att tillverka biodrivmedel än att använda sig av GROT eller att använda sig av biovärme. Med ökad kunskap om klimatet och med hårdare miljömål ser det ut att i alla scenarier att efterfrågan på trä kommer att öka. Detta beror troligen på att satsningen på bland annat bioenergin ger effekt från statligt håll. Träprodukter blir bättre och blir fler områden som vi kan använda de på. Vilket kan vara en bidragande faktor till ökad efterfråga i framtiden.

CO₂-avgifterna kommer att minska påfrestningarna på skogarna vid avverkning på balanskvantum jämfört med om det inte skulle vara några CO₂-avgifter. Detta beror troligen på att en CO₂-avgift på 40 USD är nog hög för att ge effekt. Detta vill säga att det blir för dyrt för konsumenter och industri att använda sig av energikrävande varor. Användningen av träprodukter ökar, men fortfarande så minskar påfrestningen på skogen, detta tyder troligen på att produkterna kommer att återvändas i större grad än vad det skulle göras utan CO₂-avgiften. Tanken är att det ska kosta extra att skada miljön. Fast fortfarande skulle norska skogarna utsättas för högre tryck vid balanskvantum jämfört med BAU scenariot. Nettoupptagen från skogen kommer minska från skogen när avverkningen ökar, men en CO₂-avgift minskar trycket med tiden, men lägger sig fortfarande under BAU. Balanskvantum nivån på 17 miljoner kubik årligen baseras på en siffra där man tagit in miljöhänsynen i beräkningen. Vill

säga att gränsen inte ligger på vad skogen klarar av att producera per år utan somliga områden kommer det ta hänsyn för biodiversitet (Bergseng et al. 2012). För om Norge börjar avverka sin gammelskog så är det omöjligt att ersätta den med ungskog om man ser ur ett biodiversitetssammanhang (Nabuurs et al.)

Som sagt innan så minskar avståndet på nettoupptagen av GHG, vill säga är mindre karbonflux som släpps ut till atmosfären trots att skogen avverkas i större mängd jämfört med nu. Som sagt tidigare också så tar det några år att ersätta fossil energi med bioenergi. Med det minskande avståndet mellan BAU och scenarierna (framförallt scenarierna med CO₂-avgift) kan betyda att scenarierna är på väg att släppa ut mindre GHG jämfört med BAU.

Referenser

- Adams, D. M. & Latta, G. S. (2005). Costs and regional impacts of restoration thinning programs on the national forests in eastern Oregon. *Canadian Journal of Forest Research*, 35 (6): 1319-1330.
- Adams, D. M. & Latta, G. S. (2007). Timber trends on private lands in Western Oregon and Washington: a new look. *Western Journal of Applied Forestry*, 22 (1): 8-14.
- Aniansson. (2005). Ekonomiska styrmedel för miljöns skull. 2017: Stockholm.
- Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T., Lobell, D., Delire, C. & Mirin, A. (2007). Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (16): 6550-6555.
- Berg, H. Ø., Harbo, H. G. & Lånke, H. F. (2017). Biodrivstoff i trans portsektoren - Kartlegging av barrierer og kostnader. 2017: Oslo.
- Bergseng, E., Eid, T., Rørstad, P. & Trømborg, E. (2012). Bioenergiressurser i skog – kartlegging av økonomisk potensial. *Oppdragsrapport for NVE juni*, Rapport, 32-2012: Oslo.
- Betts, R. A. (2000). Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature*, 408 (6809): 187-190.
- Box, Hunter & Hunter. (2005). *Statistics for Experimenters. Design, Innovation, and Discovery*, b. Second Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 440 s.
- Brekke, Timmermann, Dibdiakova & Sandberg. (2015). Analyse av klimagassutslipp fra utnyttelse av skog til energiformål. Litteraturgjennomgang og livsløpsvurderinger. *Rapport, 17 2015*, Oslo.
- Bürger, V., Klinski, S., Lehr, U., Leprich, U., Nast, M. & Ragwitz, M. (2008). Policies to support renewable energies in the heat market. *Energy Policy*, 36 (8): 3150-3159.
- Calderón, C., Gauthier, G. & Jossart, J. M. (2016). AEBIOM Statistical report 2016. European Bioenergy Outlook. Key Findings. Bryssel.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J. & Heimann, M. (2014). Carbon and other biogeochemical cycles. I: *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, s. 465-570: Cambridge University Press.
- Egnell, G. & Skogsstyrelsen. (2013). *Skogsskötselserien: Skogsbränsle*: Skogsstyrelsen.
- Energimyndigheten. (2014). *CDM och JI i praktiken*.
<http://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/internationella-klimatinsatser/cdm-och-ji-i-praktiken1/>
: Energimyndigheten (lest 9.2.2017).

