

KOLDIOXIDBUDGET 2020-2040

VÄSTERBOTTENS LÄN

Kevin Anderson^{1,2}, Jesse Schrage¹, Isak Stoddard¹,
Aaron Tuckey¹ & Martin Wetterstedt¹

¹ Klimatledarskapsnoden / Naturresurser och hållbar utveckling
/ Institutionen för Geovetenskaper
Uppsala Universitet

² Tyndall Centre for Climate Change Research
University of Manchester

Del I av Västerbottens läns slutrapport i projektet Koldioxidbudgetar 2020-2040 (beräknat år 2019)

Om klimatledarskapsnoden

Klimatledarskapsnoden vid Naturresurser och hållbar utveckling, Uppsala Universitet är sätet för den gästprofessur i klimatledarskap som möjliggjorts genom donation från Zennström Philanthropies. Noden angriper några av de mest utmanande frågorna som mänskligheten ställs inför kopplat till klimatförändringarna och bidrar med att utveckla nya lösningar och till transformativ omställning i skärningspunkten mellan vetenskap, politik och innovation.

Finansiering

Projektet har finansierats av deltagande kommuner, regioner och län, samt Uppsala Universitet.

Refereras som

Kevin Anderson, Jesse Schrage, Isak Stoddard, Aaron Tuckey & Martin Wetterstedt. 2019. *Koldioxidbudget för Västerbottens län 2020-2040: Del I (2019)*. Klimatledarskapsnoden, Uppsala Universitet, Sverige.

Kontakt

För frågor om projektet och rapporten, kontakta projektledaren Martin Wetterstedt martin.wetterstedt@ccl.uu.se

Tillgänglig på webben

Rapporten finns för nerladdning på: <http://climatechangeleadership.blog.uu.se/koldioxidbudgetar/>

KOLDIOXIDBUDGETAR 2020-2040

Om projektet

Den globala koldioxidbudgeten är den begränsade totala mängd koldioxid, det utsläppsutrymme, som kan släppas ut till atmosfären för att klara ett visst temperaturmål. Den kan brytas ner och fördelas i tid och rum och därigenom uttryckas som lokala årliga koldioxidbudgetar. Det är detta arbete som gjorts i detta projekt för svenska kommuner, regioner och län för åren 2020-2040. Efter 2040 måste utsläppen fortsätta att sjunka mot noll.

Vid Uppsala Universitet finns sedan 2015 en roterande gästprofessur i klimatledarskap inrättad. Kevin Anderson, professor vid Tyndall Centre for Climate Change Research i Manchester, var den andra i ordningen att inneha professuren. Kevin Anderson är pionjär inom arbetet med att omvandla den globala koldioxidbudgeten till nationell och lokal nivå och har bland annat tagit fram en budget för Manchester (Kuriakose, Anderson, Broderick, & McLachlan, 2018), Skottland samt för England via deras Climate Change Act. År 2017 tog Järfälla kommun kontakt med klimatledarskapsnoden (CCL) och undrade om Järfälla kunde få en koldioxidbudget beräknad (Anderson et al., 2017). När projektet var klart tog fler kommuner samt län kontakt med CCL och bad att få budgetar beräknade.

Det stora intresset resulterade i att det under 2018 startades ett projekt, Koldioxidbudgetar 2020-2040, för att beräkna budgetar åt fler kommuner, regioner och län.

Under projektets gång har dialog förts med deltagande organisationer via mail och möten. Mötena har syftat till att behovsanpassa innehållet i rapporterna samt att författarna får

ta del av kommunala och regionala perspektiv, kunskaper och erfarenheter.

Från ord till handling

I och med leveransen av denna rapport har den svenska tillämpningen av koldioxidbudgetar för att guida beslut om klimatåtgärder tagit ytterligare ett stort steg framåt. Även utanför Sverige händer det mycket:

- EU beslutade den 13 november¹ 2018 att en koldioxidbudget ska bli en del av EU-ramverket för att nå Parisavtalet.
- Manchester City Council beslöt² den 14 november 2018 att anta ett koldioxidbudgetramverk som beslutsunderlag till åtgärder för minskad klimatpåverkan.

Citat från Manchesters beslut³:

“Manchester adopts the Tyndall Centre’s proposed targets and definition of zero carbon and includes them formally in the Our Manchester and Manchester City Council policy framework. Namely: a limited carbon budget of 15m tonnes CO2 for 2018-2100; 13% year-on year reductions in CO2 from 2018; zero carbon by 2038.”

Manchesters beslut är resultatet av ett långsiktigt samarbete mellan Tyndall Centre och Manchester City.

Författarna hoppas att detta projekt och denna rapport på ett tydligt sätt visar vilka mål svenska kommuner, regioner och län bör sätta med utgångspunkt i klimatvetenskap och Parisavtalet. Det är svårt att i historien hitta utmaningar mänskligheten och samhället stått inför av samma dignitet – frågan är tyvärr inte om vi kan undvika klimatförändringar helt, den matchen är redan förlorad, utan hur

¹ <http://www.europarl.europa.eu/news/sv/press-room/20181106IPR18315/energi-nya-ambitiosa-mal-for-fornybara-energikallor-och-energieffektivitet>

² www.manchester.gov.uk/news/article/8076/ambitious_climate_change_target_proposed_for_manchester

³ Läs alla beslutssatser här
<http://www.manchesterclimate.com/plan>

mycket ytterligare klimatförändring vi kan undvika. Ledarskap behövs nu på alla nivåer i samhället och det lokala ledarskapet är bland de viktigaste, om inte det viktigaste.

Koldioxidbudgetmetodens status

Metoden för att räkna fram koldioxidbudgetar bygger på vetenskapligt granskad forskning – på så sätt uppfyller metoden vissa kvalitetskrav. Men att gå från forskning till tillämpning skapar oftast utmaningar, så även i detta fall. Ju mindre enheter man delar upp utsläppen i desto svårare kan det dessutom bli att bestämma var ett utsläpp ska bokföras. I rapporten har vi varit pragmatiska och använt tillgänglig statistik, även i de fall då vi egentligen skulle velat ha andra mått. Ett exempel på detta är utsläpp från vägtrafik, där vi använt RUS/SMEDs statistik rakt av, vilken redovisar utsläppen som sker på de vägar som finns i kommunen med syftet att visa luftföroreningar. Ett alternativt sätt är att bokföra utsläppen i den kommun där ägaren till ett fordon bor, vilket kanske vore mer intuitivt. En metod för detta är under utveckling och hoppas kunna finnas färdig i slutet av 2019. Observera dock att länsbudgetens storlek anpassar sig efter vilka statistiska mått som används och förminskningstakten förblir densamma.

En princip för att välja var utsläpp ska bokföras är var mest rådighet finns över dem. Att bokföras utsläppen i det land de släpps ut är därför rimligt, eftersom nationell lagstiftning, i alla fall i teorin, kan ta ansvar för att få ner dessa. Å andra sidan kan man resonera att den som köper en vara eller tjänst borde belastas utsläppen, det s.k. konsumtionsperspektivet.

Om koldioxidbudgetramverket får ytterligare spridning och genomslag förväntar vi oss att en diskussion kommer uppstå kring hur man inom Sverige ska fördela utsläpp mellan kommuner på bästa sätt. Kanske kommer det finnas behov för nya statistikprodukter för att både fastställa och följa upp utvecklingen av de kommunala budgetarna. Kanske stora industriella utsläpp, tex. från cement och stålproduktion borde bokföras på nationell nivå istället, och att samhällets aktörer sedan förhandlar om hur stor budgeten för dessa utsläpp bör vara, för att inte skapa omöjliga begränsningar inom andra sektorer i samhället.

