

A photograph of a solar farm with two rows of dark solar panels mounted on a metal structure. The panels are situated behind a large field of golden wheat. In the background, there are green trees and a utility pole with power lines under a blue sky with light clouds.

Effekten af biobrændslers klimabelastning på el- og fjernvarmesektorens emissionsfaktorer

En del af Veje til biobaseret byggeri

Denne rapport er udarbejdet af Artelia Rådgivende Ingeniører som et led i indsatsen 'Veje til biobaseret byggeri'. Her undersøges, hvordan biobase-rede byggematerialer kan få en central plads i fremtidens danske byggeri og hvad det vil betyde for den fremtidige arealanvendelse, miljøpåvirkning. Dette sker sammen med eksperter og brancheaktører fra Aarhus Universi-tet, Københavns Universitet, Aalborg Universitet, Det Kongelige Akademis Arkitektskole, Smith Innovation, Artelia rådgivende ingeniører og JAJA Ar-chitects.

Realdania skal have en tak for deres støtte til projektet, som har muliggjort tilblivelsen af rapporten.

Forside:

AU Viborg Foulum.

Kreditering: Steffen Stamp for Realdania.

Udgivelsesdato:

September 2024

Forfattere:

Rasmus Søgaard

Mathilde Sørensen Nilsson

Steffen Maagaard



Støttet af:



Indholdsfortegnelse

1	Begrebsforklaring.....	4
2	Opsummering	5
3	Indledning.....	7
4	Formål	9
5	Energiforsyningen	9
6	Biobrændsler til energiformål.....	12
7	Arealbehov	13
8	Modellering af emissionsfaktorer til anvendelse i byggebranchen	16
8.1	Beregningsmetode for biogent kulstof.....	16
8.1.1	Halm, træ- og biomasseaffald samt restprodukter fra landbruget	16
8.1.2	Træpiller og træflis.....	16
8.1.3	Af rapporteringssektor ifm. NDC	16
8.2	Allokering af klimapåvirkninger	18
9	Scenarier for biogene ressourcer fra skoven.....	18
9.1	Træ- og biomasseaffald, træpiller og træflis	18
10	Scenarier for biogene ressourcer fra landbruget.....	19
10.1	Halm	19
10.2	Biogas.....	20
11	Affaldssektoren.....	21
12	Baggrundsemissionsfaktorer	21
13	Scenarieanalyse af emissionsfaktorer	23
14	Eksempel på betydning af emissionsfaktoren i byggeriet.....	26
15	Referencer	27
16	Bilag	29
16.1	Direkte emissioner fra biobrændsler	29
16.1.1	Biogas.....	29
16.1.2	Træpiller og træflis.....	29

1 Begrebsforklaring

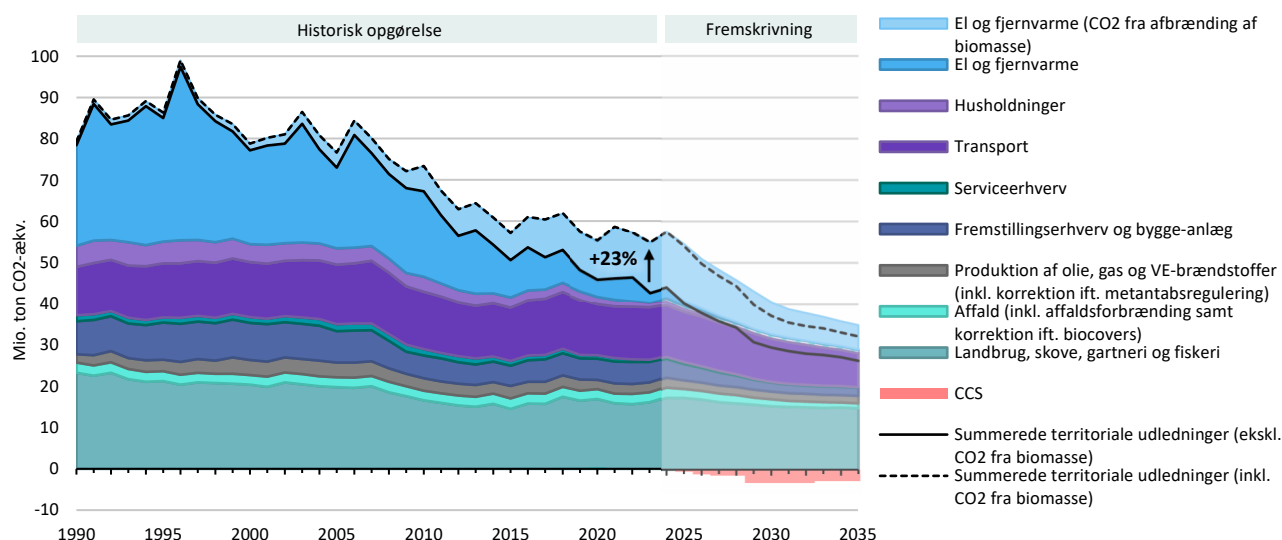
Nøglebegreber	Forklaring
Betragtningsperiode	Betragtningsperioden definerer den periode, hvorover emissionsfaktorerne er fastlagt. I nærværende analyse er betragtningsperioden 2025-2050, og resultatet af analysen udtrykkes som en gennemsnitlig emissionsfaktor for denne periode.
BR25	BR25 refererer til Bygningsreglementet gældende fra 2025. I BR25 opdateres emissionsfaktorerne for el, fjernvarme og ledningsgas, som anvendes til eftervisning af Bygningsreglements klimakrav. Opdateringen er udført i overensstemmelse med EN 15804 + A2 og RED, hvorfor klimabelastningen fra biogene brændsler i energiproduktionen er fastsat til nul. For nærmere beskrivelse forudsætninger for emissionsfaktorerne, se publikation (Emissionsfaktorer - El, fjernvarme og ledningsgas 2025-2075, 2023).
Procesudledninger	Procesudledninger er klimapåvirkninger forbundet med produktion og transport af brændsler til energiproduktionen.
Økonomisk allokering (Ø÷CO₂)	Økonomisk allokering er en metode til at fordele klimapåvirkningen fra en proces med flere produkter. Klimapåvirkningerne allokeres ud fra den økonomiske værdi, som de forskellige produkter har. Den direkte emission fra afbrænding af biogent kulstof er ikke inkluderet i klimapåvirkningen.
Masse allokering (M÷CO₂)	Masse allokering er en metode til at fordele klimapåvirkningen fra en proces med flere produkter. Klimapåvirkningerne allokeres ud fra mængden (fx kg) af de forskellige produkter. Den direkte emission fra afbrænding af biogent kulstof er ikke inkluderet i klimapåvirkningen.
Direkte udledninger ved afbrænding	Direkte udledninger ved afbrænding referer til den øjeblikkelige udledning af drivhusgas til atmosfæren, der sker ved afbrænding af biogene ressourcer. Der tages således der ikke højde for CO ₂ optag under den biomassens vækst, halveringstid eller alternative ruter (f.eks. den CO ₂ udledning der ellers havde fundet sted ved biomassens 'normale' rute).
Bruttoudledninger – Økonomi (Ø+CO₂)	Bruttoudledninger – økonomi er en summering af procesudledninger ved økonomisk allokering hvor de direkte udledninger ved afbrænding er medregnet.
Bruttoudledninger – Masse (M+CO₂)	Bruttoudledninger – masse er en summering af procesudledninger ved masseallokering hvor de direkte udledninger ved afbrænding er medregnet.

2 Opsummering

Denne rapport undersøger biobrændsler betydning for energiforsynings emissionsfaktorer med fokus på den faktiske udledning af drivhusgasser, når biomasse til energiformål ikke betragtes som klimaneutral. Under denne forudsætning adresserer rapporten tre centrale spørgsmål:

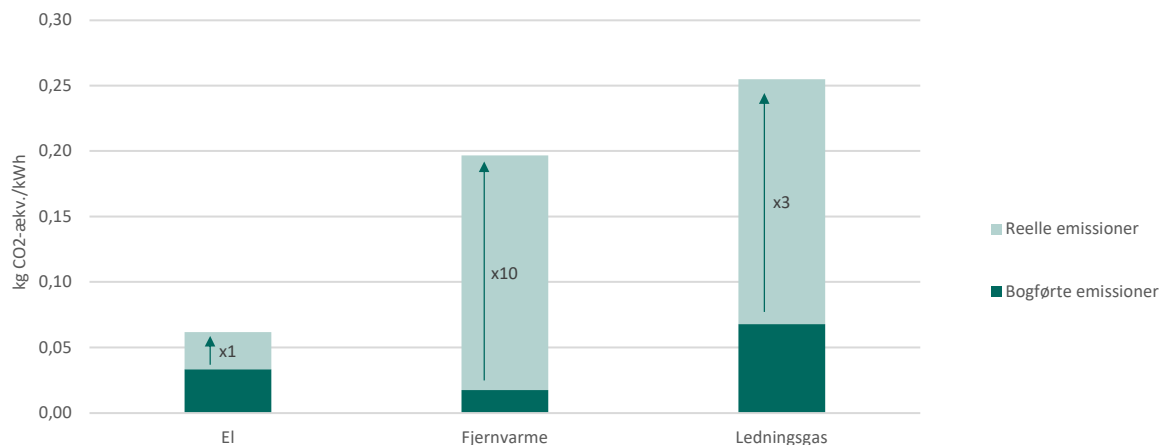
1. Hvad er emissionsfaktorerne til anvendelse i bygnings-LCA for el, fjernvarme og ledningsgas?
2. Hvad er Danmarks territoriale klimabelastning?
3. Hvor stort er arealbehovet til det danske biomasseforbrug til energiproduktion?

Som et resultat af Danmarks forpligtelser til at reducere udledningen af drivhusgasser til atmosfæren, er Danmark de sidste 10 år lykkedes med at reducere klimabelastningen fra energisektoren. Reduktionen er primært sket gennem udfasning af fossile brændsler og ved introduktion af vind, sol og biomasse. Biomasse til energiproduktion regnes ifølge FN's bogføringsregler som klimaneutral, da klimabelastningen afrapporteres i sektoren for "arealanvendelse, ændringer i arealanvendelse og skovbrug" (LULUCF) i det land, hvor biomassen er høstet. I 2022 var over 80 % af Danmarks biomasseforbrug i energisektoren importeret fra udlandet, og hvis man tager højde for den klimabelastning, som tilskrives eksportlandene, ville Danmarks territoriale udledning af drivhusgasser stige med over 20 %.



Figur 1. Historisk opgørelse samt fremskrivning af Danmarks territoriale udledning af drivhusgasser hhv. beregnet med og uden direkte emissioner fra afbrænding af biomasse i perioden 1990-2035 (Energistyrelsen, 2023).

Anvendelsen af træbiomasse til energiproduktion anses kun som en "overgangsteknologi" i Danmark, hvorfor biomasseforbruget frem mod 2050 reduceres kraftigt. Udfasningen sker dog langsomt og har stor betydning for, hvor "grønt" vi opfatter vores energiproduktion, og dermed også for emissionsfaktorerne for el, fjernvarme og ledningsgas. Rapporten viser, at de gennemsnitlige emissionsfaktorer (gældende fra 2025 ifølge Bygningsreglementet) over en 50-årig periode stiger med hhv. en faktor 1 for el, en faktor 10 for fjernvarme og en faktor 3 for ledningsgas, når de direkte emissioner fra afbrænding af biomasse medregnes. I bygnings sammenhæng har dette stor betydning for resultatet af de obligatoriske LCA-beregninger, der fra 2023 blev et lovkrav i Bygningsreglementet. Anvendes de emissionsfaktorer, som ifølge Bygningsreglementet skal anvendes fra 2025, betyder driften af en bygnings-LCA ca. 10 % for en specifik case, mens driften inkl. direkte emissioner udgør over 50 % og øger resultatet af den samlede bygnings-LCA med ca. 100 %.



Figur 2. Gennemsnitlige emissionsfaktorer for el, fjernvarme og ledningsgas til anvendelse i bygnings-LCA (2025-2075) hhv. med og uden direkte emissioner fra afbrænding af biobrændsler.

Rapportering af biomasse som CO2-neutralt brændsel til energiproduktion skævvrider således opfattelsen af dens faktiske miljøpåvirkning og afspejler heller ikke det pladsbehov, som særligt træbiomasse kræver.

Med Danmarks aktuelle (2022) behov for træbiomasse til territorial energiproduktion, ville det, med den nuværende hugst til energiformål i danske skove, kræve et skovareal på omkring 1,4 mio. Ha til fjernvarmeproduktion og 1,8 mio. Ha til elproduktion. Samlet set svarer dette til, at 75 % af Danmarks areal skulle være skov, og at vi årligt skulle producere træflis fra træer, der tilsammen ville optage et areal på lige over 100.000 ha.

Dette arealbehov kan Danmark ikke selv levere, hvorfor det også vurderes, at Danmarks forbrug af biomasse er ca. tre gange så stort, som det er ressourcemæssigt forsvarligt (Concito, 2020; Klimarådet, 2018). Dette understreger vigtigheden af, at biomasse som overgangsteknologi væk fra fossile brændsler ikke kan skaleres til resten af verden, da det ville medføre alvorlige konsekvenser for den globale klimabelastning, arealanvendelse og tab af biodiversitet. I forlængelse af dette kan der således argumenteres for at Danmarks fremtidige biomasse behov bør kunne dækkes af en territorial produktion for ikke at belaste andre landes arealanvendelse og klimaregnskab.

Rapporten understreger således behovet for en mere nuanceret tilgang til rapportering af biomasse, så vi kan træffe informerede beslutninger om energiproduktion og undgå en overvurdering af biomassens rolle som en bæredygtig energikilde i den grønne omstilling.

3 Indledning

I de senere år er det blevet stadig mere klart, at klimaforandringer er en uundgåelig realitet med betydelige konsekvenser for både miljø og folkesundhed. Gennem årtier har internationale aftaler som Kyoto-protokollen og Parisaftalen markeret vigtige skridt i bestræbelserne på at håndtere klimaforandringer og understreget nødvendigheden af at reducere udledningen af drivhusgasser.

Kyoto-protokollen, som blev indgået i 1997 af 192 lande herunder Danmark, var den første internationale bindende aftale om at reducere udledningen af drivhusgasser. Aftalen understregede betydningen af at reducere emissionerne af skadelige drivhusgasser såsom CO₂, metan og lattergas for at modvirke den globale opvarmning og pålagde de industrialiserede lande at reducere deres samlede udledning af drivhusgasser med 5% i perioden 2008-2012 (United Nations, 1998; Energistyrelsen, 2024).

Som opfølgning på Kyoto-protokollen blev Parisaftalen udarbejdet i 2015. Denne aftale indeholder en handlingsplan for at begrænse den globale temperaturstigning til under 2°C sammenlignet med det førindustrielle niveau, samt at arbejde for at begrænse temperaturstigningen til 1,5°C. Aftalen forpligter alle underskrivende lande herunder Danmark til at arbejde sammen om at reducere udledningen af drivhusgasser og at tilpasse sig til de uundgåelige virkninger af klimaforandringerne (Energistyrelsen, 2024; United Nations, 2015).

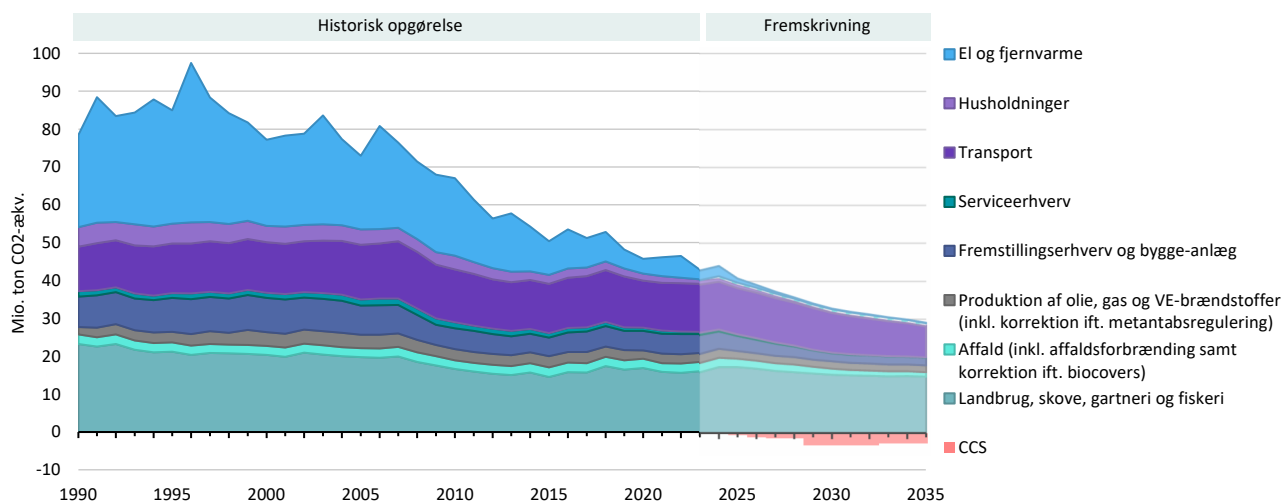
På nationalt niveau er budskaberne og de bindende mål i Kyoto-protokollen og Parisaftalen indarbejdet i LBK nr. 2580 af 13/12/2021, bedre kendt som klimaloven. Denne lov opstiller specifikke mål for hvor meget udledningen af drivhusgasser skal reduceres over tid og pålægger desuden Danmark at agere som et grønt foregangsland. Til at kontrollere klimaindsatsen udgiver Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet hvert år rapporten "Klimastatus og -fremskrivning", som er en løbende opfølgning og evaluering af regeringens arbejde med at indfri klimalovens målsætning¹.

I den seneste udgave af "Klimastatus- og fremskrivning" fra 2023, opgøres Danmarks samlede territoriale udledninger for perioden 1990-2023 fordelt på sektorer (Energistyrelsen, 2023). Herudover fremskrives udledningen af drivhusgasser frem til 2035, se Figur 3.

Som det ses af den historiske opgørelse, har el- og fjernvarme-sektoren generelt haft store bidrag til Danmarks samlede udledning af drivhusgasser, men har de sidste 10 år formået at reducere sin andel væsentligt sammenholdt med de resterende sektorer. Reduktionerne er primært sket gennem udfasning af fossile brændsler (særligt kul) og ved introduktion af vind, sol og biomasse, som alle jf. EU og FN's bogføringsregler betragtes som vedvarende og klimaneutrale energikilder, se Figur 4 (Energistyrelsen, 2020).

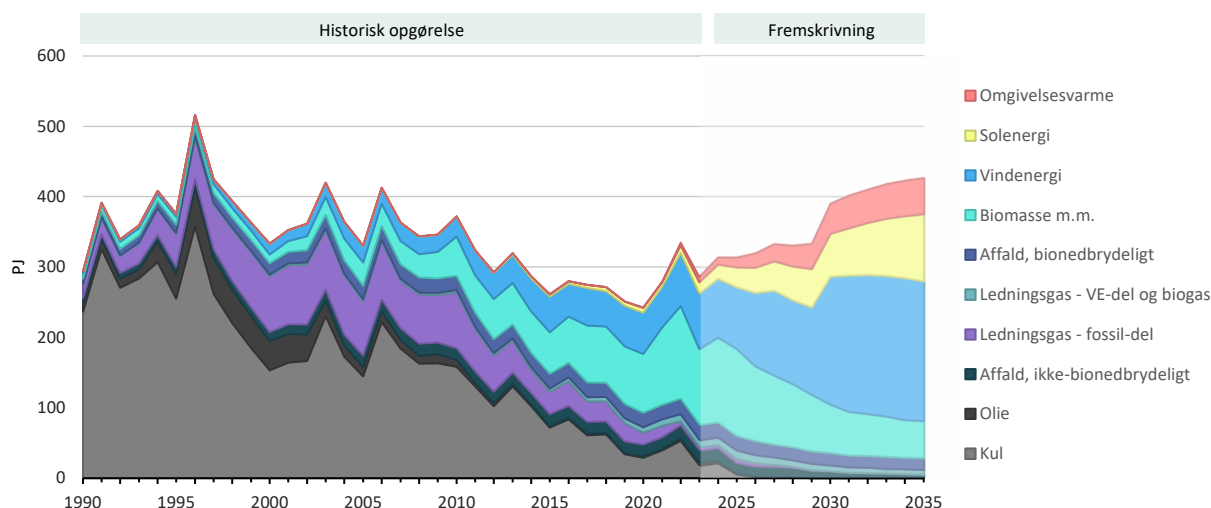
Særligt biomasse er en attraktiv erstatning for fossile brændsler, da det er en stabil og vedvarende energikilde, hvorimod sol og vind er afhængige af vejrforhold. Biomasse omfatter organisk materiale som træ, affald og landbrugsprodukter, og har fået en helt central rolle i den danske energiforsyning. Således har omlægningen af energisektoren medført, at Danmarks forbrug af biomasse til energiformål er blandt de højeste pr. indbygger på verdens plan.

¹ Danmarks udledning af drivhusgasser skal i 2030 være reduceret med 70% sammenholdt med niveauet i 1990 (Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2021).



Figur 3 Historisk opgørelse samt fremskrivning af Danmarks territoriale udledning af drivhusgasser i perioden 1990-2035 (Energistyrelsen, 2023). Grafen er simplificeret ved at ekskludere enkelte datasæt (Korrektioner: Forventet reduktion fra metantabsregulering, Forventet reduktion fra biocovers, Statistisk diff. ift. DCE i historiske år), da disse har mindre betydning.

Trods biomassens evne til at optage og frigive CO₂ under vækst hhv. afbrænding, foreligger en massiv kritik af, hvordan biomasse anvendes og betragtes i energisektoren. Forskere har i flere år gjort opråb mod anvendelsen af biomasse som energikilde. Dette kulminerede i 2018, hvor over 750 forskere underskrev et brev og sendte dette til EU Parlamentet som en protest mod afbrændingen af træbiomasse (Letter from scientists to the EU parliament regarding forest biomass, 2018). Kritikken omhandler blandt andet ineffektiviteten af at afbrænde træbiomasse og den højere kulstofudledning til atmosfæren pr. energienhed sammenlignet med fossile brændsler. Argumentationen om at genetablering af skov over tid vil fange samme mængde kulstof tager imidlertid ikke højde for den yderligere kulstofbelastning, som sker ved udledning til atmosfæren i dag – også kaldet 'kulstofgæld'.



Figur 4 Energiproduktion fordelt på brændsler i el- og fjernvarmesektoren (inkl. affaldsforbrænding) 1990-2035 (Energistyrelsen, 2023)

4 Formål

Med baggrund i ovenfor nævnte kritik, undersøges i nærværende rapport, betydningen af de direkte CO₂-udledninger forbundet med afbrænding af biomasse. Betydningen analyseres gennem variant-analyser af "Emissionsfaktorer for el, fjernvarme og ledningsgas 2025-2075", som er udarbejdet af Artelia for Social- og Boligstyrelsen (Artelia A/S, 2023).

Analysens relevans skal ses i sammenhæng med indførelsen af et klimakrav i Bygningsreglementet, som trådte i kraft i januar 2023. Kravet indebærer, at nye bygningers klimapåvirkning skal beregnes og dokumenteres ved hjælp af en livscyklusvurdering (LCA). Dette krav er rettet mod hele bygningens livscyklus, som består af fire faser: produktion, anlæg, drift og bortskaffelse. Driftsfasen, som er defineret af modul B6 iht. EN 15978, inkluderer byggeriets energiforbrug over en periode på 50 år og skal dokumenteres ved anvendelse af de førnævnte emissionsfaktorer for el, fjernvarme og ledningsgas.

På grund af den grønne omstilling reduceres klimabelastningen fra energiproduktionen over tid, hvorfor emissionsfaktorerne er blevet opdateret til at afspejle denne omstilling. De opdaterede værdier skal først anvendes fra 2025 men viser markante reduktioner i klimabelastningen sammenholdt med de tidligere anvendte emissionsfaktorer. Dette skyldes primært en opdatering i fremskrivningen af Danmarks energisystem, hvor vedvarende energikilder fortsat får en større rolle.

Emissionsfaktorerne er bestemt efter samme beregningsmetode, som anvendes i EN 15804 + A2 og dermed også det samme beregningsgrundlag, der anvendes til eftervisning af bygningers klimabelastning jf. Bygningsreglementet.

I nærværende rapport ønskes den faktiske udledning af drivhusgasser til atmosfæren ifm. den danske energiproduktion undersøgt uagtet forudbestemte regneregler:

1. Jf. EU's og FN's bogføringsregler skal biomasses biogene CO₂-udledning sættes til 0, når det anvendes til energiformål.
2. Jf. EN 15804 + A2 regnes affald som klimaneutral, da det antages, at disse emissioner er medtaget i forrige produktsystem.

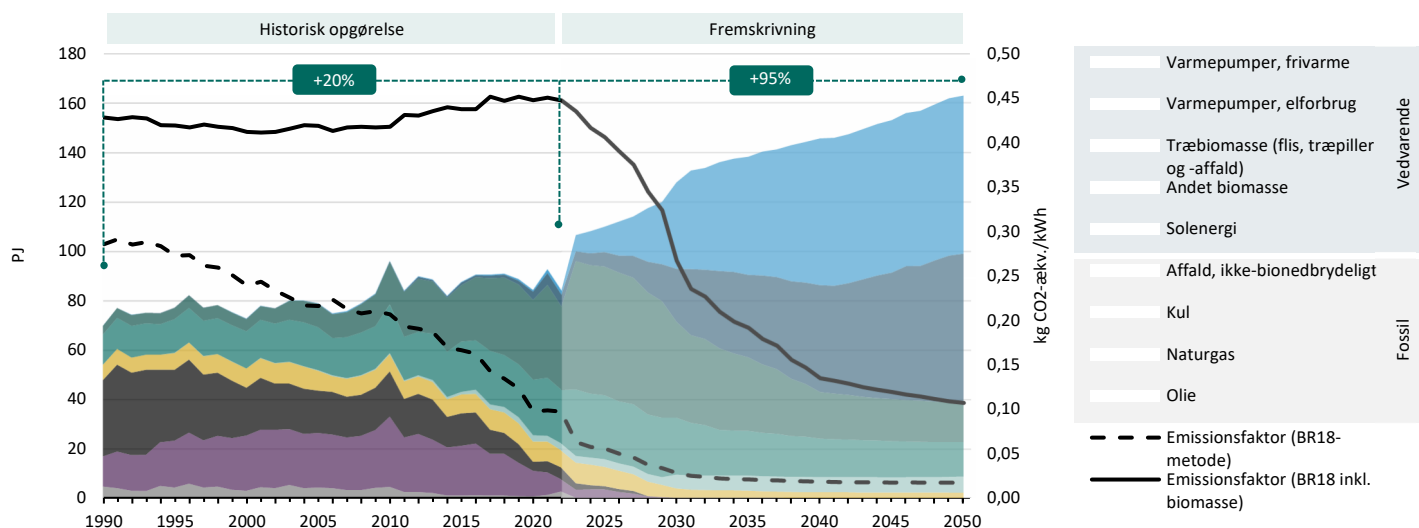
I projektet ønskes følgende undersøgt:

1. Hvad er klimabelastningen fra el, fjernvarme og ledningsgas, hvis det biogene kulstof i biobrændsler ikke anses som værende klimaneutral?
2. Hvad er Danmarks territoriale klimabelastning, hvis det biogene kulstof i biobrændsler ikke anses som værende klimaneutral?
3. Hvor stort er arealbehovet til det danske biomasseforbrug til energiproduktion?

5 Energiforsyningen

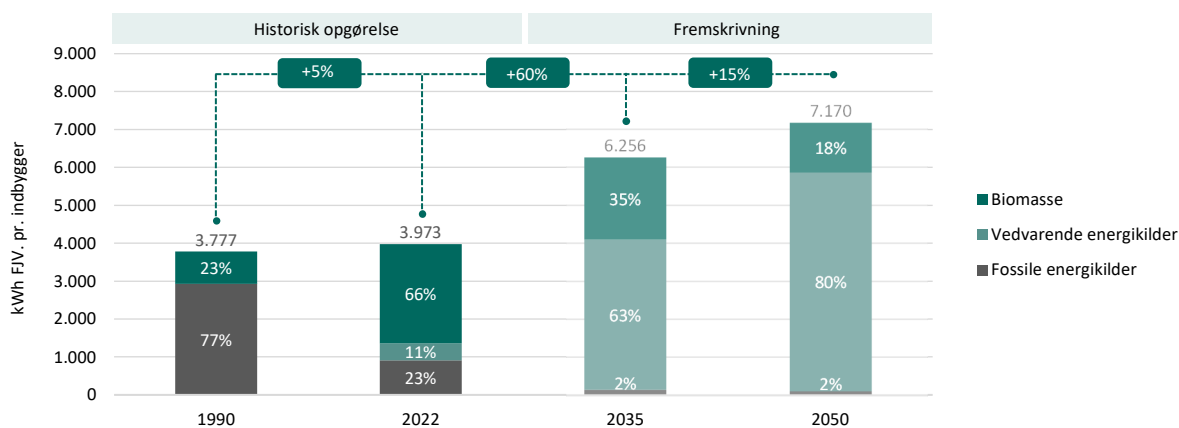
Udarbejdelsen af de opdaterede emissionsfaktorer gældende fra 2025 er baseret på Energistyrelsens fremskrivning "Analyseforudsætning til Energinet 2022" (AF22) (Energistyrelsen, 2023a), som bygger på politiske målsætninger, eksisterende anvendte energikilder samt elhandel (import og eksport) med de omkringliggende lande Sverige, Norge, Tyskland, Holland og Storbritannien.

Figur 5 viser den historiske opførelse samt den forventede udvikling af energikilder i fjernvarmeproduktionen samt den resulterede emissionsfaktor hhv. med og uden direkte emissioner fra afbrænding af biomasse. Som det ses, er fjernvarmeproduktionen fra 1990 til 2022 steget 20 % mens produktionen frem mod 2050 forventes at øges yderligere 95%. I denne proces forventes varmepumper at få en større og dominerende rolle i produktionen samtidig med at anvendelsen af biomasse reduceres med 2/3 frem mod 2050.



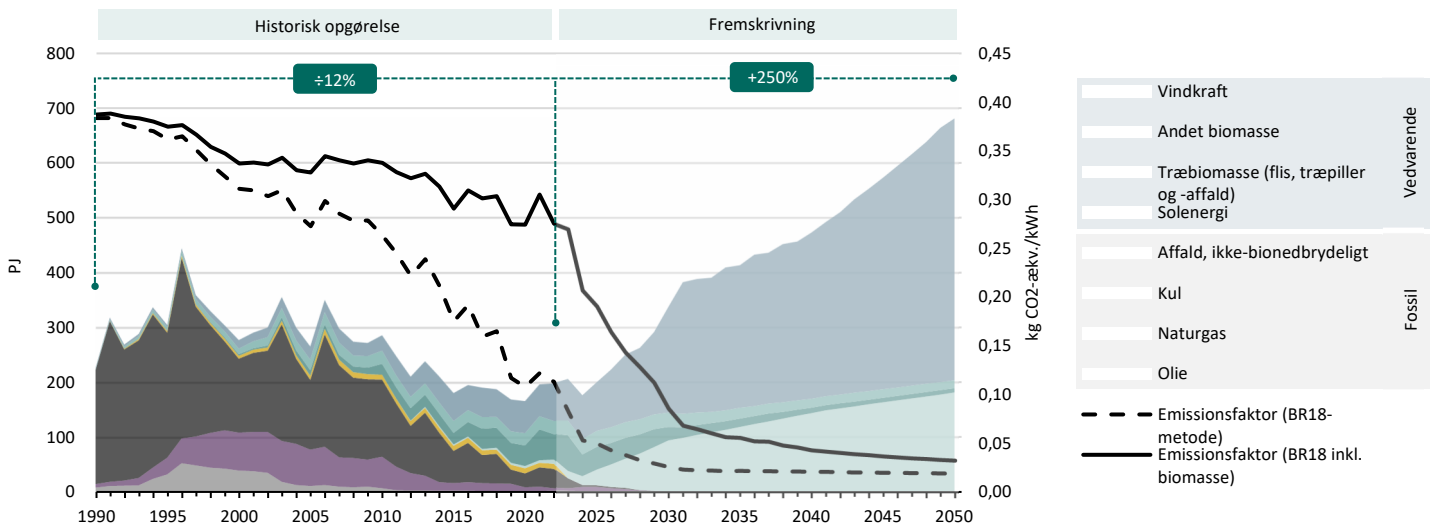
Figur 5. Historisk opførelse samt forventet territorial fjernvarmeproduktion fordelt på energikilder og resulterende emissionsfaktor (Energistyrelsen, 2022) (Energistyrelsen, 2023a)

Opgøres fjernvarmeforbruget pr. indbygger, ses det af figur 4, at forbruget pr. indbygger fra 1990 til 2022 kun er steget 5%, men fjernvarmesektoren har omstillet produktionen fra hovedsageligt at være baseret på fossile energikilder til hovedsageligt at være baseret på vedvarende energikilder og biomasse. Frem mod 2035 og 2050 forventes fjernvarmeforbruget pr. indbygger at stige op mod 90% sammenlignet med forbruget i 1990. Produktionen vil primært udbygges med vedvarende energikilder i form af varmepumper, mens biomassen anses som en overgangsteknologi, der langsom udfases. Anvendelsen af biomasse falder således ca. 15% i perioden 2022-2035 og med 50% frem mod 2050. Samtidig er de fossile energikilder stort set udfaset i både 2035 og 2050.



Figur 6. Historisk opførelse samt forventet fjernvarmeforbrug pr. indbygger (Energistyrelsen, 2022) (Energistyrelsen, 2023a).

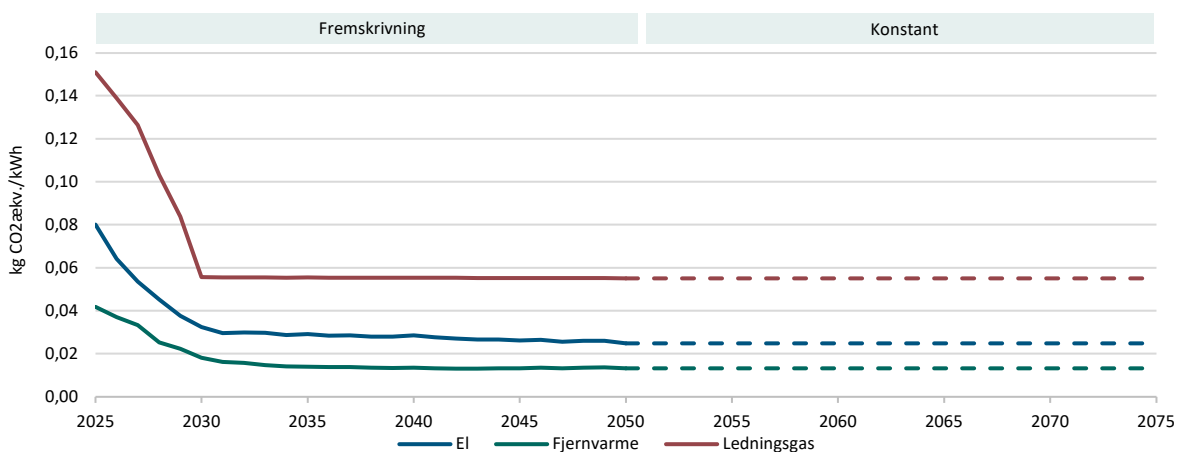
Figur 7 viser den historiske opgørelse samt den forventede udvikling af energikilder i den territoriale elproduktion samt den resulterede emissionsfaktor hhv. med og uden direkte emissioner fra afbrænding af biomasse. Som det ses, er elproduktionen fra 1990 til 2022 faldet 12 % mens produktionen frem mod 2050 forventes at øges 250 %. Udbygningen af produktionen forventes primært at ske med vindmøller og solceller, men de fossile brændsler forventes udfaset inden 2030.



Figur 7. Historisk opgørelse samt forventet territorial elproduktion fordelt på energikilder og resulterende emissionsfaktor (Energistyrelsen, 2022) (Energistyrelsen, 2023a)

På baggrund af tallene bag Figur 5 og Figur 7 er emissionsfaktorerne for el, fjernvarme og ledningsgas 2025-2075 (Artelia A/S, 2023) udarbejdet. Disse emissionsfaktorer agerer som baseline i nærværende rapport. For nærmere beskrivelse af forudsætninger samt antagelser for emissionsfaktorerne se rapporten (Emissionsfaktorer - El, fjernvarme og ledningsgas 2025-2075, 2023). Særligt for el skal der dog gøres opmærksom på, at emissionsfaktorerne vist på figur 5 er den territoriale emissionsfaktor for elproduktion og således ikke inkluderer import og eksport af el til nabolande.

Figur 8 viser emissionsfaktorerne for el (inkl. import og eksport), fjernvarme og ledningsgas for perioden 2025-2075. Fremskrivningen af Danmarks energiforsyning går kun frem til 2050, hvorfor emissionsfaktoren herefter antages konstant.



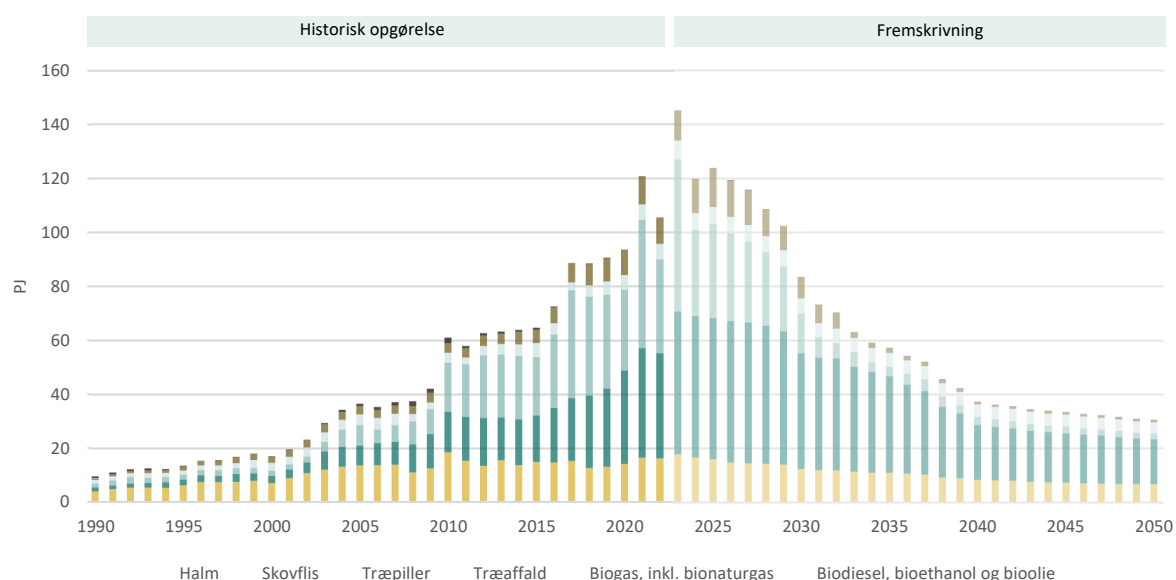
Figur 8 Emissionsfaktorer for el, fjernvarme og ledningsgas 2025-2075 (Artelia A/S, 2023)

6 Biobrændsler til energiformål

Biobrændsler er en stabil og attraktiv energikilde, som kan bruges ved behov og dermed være med til at balancere både el- og fjernvarmenettet. I tillæg til dette optager biobrændsler kulstof i vækstperioden som resultat af fotosyntesen, ligesom der bindes kulstof i jorden. Det optagne kulstof frigives igen ved afbrænding eller naturlig nedbrydning, hvorfor biobrændsler betragtes som klimaneutrale. Det er dog ikke implicit, at kulstofoptaget modsvarer den senere frigivelse ved afbrænding. Dette skyldes bl.a. tidsperspektivet i omsætningen af kulstof i biomassen, hvor den naturlige vækst og optag sker over årtier, mens afbrænding og den resulterende kulstofudledning sker øjeblikkeligt. Tidsperspektivet er væsentligt, da det, for at sænke eskaleringen af klimaforandringerne, er afgørende at reducere koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren i dag. Udledningen af kulstof til atmosfæren er dog paradoksalt nok oftest højere ved afbrænding af biomasse end fossile brændsler pga. forskel i brændslernes energitæthed (Energistyrelsen, 2024).

Danmarks anvendelse af biomasse i energiforsyningen har siden 1990 været stigende. Dette har medvirket til væsentlige reduktioner af energisektorens klimabelastning, men det har samtidig medført, at Danmark har gjort sig afhængige af biobrændsel. Figur 9 viser det opgjorte forbrug af biobrændsler i el- og fjernvarmesektoren siden 1990 samt forventningerne til forbruget frem til 2050. Det ses at biobrændselsforbruget har været stigende frem til 2023, men at det herefter forventes at aftage gradvist.

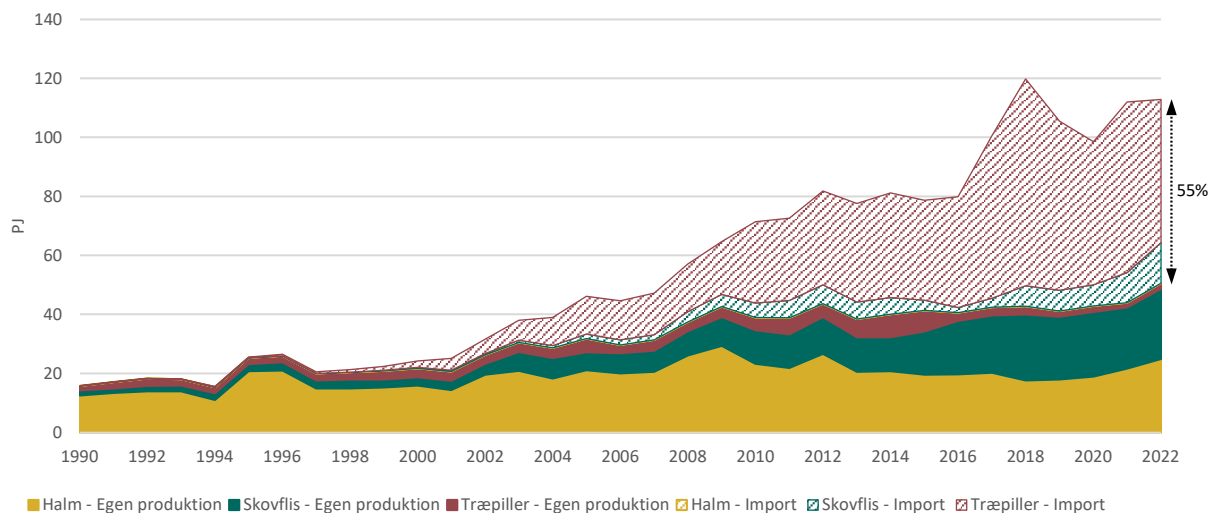
Særligt træpiller og træflis udgør en væsentlig andel af biobrændslerne i den kollektive danske energiforsyning. Disse to brændsler er samtidig brændsler, som Danmark i stor stil importerer (Danmarks Statistik, 2024). I 2020 importerede Danmark således omkring 75% af det samlede forbrug af træpiller og træflis fra særligt de baltiske lande men også andre europæiske lande, Rusland og USA (Energistyrelsen, 2022)



Figur 9 Anvendelse af biobrændsler i el- og fjernvarmesektoren. Historiske data: (Energistyrelsen, 2022), fremskrevne data: (Energistyrelsen, 2023).

Ses der på det samlede forbrug af biomasse i Danmark (inkl. individuel varme i husstande) er der en generel tendens til at mængden af importeret biomasse er steget i takt med et øget energiforbrug.

Figur 10 viser denne udvikling, hvor importen er gået fra 0 % i 1990 til 55% i 2022. I denne forbindelse er det væsentligt at nævne at arealanvendelsen til den importerede biomasse ikke indgår i Danmarks sektorafrapportering, hvilket beskrives nærmere i afsnit 8.1.



Figur 10 Danmarks samlede egenproduktion og import af biomasse (Danmarks Statistik, 2024).

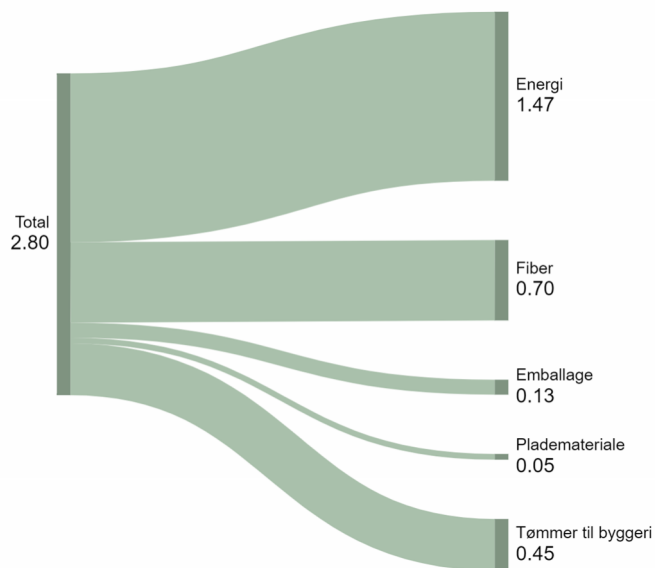
7 Arealbehov

Produktion af biobrændsler er en arealkrævende industri, som med Danmarks nuværende forbrug optager et stort areal både indenfor og udenfor Danmarks grænser. Areal er dog en begrænset ressource, som både vi og naturen er afhængige af, hvorfor arealanvendelsen er nødt til at indgå i vurderingen af biobrændsleres berettigelse i energiforsyningen.

I 2022 udgjorde biomasse ca. 40% af brændslerne til den danske el- og fjernvarmeproduktion (Energistyrelsen, 2023), hvilket pr. indbygger er et af de højeste forbrug på verdensplan og ca. tre gange så stort, som det er ressourcemæssige forsvarligt (Concito, 2020; Klimarådet, 2018). Skaleres Danmarks biomasseforbrug til resten af verden, ville det medføre et betydeligt pres på landarealer og få alvorlige konsekvenser for Jordens arealanvendelse og CO₂-optaget i skovene. Der kan således argumenteres for at Danmarks fremtidige biomasse behov bør kunne dækkes af en territorial produktion.

Problemet opstår, når nye arealer inddrages til dyrkning af biobrændsler og dermed fortrænger arealer til natur eller anden produktion som eksempelvis fødevarerproduktion. Dette fænomen kaldes indirect land use change (iLUC) og refererer til de utilsigtede konsekvenser, der opstår, når efterspørgslen efter visse landbrugs- eller biobrændstofprodukter ændrer arealanvendelsesmønstre andre steder. Hvis der fx afsættes mere jord til dyrkning af biobrændsler, kan det forskyde dyrkningsområder for fødevarer, hvilket, for at kompensere for tabet af fødevarerproduktion, kan føre til omdannelse af skove eller græsarealer til landbrugsjord. Dette kan have konsekvenser for den lokale natur og biodiversitet, hvis efterspørgslen på yderligere landbrugsarealer presser urørte naturområder, hvor biodiversiteten trives. Balancen mellem energi- og fødevarerproduktion samt beskyttelse af naturlige habitater er derfor afgørende for en bæredygtig fremtid.

For at illustrere hvor stort et areal biomasseproduktion optager, er der regnet på hvor stor en skov der er nødvendig for at levere den anvendte træbiomasse i den danske fjernvarme- og elproduktion. Baseret på input fra Nicklas Scott Bentsen og Thomas Nord-Larsen, Københavns Universitet, er der taget udgangspunkt i produktion af skovflis fra den danske skovsammensætning i 2022 (blandet løv- og nåleskov). Her var den gennemsnitlige hugst 2,8 tons tørstof/Ha pr. år hvoraf 1,5 tons gik til energiformål som skovflis. Herudover leveres også træ til hhv. konstruktionstømmer, fiber, emballage og plademateriale som illustreret på Figur 11.



Figur 11. Gennemsnitlig hugst i tons tørstof/Ha pr. år fra gennemsnitlig dansk skov 2022

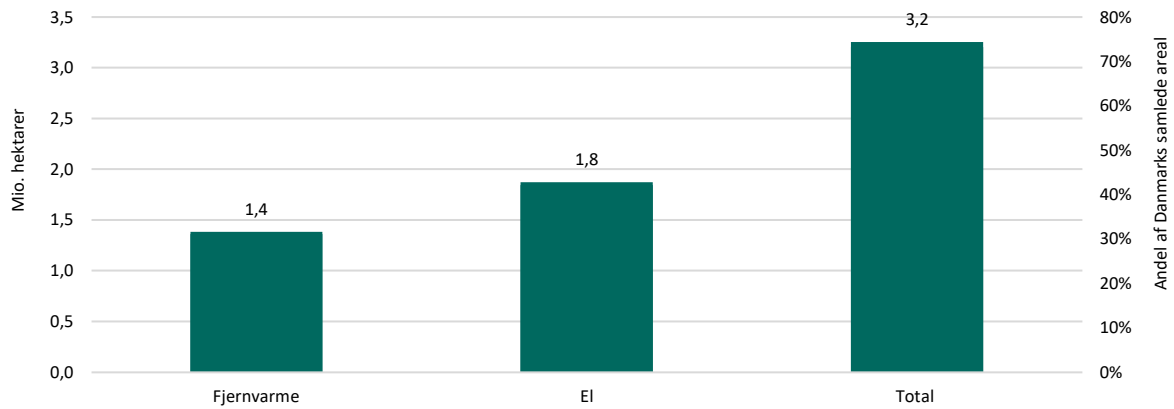
I 2022 leverede træbiomasse 34 PJ fjernvarme. Med en brændværdi på 9,3 GJ/tons for træflis med et vandindhold på 45% (Energistyrelsen, 2024), ville denne energimængde kunne dækkes af hugst fra et skovareal på 1,4 mio. Ha svarende til 30 % af Danmarks areal eller ca. halvdelen af Jylland. Samlet set ville den hugstede biomasse svare til, at der årligt skulle fældes et skovareal på 31.500 Ha svarende til 4 x Rold Skov.

For at sætte dette arealforbrug i perspektiv, ville man i stedet for biomasse kunne omlægge fjernvarmeproduktionen til en mere reelt vedvarende energikilde som varmepumper.

Med industrielle jordvarmepumper med en nominal ydelse på 16 MW og en gennemsnitlig SCOP på 3,7, ville ca. 100 varmepumper med et minimalt arealforbrug kunne erstatte biomassens andel af fjernvarmeproduktionen. Anvendelsen af varmepumper ville dog betyde et øget elforbrug på 9 PJ, som ligeledes ville skulle produceres med vedvarende energikilder som vindmøller og solceller. Antaget en 50/50 fordeling mellem landvindmøller og solcelle markanlæg ville elproduktionen skulle udbygges med knap 100 vindmøller fordelt på 50 Ha samt 1.700 Ha solceller – et totalt arealbehov på 1.750 Ha svarende til 0,1% af arealbehovet til skov eller 0,04% af Danmarks areal.

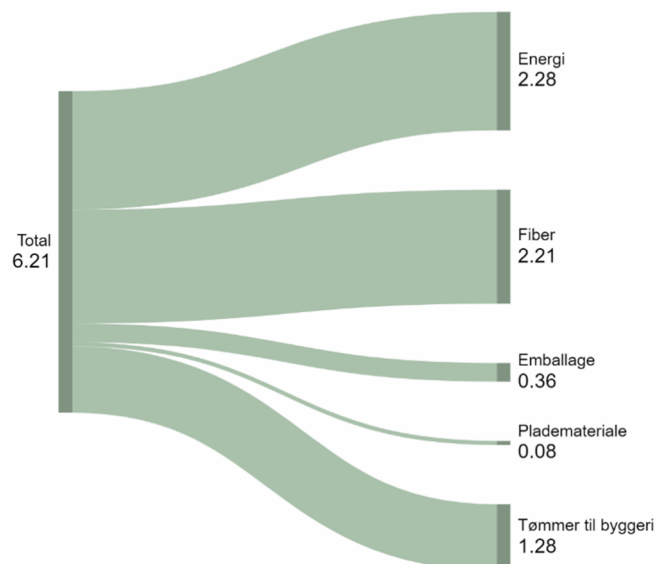
Regnes det nødvendige skovareal til produktion af biomasse til den danske elproduktion, som i 2022 havde et biomassebehov på 45 PJ, ville der skulle bruges et yderlige skovareal på 1,8 mio. Ha svarende til 43 % af Danmarks areal og et årligt fældet areal på 74.000 Ha.

Totalt set, og med de angivne forudsætninger, optager det danske biomasseforbrug til energiproduktion således et skovareal på 3,2 mio. Ha svarende til 75% af Danmarks areal. Til sammenligning optager produktionsskov i Danmark kun omkring 600.000 Ha i dag (Nord-Larsen, 2023).



Figur 12. Nødvendigt skovareal til produktion af træbiomasse til den kollektive danske el- og fjernvarmeproduktion under forudsætning af en årlig hugst til energiformål på 1,5 tons tørstof/HA pr. år.

Såfremt træbiomassen kunne leveres fra en produktionsskov udelukkende bestående af rødgran, ville arealbehovet kunne reduceres markant. Som illustreret på Figur 13 er den gennemsnitlig hugst markant højere i denne type skov end den gennemsnitlige danske skovsammensætning, og hugsten til energiformål er over 50 % højere med et årligt udbytte på 2,3 tons tørstof/Ha. Arealbehovet til biomasseproduktion ville således næsten kunne halveres med en anden og mere effektiv skovsammensætning. Dette kan dog give andre problemer ift. monokultur og biodiversitet.



Figur 13. Gennemsnitlig hugst i tons tørstof/ha pr. år fraskov bestående af rødgran

8 Modelling af emissionsfaktorer til anvendelse i byggebranchen

LCA-metoden, der er anvendt til modellering af emissionsfaktorerne for el, fjernvarme og ledningsgas, følger den attributionelle LCA-tilgang (ALCA), hvilket er i overensstemmelse med metoden som anvendes til beregning af klimapåvirkninger fra bygninger jf. Bygningsreglementet. Til beregning af emissionsfaktorer for de enkelte brændsler anvendes historiske datasæt fra 'LCA for Experts' databasen.

Bygningsreglementet stiller kun krav til overholdelse af en grænseværdi for miljøindikatoren "GWP" med enheden CO₂-ækv. Derfor anvendes i nærværende analyse udelukkende miljøpåvirkningskategorien "Climate Change-total", som indeholder "GWP-fossil", "GWP-biogenic" samt "GWP-LULUC".

8.1 Beregningsmetode for biogent kulstof

Ift. at medregne klimapåvirkningen fra brændsler med indhold af biogent kulstof, betragtes disse som tidligere nævnt som værende klimaneutrale. Baggrunden for dette gennemgås kort i de følgende afsnit og der henvises desuden til Bilag for yderlige beskrivelser og overvejelser.

8.1.1 Halm, træ- og biomasseaffald samt restprodukter fra landbruget

Halm, træ- og biomasseaffald samt andre restprodukter fra landbruget betragtes jf. Renewable Energy Directive (RED) II, Annex IX som restprodukter, der ved afbrænding ikke medfører en nettoudledning af drivhusgasser (European Union, 2018).

8.1.2 Træpiller og træflis

Træflis og træpiller til energiformål kan jf. FN's retningslinjer for afrapportering af klimabidrag betragtes som klimaneutrale i energisektoren, såfremt emissionerne opgøres i sektoren "Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)". (Energistyrelsen, 2020).

8.1.3 Afrapporteringssektor ifm. NDC

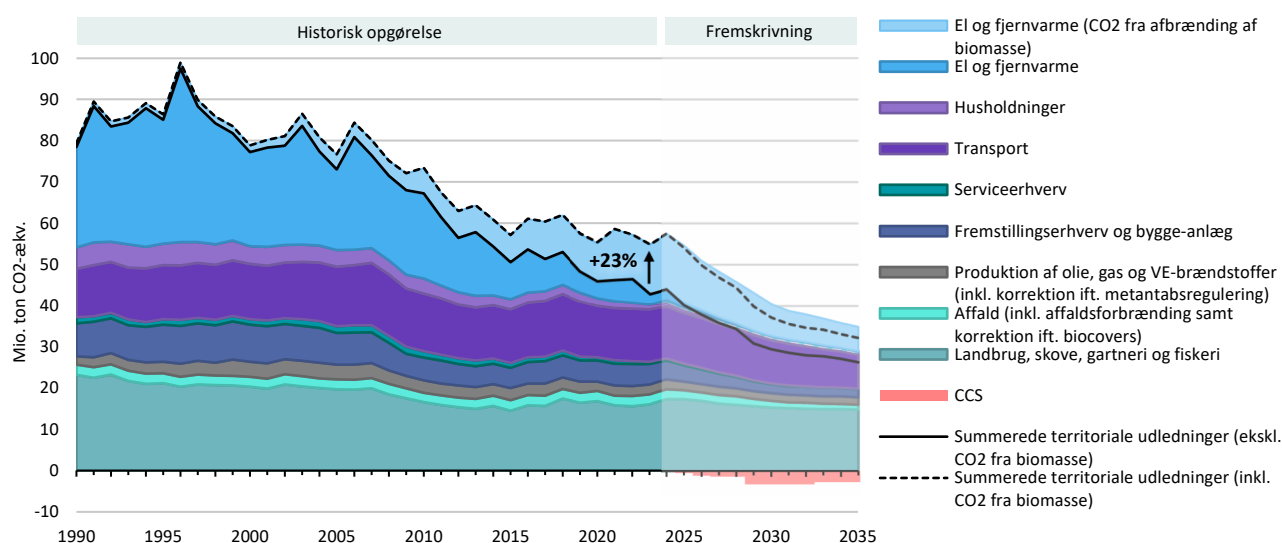
Ovenstående følger af Parisaftalens krav om, at de enkelte medlemslande årligt skal fremlægge nationale klimabidrag (Nationally Determined Contribution, NDC). Således opgøres danske drivhusgasudledninger iht. FN's afrapporteringsprincip sektorvist indenfor energi, industri, landbrug, jord og skov (LULUCF) og affald.

Biomasse herunder biobrændsler stammer fra sektorerne for landbrug og LULUCF og opgøres afrapporteringsteknisk således også kun i disse sektorer, selvom en evt. senere afbrænding vil ske i energisektoren. Da opgørelsen af biomassen følger "produktionen" og ikke afbrændingen skal afrapporteringen således også ske i biomassens oprindelsesland, hvorfor eksempelvis importeret biomasse fra Sverige ikke belaster Danmarks LULUCF-sektor men Sveriges. Denne opgørelsesmetode anvendes for undgå dobbeltoptælling i de nationale sektorer men også landene imellem. (Energistyrelsen, 2020)

På trods af målet om at undgå dobbeltoptælling, er der dog stadig udfordringer ved afrapporteringsprincipperne. Særligt indenfor LULUCF-sektoren er de anvendte data mangelfulde og med lav detaljeringsgrad (Klimarådet, 2018), hvorfor der opstår usikkerhed om, hvorvidt der tages højde for de faktiske påvirkninger fra træbiomasse eller om de bliver negligeret.

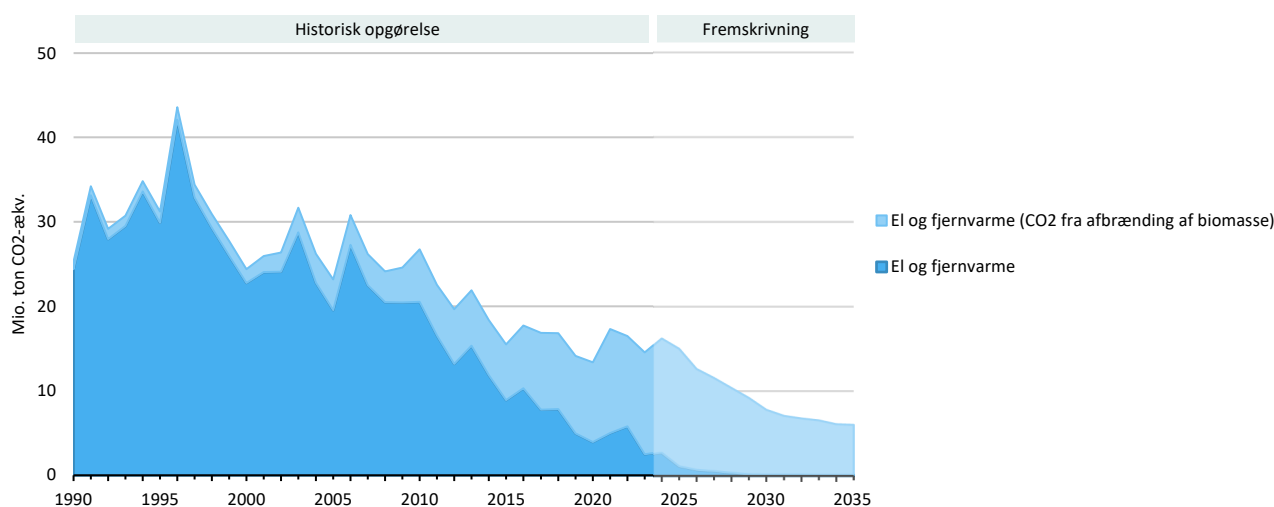
Energisektoren (el og fjernvarme) har historisk set haft den mest markante reduktion af emissioner med et fald på 76% sammenholdt med 1990. Dette skyldes primært, at energisektoren har anvendt

biobrændsler og dermed draget fordel af biomassens status som klimaneutral ved afbrænding. Atmosfærens indhold af drivhusgasser afslører imidlertid en betydelig klimabelastning forbundet med afbrænding af biobrændsler. Indregnes de direkte emissioner ved biomasseafbrænding, øges Danmarks territoriale klimabelastning således med 23% fra 46,5 til 57,2 mio. tons CO₂-ækv. (2022). Denne tendens er illustreret i Figur 14, der viser Danmarks samlede territoriale udledning af drivhusgasser hhv. med og uden de direkte emissioner forbundet med afbrænding af biomasse i energisektoren.



Figur 14. Historisk opgørelse samt fremskrivning af Danmarks territoriale udledning af drivhusgasser hhv. beregnet med og uden direkte emissioner fra afbrænding af biomasse i perioden 1990-2035 (Energistyrelsen, 2023).

I Figur 15 er klimabelastningen fra el- og fjernvarmeproduktionen isoleret for at tydeliggøre, at de reduktioner, som energisektoren har opnået, er stærkt sammenhængende med en omlægning af energiproduktionen og afrapporteringen af biobrændsler som værende klimaneutral.



Figur 15 Samlede udledninger (inkl. CO₂ fra biobrændsler) i el- og fjernvarmesektoren fra 1990-2035 (Energistyrelsen, 2023).

Der er dog flere aspekter ved afrapportering af biobrændsler, som slører billedet. Sidestilles håndteringen af biogene ressourcer i energisektoren med byggebranchen er forskellen, at biogene byggematerialer skal tilskrive en andel af emissionerne relateret til produktionen af afgrøden. Denne andel håndteres ikke i energisektoren. Dette er visualiseret gennem et eksempel i Figur 16, hvor klimapåvirkninger fra kornproduktion er allokeret via en økonomisk allokeringssøgle. Her fremgår det, at en biogen byggevare skal tilskrives en andel af klimapåvirkningerne fra kornproduktionen. På denne måde er der i højere grad skabt incitament i energisektoren for at bruge biogene ressourcer. Herudover har forskellige støtteordninger desuden fremmet anvendelsen af biogene ressourcer i energisektoren (Energistyrelsen, 2020), hvilket ligeledes har bidraget til at energisektoren i udpræget grad anvender biomasse som ressource.

8.2 Allokering af klimapåvirkninger

Som beskrevet i publikation "*Fiktive miljøvaredeklarationer – Danske biobaserede byggevarer*", der også er en del af projektet *Veje til biobaseret Byggeri*, følger EPD'er og bygnings-LCA en gennemsnits LCA-metode. I attributionel LCA anvendes allokering til fordelingen af påvirkninger ved flere produkter i et produktsystem.

Ifølge EN15804 +A2 er der forskellige metoder til allokering, bl.a. økonomisk allokering og masse allokering. Økonomisk allokering er baseret på værdien af de forskellige produkter fra en proces, mens masseallokering fordeler klimapåvirkninger baseret på de fysiske egenskaber eller mængder af de forskellige output.

Den valgte allokeringstilgang har stor betydning for resultaterne, hvilket også eksemplificeres i ovenfor nævnte publikation. I nærværende rapport undersøges forskellige energikilders emissionsfaktorer ved de to allokeringstilgange.

9 Scenarier for biogene ressourcer fra skoven

Som beskrevet i kapitel 6 er biomasse en attraktiv måde at udfase fossile brændsler. Dog medfører afbrænding af biomasse en risiko for øgede klimapåvirkninger. Nærværende rapport søger at kortlægge, hvordan forskellige regneforudsætninger påvirker emissionsfaktoren for biobrændsler. I det følgende afsnit præsenteres forskellige forudsætninger, som anvendes til at beregne variationer af emissionsfaktoren for træbiomasse.

9.1 Træ- og biomasseaffald, træpiller og træflis

Som beskrevet i afsnit 6 importeres størstedelen af Danmarks forbrug af træpiller og træflis. Dette har betydning for klimaregnskabet, idet emissioner fra importeret træ håndteres i importlandenes LULUCF afrapportering. Dermed inkluderes emissioner forbundet med produktionen (procesudledninger) af træpiller og træflis ikke i det danske klimaregnskab.

I dette afsnit præsenteres forskellige regneforudsætninger for at bestemme emissioner forbundet med produktionen (procesudledninger) af træpiller og træflis med afsæt i forskellige allokeringsspringer, som præsenteres i afsnit 8.2.

Generelt betragtes træpiller og træflis som sidestrømme fra savværker, hvor der produceres tømmer. Derfor skal kun en andel af procesudledningerne fra savværket allokeres til træpiller og træflis, mens den resterende andel fordeles mellem de øvrige produkter, savværket producerer.

Allokeringen kan ske ud fra enten økonomi eller masse. I Tabel 1 præsenteres energiforbruget til fremstilling af cellulose ved hhv. en økonomisk og masse allokering (Erlandsson, 2022).

Tabel 1 Energiforbrug til fremstilling af cellulose på savværk ved forskellige allokeringssprincipper

Cellulose til træ-piller og træflis	Allokeringsprincip	Enhed	Varme	El	Diesel	Reference
	Økonomi	kWh/m ³	3,5	5,4	2,7	(Erlandsson, 2022)
	Masse	kWh/m ³	82,7	18,9	4,6	

Som det ses, er der en væsentlig forskel på energiforbruget afhængigt af det valgte allokeringssprincip. For at belyse denne betydning anvendes i nærværende rapport både allokering efter økonomi og masse til at beregne emissionsfaktorer for hhv. træpiller og træflis.

10 Scenarier for biogene ressourcer fra landbruget

Forskellige restprodukter fra landbruget som eksempelvis halm og husdyrgødning indgår i dag som brændsel i Danmarks energiproduktion. I følgende afsnit beskrives de forskellige regneforudsætninger, som anvendes til at beregne variationer af emissionsfaktorerne for hhv. halm og biogas.

10.1 Halm

Halm er en sidestrøm fra kornproduktionen, og betragtes jf. Renewable Energy Directive (RED) II, Annex IX som et restprodukt. Derfor kan energisektoren anvende halm i energiproduktionen uden at skulle afrapportere emissioner forbundet med afbrændingen heraf, se afsnit 8.1.

Lignende betragtninger anvendes også i EN15804 + A2, hvor emissioner fra affald tilskrives produkt-systemet, som producerer affaldet. Her skelnes der mellem, hvorvidt producenten betaler for at komme af med affaldet eller om producenten får profit for affaldet. Såfremt affaldet har en markedsværdi, skal påvirkninger allokeres til affaldet.

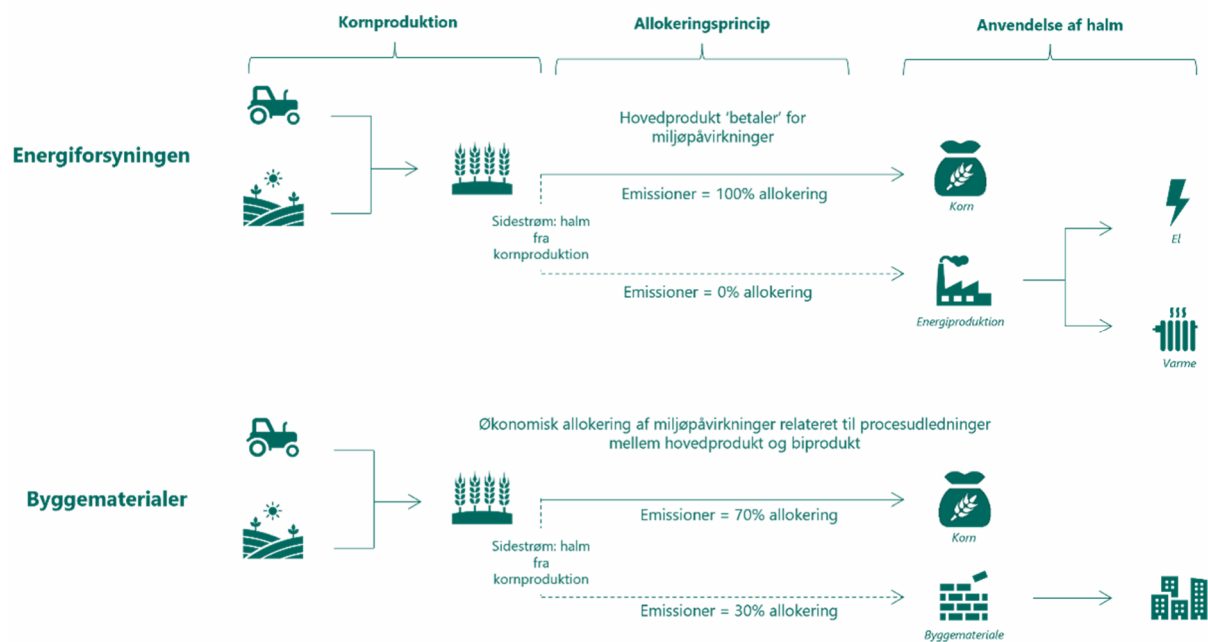
Da energisektoren betaler for halmen (Danmarks Statistik, 2023), har halm en markedsværdi, hvorfor en andel af kornproduktionen burde allokeres til halmen. Dette gør sig imidlertid kun gældende ved anvendelse af halm i byggevarer men ikke i energisektoren, der kan anvende halmen uden at afrapportere emissioner herfra. Dette er illustreret i Figur 16.

Tabel 2 Allokeringsnøgler for halm

Udbytte	I alt	Halm	Korn	Reference
Korn (tons TS/ha)	8,5	3,1	5,4	AU Agro
Priser gens. 2015-2022 (DKK/100kg)	179	53	126	(Danmarks Statistik, 2023)
Økonomisk allokering (%)	100%	30%	70%	Egen udregning
Masse allokering (%)	100%	36%	64%	Egen udregning

På baggrund af dette inkluderes i nærværende rapport en variantanalyse af betydningen ved at allokere klimapåvirkninger fra kornproduktionen til halmen ud fra hhv. en masseallokering og en økonomisk allokering. I Tabel 2 er forudsætningerne for hhv. masse- og økonomisk allokering oplyst. Den økonomiske allokering er baseret på et gennemsnit af "Priser for jordbrugets salgsprodukter" fra

2015-2022 (Danmarks Statistik, 2023). Allokeringen af procesudledningerne følger den procentmæssige fordeling, som baseres på hhv. masse og økonomi.



Figur 16 Eksempel på forskellige håndtering af procesudledninger fra biomasse i energiforsyningen vs. byggematerialer (økonomisk allokering)

10.2 Biogas

Biogas fremstilles af bl.a. husdyrgødning, som er en sidestrøm fra husdyrproduktionen. Ligesom med halm anvendes husdyrgødning til gødningsformål i landbruget. Direkte anvendelse af ubehandlet husdyrgødning til jordbrug har dog vist sig at medføre udvaskning af nitrat fra jorden samt udledning af bl.a. metan og lattergas, der begge er potente drivhusgasser (Sørensen & Børgesen, 2015) (Institut for Bio- og Kemiteknologi, 2022). For at reducere udledningen af disse drivhusgasser afgasses husdyrgødning i biogasanlæg, hvilket samtidig gør næringsstofferne i husdyrgødningen mere tilgængelige for planter (Olesen, et al., 2020).

Siden 2012 har etablering og drift af biogasanlæg modtaget statsstøtte, hvorfor anvendelsen af biogas til energiformål har set en markant fremgang (Olesen, et al., 2020). Denne opprioritering skal ses i lyset af, at biogas kan erstatte den fossile naturgas i Danmarks gasforsyning. For at biogas kan anvendes direkte på gasnettet, skal biogassen dog opgraderes, så den opnår samme metan-indhold som naturgas. Normalvis består biogas af 60-65% metan (CH₄) og 35-40% kuldioxid (CO₂), mens naturgas har et indhold af metan på ca. 97% (Dansk Gasteknisk Center a/s, 2021).

Biogas produceres ved afgasning af organisk materiale, hvor husdyrgødning udgør den største kilde. Herudover anvendes kilder som industriaffald, husholdningsaffald, halm og energiafgrøder, som alle, med udtagelse af energiafgrøder, betragtes som affaldsprodukter (Energistyrelsen, 2024). Energiafgrøder omfatter bl.a. majs, roer, græs og korn og produceres med det formål at blive anvendt i energiproduktionen. I 2021 indgik Regeringen dog en aftale om at sætte en grænseværdi for anvendelsen af energiafgrøder i biogasproduktionen. Grænseværdien skærpes løbende for at mindske anvendelse af afgrøder i energiproduktionen (Energistyrelsen, 2024).

På trods af energiafgrødernes formål, inkluderes procesudledninger relateret til energiafgrøder ikke i emissionsfaktoren for biogas, da anvendelsen af energiafgrøder er aftagende de kommende år. Majs er den dominerende energiafgrøde i biogasproduktionen og udfases fra 2025/26, hvorfor anvendelsen af energiafgrøder forventeligt bliver udfaset helt.

Klimapåvirkningerne fra husdyrgødning, som biogasanlæggene modtager, bør dog inkluderes i emissionsfaktoren for energi produceret af biogas, såfremt gødningen har en økonomisk værdi. Hvorvidt dette er tilfældet, kan dog diskuteres, idet "handlen" med husdyrgødning normalvis er en byttemandel, hvor landmænd "udlåner" husdyrgødningen til biogasanlæggene, som herefter afgasser biomassen. Den afgassede biomasse leveres efterfølgende tilbage til landmanden, som kan anvende det som supplement til gødning (Barber, 2022).

I biogasproduktionen såvel som opgraderingen af biogas til bionaturgas sker der tab af metan grundet utætheder i lagertanke, ventiler m.fl. Metan er en potent drivhusgas, hvorfor dette medfører væsentlige klimapåvirkninger (Gudmundsson, et al., 2021). Derudover har de direkte emissioner ved afbrænding af biogas en størrelse i lighed med emissionerne fra naturgas.

Som beskrevet i afsnit 8.1 regnes restprodukter fra landbruget til energiformål som klimaneutral. Bevæggrundene for dette er, at husdyrgødnings alternative rute er direkte anvendelse i jordbruget, hvor afgang af husdyrgødningen vil forårsage emissioner og samtidig vil energiudnyttelsen gå tabt.

I nærværende rapport beregnes den bogførte og den reelle emissionsfaktor for hhv. biogas og bionaturgas.

11 Affaldssektoren

Affald er siden 1960'erne blevet anvendt i energisektoren til energiudvinding. Affaldsforbrænding opstod som et modsvar på energikrisen, hvor Danmark, pga. stigende oliepriser, ønskede at blive uafhængig af olieimport. Dette medførte en markant udbygning af affaldsenergianlæg, hvor håndtering af affald blev kombineret med energiudvinding.

Jf. EN 15804 + A2 anses affald som et restprodukt fra forrige produktsystem. Dette betyder, at emissioner ved forbrænding varetages i det produktsystem, som skaber affaldet. Derfor betragtes de direkte emissioner ved affaldsforbrænding som værende nul i de opdaterede emissionsfaktorer (Artelia A/S, 2023). Dog bidrager afbrændingen af affald med væsentlige emissioner afhængigt af sammensætningen af affaldet (Energistyrelsen, 2024; Ea Energianalyse, 2021). Det forventes, at de fossile emissioner forbundet med affaldsforbrænding vil falde de kommende år qua en øget affaldssortering, hvor plastik og andre fraktioner i stedet genanvendes (Ea Energianalyse, 2021).

12 Baggrundsemissionsfaktorer

Med udgangspunkt i betragtningerne fra afsnit 9 til 11 er der i nedenstående tabel 3-5 udarbejdet variationer af baggrundsemissionsfaktorer for biobrændslerne, der anvendes til produktion af hhv. el, fjernvarme og ledningsgas. Baggrundsemissionsfaktorerne anvendes til at bestemme den resulterende emissionsfaktor for el, fjernvarme og ledningsgas.

Udover biobrændsler er der for el- og fjernvarmeproduktionen inkluderet ”affald, bionedbrydeligt og ikke-bionedbrydeligt” for at tage højde for de relaterede CO2 udledninger uagtet regneforudsætninger i EN 15804 + A2.

Beregningen af baggrundsemissionsfaktorer baseres på eksisterende teknologier, som anvendes i den nuværende energiforsyning. Dette betyder, at der ikke tages højde for den teknologiske udvikling og effektivisering, som energiproduktionen vil gennemgå de kommende årtier. For biogas betyder det bl.a., at der tages udgangspunkt i det nuværende metantab fra produktionen, som dog formodes at blive reduceret de kommende år grundet et øget fokus herpå. Ligeledes tages der ikke højde for, at eksempelvis transporten vil gennemgå en elektrificering, hvormed emissioner fra dette reduceres (selvom denne del har en marginal betydning).

Tabel 3 Baggrundsemissionsfaktorer for biogene brændsler i elproduktionen bestemt ved forskellige allokeringsskemaer for procesudledninger.

Brændsel	BR25	Allokering af procesudledninger		Direkte emissioner ved afbrænding	Samlet bruttoudledning	
		Økonomisk (Ø÷CO2)	Masse (M÷CO2)		Ø+CO2	M+CO2
kg CO2-ækv./kWh	Biogent kulstof = 0			Biogent kulstof ≠ 0		
Halm	0,005	0,057	0,068	0,360	0,417	0,428
Træpiller	0,092	0,103	0,116	0,403	0,506	0,519
Træflis	0,013	0,013	0,014	0,403	0,416	0,417
Træ- og biomasseaffald	0,013	0,013	0,013	0,403	0,416	
Biogas	0,105	-	-	0,303	0,408	
Bionaturgas	0,059	-	-	0,200	0,259	
Affald, bionedbrydeligt og ikke-bionedbrydeligt	0,037	-	-	0,366	0,403	

- Ikke undersøgt

Tabel 4 Baggrundsemissionsfaktorer for biogene brændsler i fjernvarmeproduktionen bestemt ved forskellige allokeringsskemaer for procesudledninger.

Brændsel	BR25	Allokering af procesudledninger		Direkte emissioner ved afbrænding	Samlet bruttoudledning	
		Økonomisk (Ø÷CO2)	Masse (M÷CO2)		Ø+CO2	M+CO2
kg CO2-ækv./kWh	Biogent kulstof = 0			Biogent kulstof ≠ 0		
Halm	0,004	0,056	0,067	0,360	0,416	0,427
Træpiller	0,092	0,102	0,114	0,403	0,505	0,517
Træflis	0,012	0,012	0,013	0,403	0,415	0,416
Træ- og biomasseaffald	0,012	0,012	0,012	0,403	0,416	
Bioolie	0,003	-	-	0,287	0,290	
Biogas	0,117	-	-	0,303	0,420	
Bionaturgas	0,063	-	-	0,200	0,263	
Affald, bionedbrydeligt og ikke-bionedbrydeligt	0,019	-	-	0,366	0,385	

- Ikke undersøgt

Tabel 5 Baggrundsemissionsfaktorer for biogene brændsler i ledningsgas

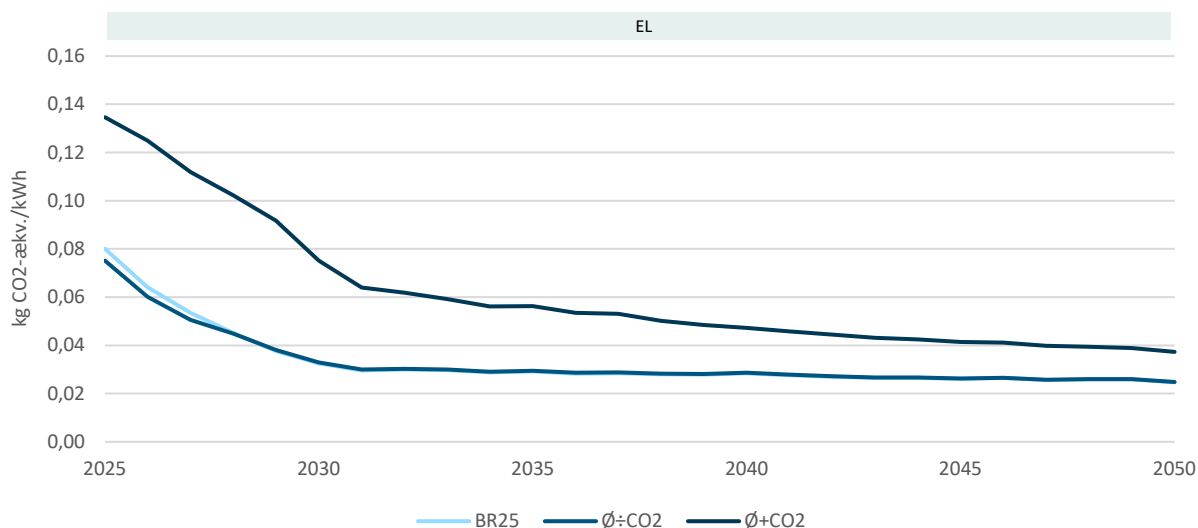
Brændsel	BR25	Direkte emissioner ved afbrænding	Samlet bruttoudledning
kg CO ₂ -ækv./kWh	Biogent kulstof = 0	Biogent kulstof ≠ 0	BR18 + CO ₂
Bionaturgas	0,056	0,200	0,256

13 Scenarieanalyse af emissionsfaktorer

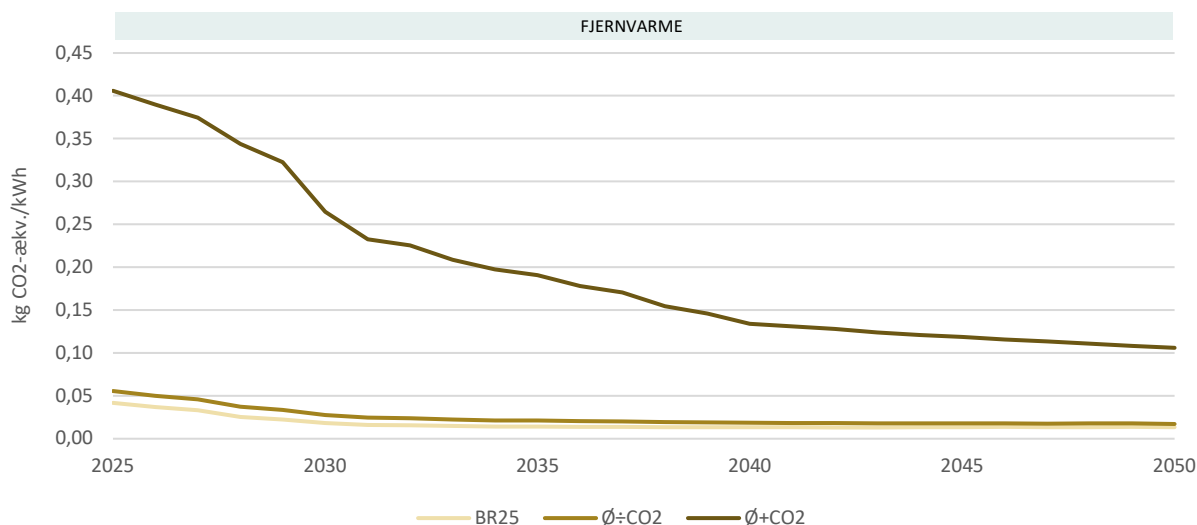
Med udgangspunkt i de beregnede baggrundsemissioner præsenteret i afsnit 11 er emissionsfaktoren for hhv. el, fjernvarme og ledningsgas regnet for tre forskellige scenarier. Scenarierne er beskrevet i tabel 6 og resultaterne er illustreret i Figur 17 til Figur 20. Jf. EN 15804 + A2 allokeres procesudledninger for træpiller, træflis og halm ud fra et økonomisk perspektiv, da de økonomiske indtægter overstiger 25%.

Tabel 6 Beskrivelse af scenarier for beregning af emissionsfaktorer for el, fjernvarme og ledningsgas 2025-2050

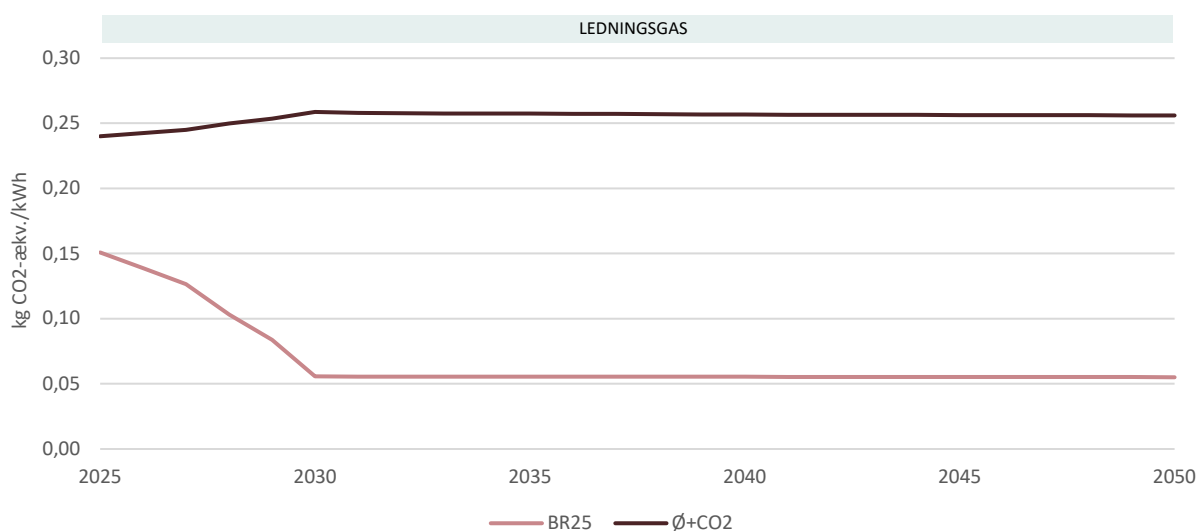
Scenarier	Forklaring
BR25	Opdaterede emissionsfaktorer for el, fjernvarme og ledningsgas (Artelia A/S, 2023)
Ø÷CO₂	Økonomisk allokering af procesudledninger ekskl. udledning af biogent kulstof ved afbrænding
Ø+CO₂	Økonomisk allokering af procesudledninger inkl. udledninger af biogent kulstof ved afbrænding



Figur 17 Sammenligning af scenarier for beregning af emissionsfaktor for el – BR25, Ø÷CO₂ og Ø+CO₂

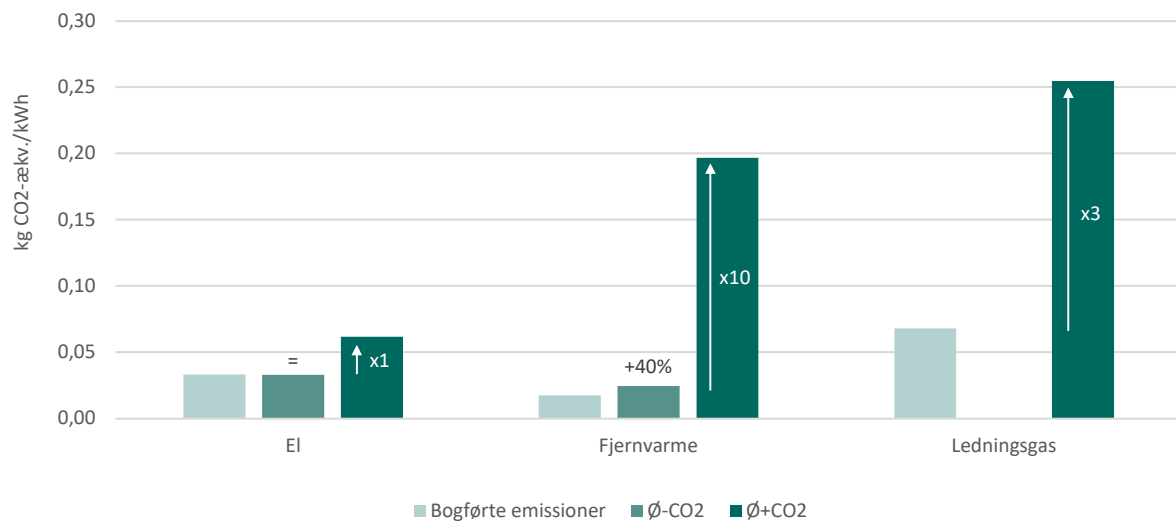


Figur 18 Sammenligning af scenarier for beregning af emissionsfaktor for fjernvarme - BR25, Ø±CO2 og Ø+CO2



Figur 19 Sammenligning af scenarier for beregning af emissionsfaktor for ledningsgas – BR25 og Ø+CO2 (Ø-CO2 er sammenfaldende med BR25 scenariet)

Som det ses for både el, fjernvarme og ledningsgas har det stor betydning for den resulterede emissionsfaktor om de direkte emissioner forbundet med afbrænding af biobrændsler medregnes eller ej. I Figur 20 og Tabel 7 er den gennemsnitlige emissionsfaktor for de tre scenarier og energikilder vist for perioden 2025-2050, og her ses det, at emissionsfaktoren for fjernvarme er særlig følsom overfor beregningsmetoden, idet den gennemsnitlige emissionsfaktor over en 25-årig periode stiger med en faktor 10 sammenlignet med BR25 scenariet. For el og ledningsgas stiger emissionsfaktoren også markant men dog "kun" med en faktor 1 for el hhv. en faktor 3 for ledningsgas. Den meget markante stigning for fjernvarme skyldes den store andel biomasse, som indgår i fjernvarmesektoren som vist på Figur 5.



Figur 20 Sammenligning af gennemsnitlig emissionsfaktor for el, fjernvarme og ledningsgas (2025-2050) samt procentvis ændring ift. BR25.

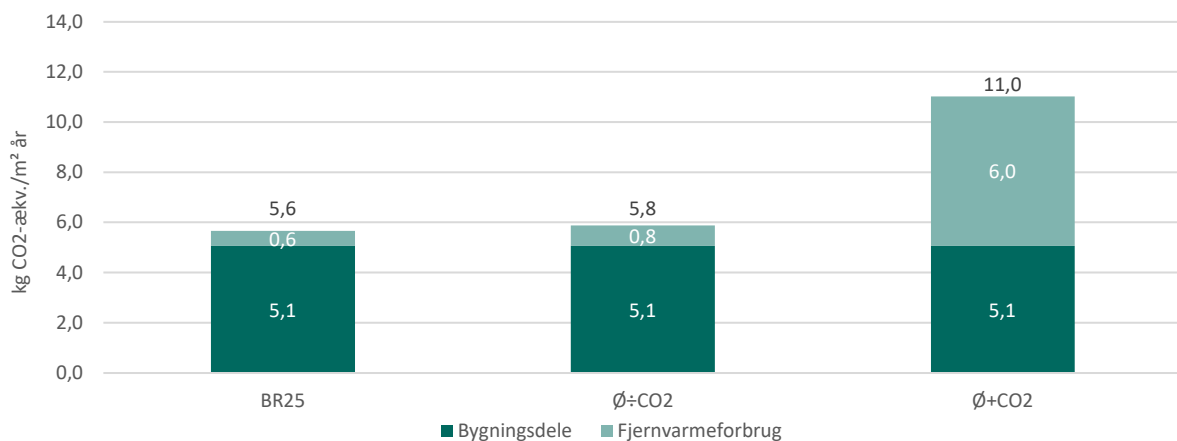
Tablet 7. Gennemsnitlige emissionsfaktorer for el, fjernvarme og ledningsgas 2025-2075

Scenarie	El kg CO2-ækv./kWh	Fjernvarme kg CO2-ækv./kWh	Ledningsgas kg CO2-ækv./kWh
BR25	0,029	0,015	0,062
Ø±CO2	0,030	0,019	-
Ø+CO2	0,049	0,128	0,255

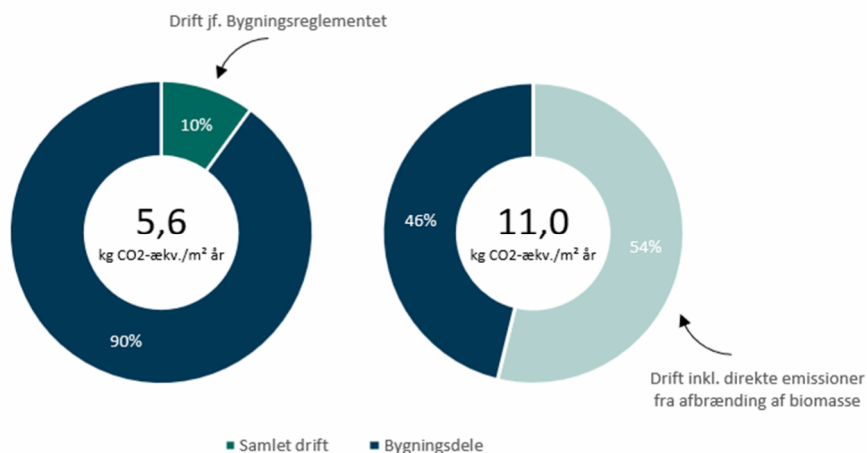
14 Eksempel på betydning af emissionsfaktoren i byggeriet

Som beskrevet i afsnit 4 anvendes emissionsfaktorer i modul B6 (drift) i en bygnings-LCA. For at se betydningen af emissionsfaktorerne på bygningsniveau er der udført en variantanalyse af en case, hvor emissionsfaktorerne fra hhv. BR25, $\emptyset \div \text{CO}_2$, $\emptyset + \text{CO}_2$ anvendes. Casen er et 5-etagers boligbyggeri, som forsynes af fjernvarme og indbyggede solceller. Idet bygninger har en levetid på 50 år, og emissionsfaktorerne er fremskrevet til 2050 forudsættes fremskrivningen fra 2050-2075 at være statistisk (Artelia A/S, 2023). Pga. solcellerne har bygningen intet elforbrug, men udelukkende et fjernvarmeforbrug.

Figur 21 og Figur 22 viser betydningen af emissionsfaktoren for fjernvarme på bygningsniveau. Driften går fra at have en samlet andel på 10% af byggeriets klimabelastning til at have en andel på over 50% og en total klimabelastning på 11,0 kg CO₂-ækv./m² år fremfor 5,6 kg CO₂-ækv./m² år. På trods af de gældende bogføringsregler, taler dette for stadig at have fokus på at reducere bygnings energiforbrug i driften.



Figur 21 Klimabelastning over en 50-årig betragtningsperiode for et 5-etagers boligbyggeri med fjernvarme og indbyggede solceller, hvor emissionsfaktorer for hhv. BR25, $\emptyset \div \text{CO}_2$ og $\emptyset + \text{CO}_2$ anvendes.



Figur 22. Fordeling af klimabelastningen over en 50-årig betragtningsperiode for et 5-etagers boligbyggeri med fjernvarme og indbyggede solceller, hvor emissionsfaktorer for hhv. BR25 og $\emptyset + \text{CO}_2$ anvendes.

15 Referencer

- Artelia A/S. (2023). *Emissionsfaktorer - El, fjernvarme og ledningsgas 2025-2075*. Hentet fra <https://sbst.dk/>:
<https://sbst.dk/Media/638282171394687135/Emissionsfaktorer%20for%20el%20fjernvarme%20og%20ledningsgas%20for%202025-2075.pdf>
- Barber, D. (2022). Biogas-aftale på plads: Landmanden skal eje klimagevinsten. *Effektivt Landbrug*.
- Concito. (2020). *Danmarks forbrug og prioritering af biomasse til energiformål*.
- Concito. (2023). *Danmarks arealer*.
- Danmarks Statistik. (2023). *Priser for jordbrugets salgsprodukter*. Hentet fra <https://m.statbank.dk/>:
<https://m.statbank.dk/TableInfo/LPRIS31?lang=da>
- Danmarks Statistik. (2024). *ENE2HO: Energiregnskab i GJ (oversigt) efter tilgang og anvendelse og energitype*. Hentet fra <https://sdg.statistikbank.dk/>:
<https://sdg.statistikbank.dk/statbank5a/SelectVarVal/Define.asp?Maintable=ENE2HO&PLanguage=0>
- Dansk Gasteknisk Center a/s. (2021). *Biogas*. Hentet fra <https://www.gasfakta.dk/gron-gas/biogas>
- Ea Energianalyse. (2021). *Optimeret biomasseanvendelse til el- og fjernvarmeproduktion mod 2040*.
- Energistyrelsen. (Maj 2020). *Biomasseanalyse*. Hentet fra <https://ens.dk/>:
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasseanalyse_final_ren.pdf
- Energistyrelsen. (2022). *Energistatistik 2021*. Energistyrelsen.
- Energistyrelsen. (2022). *Global Afrapportering 2022 (GA22): Danmarks forbrug af biomasse – fokus på træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme*.
- Energistyrelsen. (2023). *Analyseforudsætninger til Energinet 2022*. Energistyrelsen.
- Energistyrelsen. (2023). *Global Afrapportering 2022 (GA22): Danmarks forbrug af biomasse – fokus på træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme*. Hentet fra ens.dk:
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/3._baggrundsnotat_-_forbrug_af_biomasse.pdf
- Energistyrelsen. (2023). *Klimastatus og -fremskrivning, 2023*. Hentet fra ens.dk:
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf23_hovedrapport.pdf
- Energistyrelsen. (2023a). *Analyseforudsætninger til Energinet 2022*. Energistyrelsen. Hentet fra https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Hoeringer/af22_-_sammenfatningsnotat.pdf
- Energistyrelsen. (2024). *Energiafgrøder til biogas*. Hentet fra <https://ens.dk/>:
<https://ens.dk/ansvarsomraader/bioenergi/energiafgroeder-til-biogas>
- Energistyrelsen. (2024). *Love og regler for CO₂-kvoteordningen*. Hentet fra Energistyrelsen:
<https://ens.dk/ansvarsomraader/cbam-og-co2-kvoter/love-og-regler-co2-kvoteordningen>
- Energistyrelsen. (2024). *Standardfaktorer for brændværdier og CO₂-emissionsfaktorer til brug for rapporteringsåret 2023*. Hentet fra ens.dk:
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/CO2/energistyrelsens_standardfaktorer_for_2023.pdf
- Energistyrelsen. (2024). *Årlig indberetning af biomasser*. Hentet fra
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasseindberetning_2016-2022.xlsx
- Erlandsson, M. (2022). *Generella indata och metodantagande för att kunna beräkna miljöpåverkan från sågverkens produkter och övrig träförädlingsindustri*. IVL Svenska Miljöinstitutet.
- European Union. (2018). *DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable source*. Hentet fra <https://eur-lex.europa.eu/>: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>

- Gudmundsson, E., Fredenslund, A., Falk, J. M., Scheutz, C., Mønster, J., Hinge, J., & Petersen, S. (2021). *Målrettet indsats for at mindske metantab fra danske biogasanlæg*. Rambøll. Hentet fra https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/metantab_rapport.pdf
- Institut for Bio- og Kemiteknologi. (2022). *Fakta om biogas*. Hentet fra <https://bce.au.dk/>: <https://bce.au.dk/forskning/faciliteter/forsoegsbiogasanlaeg/fakta-om-biogas>
- Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. (2021). *LBK nr 2580 af 13/12/2021 Bekendtgørelse af lov om klima*. Lovtidende A.
- Klimarådet. (2018). *Biomassens betydning for grøn omstilling*.
- Letter from scientists to the EU parliament regarding forest biomass*. (2018). Hentet fra https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/update_800_signatures_scientist_letter_on_eu_forest_biomass.pdf
- Nielsen, A. T. (2023). *Recalculation of CO2 emissions from biomass use in district heating and combined heat and power plants in Denmark with 2021 input data*.
- Nord-Larsen, T. Ø.-N. (2023). *Skovstatistik 2022*. Københavns Universitet.: Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning.
- Olesen, J. E., Møller, H. B., Petersen, S. O., Sørensen, P., Nyord, T., & Sommer, S. G. (2020). *Bæredygtig biogas – klima- og miljøeffekter af biogasproduktion*. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.
- Ritchie, H. (2022). *How does the land use of different electricity sources compare?* Hentet fra ourworldindata.org: <https://ourworldindata.org/land-use-per-energy-source>
- Stage, M. (2022). Spørg Fagfolket: Hvorfor står vindmøller altid på stribe? *Ingeniøren*.
- Sørensen, P., & Børgesen, C. D. (2015). *Kvælstofudvaskning og gødningsvirkning ved anvendelse af afgasset biomasse*. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.
- Trainor, A. M., McDonald, R. I., & Fargione, J. (2016). *Energy Sprawl Is the Largest Driver of Land Use Change in United States*. Public Library of Science.
- United nations. (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework*. Hentet fra <https://unfccc.int/>: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*. Hentet fra unfccc.int: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

16 Bilag

I følgende afsnit beskrives yderligere emner og faktorer som nærværende analyse med fordel kunne udvides til at indeholde for at skabe et mere nuanceret billede af problematikken omkring emissionsfaktorer, regneregler og brugen af biobrændsler til energiformål.

16.1 Direkte emissioner fra biobrændsler

Som det fremgår af Tabel 8, har størstedelen af biobrændsler større nettoudledning ved afbrænding end de fossile brændsler som kul og naturgas. Afhængigt af den LCA metodiske tilgang er der dog forskellige metoder at betragte emissioner fra biobrændsler. (Ea Energianalyse, 2021) tager eksempelvis højde for den alternative rute for biomassen og inkluderer dette i emissionsfaktoren. På denne måde modregnes de emissioner, som alligevel ville være sket.

Som eksempel er den alternative rute for halm organisk nedbrydning på en mark. Denne proces frigiver også CO₂ til atmosfæren, men i modsætning til afbrænding, vil udledningen ske over en længere periode pga. den naturlige formludningsproces (Energistyrelsen, 2023).

Tabel 8 Brændværdier og direkte emissioner ved afbrænding af brændsler (Energistyrelsen, 2024)

Brændsel	Brændværdi	Direkte emissioner ved afbrænding, ton CO ₂ -ækv./TJ
Kul	26,5 GJ/ton	94,2
Træpiller	17,5 GJ/ton	112
Træflis	9,3 GJ/ton	112
Halm	14,5 GJ/ton	100
Træ- og biomasseaffald	14,7 GJ/ton	112
Affald	10,6 GJ/ton	101,7
Naturgas	0,0396 GJ/m ³	55,5
Biogas	0,0230 GJ/m ³	84,1
Bionaturgas	0,0396 GJ/m ³	55,6

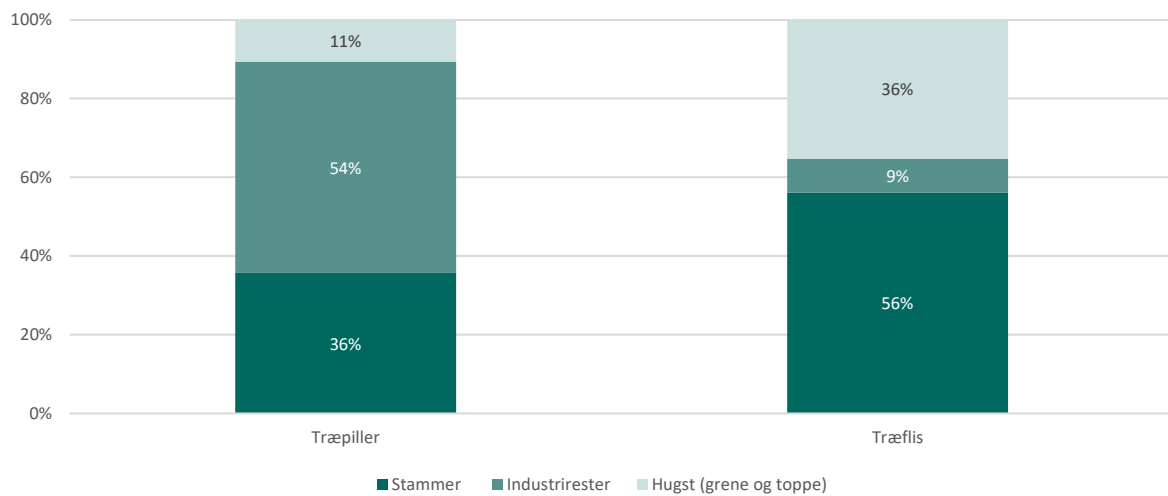
16.1.1 Biogas

Biogas produceres primært af husdyrgødning, som er et restprodukt fra husdyrproduktionen. I nærværende rapport regnes inputtet af husdyrgødning som nul. Dog kan anvendelsen af husdyrgødning til energiformål betragtes som en reduktion. Dette skyldes, at produktionen af biogas baseret på husdyrgødning reducerer emissioner fra husdyrgødningen. Den alternative rute (eksempelvis direkte anvendelse af husdyrgødning til jordbrug) vil medføre større emissioner, end når dette bliver behandlet i et biogasanlæg. Disse overvejelser er ikke medregnet i emissionsfaktorerne, som præsenteres i nærværende rapport.

16.1.2 Træpiller og træflis

Ses der nærmere på det biogene kulstof i træbiomasse anvendes halveringstid, som beskriver ”Den tid, det tager for halvdelen af det bundne kulstof i træet at blive frigivet til atmosfæren som CO₂” (Energistyrelsen, 2023). Halveringstiden afhænger af den alternative rute for biomassen. Med alternative rute menes, hvor biomassen ellers ville have været anvendt. Eksempelvis er hugstresters

alternative rute formuldning i skovbunden. Dermed er betragtningen af kulstoffrigivelse afhængigt af den alternative rute for biomassen. Jf. (Nielsen, 2023) er ca. 56% og 36% af hhv. træflis og træpiller baseret på stammer, se Figur 23. Stammer har en alternativ rute i form af byggeri, møbelindustrier mv., dog afhænger denne rute af kvaliteten af stammen. Energistyrelsen antager eksempelvis, at stammer, der anvendes til træflis og træpiller, er af lavere kvalitet, hvorfor dette ikke ville kunne anvendes til andre formål (Energistyrelsen, 2023). I nærværende analyse tages der ikke højde for biomassens alternative rute, da ønsket er at belyse den direkte CO₂-udledning til atmosfæren uagtet hvad der ellers var sket med biomassen.



Figur 23 Kilder til produktion af træflis og træpiller (Nielsen, 2023)