Europaparlamentet & Europeiska Unionens Råd. (2009). Direktivet 2009/28/EG. Brussel.

European Biomass Association. (2016). *Forestry*. <http://www.aebiom.org/forestry/>
: European Biomass Association (lest 15.3.2017).

European Commission. (2003). *Kyotoprotokollet*. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-03-154_sv.htm
: European Commission (lest 20.2.2017).

European Commission. (2013). COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. Accompanying the document. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. A new EU Forest Strategy: for forests and the forest-based sector. Brussels.

European Commission. (2014). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. 21.

European Commission. (2015). EU ETS Handbook. Brussel.

European Commission. (2016). *The EU Emissions Trading System (EU ETS)*. https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en-tab-0-0
: European Commission (lest 10.2.2017).

European Commission. (2017). *2050 low-carbon economy*: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en-tab-0-0
(lest 13.2.2017).

European Council. (2014). Conclusions on 2030 Climate and Energy Policy Framework. SN 79/14. Brussel.

European Parliament & Council of the European Union. (2009). Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC Brussel.

Eurostat. (2016). *Agricultural accounts and prices* http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agricultural_accounts_and_prices-Agricultural_output
: Eurostat (lest 1.5.2017).

Finstad & Kjellsen. (2011). *Skogbruket fra A till Å*. <https://www.allskog.no/upload/2011/11/09/skogbruket-fra-a-til-a.pdf>: Allskog (lest 4.4.2017).

Flugsrud, K., Økstad, E., Kvissel, O. K., Backer, B. B., Søgaaard, G., Granhus, A., Terum, T. & Bøe, L. V. (2016). Vern eller bruk av skog som klimatiltak. *Rapport M-519*.

Forest Europe. (2015). State of Europe's Forests 2015. *Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe*, Madrid.

Frank, S., Böttcher, H., Gusti, M., Havlík, P., Klaassen, G., Kindermann, G. & Obersteiner, M. (2016). Dynamics of the land use, land use change, and forestry sink in the European

Union: the impacts of energy and climate targets for 2030. *Climatic Change*, 138 (1-2): 253-266.

Gustavsson, L. & Sathre, R. (2006). Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment*, 41 (7): 940-951.

Hadden, D. & Grelle, A. (2016). Changing temperature response of respiration turns boreal forest from carbon sink into carbon source. *Agricultural and Forest Meteorology*, 223: 30-38.

Hadden, D. (2017). *Processes Controlling Carbon Fluxes in the Soil-Vegetation-Atmosphere System*. Svenska Lantbruksuniversitet: Svenska Lantbruksuniversitet, Naturresurser och jordbruksvetenskap. 1-43 s.

Haugland, H., Økstad, E., Gulbrandsen, M. U., Strømme, I., Fjeldal, P. & Lefferstra, H. (2011). Skog som biomasseressurs. 101.

Holm, T., Dovland, H., Pederstad, A., Tveiten, J., Helgerud, H., E. & Otterlei, E., T. . (2014). Konsekvenser av lave kvotepriser i EU ETS. 43.

Innovasjon Norge. *Bioenergiprogrammet*.

<http://www.innovasjon Norge.no/no/finansiering/bioenergiprogrammet/>
: Innovasjon Norge (lest 14.3.2017).

International Energy Agency. (2016). *Nordic Energy Technology Perspectives 2016. Cities, exibility and pathways to carbon-neutrality*. Paris.