Syftet måste vara att stärka den lokala nivån genom att 1) beräkna fram relevanta målnivåer, 2) hitta statistikmått som i så stor utsträckning som möjligt stärker den lokala nivån både i att förstå sin klimatpåverkan, förstå vad som kan göras och kommunicera detta med olika aktörer. Det tredje 3), och kanske viktigaste, men även det mest komplicerade kriteriet, är att budgetarna ska bidra till att prioritera mellan olika potentiella åtgärder.

Den höga utsläppsminskningstakten kan även den skapa behov av nya statistikprodukter där åtminstone prognoser kan skapas t.ex. kvartalsvis för att visa om vi är på väg åt rätt håll.

I det fortsatta forskningsarbetet kommer vi ta hänsyn till uppdaterade globala budgetar från IPCC när de kommer samt även se över på vilket sätt vi bäst inkluderar utsläpp från utrikes transporter, och på vilket sätt vi ska ta med höghöjdseffekten från flygtrafik.

Kevin Anderson, Jesse Schrage, Isak Stoddard, Aaron Tuckey & Martin Wetterstedt

Uppsala, 1 oktober 2019

Innehållsförteckning

Koldioxidbudgetar 2020-2040	3
Om projektet	3
Från ord till handling	3
Koldioxidbudgetmetodens status	4
Sammanfattning	6
Huvudsakliga resultat	6
Läsanvisning	7
Inledning	8
Varför behöver vi minska koldioxidutsläppen?	8
Om koldioxidbudgetar	8
Vad är en koldioxidbudget?	8
IPCC:s olika rapporter	10
Västerbottens läns koldioxidbudget	11
Inledning	11
Genomgång av budgeten	11
Utsläppskällor och intensitet	11
Diskussion	16
Minskningstakten skiljer sig från andra rapporter	16
Rättvis fördelning av åtaganden	17
Inkludering av utsläpp från svenskarnas internationella flygresor	17
Analys av industriella utsläpp, utsläpp från så kallade anläggningar	17
Länsstyrelsens roll	18
Metod	19
Inledning	19
Utsläppsstatistik	19
Arbetsgång	19
Bokföring av utsläpp	20
Fördelning av utsläppsutrymme	20
Referenser	21

Sammanfattning

Enligt Parisavtalet ska nationerna som skrivit under säkerställa att den globala temperaturökningen hålls under 2 grader, och eftersträva att den begränsas till 1,5 grader. Enligt avtalet ska detta göras på ett rättvist sätt och på vetenskaplig grund.

Inom Västerbottens län kan det enligt vår beräkning släppas ut 8,89 MtCO₂ från 2020 och framåt för att länet ska uppfylla sin rättvisa del av Parisavtalet. I Västerbottens län släpptes år 2016 1,74 MtCO₂ ut. Om utsläppen fortsätter att ligga på samma nivå som idag kommer budgeten att överskridas inom 6 år.

Detta innebär ett åtagande för Västerbottens läns geografiska område, såsom för alla Sveriges kommuner och län, att energirelaterade koldioxidutsläpp ska minskas med ca 16 % per år. Detta är beräknat från januari 2020 och inkluderar invånarnas nationella och internationella flygresor.

Västerbotten läns fyra största energirelaterade koldioxidutsläpp kommer från utrikes transporter⁴: 540 ktCO₂, inrikes transporter: 495 ktCO₂, industri: 349 ktCO₂ och arbetsmaskiner: 202 ktCO₂, se figur 3.

I Västerbottens län finns Dåva kraftvärmeverk och Rönnskärsverken som 2017 släppte ut 73 och 273 ktCO₂ respektive motsvarande ca 0,4% och 1,5% av Sveriges totala utsläpp från anläggningar. Dessa finns bland de anläggningar som tillsammans står för 90% av Sveriges utsläpp från anläggningar, se tabell 2. Utsläppen från el och fjärrvärmeproduktionen (Dåva kraftvärmeverk) antar vi framförallt täcka den användning av el och fjärrvärme som sker inom länet. Om Rönnskärsverken bokförs på nationell nivå istället för inom länet uppgår Västerbottens läns koldioxidbudget istället till 7,58 MtCO₂ och de fyra största energirelaterade utsläppen kommer då från

Huvudsakliga resultat

Västerbottens läns koldioxidbudget 2020 och framåt för att nå 2-gradersmålet: **8,89** (7,58*) MtCO₂

Utsläppsnivå 2016: 1,74 (1,47*) MtCO₂

Antal år kvar innan koldioxidbudgeten överskrids: 6 år

Föreslagen förminskningstakt för att nå 2-gradersmålet: **16%**

*utan stora anläggningar

utrikes transporter: 540 ktCO₂, inrikes transporter: 495 ktCO₂, arbetsmaskiner: 202 ktCO₂ och el och fjärrvärme 127 ktCO₂.

Den stora utmaningen för en snabb omställning är att rådigheten är spridd över så många olika aktörer i samhället, inklusive medborgare. Vi tror att modeller för samverkan mellan näringsliv, medborgare, civilsamhället och det offentliga ytterligare behöver utvecklas och stärkas, liksom regional och nationell samverkan.

För andra utsläpp som sker som en konsekvens av köpta varor och tjänster i andra länder kan utsläpp minskas genom minskad användning och val av alternativ med lägre associerade utsläpp – i offentliga och privata organisationer genom kravställande vid upphandling och inköp; bland privatpersoner genom aktiva val utifrån tydlig konsumentinformation.

Den höga minskningstakten tillåter inte att vi väntar på att energieffektivare teknik och mer förnybar energi ska lösa problemet. I närtid måste en snabb omställning ske genom att prioritera och effektivisera energianvändning samt uppmuntrandet av beteendeförändring. Detta uppnås genom att utveckla processer,

⁴ Notera att *utrikes transporter* baseras på statistik från internationell sjöfart som tankar i Sverige samt svenskarnas internationella flygresor ToR

destinationen beräknat (Kamb och Larsson 2019) inkluderat höghöjdseffekt.

organisationer och affärsmodeller, antingen genom att tillämpa idag tillgängliga men nytänkande lösningar i eller på dessa, alternativt genom att ta fram nya. Sektorer som inte klarar takten måste i närtid kompenseras av ännu snabbare utsläppsminskningar i andra sektorer.

Om den inte redan finns bör en kontinuerlig dialog mellan länets aktörer skapas, inkl. invånare, kring de lokala förutsättningarna för utsläppsminskningar och för framtagande av en åtgärdsplan och uppföljningsplan. Åtgärdsplanen bör innehålla åtgärder på kort sikt, till exempel 0–2 år, samt på längre sikt, till exempel 3–5 år, och utvärderas till en början kvartalsvis. Det är viktigt att även kvantifiera och beskriva vilka besparingar och nya jobb- och affärsmöjligheter en snabb omställning leder till, men även lyfta fram risker för så kallade ”stranded assets”, det vill säga tillgångar som blir värdelösa i en fossilfri framtid (t.ex. bilar och maskiner som drivs av bensin och diesel), och diskutera hur dessa ska minimeras. Positiva effekter av minskad användning av fossila bränslen är att det kan

leda till minskad sårbarhet från störningar i energiförsörjning.

Mellan tummen och pekfingret bör även de konsumtionsbaserade utsläppen minska i samma utsträckning, osäkerhet i statistiken är dock mycket högre, varför vi föreslår att dessa hålls utanför budgeten men följs som en indikator.

Det finns idag många goda exempel på kommuner och städer som snabbt ställt om och minskat sin klimatpåverkan. Kommunen är sannolikt den organisation i samhället som bäst skulle kunna samordna den snabba omställning som behövs för att klara Parisavtalet. Det är troligt att just denna typ av *ledarskap* kommer spela en nyckelroll i att initiera en så stor omställning som nu krävs.