Jacobson, S. (2000). Skörd av färsk eller avbarrad GROT-växtnäringsaspekter. Rapport Nr 22-2000.

Karlsen, H. T. & Bergh, M. (2014). Bioenergi i energistatistikken. *Notater 2014/43* Oslo.

Klima- og miljødepartementet. (2007). *St.meld. nr. 34 (2006-2007) - Norsk klimapolitikk*
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/Stmeld-nr-34-2006-2007-/id473411/>
: Regjeringen (lest 5.2.2017).

Klima- og miljødepartementet. (2014). *Klimaforliket*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimaforliket/id2076645/>
: Klima- og miljødepartementet (lest 13.2.2017).

Klima- og miljødepartementet. (2015). *Felles oppfyllelse av klimamålene for 2030*.
<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/felles-oppfyllelse-av-klimamalene-for-2030/id2440675/>
(lest 13.2.2017).

Klima- og miljødepartementet. (2016). *Parisavtalen – en ny global klimaavtale*.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/internasjonale-klimaforhandlinger/innsiktsartikler-klimaforhandlinger/forhandlingene-om-ny-klimaavtale-i-paris/id2457656/>
: Klima- og miljødepartementet (lest 13.2.2017).

Kløvstad. (2017). Biodrivstoff på svenske kjøretøy kommer i liten grad fra skogen. *Norsk skogbruk*, s. 12-14.

Liski, J., Ilvesniemi, H., Mäkelä, A. & Starr, M. (1998). Model analysis of the effects of soil age, fires and harvesting on the carbon storage of boreal forest soils. *European Journal of Soil Science*, 49 (3): 407-416.

Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B. E., Ciais, P. & Grace, J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455 (7210): 213-215.

Magnani, F., Mencuccini, M., Borghetti, M., Berbigier, P., Berninger, F., Delzon, S., Grelle, A., Hari, P., Jarvis, P. G. & Kolari, P. (2007). The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. *Nature*, 447 (7146): 849-851.

Martin, R., Muûls, M. & Wagner, U. J. (2016). The impact of the European Union Emissions Trading Scheme on regulated firms: what is the evidence after ten years? *Review of environmental economics and policy*, 10 (1): 129-148.

McCarl, B. A. & Schneider, U. A. (2001). Greenhouse gas mitigation in US agriculture and forestry. *Science*, 294 (5551): 2481-2482.

McKechnie, J., Colombo, S., Chen, J., Mabee, W. & MacLean, H. L. (2010). Forest bioenergy or forest carbon? Assessing trade-offs in greenhouse gas mitigation with wood-based fuels. *Environmental science & technology*, 45 (2): 789-795.

Melbye, A., M., Rørstad, P. K. & Killingland, M. (2014). Bioenergi i Norge. Rapport Nr 41.

Miljødirektoratet. (2016). *Kyotoprotokollet*.

[<http://www.miljostatus.no/tema/klima/internasjonal-klimapolitikk/kyotoprotokollen/> - menu : Miljødirektoratet (lest 9.2.2017).

Miljødirektoratet. (2017a). *CO2 Avgift*. <http://www.miljostatus.no/tema/klima/tiltak-klimagassutslipp/co2-avgift/> : Miljødirektoratet (lest 27.2.2017).

Miljødirektoratet. (2017b). *Fakta om biodrivstoff*.

<http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/2017/Februar-2017/Fakta-om-biodrivstoff1/> : Miljødirektoratet (lest 1.3.2017).

Moiseyev, A., Solberg, B. & Kallio, A. M. I. (2014). The impact of subsidies and carbon pricing on the wood biomass use for energy in the EU. *Energy*, 76: 161-167.

Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestad, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D. & Mendoza, B. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. *Climate change*, 423.

Nabuurs, G.-J., Lindner, M., Verkerk, P. J., Gunia, K., Deda, P., Michalak, R. & Grassi, G. (2013). First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nature Climate Change*, 3 (9): 792-796.

Nabuurs, J. & Masera, O. (2007). *Chapter 9, forestry. ipcc fourth assessment report*. Cambridge University Press: IPCC.

- Naturvårdsverket. (2016a). *Klimatkonventionen och Kyotoprotokollet*.
<http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhället/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Klimatkonventionen/Klimatkonventionen-och-Kyotoprotokollet/>
 : Naturvårdsverket (lest 6.2.2017).
- Naturvårdsverket. (2016b). *Nationella utsläpp och upptag av växthusgaser*.
<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-nationella-utslapp-och-upptag-19902015/>
 : Naturvårdsverket (lest 20.1.2017).
- Norheim, Eikrem, Bernhard, Sollesnes & Bugge. (2011). *Mulighetsstudie biokraft*. Norsk Energi & KanEnergi.
- OECD. (2016). *Effective Carbon Rates: Pricing CO2 through Taxes and Emissions Trading Systems*, OECD Publishing. Paris.
- Olje- og Energidepartementet. (2008). *14 TWh ny bioenergi innen 2020 - pressmøte 1 april 2008*. NR: 38/08. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/14-twh-ny-bioenergi-innen-2020/id505388/>
 : Olje- og Energidepartementet (lest 23.2.2017).
- Olje- og energidepartementet. (2012). *NOU 2012: 9. Energiutredningen – verdiskaping, forsyningssikkerhet og miljø* <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2012-9/id674092/sec5?q=Biokraft-KAP11-8>
 : Regjeringen (lest 10/4).
- Olsen. (2011). *Energi 21 Fornybar termisk energi – Bioenergi: Bærekraftig produksjon og høsting Fremtidens brensel*. Effektiv konvertering og distribusjon.
- Olsson, B. A., Staaf, H., Lundkvist, H., Bengtsson, J. & Kaj, R. (1996). Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest ecology and management*, 82 (1-3): 19-32.
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L. & Canadell, J. G. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333 (6045): 988-993.
- Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Peylin, P., Reichstein, M., Luyssaert, S., Margolis, H., Fang, J., Barr, A. & Chen, A. (2008). Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. *Nature*, 451 (7174): 49-52.
- Popp, J., Lakner, Z., Harangi-Rákos, M. & Fári, M. (2014). The effect of bioenergy expansion: food, energy, and environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32: 559-578.
- Pregitzer, K. S. & Euskirchen, E. S. (2004). Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology*, 10 (12): 2052-2077.
- Pöyry. (2014). *Markedsanalyse skogsnæring i Norge*. Innovasjon Norge, Stockholm.

- Repo, A., Tuomi, M. & Liski, J. (2011). Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvest residues. *Gcb Bioenergy*, 3 (2): 107-115.
- Repo, A., Känkänen, R., Tuovinen, J. P., Antikainen, R., Tuomi, M., Vanhala, P. & Liski, J. (2012). Forest bioenergy climate impact can be improved by allocating forest residue removal. *GCB Bioenergy*, 4 (2): 202-212.
- Riffell, S., Verschuyt, J., Miller, D. & Wigley, T. B. (2011). Biofuel harvests, coarse woody debris, and biodiversity—a meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 261 (4): 878-887.
- Rogelj, J., McCollum, D. L., Reisinger, A., Meinshausen, M. & Riahi, K. (2013). Probabilistic cost estimates for climate change mitigation. *Nature*, 493 (7430): 79-83.
- Samuelson. (1952). Spatial Price Equilibrium and Linear Programming. *American Economic Review*, 42 (3): 283-303.
- Schaeffer, M., Eickhout, B., Hoogwijk, M., Strengers, B., Van Vuuren, D., Leemans, R. & Opsteegh, T. (2006). CO₂ and albedo climate impacts of extratropical carbon and biomass plantations. *Global Biogeochemical Cycles*, 20 (2).
- Schulp, C. J., Nabuurs, G.-J. & Verburg, P. H. (2008). Future carbon sequestration in Europe—effects of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127 (3): 251-264.
- Schulze, E.-D., Wirth, C. & Heimann, M. (2000). Managing forests after Kyoto. *Science*, 289 (5487): 2058-2059.
- Sims, R. E., Mabee, W., Saddler, J. N. & Taylor, M. (2010). An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource technology*, 101 (6): 1570-1580.
- Sjølie, H. K., Trømborg, E., Solberg, B. & Bolkesjø, T. F. (2010). Effects and costs of policies to increase bioenergy use and reduce GHG emissions from heating in Norway. *Forest Policy and Economics*, 12 (1): 57-66.
- Sjølie, H. K., Latta, G. S., Gobakken, T. & Solberg, B. (2011). NorFor-a forest sector model of Norway. *Model overview and structure. INA Fagrapport*, 18.
- Sjølie, H. K., Latta, G. S. & Solberg, B. (2013a). Potential impact of albedo incorporation in boreal forest sector climate change policy effectiveness. *Climate policy*, 13 (6): 665-679.
- Sjølie, H. K., Latta, G. S. & Solberg, B. (2013b). Potentials and costs of climate change mitigation in the Norwegian forest sector—Does choice of policy matter? *Canadian Journal of Forest Research*, 43 (6): 589-598.
- SKOG22. Rapport Energi. Arbeidsgruppe Energi – Bioenergi.
- SKOG22. (2015). NASJONAL STRATEGI FOR SKOG- OG TRENÆRINGEN.
- Skog, K. E. & Nicholson, G. A. (2000). Carbon sequestration in wood and paper products.
- Skogsstyrelsen. (2017). *Skogens roll för klimatet*. <https://www.skogsstyrelsen.se/miljo-och-klimat/skog-och-klimat/skogens-roll-for-klimatet/>