Om åtagandet inte antas och Sverige totalt sätt inte levererar dessa utsläppsminskningar är det svårt att påstå att man följer Parisavtalet, vilket också innebär att vi kollektivt väljer en framtid med mycket kraftiga klimatförändringar som ett resultat av minst 2 graders temperaturökning på Jorden.

Läsanvisning

Denna rapport kommer i två delar, del I och del II. I del I, denna del, redovisas resultatet från beräkningen av länets budget och utsläppsminskningstakt. Del I innehåller även en kortfattad redogörelse för vetenskapen kring koldioxidbudgetar, metoden vi använt, samt en diskussion kring olika aspekter av arbetet. Del I är tänkt att nå en bredare publik utan specifika förkunskaper i ämnet.

Del II av rapporten är skriven på engelska med syfte att läsaren ska kunna följa hur beräkningarna av en budget gått till i detalj men innehåller inga resultat på lokal nivå. Del II utgör också underlag till alla regioner och län som beställt en rapport.

Inledning

Varför behöver vi minska koldioxidutsläppen?

Det står utom allt tvivel att människan påverkat och fortsätter att påverka klimatet genom att släppa ut växthusgaser. Detta sker globalt framförallt genom uppvärmning: 31%, transport: 15%, tillverkning: 12%, jordbruk: 11% och förändrad markanvändning och skogsbruk: 6% (varierar mycket år från år på grund av osäkerhet vid beräkning). Tillsammans står energirelaterade utsläpp för 72% av det globala växthusgasutsläppet⁵.

I dagsläget har människans aktiviteter sedan förindustriell tid ökat den globala medeltemperaturen med mer än en grad (IPCC, 2018). Enligt Parisavtalet har länderna förbundit sig att tillsammans säkerställa att temperaturökningen håller sig väl under 2 graders uppvärmning och siktar mot 1,5 grader (“well below 2 degrees Celsius above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the temperature increase even further to 1.5 degrees Celsius”).

Både en 1,5 och en 2 grader varmare planet är dock på många sätt betydligt annorlunda än planeten Jorden som vi känner henne idag och medför katastrofala följder för många

människor, djur och för ekosystemet i stort⁶. Det finns forskning som visar att det redan vid 1 men framförallt vid 2 graders temperaturökning riskerar att igångsättas självförstärkande effekter som gör att temperaturen fortsätter att öka bortom människans kontroll (Steffen et al., 2018).

En annan aspekt av minskade koldioxidutsläpp är möjligheten att få ett samhälle som är mer robust och mindre känsligt för geo-politiska störningar som till exempel avbrott i oljeleveranser. En omställning bort från fossila bränslen kan också leda till effektivare utnyttjande av ekonomiska resurser i samhället.

Om koldioxidbudgetar

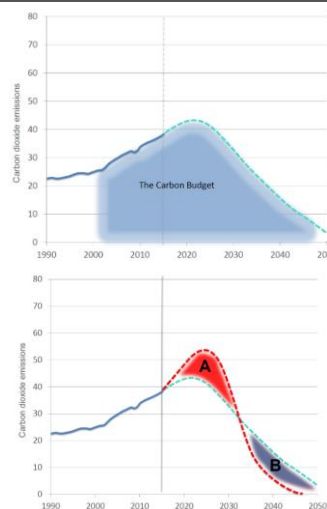
En koldioxidbudget är ett begränsat global utsläppsutrymme för att hålla oss inom en viss global medeltemperatur. Detta begrepp är grunden i till exempel Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):s arbete och rapporter. På senare år har metoder utvecklats för att på ett rättvist sätt fördela den globala koldioxidbudgeten till olika geografiska nivåer, till exempel länder och kommuner, i form av årliga budgetar (se Anderson & Bows, 2011, Anderson *et al.* 2017, Kuriakose *et al.* 2018).

Vad är en koldioxidbudget?

Koldioxidbudgeten (Carbon budget eng.) motsvarar den mängd (område under kurvan i figuren) koldioxid som kan släppas ut i atmosfären för att hålla oss till en viss temperaturhöjning.

Om utsläppsminskningen skjuts upp (fördröjd utsläppstopp i figuren nedanför, A) leder det till att ännu strängare åtgärder måste vidtas senare i seklet för att kompensera detta (området B). Detta resulterar i en brantare reduktionskurva.

Det är därför kritiskt att stora utsläppsminskningar sker omedelbart genom effektivisering av energianvändning och beteendeförändring, annars behöver framtida utsläppsrestriktioner bli ännu kraftfullare.



⁵ Siffrorna för utsläpp år 2015, se <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>

⁶ Se <https://www.carbonbrief.org/scientists-compare-climate-change-impacts-at-1-5c-and-2c>.

Förutom koldioxid finns det andra klimatpåverkande gaser, som till exempel metan och lustgas. Det finns flera anledningar till att endast koldioxid tas med i budgeten. Koldioxid är en stabil växthusgas som inte bryts ner, den kan bara tas upp i biologiska och fysikaliska processer, och ackumuleras därför i atmosfären. Andra växthusgaser som till exempel metan och lustgas bryts ner i atmosfären. Klimatpåverkan från utsläpp av andra växthusgasers ändras därför över tid vilket komplicerar beräkningar. Om dessa slutas att släppas ut klingar effekten av på sikt, till skillnad från koldioxid. Sammantaget gör detta att det är svårare att använda dessa i en lokal budget.

Koldioxid är också den växthusgas som det finns mest potential i att på kort sikt kraftigt minska utsläppen av. Det är också den antropogena, dvs orsakad av människan, växthusgas som släpps ut i störst mängd och totalt sett påverkar klimatet mest. Koldioxidutsläpp är dessutom relativt lätt att mäta och beräkna på olika nivåer i samhället. Med IPCCs (2014) ord kan det sammanfattas att det är den totala mängden koldioxid som i stor utsträckning bestämmer den globala genomsnittliga uppvärmningen⁷.

Vid beräkning av budgetarna tas också hänsyn till prognostiserade utsläpp från cementproduktion, samt upptag och utsläpp från förändrad mark och skogsanvändning på global nivå. Hur ansvar från övriga klimatpåverkande utsläpp ska hanteras lämnas utanför denna rapport, men dessa ska självklart också minskas.

De utsläpp som tas upp här är energirelaterade koldioxidutsläpp, till exempel från industri och transporter, som sker inom ert län, så kallade territoriella utsläpp⁸, samt länets del av utsläpp från utrikes transporter bestående av internationell sjöfart som tankar i Sverige,

militär verksamhet, samt svenskarnas utsläpp från internationella flygresor ToR destinationen enligt Kamb & Larsson (2019), inklusive höghöjdseffekt. Budgeten är på så sätt en territoriell budget där även vissa konsumtionsrelaterade utsläpp lagts till.

Konsumtionsbaserade utsläpp fås genom att summera utsläpp kopplade till varor och tjänster en person eller organisation konsumerat, oavsett var de fysiskt släppts ut. Sveriges konsumtionsbaserade utsläpp, det vill säga, utsläpp som sker som en effekt av konsumtion av varor och tjänster var år 2015 enligt Naturvårdsverket 105 MtCO₂-ekv⁹, att jämföra med Sveriges territoriella utsläpp på 57 MtCO₂-ekv¹⁰.

Vi har i detta projekt inkluderat industriella utsläpp i kommunernas och länens budgetar. Ett alternativt sätt att bokföra dessa på är att lyfta ut stora industriella utsläpp till nationell nivå. Det kräver dock en större arbetsinsats rent beräkningsmässigt men också en dialog mellan Sveriges kommuner för att enas specifikt om vilka typer av anläggningar som ska flyttas.