: Skogsstyrelsen (lest 1.5.2017).

Smith, P., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O. & Mbow, C. (2014). Agriculture, forestry and other land use (AFOLU).

Smith, S. M., Lowe, J. A., Bowerman, N. H., Gohar, L. K., Huntingford, C. & Allen, M. R. (2012). Equivalence of greenhouse-gas emissions for peak temperature limits. *Nature Climate Change*, 2 (7): 535-538.

SSB. (2016a). *Landsskogtakseringen, 2011-2015*. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/lst/aar/2016-08-26-content>
: SSB (lest 5.3.2017).

SSB. (2016b). *Landsskogtakseringen. Tabell: 06287: Produktivt skogareal, etter hogstklasse, bonitetsklasse og takserte regioner. Hogstklasse V - Enhet: Prosent. Hele landet. 2010-2014*. <https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?subjectcode=&ProductId=&MainTable=ProduktSkog2&nvl=&PLanguage=0&nyTmpVar=true&CMSSubjectArea=jord-skog-jakt-og-fiskeri&KortNavnWeb=lst&StatVariant=&checked=true>
: SSB (lest 5.5.2017).

SSB. (2016c). *Produksjon og forbruk av energi, energibalanse, 2014-2015, endelige tall*. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/energibalanse/aar-endelige/2016-10-18>
: SSB (lest 23.2.2017).

SSB. (2016d). *Produksjon og forbruk av energi, energibalanse, 2015, foreløpige tall*. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/energibalanse/aar-forelopige>
: SSB (lest 24.2.2017).

SSB. (2016e). *Produksjon og forbruk av energi, energibalanse, 2015, foreløpige tall*. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/energibalanse/aar-forelopige>
: SSB (lest 16.3.2017).

SSB. (2016f). *Tabell: 06290: Stående kubikkmasse under bark, etter markslag, treslag og takserte regioner (1 000 m³)*. <https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?subjectcode=&ProductId=&MainTable=ProduktSkog5&nvl=&PLanguage=0&nyTmpVar=true&CMSSubjectArea=jord-skog-jakt-og-fiskeri&KortNavnWeb=lst&StatVariant=&checked=true>
: SSB (lest 29.4.2017).

SSB. (2017a). *Skogavvirkning for salg. Tabell: 07410: Avvirkning av industrivirke for salg, etter sortiment (1 000 m³)*. <https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?subjectcode=&ProductId=&MainTable=AvvirkSalg11&nvl=&PLanguage=0&nyTmpVar=true&CMSSubjectArea=jord-skog-jakt-og-fiskeri&KortNavnWeb=skogav&StatVariant=&checked=true>
: SSB (lest 24.3.2017).