⁷ "Cumulative emissions of CO2 largely determine global mean surface warming by the late 21st century and beyond".

⁸ Se <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/>

⁹ [https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-Sverige-](https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-Sverige-och-andra-lander/)

[och-andra-lander/](https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-Sverige-och-andra-lander/) anger konsumtionsbaserade utsläpp i Sverige år 2015 till 36,56 och i utlandet till 68,47 MtCO₂-ekv.

¹⁰ <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-nationella-utslapp-och-upptag/?visuallyDisabledSeries=bbb9999096e20671> anger år 2015 Sveriges utsläpp till 56,755 MtCO₂-ekv.

IPCC:s olika rapporter

Den globala koldioxidbudgetens storlek i denna rapport baserar sig på IPCCs Assessment Report 5, AR5. I oktober 2018 publicerade IPCC en Special Report, SR15, med en uppdatering kring 1,5 gradersmålet. I denna har IPCC angett att den globala koldioxidbudgeten för att klara 1,5 gradersmålet är större än tidigare beräknat, dock med en stor osäkerhet. Sannolikt kommer en mer grundläggande analys av detta komma

i IPCCs Assessment Report 6. Tills vidare, för att inte behöva riskera att krympa budgeten senare, har vi därför valt att ha kvar AR5 som utgångspunkt vid beräkning av budgetar och utsläppsminskningstakt. Det skulle då potentiellt innebära att utsläppsminskningstakten i denna rapport ökar sannolikheten för att nå betydligt under för 2,0 gradersmålet och att nå 1,5 gradersmålet.

Västerbottens läns koldioxidbudget

Inledning

Västerbottens läns budget är en territoriell koldioxidbudget med tillägg för utsläpp från utrikes transporter bestående av internationell sjöfart som tankar i Sverige, utrikes militär verksamhet (bägge från SCB) samt utsläpp från svenskarnas internationella flygresor ToR destinationen (Kamb & Larsson 2019), inklusive höghöjdseffekten¹¹. De lokala utsläppen baserar sig på statistik från nationella emissionsdatabasen (RUS). För beskrivning av hur den lokala budgetens storlek beräknats, se metodavsnittet i denna text samt del II.

Genomgång av budgeten

2016 uppgick Västerbottens läns utsläpp till 1,74 MtCO₂-ekv inklusive stora anläggningar. Om utsläpp från Rönnskärsverken (tabell 1) bokförs på nationell nivå istället uppgick utsläppet år 2016 till 1,47 MtCO₂-ekv. Fördelat på länets invånare blir detta 6,4 ton/person (5,4 utan Rönnskärsverken, uppskattning för år 2019).

Västerbottens läns historiska utsläpp 2010-2016, har, om man tar hänsyn till utrikes transporter, hållit sig ganska konstant. Om Rönnskärsverken bokförs på nationell nivå har de svagt minskat. Utsläppen för åren 2017-2019 (figur 1) består av prognostiserade utsläpp och är svagt ökande på grund av trenden med ökande flyg- och sjöfartsrelaterade utsläpp. Utsläpp år 2020 och framåt följer en årlig utsläppsminskningstakt

Utsläppskällor och intensitet

Västerbottens läns fyra största energirelaterade utsläpp i kiloton CO₂:
utrikes transporter: 540, inrikes transporter: 495, industri: 349, (74*), arbetsmaskiner: 202, (el och fjärrvärme 127)*

Fördelat per person i länet 2019 baserat på prognos: 6,4 (5,4*) ton/person

*utan stora anläggningar

på 16,4 % för att Västerbotten ska hålla sig inom sin totala koldioxidbudget.

Studerar man utsläppen per sektor (figur 2, 3 samt tabell 2) så har alla sektorer hållit sig ganska konstanta sedan året 2010. Vad som är bekymmersamt är att andra utsläpp från varor och tjänster, vilka inte beräknas och redovisas specifikt i denna rapport ökat markant sedan 1990-talet, delvis beroende på ökad konsumtion som till större och större del sker i utlandet. Utsläppen från flyg och internationell sjöfart, kopplat till ökad internationell handel, har ökat markant. Viktigt att notera är att vi i rapporten, efter muntligt samråd med delar av Länsstyrelsernas energi- och klimatstrategier, även inkluderat en klimateffekt för att ta hänsyn till att de utsläpp som sker på hög höjd långsiktigt påverkar klimatet mer (Kamb & Larsson, 2019) med en faktor 2,0 (Jungbluth & Meili, 2018).

Notera att denna faktorns storlek är mycket osäker, och olika studier anger olika värden på denna. Risker med att tillskriva höghöjdseffekten för stor betydelse är att åtgärder som minskar flygets utsläpp överdrivs och då inte ger förväntad effekt.

¹¹ Detta bokförs som CO₂-ekv dvs koldioxidekvivalenter. Detta beror på höghöjdseffekten där koldioxidens

uppvärmnings potential ökar när den släpps ut högre upp i atmosfären

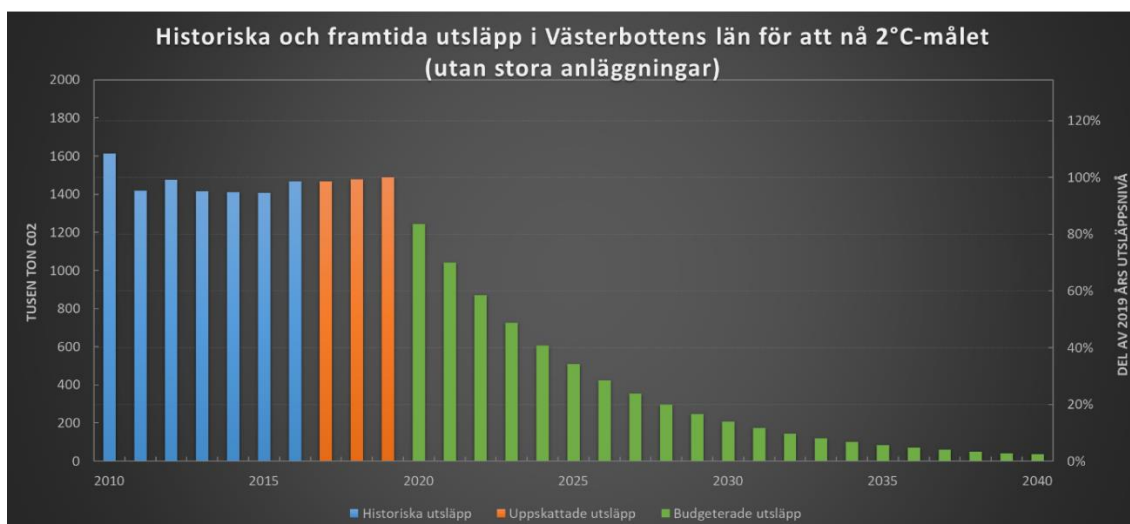
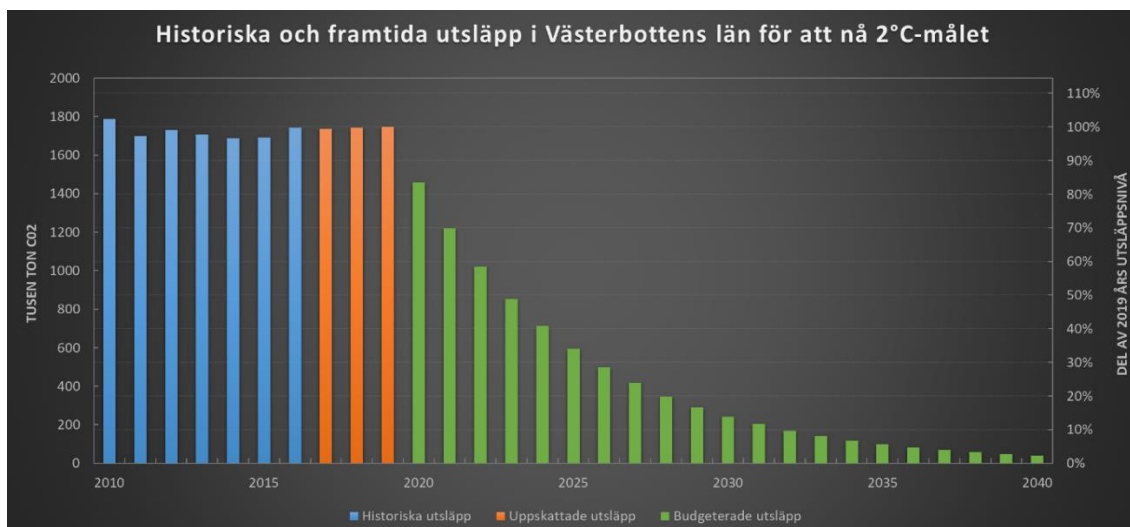
Tabell 1: Så kallade stora anläggningar i Västerbottens län, de största anläggningarna som tillsammans står för 90% av Sveriges utsläpp från anläggningar. Källa: Naturvårdsverkets utsläppsregister¹²

	Kategorisering	Utsläppsnivå 2017 (kt CO ₂)	% totala utsläpp från svenska anläggningar	Rekommenderad bokföring
Dåva kraftvärmeverk	El och fjärrvärme	73	0,4	Länsnivå
Rönnskärsverken	Industri (energi och processer)	273	1,5	National nivå

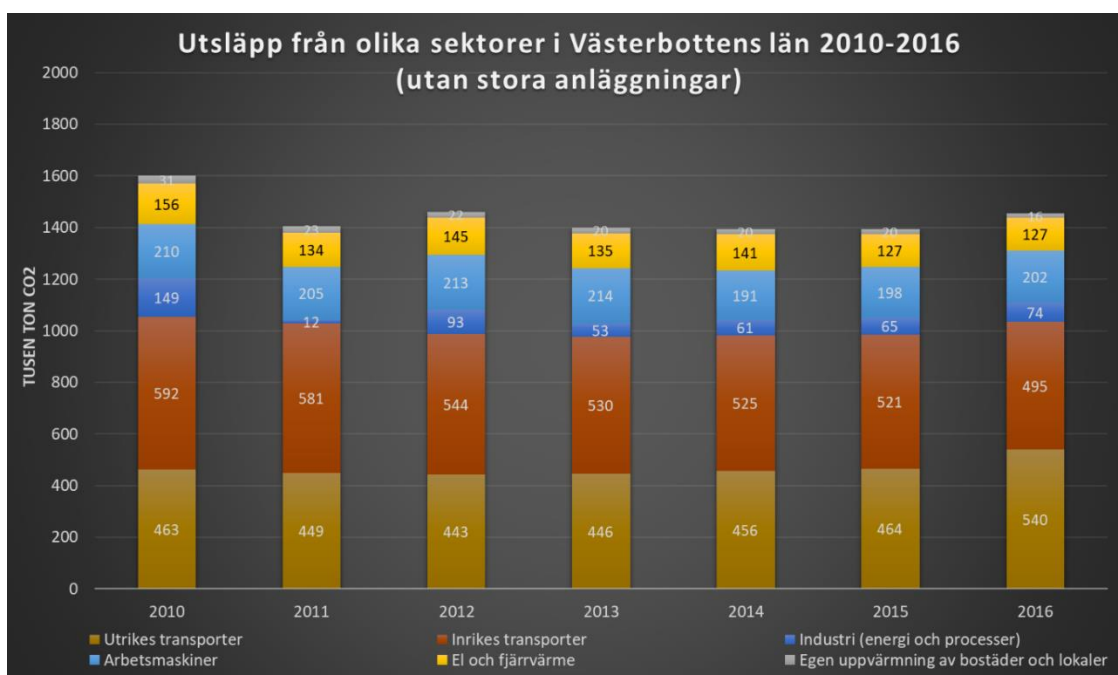
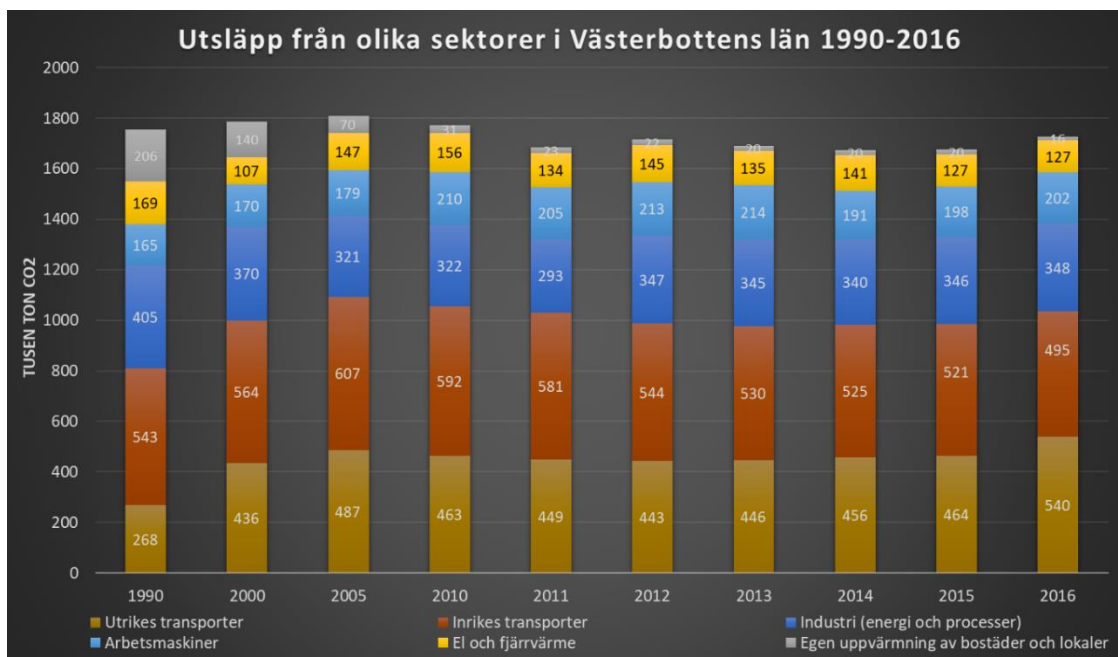
Tabell 2: Tabellen visar utsläpp inom RUS/SMEDs kategorier samt utsläpp från internationella transporter inklusive svenskarnas hela flygresor beräknat av Kamb et al. (2016). Den inkluderade höghöjdseffekten uppgick 2016 till 33% av utsläppen från internationella transporter och flyg.

	1990	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Arbetsmaskiner	165	170	179	210	205	213	214	191	198	202
Avfall (inkl. avlopp)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Egen uppvärmning av bostäder och lokaler	206	140	70,1	30,5	22,6	21,8	20,2	20,1	19,6	15,8
El och fjärrvärme	169	107	147	156	134	145	135	141	127	127
Industri (energi och processer)	405	370	321	322 (149)	293 (12,5)	347 (93,1)	345 (53,2)	340 (61,4)	346 (64,7)	348 (74,1)
Jordbruk	5,0	4,5	3,3	3,5	3,5	4,0	4,0	3,4	3,5	3,5
Produktanvändning (inkl. lösningsmedel)	9,9	10,6	12,1	11,9	11,1	12,4	12,8	12,6	11,2	11,2
Inrikes transporter	543	564	607	592	581	544	530	525	521	495
Utrikes transporter	268	436	487	463	449	443	446	456	464	540
<i>Summa</i>	1770	1801	1825	1788 (1616)	1698 (1418)	1731 (1476)	1707 (1415)	1689 (1410)	1691 (1410)	1742 (1468)

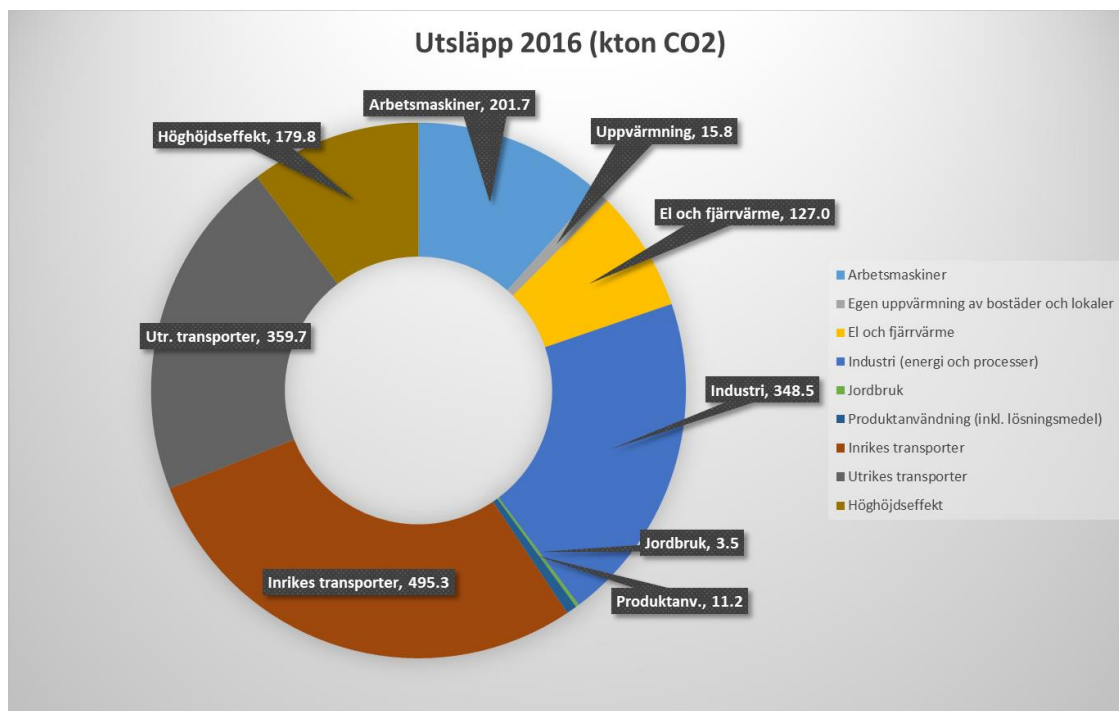
¹² <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/>



Figur 1. Utsläpp inklusive stora industriella anläggningar (överst) och utan (underst). Figuren visar historiska utsläpp 2010–2016, uppskattade utsläpp 2017–2019, samt budgeterade utsläpp 2020–2040. Utsläppen föreslås minska med en konstant del av föregående års utsläpp. Den högra Y-axeln visar utsläpp som procent av basåret 2019.



Figur 2: Figurerna visar historiska utsläpp uppdelat på respektive sektor i enlighet med RUS/SME. Utsläpp inklusive stora industriella anläggningar (överst) och utan (underst). I utrikes transporter ingår internationell sjöfart som tankar i Sverige samt militär verksamhet i utlandet (SCB) samt utsläpp som kommer från svenskarnas internationella flygresor, inklusive höghöjdseffekten, ToR destinationen.



Figur 3: Figurerna visar utsläpp år 2016 uppdelat på respektive sektor i enlighet med RUS/SMED, inklusive stora industriella anläggningar (överst) och utan (underst). Utrikes transporter består av internationellt flyg, internationell sjöfart och militär verksamhet utomlands. Höghöjdseffekten har specificerats som egen kategori för förtydligande, men är i övriga figurer i rapporten inkluderad i utrikes transporter.

Diskussion

Minskningstakten skiljer sig från andra rapporter

Den utsläppsminskningstakt som presenteras här skiljer sig från den som beräknats av vissa andra författare. Det är framförallt två parametrar som leder fram till att olika författare kommer fram till olika resultat; 1) hur stor den framtida potentialen till negativa utsläppstekniker antas vara, vilket påverkar den globala koldioxidbudgetens storlek, och 2) hur utsläppsutrymmet ska fördelas på världens länder.

Märk väl att den akademiska enigheten kring sambandet mellan utsläpp av växthusgaser och den temperaturökning det leder till är mycket stor, det är alltså inte det som skiljer mellan de olika beräkningarna.

När det gäller negativa utsläppstekniker, så kallade Negative Emissions Technologies (NETs) (eng.), är vi i vår bedömning mycket restriktiva till att inkludera dessa av flera anledningar. Det är idag vetenskapligt och tekniskt oklart i hur stor omfattning det går att sjösätta dessa lösningar. Alla lösningar kommer på ett eller annat sätt kräva energi för att bortföra och lagra koldioxid, och där ligger kanske den största utmaningen – vi ska inte bara ställa om hela energisystemet, utan vi ska dessutom hitta extra förnybar energi för att ta upp den koldioxid vi först släppt ut. Skalan på detta gör problemet mycket osannolikt att lösa (Anderson & Peters, 2016). Andra sätt att öka upptaget av koldioxid som föreslagits innebär storskaligt skogsbruk, eller plantering av andra växter, vilket har kritiserats för att inte vara förenligt med hur människor idag lever och försörjer sig på dessa platser^{13,14}.

Vid beräkning av koldioxidbudgetarna har vi sett att det finns en negativ utsläppsteknik som är mer lovande, lättare och mer rimlig att tillämpa än andra – koldioxidavskiljning vid cementframställning. Vid den sammanvägda bedömningen av utsläpp från cementindustrin har därför möjlig utveckling av denna teknik inkluderats på global nivå, inte specifik för Sveriges nationella eller lokala budgetar, se del II.

Vi ser det som önskvärt att det fortsätts att forskas på olika tekniker för negativa utsläpp. Men, i enlighet med försiktighetsprincipen kan vi i dagsläget inte anta att det kommer att finnas tillgänglig teknik som i stor skala som ger mer än ett marginellt tillskott till koldioxidbudgeten.

När det gäller fördelning av det utsläppsutrymme som finns kvar har vi försökt att kvantifiera den formulering som finns i Parisavtalet kring att utsläppsminskningarna ska ske på ett så rättvist¹⁵ sätt som fortfarande är möjligt mellan industrialiserade och industrialiserande länder. Detta tillvägagångssätt är i linje med den internationellt etablerade principen om ett gemensamt men differentierat ansvar ("Common But Differentiated Responsibilities"- CBDR) som klimatkonventionen och Parisavtalet bygger på. Denna princip erkänner de rika ländernas större ansvar utifrån både deras större bidrag till klimatförändringar över tid (historiskt ansvar) och deras större kapacitet att göra något åt det (högre inkomster, existerande infrastruktur, institutioner m.m.). Principen erkänner även de fattigare ländernas rätt till utveckling och de rikare ländernas ansvar att möjliggöra för dessa att både undvika utsläpp genom finansiellt och tekniskt stöd, och till att

¹³ Se <https://workforrain.wordpress.com/2017/04/02/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage-climate-savior-or-goat/> som en introduktion med länkar för fortsatt läsning kring *Bioenergy with Carbon Capture and Storage*, BECCS, en av de mest kritiserade NETs.

¹⁴ Se <https://www.project-syndicate.org/commentary/agricultural-investment-or-third-world-land-grab-by-peter-singer> angående problemet med *land-grab*, som uppstår vid BECCS.

¹⁵ Även med metoden vi använt står industrialiserade länder i stor skuld till de industrialiserande pga. stora ojämlikheter i historiska utsläpp – så fördelningen som använts är en pragmatisk hållning till rättvisa som inte är rättvis. Se del II för fördjupning.

anpassa sig till effekterna av klimatförändringarna.

För att få full genomslagskraft måste fördelningen fastställas genom att i förlängningen sluta bindande avtal mellan kommuner/städer, nationer och grupper av nationer.

Rättvis fördelning av åtaganden

För fördelning av åtaganden inom Sveriges gränser har i denna rapport endast metoden suveränitetsprincipen (grandfathering), använts (se metodavsnittet i denna text samt del II). Från deltagande kommuner och län har det både framförts argument för att det är bra att använda denna metod och att mer sofistikerade metoder borde användas för att fördela utrymmet.

Det finns flera parametrar som i praktiken påverkar hur möjligheten till utsläppsminskningar uppfattas hos kommunerna och länen, bland annat:

- Från vilka aktiviteter utsläppen kommer från idag – vissa aktiviteter ses som lättare att minska än andra kopplat till tillgänglig teknik m.m.
- Hur ser geografin ut – det är till exempel skillnad mellan stad och land, glesbygd
- Är regionen en tillväxtregion eller avfolkningsregion?
- Hur stor ekonomisk aktivitet sker i regionen, hur ser inkomstfördelningen ut?
- Användning av territoriella utsläpp alternativt konsumtionsperspektivet ger olika bild av utsläppssituationen, bägge är dock väldigt utmanande
- Graden av och närvaron av utsläppsintensiva industrier i kommunen eller länet, inklusive hur nyetableringar och avveckling bör behandlas

Från kommunen och länet som politiskt styrd organisation är kanske ändå dess rådighet den

fråga som oftast tas upp, och som kommunen ständigt brottas med.

Fördelen med *grandfathering* är ändå att utsläppsutrymmet baseras på hur stora utsläpp som sker idag, och att alla får samma utsläppsminskningstakt. Nackdelen är att den inte alls kvantifierar förutsättningarna för att göra omställningar. I någon mening kommer varje sätt att fördela åtaganden vara orättvist och missgynna någon kommun eller län i jämförelse med någon annan metod.

Inkludering av utsläpp från utrikes transporter, inklusive Svenskarna flygresor ToR destinationen

Vi har i denna rapport kompletterat de territoriella utsläppen med utsläpp från Västerbottens beräknade andel av svenskarnas utrikes transporter. Denna baseras på statistik från SCB för militär verksamhet i utlandet (relativt låga utsläpp), internationell sjöfart som tankar i Sverige, samt Svenskarnas internationella flygresor från Kamb & Larsson (2019). I dessa utsläpp har vi även räknat med en så kallad höghöjdsfaktor (eng. *uplift factor*)¹⁶ på 2,0 som tar hänsyn till den långvariga extra klimatpåverkan som sker som resultat av flygutsläpp på hög höjd.

Utsläppen från internationell sjöfart och utsläppen från Svenskarnas flygresor är ungefär lika stora. Vilka aktiviteter som genererar utsläpp via internationell sjöfart har vi inte analyserat. Att utsläpp från Svenskarnas internationella flygresor överhuvudtaget inkluderas är att potentialen till snabba utsläppsminskningar från flygresor är mycket stor om man i Sverige accepterade att flyga mindre. Både internationell sjöfart samt flygets utsläpp har ökat mycket kraftigt sedan 80-talet.

¹⁶ Att vi inkluderat uplift-faktorn ger som konsekvens att vi blandar rena koldioxideffekter med andra klimateffekter.

Analys av industriella utsläpp, utsläpp från så kallade anläggningar

För att skaffa oss en uppfattning av industriella utsläpp i kommunen som har en betydande påverkan på Sveriges totala utsläpp från anläggningar har vi använt oss av Naturvårdsverkets¹⁷ data (statistik från år 2017). Genom att sortera anläggningarna efter stigande utsläpp och beräkna de ackumulerade utsläppen från delar av datasetet framkommer det att 11 st anläggningar tillsammans står för 60% av alla utsläpp från stora anläggningar i Sverige och att 45 st (23%) står för 90% där anläggningen med lägst utsläpp släpper ut 65 625 ton CO₂/år. Denna anläggnings utsläpp motsvarar 3% av utsläppet från den största anläggningen. Detta urval, vilket vi kallat ”stora anläggningar” (45 st) skulle kunna utgöra en grund i en kommande diskussion kring vilka utsläpp som ska bokföras lokalt i kommunen, regionen eller länet, och vilka som bör lyftas till nationell nivå. I denna rapport har vi gett två alternativ, ett där alla anläggningar bokförs lokalt, ett där stora anläggningar istället bokförs nationellt, utsläppsminskningstakten blir dock densamma.

Det skulle vara intressant att följa en diskussion mellan landets kommuner och regioner om andra möjliga sätt att bokföra utsläppen från anläggningar. Något som borde göras, men som inte gjorts på grund av projektets omfattning, är att omfördela utsläpp mellan näraliggande kommuner där fjärrvärmeproduktionen försörjer flera kommuner.

Länsstyrelsens roll

De minskningstakter som vi räknat fram i denna text är mycket högre än de mål som är satta på nationell nivå. Det innebär att

kommunerna och länen, i samarbete med näringsliv och civilsamhälle, kommer följa denna på frivillig basis. En möjlig utveckling av projektet vore att initiera en process för att skapa nationell konsensus om att använda koldioxidbudgetar som utgångspunkt i att skapa åtaganden på frivillig basis mellan kommuner och län, alternativt att arbeta med att ta fram underlag för ett bindande nationellt regelverk. Detta är helt avhängigt av hur olika kommunpolitiker, samt politiker på regional och nationell nivå samt övriga opinionsbildare väljer att förhålla sig till dessa resultat.

Det är viktigt att lyfta fram att om samhället inte väljer att följa det åtagande som här föreslås så innebär det att man istället väljer en värld som blir varmare än 2 grader, med alla dess konsekvenser, och att Parisavtalet inte kommer kunna efterlevas, varken på kommunal, länsvis eller nationell nivå.

Eftersom den beräknade utsläppsminskningstaktens storlek skiljer sig så markant från den nationella agendan är det inte troligt att det nationella politiska ramverket kommer anpassas i tid för att på nationell nivå säkerställa utsläppsminskningstakten. Därför är det troligt att *ledarskapet* från de kommuner som anammar målet, i synergi med befintliga konkreta satsningar, strategier och deltagande i nätverk, många gånger delfinansierade med offentliga medel, är nödvändigt för att skapa den omställningstakt som behövs och leda till ökade målsättningar på nationell nivå.

Det finns många goda exempel på att just en kommun eller stad är den effektivaste nivån att tackla många delar av klimatutmaningen på. Kommunen är sannolikt den organisation i samhället som bäst skulle kunna samordna den snabba omställning som behövs för att klara Parisavtalet¹⁸, och länsstyrelsens roll blir i så fall att bidra i det arbetet utifrån sitt uppdrag.

¹⁷ Se <https://utslappsisiffror.naturvardsverket.se/Sok/>

¹⁸ En mer teoretisk genomgång av vilken nivå i samhället som erbjuder störst potential diskuteras här: <https://doi.org/10.31223/osf.io/feaq5>

Metod

Inledning

Rubrikerna nedan innehåller en svensk översättning och i vissa fall nedkortad beskrivning av metodavsnittet i del II.

Utsläppsstatistik

I rapporten används utsläppsstatistik från framförallt Nationell emissionsdatabas (RUS)¹⁹ som kompletteras med utsläpp för *utrikes transporter* bestående av *internationell sjöfart* och *utrikes militär verksamhet* från SCB samt *Svenskarnas internationella flygresor* vilket beräknats vid Chalmers (Kamb & Larsson 2019). Utsläppen i RUS och SCB innehåller endast energirelaterade koldioxidutsläpp²⁰, men utsläppen i rapporten från Chalmers inkluderar även flygets s.k. höghöjdseffekter. Som förtydligande kan nämnas att kategorin *Jordbruk* inte innehåller utsläpp från till exempel traktorer, vilka redovisas under arbetsmaskiner. Andra växthusgaser som metan eller lustgas har inte tagits med som underlag i denna rapport.

RUS använder ett produktionsperspektiv, det vill säga, utsläppen bokförs där de produceras (man kan även tänka genereras). Produktionsperspektivet stämmer väl överens med de territoriella utsläpp som rapporten använder sig av. Vårt att förtydliga är att *transporter* i RUS syftar på alla inrikes transportrelaterade utsläpp, inklusive inrikes flyg. Se del II för kompletterande information.

Arbetsgång

I korthet har metoden för beräkning av länets budget i rapporten innehållit stegen nedan.

Observera att till och med punkt 6 är budgeten den totala mängd koldioxid som får släppas globalt eller uppdelat på land eller länder. I punkt 7 omvandlas denna till ett förslag på utsläppsminskningsskurva, det vill säga, en årlig budget till skillnad från en total budget (1-6):

1. Bestäm vilken typ av bokföring (se nedan) som ska användas – vi har valt territoriella utsläpp samt utsläpp från internationella flyg, inklusive höghöjdseffekten omvandlat till koldioxidequivaler.
2. Beräkna hur stor global budget som finns tillgänglig från och med det år (2020) budgeten ska gälla.
3. Dra bort utsläpp från cementproduktion samt mark och skogsanvändning från den globala budgeten.
4. Dra av utsläpp från icke industrialiserade (icke-OECD) länder, med hänsyn tagen till att dessa först får öka sina utsläpp under några år, för att sedan minska.
5. Det kvarvarande utsläppsutrymmet fördelas mellan OECD-länder utifrån någon princip om rättvis fördelning – vi använder både den egalitära och den befolkningsmässiga principen och tog medelvärdet av dessa.
6. Fördela Sveriges utsläppsutrymme till kommun- eller länsnivå baserat på en rättvis fördelningsnyckel – vi valde grandfathering.
7. Omsätt budgeten till årliga budgetar som tillsammans håller sig inom den totala budgeten²¹.

¹⁹ <http://extra.lansstyrelsen.se/rus/Sv/statistik-och-data/nationell-emissionsdatabas/Pages/default.aspx>

²⁰ <http://extra.lansstyrelsen.se/rus/SiteCollectionDocuments/Statistik%20och%20data/Nationell%20emissionsdatabas/>

Metod-och-kvalitetsbeskrivning-SMED-Rapport-Nr-10-2018.pdf

²¹ För åren 2017-2019 har vi uppskattat mängden koldioxidutsläpp utifrån tidigare år

Bokföring av utsläpp

(Se även Box 1. *Territorial vs Consumption Emissions*, i del II)

Det finns två sätt att mäta utsläpp – territoriellt och konsumtionsbaserat²². Vid beräkning av territoriella utsläpp räknar man i vilket land eller område utsläppet sker fysiskt. Vid beräkning av konsumtionsbaserade utsläpp utgår man istället från var den person eller organisation verkar som indirekt orsakar utsläppet. De senaste trettio åren har Sveriges territoriella utsläpp minskat, samtidigt som det konsumtionsbaserade utsläppet ökat markant, det vill säga, utsläppen har till större del flyttat utomlands. Metodmässigt är det lättare att använda territoriella eftersom dessa utsläpp är lättare att följa upp och beräkna. Fördelen är också att när man befinner sig på landsnivå, så är den politiska rådigheten över utsläppen oftast stor. Men, det är viktigt att säkerställa att minskningar i territoriella utsläpp inte beror på att utsläppen flyttar någon annanstans, därför bör man använda sig av båda perspektiven för en fullständig bild.

Fördelning av utsläppsutrymme

(Se även *Allocation Principles Considered for this Report*, i del II)

Det finns ett antal olika sätt att resonera kring vad som är ett rättvist sätt att dela på utsläppsutrymme som finns kvar för att klara Parisavtalet. Nedan följer fyra principer som föreslagits (Rose, Stevens, Edmonds, & Wise,

1998), egalitära principen, suveränitetsprincipen, utsläpparen-betalar samt förmåga-att-betala.

1. Den egalitära principen utgår från att alla personer har samma rätt att släppa ut. Utsläppsutrymme i ett delområde blir då direkt proportionellt med andelen personer som bor i delområdet jämfört med hela området.
2. Suveränitetsprincipen, grandfathering (eng.), säger istället att det är hur mycket som släpps ut i delregionen som utgör grunden för hur mycket som får släppas ut i framtiden. Om det skiljer sig mycket mellan regioner, till exempel beroende på olika typer av industri, blir detta ett pragmatiskt sätt att beräkna.
3. Alternativet utsläpparen betalar innebär istället att ju mer man släpper ut, desto snabbare ska utsläppsminskningen gå. Till exempel kan man använda inversen av utsläpp per capita som parameter för att fördela utsläppsutrymme.
4. Förmåga-att-betala innebär istället att regioner med hög ekonomisk aktivitet anses ha högre förmåga att minska sina utsläpp, och får därför ta en större andel av utsläppsminskningarna.

För fördelning inom Sverige har vi i rapporten använt metod 2. Vi har också kort undersökt möjligheten att inkludera 4, förmåga-att-betala, men valt att inte göra det i denna rapport. Detta medför att alla Sveriges län och kommuner får samma förminskningstakt.

²² Vissa inkluderar även produktionsbaserade utsläpp vilket motsvarar utsläpp från alla landets aktörer. I Sveriges fall skulle det motsvara utsläpp från svenska företag och personer både utanför och innanför Sveriges gränser. Se <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar->

Referenser

- Anderson, K., & Bows, A. (2011). Beyond “dangerous” climate change: emission scenarios for a new world. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1934), 20–44.
- Anderson, K., & Peters, G. (2016). The trouble with negative emissions. *Science*, 354(6309), 182–184.
- Anderson, K., Stoddard, I., & Schrage, J. (2017). *Koldioxidbudget och vägar till en fossilfri framtid för Järfälla kommun*.
- IPCC. (2014). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC. (2018). *IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C - Summary for policy makers*. (October 2018).
- Jungbluth, N., & Meili, C. (2018). *Aviation and Climate Change: Best practice for calculation of the global warming potential*. Schaffhausen, Switzerland.
- Kamb, A., & Larsson, J. (2019). *Climate footprint from Swedish residents ' air travel*.
- Kuriakose, J., Anderson, K., Broderick, J., & McLachlan, C. (2018). *Quantifying the implications of the Paris Agreement for Greater Manchester*. (March), 35.
- Rose, A., Stevens, B., Edmonds, J., & Wise, M. (1998). International Equity and Differentiation in Global Warming Policy: An Application to Tradable Emissions Permits. *Environmental and Resource Economics*, 12, 25.
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., ... Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.