SSB. (2017b). *Utenrikshandel med varer, februar 2017, foreløpige tall*. <https://www.ssb.no/utenriksokonomi/statistikker/muh/maaned/2017-03-16?fane=om>
: SSB (lest 5.5./2017).

SSB. (2017c). *Utenrikshandel med varer. Tabell: 11009: Utenrikshandel med varer, etter varenummer (HS) og handelsområde/verdensdel*.

<https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/define.asp?SubjectCode=al&ProductId=al&MainTable=UArVareVdel&contents=Mengde1&PLanguage=0&Qid=0&nvl=True&mt=1&pm=&SessID=12724801&FokusertBoks=1&gruppe1=Kap4449&gruppe2=Hele&gruppe3=Hele&gruppe4=Hele&aggreg1=&VS1=VareKoderKN8Siff&VS2=ImpEks&VS3=LandKoderHandelVerdensdel3&VS4=&CMSSubjectArea=&KortNavnWeb=muh&StatVariant=&Tabstrip=SELECT&aggresestnr=1&checked=true>
: SSB (lest 24.3.2017).

SSB. (2017d). *Utslipp av klimagasser, 1990-2015, endelige tall*. <https://ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn/aar-endelige/2016-12-13?fane=tabell&sort=nummer&tabell=287206>
: SSB (lest 5.5.2017).

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Alexander, L. V., Allen, S. K., Bindoff, N. L., Bréon, F.-M., Church, J. A., Cubasch, U. & Emori, S. (2013). Technical summary. I: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, s. 33-115: Cambridge University Press.

Strand, L. T., Callesen, I., Dalsgaard, L. & de Wit, H. A. (2016). Carbon and nitrogen stocks in Norwegian forest soils—the importance of soil formation, climate, and vegetation type for organic matter accumulation 1. *Canadian Journal of Forest Research*, 46 (12): 1459-1473.

Sveaskog. (2014). *Omräkningstal skogsbränsle*. <http://www.bioenergiportalen.se/?p=6851>
: Bioenergiportalen (lest 8.5.2017).

Svenskt Trä. (2016). *Från timmer till plank*. <http://www.svenskttra.se/om-tra/att-valja-tra/fran-timmer-till-planka/>
: Svenskt Trä (lest 14.2.2017).

Sveriges Lantbruksuniversitet. (2016). *Vad är en Livscykelanalys?* [<https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/>]
: SLU (lest 20.1.2017).

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. (2017). *Solstrålning*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/solstralning-1.4186>
: Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (lest 25.4.2017).

Treindustrien. *Nøkkeltall*. <http://treindustrien.no/om-treindustrien/nokkeltall>
: Treindustriern (lest 14.2.2017).

Trømborg, E. & Sjølie, H. K. (2011). Data applied in the forest sector models NorFor and NTMIII. *INA fagrapport*, 17.

Ueyama, M., Iwata, H. & Harazono, Y. (2014). Autumn warming reduces the CO₂ sink of a black spruce forest in interior Alaska based on a nine-year eddy covariance measurement. *Global change biology*, 20 (4): 1161-1173.

UNFCCC. *The Paris Agreement*. . http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php
: UNFCCC (lest 13.2.2017).

UNFCCC. (2014). *Kyoto Protocol*. http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

: UNFCCC (lest 6.2.2017).

UNFCCC. (2017). *US Withdrawal from Paris Agreement not in Country's Economic Interest*. <http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/us-withdrawal-from-paris-agreement-not-in-countrys-interest/>

: UNFCCC (lest 13.2.2017).

Unger, N. (2014). Human land-use-driven reduction of forest volatiles cools global climate. *Nature Climate Change*, 4 (10): 907-910.

Zanchi, G., Pena, N. & Bird, N. (2012). Is woody bioenergy carbon neutral? A comparative assessment of emissions from consumption of woody bioenergy and fossil fuel. *Gcb Bioenergy*, 4 (6): 761-772.



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway