



Danmarks Globale Klimapåvirkning - Global Afrapportering 2024 (GA24): Danmarks forbrug af faste biobrændsler

Kontor/afdeling
Systemanalyse & Innovation

Dato
29-04-2024

Baggrundsnotat nr. 8

Indholdsfortegnelse

1	Rammesætning.....	2
2	Hovedresultater.....	4
2.1	Forbruget af faste biobrændsler og deres geografiske oprindelse.....	4
2.2	Den globale nettoudlednings over tid fra forbruget af træ til produktion af el og varme.....	6
3	Metode og antagelser.....	20
3.1	Metodebeskrivelse.....	22
3.2	Værktøjer/modeller.....	22
3.3	Overordnede afgrænsninger og forudsætninger.....	23
3.4	Primære datakilder.....	23
4	Supplerende og uddybende resultater og analyse.....	25
4.1	Delresultater.....	25
4.2	Årsagssammenhænge – kulstofkredsløb.....	30
4.3	Husholdningers m.v. forbrug af træpiller, brænde og træbriketter.....	31
4.4	Sammenligning med GA23.....	35
5	Kvalificering.....	37
5.1	Usikkerhed.....	37
5.2	Følsomhedsberegninger.....	37
6	Perspektivering.....	39
6.1	Kulstofdynamikken i et fortsat forbrug.....	39
6.2	Mulige udviklingsveje.....	41
7	Kilder.....	43

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700
E: ens@ens.dk

www.ens.dk



1 Rammesætning

I dette notat analyseres udledninger forbundet med Danmarks forbrug af faste biobrændsler (biomasse). Høst af træ og anden biomasse opgøres jf. IPCC's retningslinjer som en udledning i det land, hvor træet høstes. Hvis biomassen efterfølgende brændes af i fx kraftværker, beregnes det som en nuludledning i forsyningssektoren, da udledningen allerede er opgjort ifm. høsten af biomassen. Derved undgås dobbelttælling af udledninger fra biomasse.

Derfor vil udledninger fra dansk produceret biomasse indgå i Danmarks officielle klimaregnskab, uanset om det forbruges i Danmark eller eksporteres. Udledninger fra importeret biomasse skal indgå i andre landes drivhusgasopgørelser for LULUCF-sektoren (skove og jorde), jf. FN's retningslinjer. Biomasse der anvendes til energiproduktion i Danmark skal dertil leve op til en række bæredygtighedskriterier fra EU samt skærpede danske krav.

I Danmarks globale klimapåvirkning – Global Afrapportering 2024 (GA24) opgøres udledninger fra biomasse fra et andet perspektiv, hvor alle udledninger knyttet til brug af biomasse i den danske forsyningssektor samt husholdninger beskrives samlet. Fokus i dette notat ligger på træbrændsler.

Danmark har siden 1990 udskiftet en stor del af forbruget af fossile brændsler til produktion af el og varme med faste biobrændsler (biomasse) (ENS, 2020). Træbrændsler er dominerende. Godt to tredjedele af det totale forbrug af træpiller, træflis og brænde var i 2022 importeret (Nielsen, 2024).

Det danske forbrug af træbiomasse til energiformål påvirker isoleret set atmosfærens indhold af CO₂. Den primære påvirkning er, at forbrændingen af træbiomassen fremrykker de udledninger, der ellers ville ske senere. Den senere alternative udledning ville primært opstå ved forrådnelse og anden nedbrydning af det træ, som i den aktuelle markedssituation ville blive efterladt i skoven eller ved træindustrien, hvis der ikke var en efterspørgsel på det til energiproduktion (IGN, 2023). Samtidigt påvirkes kulstofkredsløbet i skoven. Kulstofkredsløbet bestemmer, hvor meget kulstof fra CO₂ i luften, der bindes i eller frigives fra skovens kulstofpuljer af levende og dødt træ mv.

Når der produceres bioenergi af træbiomasse fjernes træet fra skoven og forbrændes i fx et varmeværk. Uden efterspørgslen til bioenergiproduktion ville træbiomassen enten være blevet efterladt i skoven til naturligt forrådnelse, brændt lokalt uden energiudnyttelse, brugt til andre træprodukter eller slet ikke høstet. Dermed resulterer forbruget i en ændring i tidspunktet for de biogene CO₂-udledninger fra senere (alternativ forrådnelse m.m.) til øjeblikkelig (bioenergi).

Forskellen i størrelsen af skovens kulstoflagre, som følge af denne tidsforskydning, bestemmer den biogene nettoudledning af biomasseforbruget. CO₂-effekten af den



biogene udledning fra et enkelt års forbrug falder over tid til nul, når træbiomassen stammer fra langsigtet forvaltede skove.

Forbruget af træ til energiformål påvirker også skovenes biodiversitet. Det er ikke belyst her, men se fx JRC (2021).

Ændringer i skoves kulstofpuljer er et af de elementer, som af metodemæssige årsager ikke indgår i udregningen af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk jf. baggrundsnotatet *Klimaaftrykket af forbrug*. I beregningen af udledninger fra ændringer i arealanvendelse knyttet til Danmarks forbrug jf. baggrundsnotatet *Ændringer i arealanvendelse* (GA22) indgår ændringer i skoves kulstofpuljer, men det dækker kun for afskovning i troperne, hvorfor der ikke er overlap til nærværende baggrundsnotat, da træbiomassen stammer fra langsigtet forvaltede skove, som genetableres efter fældning¹.

Nærværende notat søger derfor at beskrive, hvordan den samlede nettoudledning af CO₂ fra Danmarks forbrug af faste biobrændsler til energi kan vurderes og kvantificeres ud fra konkrete data. Fokus i dette notat ligger på forbruget af træbiomasse til produktion af el og varme, og hvilken effekt forbruget har på atmosfærens indhold af CO₂. Som et nyt element er der også regnet på klimaeffekten af husholdningers forbrug af træpiller og brænde. Således indgår der nu fire typer af træbrændsler i beregningen: Træflis til el- og fjernvarmeproduktion, træpiller til el- og fjernvarmeproduktion, træpiller til direkte opvarmning i husholdninger samt brænde.

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning ved Københavns Universitet udarbejdede i 2022 en analyse af disse forhold for Energistyrelsen (IGN, 2023). Denne analyses hovedresultater er blevet genberegnet til GA23 i Nielsen (2023) og nu til GA24 i Nielsen (2024). I den seneste genberegning er der anvendt ny data, der er tilgængelig ifm. indberetninger til bæredygtighedskrav². I den seneste beregning indgår data fra 103 virksomheder, som dækker ca. 90 pct. af det samlede danske forbrug af træflis og træpiller til produktion af el og varme. Brænde indgik ikke i de indberettede data for forbrugsåret 2022 og data er derfor hentet fra andre kilder, se afsnit 3.4.

Analysemetoden beskrives nærmere i afsnit 3. Det belyses, hvordan den ekstra mængde af CO₂ i atmosfæren fra forbruget af træbiomasse varierer over tid samt mellem forskellige typer af biomasseinput mm. For at kvalificere resultaterne belyses

¹ Der er ikke noget i data, som tyder på egentlig skovrydning, hvor skoven ikke genetableres, i forbindelse med forbruget af biomasse til dansk produktion af el og fjernvarme i 2020 (IGN, 2023). Dette gør sig også gældende for forbruget i 2022 (Nielsen, 2024). Se også Boks 2.

² <https://ens.dk/ansvarsomraader/bioenergi/baeredygtighedskrav-til-faste-biomassebraendsler>



usikkerheder og følsomhedsanalyser i afsnit 5. I afsnit 6.2 redegøres der for mulige udviklingsveje for analysen.

2 Hovedresultater

I dette afsnit gives først et overblik over Danmarks samlede forbrug af faste biobrændsler. Derefter belyses den geografiske oprindelse af det danske forbrug af træbrændsler. Med udgangspunkt i den udarbejdede analyse fra IGN (IGN, 2023) til GA22 samt genberegningen til GA24 (Nielsen, 2024) belyses derefter CO₂-effekten (også kaldet nettoudledningen) over tid fra et enkelt års forbrug (her 2022) af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme samt af træpiller og brænde i husholdninger. Resultaterne er foldet yderligere ud i afsnit 4.

2.1 Forbruget af faste biobrændsler og deres geografiske oprindelse

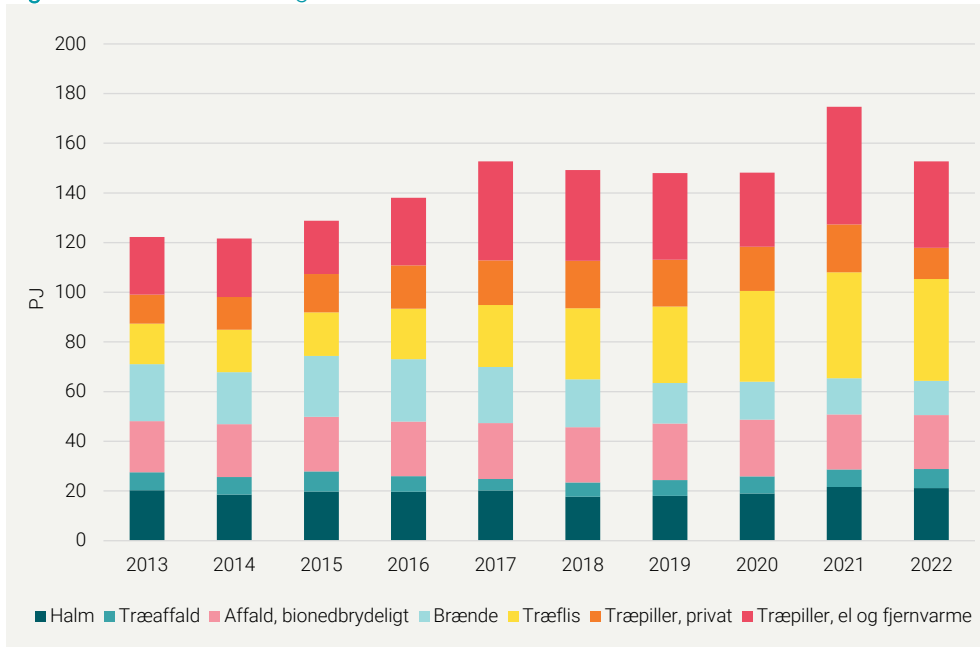
De faste biobrændsler omfatter forbruget af træpiller, træflis, brænde, træaffald, halm og bioaffald til produktion af el og varme i industri og den kollektive forsyning samt direkte varme i husholdninger.

Forbruget af faste biobrændsler er steget over de seneste ti år

Danmarks forbrug af faste biobrændsler til produktion af el og varme i 2013 var 122 PJ, jf. Figur 1. Forbruget er steget gennem de seneste ti år til forbruget i 2022 på 153 PJ. Det er samme niveau som i 2017, men et markant fald fra 2021, hvor forbruget var 175 PJ. Det stigende forbrug gennem 2010'erne skyldes bl.a., at en række centrale kraftvarmeværker er blevet ombygget til helt eller delvist at kunne anvende biomasse til produktion af el og varme frem for naturgas og kul. Faldet til 2022 skyldes sandsynligvis at prisen på biomasse fulgte med de andre brændselspriser op, hvilket udjævnede den forskel, som førte til et rekordstort forbrug af biomasse i 2021.

Forbruget af energi fra faste biobrændsler udgjorde i 2022 53 pct. af det endelige danske forbrug af vedvarende energi (ENS, 2023).

Figur 1: Danmarks forbrug af faste biobrændsler 2013-2022



Kilde: ENS, 2023. **Anm.:** Træflis er på figuren ikke opdelt i hhv. forbrug til kollektivt forbrug (el og fjernvarme) og privat forbrug (husholdninger og fremstillingsvirksomhed). Forbruget til el og fjernvarme udgør 96 pct. af totalforbruget af træflis.

Forbruget af træbrændsler udgjorde i 2022 102 PJ svarende til 67 pct. af det samlede forbrug af faste biobrændsler, jf. Figur 1. Dette forbrug er i fokus i nærværende notat. Heraf udgjorde forbruget i husholdninger i 2022 33 PJ. Det markante fald i forbruget af faste biobrændsler fra det væsentligt højere forbrug i 2021 til 2022 består primært af en kraftig reduktion i forbruget af træpiller i den kollektive forsyning samt i husholdningerne på hhv. 27 og 35 pct.

Danmark importerer to tredjedele af forbruget af træpiller og træflis og brænde

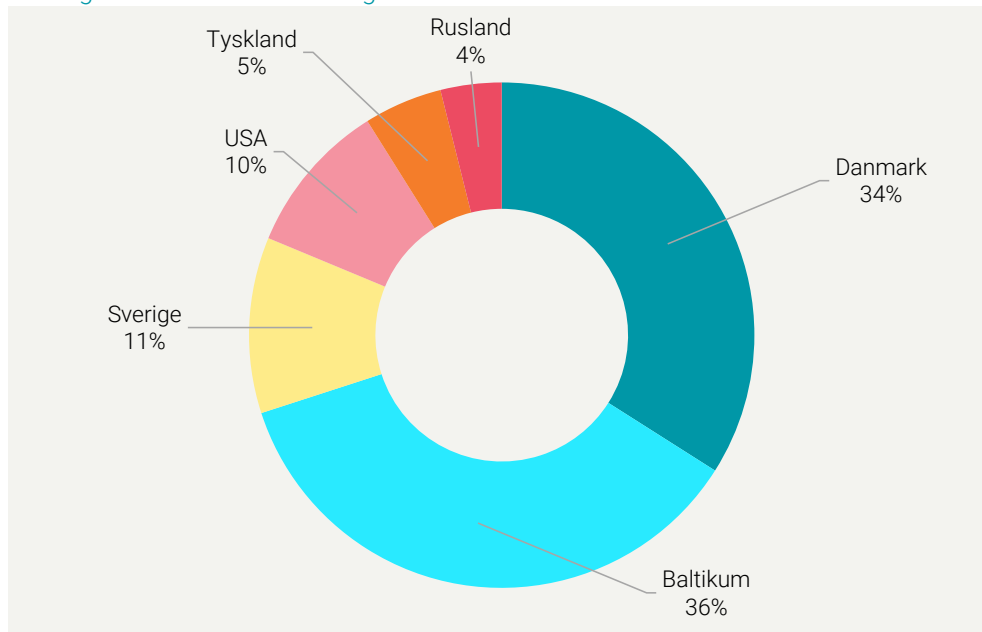
34 pct. af den totale mængde træbrændsler, som blev anvendt til produktion af el, fjernvarme og individuel varme i Danmark i 2022, havde således dansk oprindelse, mens 66 pct. var importeret (Nielsen, 2024).

Baltikum tegner sig for godt en tredjedel (36 pct.) af den samlede mængde, og resten stammer fra et bredt udsnit af lande bl.a. Sverige, USA og Tyskland, jf. Figur 2. Der er væsentlig forskel på den geografiske oprindelse af henholdsvis træflis, træpiller og brænde. Således stammer 92 pct. af brændet fra Danmark, mens kun ca. 6 pct. af træpiller til husholdninger stammer fra Danmark. De kommer derimod for en tredjedels vedkommende fra Sverige og for en tredjedels vedkommende fra Rusland³. Træflisen kommer fra Danmark, Letland, Sverige og Tyskland. Træpiller til el og fjernvarme kommer for to tredjedels vedkommende fra Estland, Letland og USA

³ Import fra Rusland stoppede i løbet af 2022 pga. sanktioner fra certificeringsorganisationer og EU.

og kun 7 pct. stammer fra Danmark. Se Table 4 i Nielsen (2024) for detaljer om den geografiske fordeling af biomassen til hver type af brændsel (Nielsen, 2024).

Figur 2: Geografisk oprindelse af det samlede forbrug af træbrændsler til produktion af el og varme inkl. husholdninger i Danmark i 2022



Kilde: Bearbejdning af Nielsen, 2024, som har brugt indberetningsdata fra Energistyrelsen samt importdata fra Danmarks Statistik for så vidt angår den geografiske fordeling af importeret brænde. Fordelingen er baseret på vægt. **Anm.:** Importen fra Rusland stoppede i foråret 2022 som følge af invasionen i Ukraine (først pga. udfordringer med at kunne overholde EU's tømmerforordning om sikring af lovlighed og derefter pga. egentlige EU-sanktioner mod træimport).

2.2 Den globale nettoudlednings over tid fra forbruget af træ til produktion af el og varme

Den samlede nettoudledning består af udledninger fra energiproduktionen, transport m.m. og indirekte effekter

I dette notat er der fokus på at opgøre nettoudledningerne, som er forbundet med Danmarks forbrug af faste biobrændsler. Definition af nettoudledninger og andre anvendte begreber findes i Boks 1. Nærmere bestemt ligger fokus på træbrændsler, som her omfatter træpiller, træflis og brænde.

Resultaterne er baseret på en analyse af det faktiske forbrug af træpiller og træflis til el- og fjernvarmeproduktion i danske varmegærd og kraftvarmegærd i 2020 (IGN, 2023) samt en genberegning og udvidelse af hovedresultaterne til også at omfatte husholdningers forbrug af træpiller og brænde i 2022 (Nielsen, 2024). Desuden anvendes et andet og mere omfattende datamateriale, jf. afsnit 3.4. Halm er ikke medtaget eftersom dynamikkerne og tidsperspektivet for klimaeffekten adskiller sig væsentligt fra træbrændslerne. Analyserne er bestilt af Energistyrelsen.



Opgørelse af den samlede nettoudledning bruges til at tegne et mere komplet billede af udledninger fra det danske forbrug af træbiomasse, end hvis der alene blev set på de faktiske bruttoudledninger fra skorstene m.m. eller på ændringer af skovens kulstoflager, hvor træbiomassen høstes.

Den samlede nettoudledning, omfatter følgende tre elementer af udledninger:

- *Biogene udledninger fra energiproduktion.* Det kulstof som frigives fra skorstenene til luften i form af CO₂ fra det afbrændte træ i stedet for at være bundet i skovens kulstofpuljer af dødt og levende træ m.m.
- *Procesudledninger.* Udledninger forbundet med produktion og transport af biomasse. Kan både være fossile og biogene.
- *Udledninger fra indirekte effekter.* Udledninger knyttet til indirekte ændringer i arealanvendelsen, herunder fældning af træer andre steder, som ellers ikke ville være blevet fældet eller plantning af træer som ellers ikke ville være plantet, eller i brugen af andre materialer i stedet for træ til produkter, som følge af forbruget af biomasse til energiformål, jf. Boks 1.



Boks 1: Nøglebegreber

- **Samlet nettoudledning:** Svarer til det ekstra CO₂-indhold i atmosfæren fra det pågældende forbrug af biomasse; isoleret set. Omfatter nettoudledning fra selve energiproduktionen, fra forarbejdning og transport af biomassen samt fra indirekte effekter af biomasseforbruget (jf. indirekte effekter).
- **Alternativ skæbne:** Hvad biomassen ville være blevet brugt til, hvis den pågældende biomasse ikke var blevet brugt til produktion af bioenergi.
- **Faktisk biogen bruttoudledning:** Udledning fra skorstene, udstødningsrør m.v. ved forbrænding af biobrændsler og biobrændstoffer. Omfatter den biogene del af direkte udledninger og af udledninger forårsaget af indirekte effekter.
- **Biogen nettoudledning:** Faktisk biogen bruttoudledning fraregnet den udledning, som alternativt (jf. alternativ skæbne) ville være sket i fravær af forbruget af biomasse til energiproduktion. Heri indgår eventuelle forskelle mellem det faktiske og det alternative kulstofoptag i skoven efterfølgende.
- **Indirekte effekter:** Indirekte effekter på arealanvendelse, indirect Land-Use Change (se iLUC), og på brugen af træ, indirect Wood-Use Change (se iWUC).
- **iLUC:** 1) Udvidelse af det forvaltede skovareal ind i naturskov på grund af øget efterspørgsel, hvilket sænker kulstoflageret der og 2) ændret forvaltningspraksis i skovene som følge af biomasseefterspørgslen og deraf følgende stigende pris, fx øget brug af hjælpetræer, som øger tilvæksten på arealet.
- **iWUC:** Markedsændringer, som følge af priseffekter, når mere træ forbruges til energiproduktion, og der dermed er mindre træ til rådighed til træmaterialer ved det pågældende prisniveau. Det antages, at efterspørgslen på materialer er konstant, så derfor medfører det mindskede udbud af træ til materialer enten en øget hugst et andet sted (medregnet i iLUC) eller et øget forbrug af andre materialer, når det mindskede udbud får prisen på træmaterialer til at stige. Fx beton, som har en højere samlet nettoudledning end træ.
- **Halveringstid:** Den tid, det tager for halvdelen af det bundne kulstof i træet at blive frigivet til atmosfæren som CO₂, fx ved gradvis forrådnelse af træ, der efterlades i skovbunden eller ved den gradvise afvikling af træprodukter gennem affaldsforbrænding.
- **Biogen kulstofgæld:** Svarer til den biogene nettoudledning. Gælden skyldes en tidsforskydning (typisk fremrykning) fra gradvis udledning via den alternative forrådnelse af træ i skovbunden til øjeblikkelig udledning ved forbrænding i kraftværker, brændeovne m.m.
- **Udledningsfaktor:** Udledning per enhed energi i biomassen. Opgøres i kg CO₂ per GJ.
- **Rester:** De trærester fra skovbrug og fra træindustri, som ikke giver anledning til indirekte effekter. Det er altså træ, som i den givne situation ikke kunne bruges til andre træprodukter, ikke har medført ekstra hugst, ikke har ført til ændret skovforvaltning m.v.



Fossile udledninger og permanente biogene udledninger udgør tilsammen seks pct. af de samlede udledninger på 12,4 mio. ton CO₂ i forbrugsåret

Danmarks forbrug af træbrændsler til produktion af el og varme i 2022 resulterede i en samlet faktisk bruttoudledning (lig med nettoudledning i år 1) på 12,4 mio. ton CO₂. Udledningen er forholdsvis ligeligt fordelt mellem forbruget af træpiller og træflis.

Hovedparten af den faktiske bruttoudledning skete i form af biogen udledning fra skorstenene hos energiproducenterne og fra private træpillefyr og brændeovne. Hertil kom mindre mængder fossile og biogene udledninger fra bl.a. industrier, som fremstiller træpiller, transport, samt diverse indirekte effekter. Den tidsafhængige, midlertidige biogene andel af de samlede, faktiske bruttoudledninger knyttet til forbruget udgjorde 10,1 mio. ton, svarende til 94 pct. af udledningerne i forbrugsåret, mens den fossile og den permanente biogene andel samlet set udgjorde 6 pct. (Nielsen, 2024). De fossile udledninger var altovervejende knyttet til transport samt til øget brug af fx stål og beton som konsekvens af de indirekte effekter af biomasseforbruget til energiproduktion (iWUC), se forklaring i Boks 1.

Klimaeffekten af Danmarks forbrug af træbrændsler afhænger af det anlagte tidsperspektiv

Et tal for den faktiske bruttoudledning giver ikke i sig selv svaret på, hvor meget forbruget af biomasse til energiproduktion i Danmark isoleret set påvirker det globale klima på sigt. Over tid modsvares den biogene del af den faktiske bruttoudledning af den undgåede alternative udledning fra nedbrydning af træbiomassen, som alternativt ville have fundet sted i skoven eller ved træindustrien, hvis rester i form af grene, stammer mv. var blevet efterladt, i stedet for at blive brændt af i fx varmeværkerne, jf. Boks 2.



Boks 2: Grundlæggende viden om det danske forbrug

Resultaterne er baseret på data om biomasseforbrug og antagelser om skovforvaltning, træmarkedet mv. (IGN, 2023) (Nielsen, 2024).

Baseret på den bedst tilgængelige viden er det bl.a. antaget, at næsten hele det danske forbrug af træpiller og træflis til dansk produktion af el og fjernvarme kommer fra træer, der fældes af andre grunde end energiproduktion (skønsmæssigt 98,5 pct.). Træerne fældes generelt, fordi den mest værdifulde del af træet kan sælges til byggematerialer, papir og andre træprodukter. Den anvendte træbiomasse består hovedsageligt af grene, toppe og stammedele af dårlig kvalitet samt rester fra træindustrien.

Ligeledes er det antaget skønsmæssigt, at 1,5 pct. af forbruget (10 pct. af visse biomassetyper, se Nielsen (2024)) fældes på grund af efterspørgslen på biomasse til energiproduktion (såkaldt ekstra hugst). Det er desuden en vigtig antagelse om forbruget, at skoven (træbevoksningen) genetableres efter fældning, så der vokser nye træer op¹.

Desuden antages det, at 10 pct. af visse biomassetyper, totalt 6,5 pct. af forbruget, ville kunne være brugt til alternative træprodukter i den nuværende markedssituation, hvilket resulterer i indirekte udledninger fra iLUC- og iWUC-priseffekter, jf. Boks 1, som er medregnet i nettoudledningen.

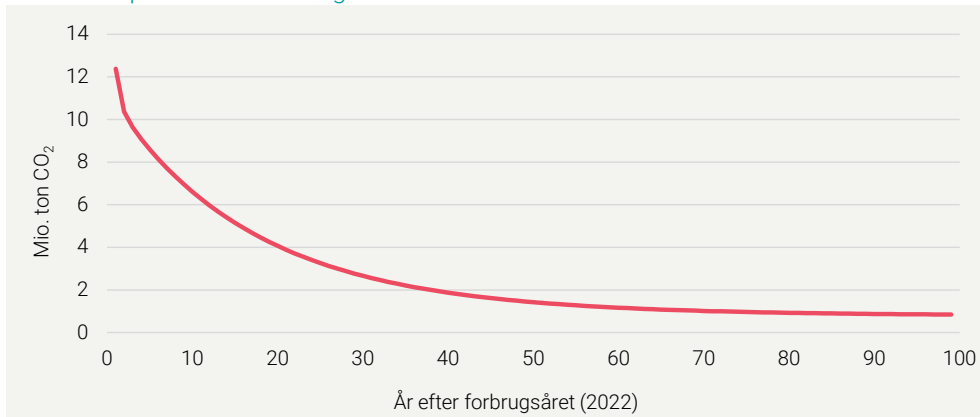
Den del af træet, som er fældet af andre grunde end energiproduktion og som ikke kan sælges til andre produkter på det nuværende marked, betegnes som rester, hvilket skønsmæssigt udgør ca. 92 pct. af det totale forbrug i 2022², jf. Boks 1.

¹ Genetablering af skov efter hugst har været et krav i den frivillige brancheaftale fra 2016 (Dansk Energi, 2016) og er fra 30. juni 2021 et lovkrav i de danske bæredygtighedskriterier for træbiomasse til produktion af el og varme (Bekendtgørelse nr. 649 af 31/05/2023).

² Tallene er baseret på antagelserne i IGN (2023) og Nielsen (2024). IGN (2023) og Nielsen (2024) påpeger, at der er behov for mere viden om omfanget af disse effekter.

Når man ser på forbruget i et enkelt år (2022) isoleret set, fremgår det af Figur 3 og Tabel 1, at den samlede *nettoudledning* fra det danske forbrug af træbrændsler til el og varme i 2022 i år 1 var på 12,4 mio. ton CO₂ (svarende til den faktiske brutto-udledning). Men som det også fremgår af figuren, falder nettoudledningen, altså det ekstra indhold af CO₂ i atmosfæren knyttet til forbrugsåret, over tid på grund af skovens kulstofkredsløb, jf. Figur 10. Specifikke nettoudledningstal afhænger dermed af tidsperspektivet.

Figur 3: CO₂-effekten (nettoudledningen) fra forbruget af 102 PJ træpiller, træflis og brænde til produktion af el og varme i 2022 set over tid



Kilde: Nielsen (2024). **Anm.:** Figuren illustrerer nettoudledningen fra det forbrugsmix og den mængde af træpiller, træflis og brænde, der konkret blev anvendt til produktion af el og varme i den kollektive forsyning såvel som i husholdninger i forbrugsåret 2022.

Tabel 1 viser den samlede nettoudledning fra den mængde af træbrændsler, der konkret blev anvendt til produktion af el og varme i forbrugsåret 2022. Som det fremgår, falder nettoudledningen over tid. Dette skyldes at den samlede udledning ved alternative anvendelser af træet stiger over tid. Efter ti år er mængden af CO₂ i atmosfæren, der er knyttet til det konkrete forbrug i 2022, faldet til 6,6 mio. ton (et fald på 47 pct.), efter 20 år til 4,1 mio. ton (et fald på 67 pct.) og efter 30 år er nettoudledningen faldet til 2,7 mio. ton (et fald på 78 pct.). 81 år efter forbrugsåret er kun 1 pct. af de tidsafhængige biogene udledninger tilbage som et øget indhold af CO₂ i atmosfæren. Den øvrige nettoudledning (CO₂-effekt) består af fossile udledninger forbundet med produktion og transport samt øget forbrug af fossil energi til stål og beton samt permanente biogene udledninger fra indirekte ændring i arealanvendelse (iWUC, se forklaring i Boks 1).

Tabel 1: Samlet nettoudledning fra forbruget af 102 PJ træpiller, træflis og brænde til produktion af el og varme i 2022 set over tid

År efter forbrugsåret	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Nettoudledning (mio. ton CO ₂)	12,4	6,6	4,1	2,7	1,9	1,4	1,2	1,0	0,9	0,9	0,8

Kilde: Nielsen, 2024

Der vises i Nielsen (2024) separate resultater for de fire typer af træbrændsler, som indgår i den samlede udledningsprofil (nettoudledningskurve) for det danske forbrug af træbrændsler. Træpiller til direkte opvarmning i husholdninger samt brænde er nye typer af brændsler i beregningen i forhold til GA23.

Træpiller til husholdninger er kendetegnet ved et stort indhold af rester fra træindustri, som har en hurtig nedbrydning i sin alternative skæbne, samt ved lang



transportafstand fra bl.a. Rusland og USA, jf. Figur 6 samt Table 4 i Nielsen (2024). Den hurtige alternative nedbrydning af biomasseindholdet i disse træpiller får nettoudledningen til at falde hurtigt, men den lange transportafstand, som giver større fossile udledninger, gør til gengæld, at kurven for træpiller til husholdninger stabiliserer sig på et højere niveau end tilfældet er for det gennemsnitlige forbrugsmix (Nielsen, 2024).

Brænde, der anvendes til direkte opvarmning i husholdninger, er kendetegnet ved en stor andel stammetræ samt ved kort transportafstand fra primært Danmark, jf. Figur 6 samt Table 4 i Nielsen (2024). Den langsomme alternative nedbrydning af biomasseindholdet i brændet får nettoudledningen til at falde langsommere, men den korte transportafstand, som giver færre fossile udledninger, gør til gengæld, at kurven for brænde stabiliserer sig på et lavere niveau end det er tilfældet for det gennemsnitlige forbrugsmix (Nielsen, 2024).

Disse to nye brændselstyper, som i nærværende notat supplerer tidligere års beregninger af udledningsprofiler for træflis og træpiller til produktion af el og fjernvarme ("den kollektive forsyning"), trækker gennemsnitskurven for det samlede danske forbrug i hver sin retning. Både mht. hvor hurtigt kurven falder og på hvilket niveau den stabiliserer sig.

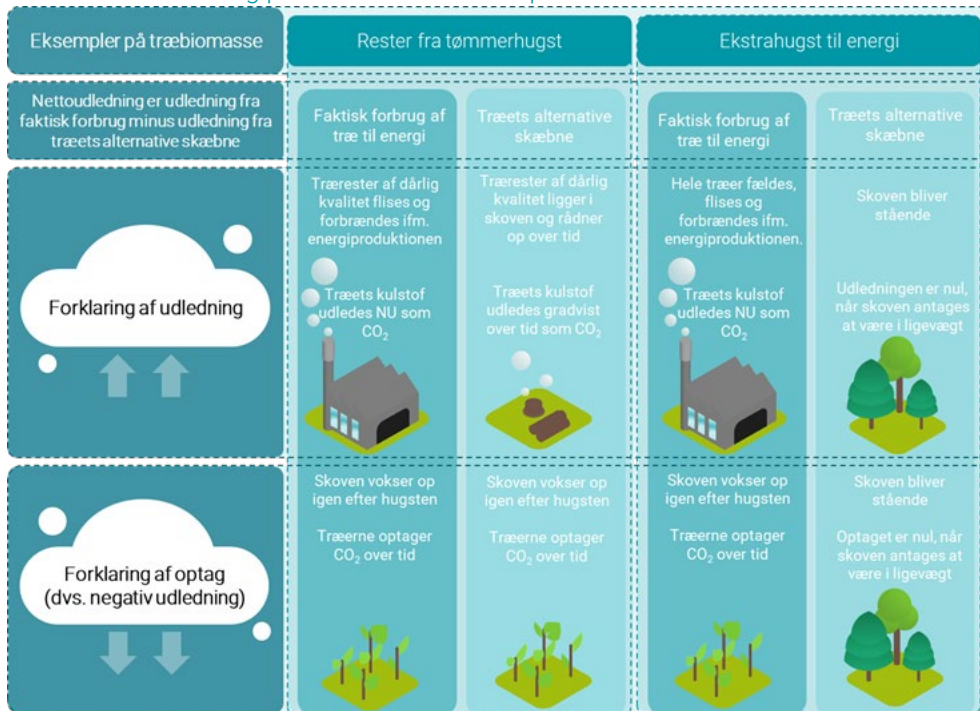
Udledningen fra træets alternative skæbne modregnes i den faktiske udledning

Aspektet omkring træets alternative skæbne, hvis det ikke blev anvendt til produktion af bioenergi, er vigtigt for at kunne beregne biomassens nettoudledning. Beregningen af nettoudledningen sker ved, at den undgåede alternative udledning trækkes fra den faktiske bruttoudledning⁴.

Figur 4 viser to eksempler på faktisk forbrug (skæbne) af biomasse og biomassens respektive alternative forbrug (skæbne) i de to eksempler. I det første eksempel bestående af rester fra tømmerhugst er alternativet, at resterne (fx grene og toppe) efterlades i skoven til gradvis naturlig nedbrydning, hvorved der frigives CO₂. I det andet eksempel bestående af træer, som er fældet ekstra til energiformål, er alternativet, at træerne bliver stående med bibeholdt kulstoflager, hvis der ikke havde været efterspørgsel på træ til energiformål.

⁴Der er ikke her indregnet udledninger fra alternative energikilder til produktion af den el og varme, som i 2022 blev produceret ved forbrænding af træ.

Figur 4: Princip for beregning af den biogene del af nettoudledningen fra træbiomasse til energiproduktion – to eksempler



Kilde: Energistyrelsen. **Anm.:** Beregningen af den biogene nettoudledning sker ved, at den alternative udledning trækkes fra den faktiske udledning, og det alternative optag trækkes fra det faktiske optag (som negative udledninger).

Forskellene i tidsafhængig biogen nettoudledning mellem de faktiske bruttoudledninger fra forbruget og de undgående, alternative udledninger fra biomassens alternative skæbner, skyldes en tidsforskydning af udledninger og optag, dvs. en biogen kulstofgæld. I det første eksempel i Figur 4 sker der en faktisk udledning nu, mens den alternative udledning først ville være sket senere. I det andet eksempel sker der en faktisk udledning nu, hvilket leder til et gradvist senere optag, som alternativt ikke ville være sket.

Eksemplet i Figur 4 med rester fra tømmerhugst (skovbrug) udgør ca. 61 pct. af det samlede forbrug af træbrændsler til produktion af el og varme i 2022⁵. Eksemplet med ekstra hugst til energi udgør skønsvis 1,5 pct. af forbruget (Nielsen, 2024)⁶.

⁵ Beregnet som 100 pct. af resterne fra skovbrug (som udgør 19 pct. af forbruget) plus 90 pct. af stammerne (som udgør 32 pct. af forbruget) og 90 pct. af energitræ fra skov (som udgør 4 pct. af forbruget) og 90 pct. af restprodukter fra ikkeskov (som udgør 11 pct. af forbruget). Øvrigt forbrug er de 10 pct. af stammerne og 10 pct. af industriresterne, som har resulteret i indirekte effekter i form af iLUC og iWUC (dvs. som har en anden alternativ skæbne end den viste), samt de 90 pct. af industriresterne (som udgør 34 pct. af forbruget), som har en alternativ skæbne, der ligner eksemplet med rester fra tømmerhugst, dvs. forrådnelse over tid.

⁶ Beregnet som 10 pct. af restprodukter fra ikkeskov (som udgør 11 pct. af forbruget) samt 10 pct. af energitræ fra skov (som udgør 4 pct. af forbruget).



Udledningsfaktorer viser nettoudledning per enhed energi i biomassen

Når nettoudledningen, som viser det ekstra CO₂-indhold i atmosfæren, opgøres per energienhed, kan udledningen beskrives uafhængigt af, hvor stort forbruget af biomasse er. Desuden bliver det lettere at sammenligne udledninger fra biomasse med udledninger fra fx fossile brændsler som kul og gas.

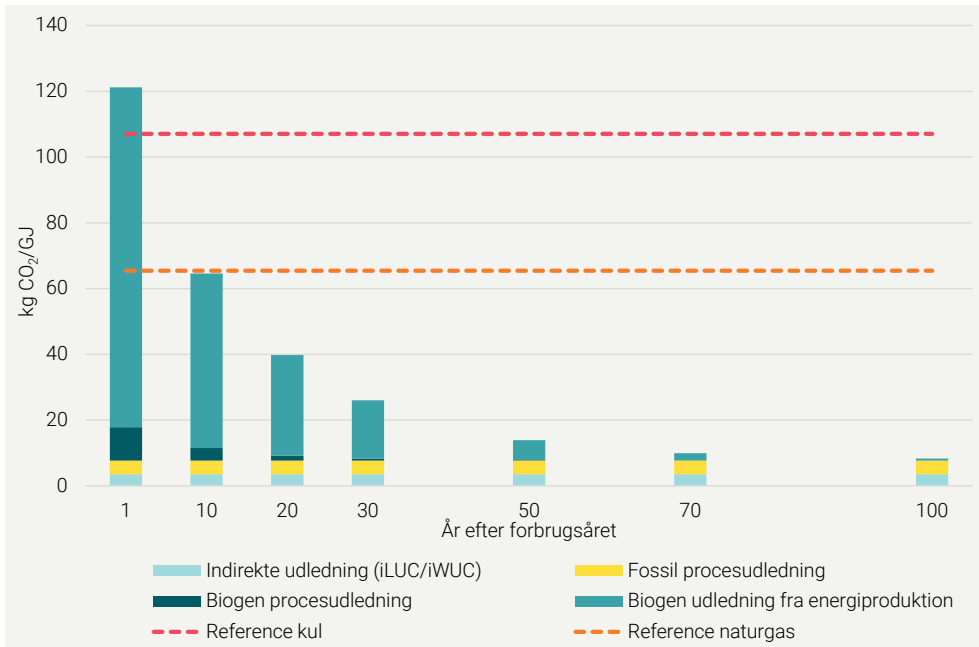
Nettoudledningerne fra biomasseforbruget falder også over tid, når de opgøres per enhed energi i biomassen. Som det fremgår af Figur 5 og Tabel 1, ligger den samlede nettoudledning i år 1 fra den anvendte biomasse i forbrugsåret 2022 på 121 kg CO₂ per GJ. Det er højere end udledningen fra forbrug af kul til produktion af samme mængde energi⁷. 10 år efter forbrugsåret 2022 ligger nettoudledningen fra dette års forbrug, målt per energienhed, på 65 kg CO₂/GJ. Det er på niveau med udledningen fra fossil naturgas til produktion af samme mængde energi. 30 år efter forbrugsåret 2022 ligger nettoudledningen, målt per energienhed, på 26 kg CO₂/GJ.

Efter et antal årtier består den samlede nettoudledning fra forbruget primært af de fossile udledninger relateret til bl.a. transport, samt en mindre andel varige biogene udledninger⁸ fra en indirekte ændring i arealanvendelse.

⁷ Den faktiske bruttoudledning fra forbrænding af biomasse er højere end for kul ved en tilsvarende mængde produceret energi. Det skyldes primært en lavere energitæthed i biomasse per kulstofmolekyle, men også udledninger fra tørring af træpiller og fra indirekte effekter af biomasseforbruget (IGN, 2023).

⁸ Med "varige biogene udledninger" menes varige i en modelmæssig kontekst. Der er tale om, at modellen indregner at fx naturskov med et højt kulstoflager inddrages i aktiv træproduktion og skovforvaltning, hvilket generelt fører til et lavere kulstoflager. Så længe dette er tilfældet, vil den pågældende mængde kulstof/CO₂ være flyttet fra skoven til atmosfæren og udledningen vil dermed være "varig" eller "permanent" i en modelbetragtning.

Figur 5: Nettoudledningen per enhed energi i biomassen (udledningsfaktor) fra forbruget af træpiller, træflis og brænde til produktion af el og varme i 2022 set over tid



Kilde: Nielsen, 2024. **Anm.:** Figuren illustrerer nettoudledningen fra det forbrugsmix og den mængde af træpiller, træflis og brænde, der konkret blev anvendt til produktion af el og varme i den kollektive forsyning såvel som i husholdninger i forbrugsåret 2022. Produktions- og transportudledninger er også medregnet i referenceværdierne for naturgas og kul.

Tabel 2 viser resultaterne for CO₂-effekten (nettoudledningen) per energienhed. Tabellen viser de tidsspecifikke udledningsfaktorer, dels som totaler og dels opdelt på de enkelte dele af den samlede nettoudledning per energienhed i biomassen. Desuden vises de fossile brændselsreferencer.



Tabel 2: Nettoudledning per enhed energi i biomassen (udledningsfaktor) fra forbruget af træpiller, træflis og brænde til produktion af el og varme i 2022 set over tid

År efter forbrugsåret	1	10	20	30	50	70	100
Udledningsfaktor (kg CO₂/GJ)	121,2	64,7	39,8	26,0	13,9	9,9	8,3
<i>Biogen udledning fra energiproduktion</i>	103,4	53,1	30,6	17,7	6,1	2,2	0,6
<i>Biogen procesudledning</i>	10,1	3,8	1,5	0,6	0,1	0,0	0,0
<i>Fossil procesudledning</i>	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
<i>Indirekte udledning (fossil samt og permanent biogen)</i>	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
<i>Reference kul</i>	107,1	107,1	107,1	107,1	107,1	107,1	107,1
Reference naturgas	65,4	65,4	65,4	65,4	65,4	65,4	65,4

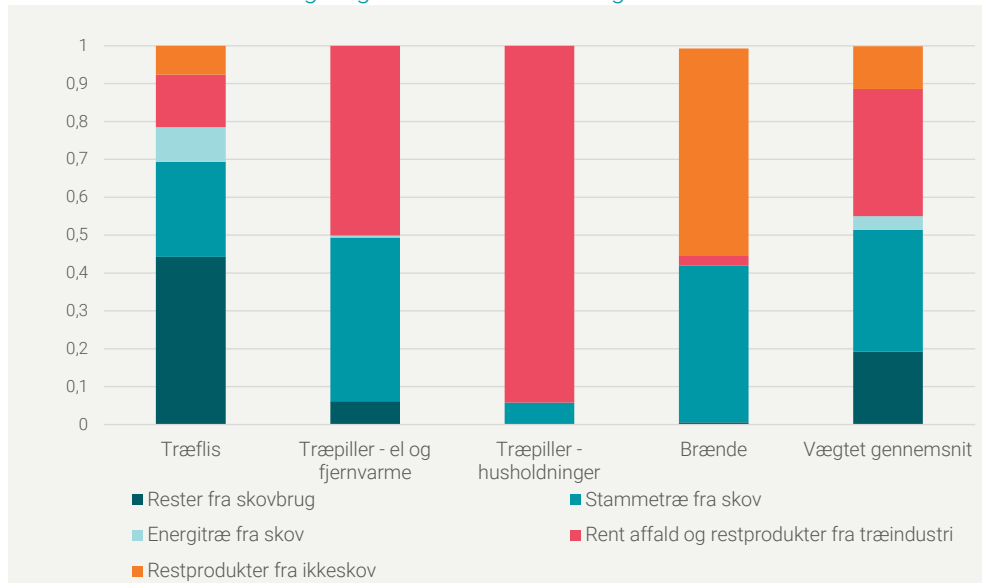
Kilde: Nielsen, 2024

Det fremgår ved en sammenligning mellem Nielsen (2023) og Nielsen (2024), at udledningsfaktoren falder svagt hurtigere i beregningen for forbrugsåret 2022 ("stablerne er lidt lavere i mellemårene mellem forbrugsåret og år 100"). Det skyldes primært, at der samlet set er forbrugt en mindre andel stammer, som har en lang halveringstid og dermed en forholdsvis langvarig alternativ udledning (Nielsen, 2024). Andelen stammetræ fra skov er faldet fra 45 pct. i 2021 til 32 pct. i 2022, jf. Figur 6. Hertil kommer dog at ca. halvdelen af træet i biomassetyperne energitræ fra skov og rester fra ikke-skov også regnes som stammetræ i modellen, hvilket er beskrevet i Nielsen (2024). Det bringer den samlede andel stammetræ i den udvidede mængde træbrændsel, som der regnes på i GA24 op på ca. 39 pct.

Indhold i træpiller, træflis og brænde samt træets alternative skæbne

Indholdet i træbrændslerne, dvs. træpillerne, træflisen og brændet kan deles op i biomassetyper, jf. Figur 6. Se forklaring på de enkelte biomassetyper nedenfor. Træflis består primært af biomassetypen rester fra skovbrug efterfulgt af stammetræ fra skov. Træpiller til el og fjernvarme, dvs. det kollektive forbrug, består primært af rester fra træindustri efterfulgt af stammetræ fra skov, hvorimod træpiller til husholdninger næsten udelukkende består af rester fra træindustri. Brænde formodes at bestå af restprodukter fra ikke-skov, dvs. levende hegn og småbevoksninger i det åbne land, efterfulgt af stammetræ fra skov. I det vægtede gennemsnit udgør rester fra træindustri og stammetræ fra skov de to største og næsten lige store delmængder med hhv. 34 og 32 pct.

Figur 6: Fordelingen mellem indholdet af biomassetyperne i de forskellige træbrændsler samt et vægtet gennemsnit for forbrugsmixet i 2022



Kilde: Nielsen, 2024

Antagelser om biomassetyperne

Rester fra skovbrug (harvest residues) er grene og toppe fra hugst af træer til tømmer mv. eller fra udtynding, dvs. pleje af skovbevoksninger. Den alternative skæbne for hugstrestre antages for 30 pct. vedkommende at være, at grenene og toppene brændes af lokalt uden energiudnyttelse (halveringstid 0,5 år) og for 70 pct. vedkommende at være, at de stakkes og efterlades til naturlig nedbrydning (halveringstid 10 år) dvs. en gennemsnitlig halveringstid på 7,15 år (IGN, 2023).

Stammetræ fra skov (stems) er defineret som træstammer fra bevoksninger (skovområder), hvor træerne er klar til salg som tømmer, men hvor en del af stammerne typisk har for dårlig kvalitet eller består af træarter, som der ikke findes afsætning for. Den alternative skæbne for stammer antages at være, at de fældede stammer for 90 pct. vedkommende efterlades i skoven og nedbrydes naturligt med en halveringstid på 15 år⁹. Grunden til at disse træer fældes uanset dårlig kvalitet er typisk at en del af stammen kan sælges til savværker, at det først efter fældning opdages at kvaliteten er dårlig eller at alle træer på arealet skal fældes for at kunne plante nye træer i det pågældende skovbrugssystem.

Rester fra træindustri (industrial residues) er savsmuld, bark, fraskær m.v. som skabes, når træstammer saves op til brædder osv. på savværket eller videre forarbejdes til møbler mm. Den alternative skæbne for industrirester antages for 90 pct. vedkommende at være, at savsmuldet m.v. brændes af lokalt uden

⁹ Halveringstiderne er her et gennemsnit for alle træarter og størrelser inden for biomassetypen baseret på tilgængelig viden (IGN, 2023). Forskerne gør opmærksom på, at der er behov for mere viden om nedbrydningshastigheder.



energiudnyttelse eller efterlades i stakke til naturlig nedbrydning med en samlet gennemsnitlig halveringstid på 5 år.

For 90 pct. af stammerne og industriresterne antages det, at der ikke fandtes et kommercielt alternativ til at sælge træet til energiproduktion, og at forbruget dermed ikke har resulteret i indirekte effekter (iLUC/iWUC). Denne antagelse hviler på den nuværende prisstruktur, som medfører at betydeligt bedre betalt konstruktionstræ m.m. har lav sandsynlighed for at blive anvendt til energi. Nielsen (2024) anfører, at prisen for træbrændsler i 2022 har overlappet med prisen for fx papirmasse, hvilket øger risikoen for at træ, som er egnet til fx papir, i stedet er anvendt til energiproduktion. Eftersom papir har en halveringstid på blot to år vil denne øgede risiko dog ikke ændre den samlede CO₂-effekt væsentligt. IGN, 2023

Energitræ fra skov (energy wood from forest) er træ som kommer fra afdrifter (fældninger), hvor alle træer afsættes til energiproduktion. Som beskrevet i Nielsen (2024) kan det give anledning til både positive og negative effekter på kulstoflagret i skoven over tid. For 10 pct. af denne mængde træ antages det i modelberegningen, at træerne ikke ville være fældet, hvis det ikke havde været for efterspørgslen til energi, og denne mængde beregnes som såkaldt ekstra hugst, hvor den alternative skæbne ville være at træet blev stående. De 45 pct. af mængden fra denne biomassetype beregnes som stammetræ fra skov og 45 pct. rester fra skovbrug.

Den sidste biomassetype i beregningen er træ fra såkaldt ikkeskov (non forest), dvs. levende hegn og småbevoksninger i det åbne land. For 10 pct. af denne mængde træ antages det i beregningen pga. de høje energipriser i 2022, at træerne ikke ville være fældet, hvis det ikke havde været for efterspørgslen til energi, og denne mængde beregnes som såkaldt ekstra hugst, hvor den alternative skæbne ville være at træet blev stående. De 90 pct. af mængden fra denne biomassetype modelleres for 70 pct. vedkommende som rester fra skovbrug og for 30 pct. vedkommende som stammetræ fra skov.

Stammer nedbrydes langsommere end trærester

Typen af biomasser i biobrændslerne og disse biomassers alternative skæbner er nogle af de faktorer, som har stor betydning for den samlede CO₂-effekt fra forbruget af træbrændsler. Nettoudledningen afhænger også på flere måder af biomassens oprindelse, se afsnit 4. CO₂-effekten fra forbruget af biobrændsler til energi påvirkes således af mange forskellige faktorer, jf. Tabel 3.

Det ses af Figur 7, at stammetræ fra skov og rester fra skovbrug har to ret forskellige udledningsprofiler over tid¹⁰. Figuren belyser dermed en generel årsagssammenhæng bag hovedresultaterne. Figuren viser udledningskurverne for

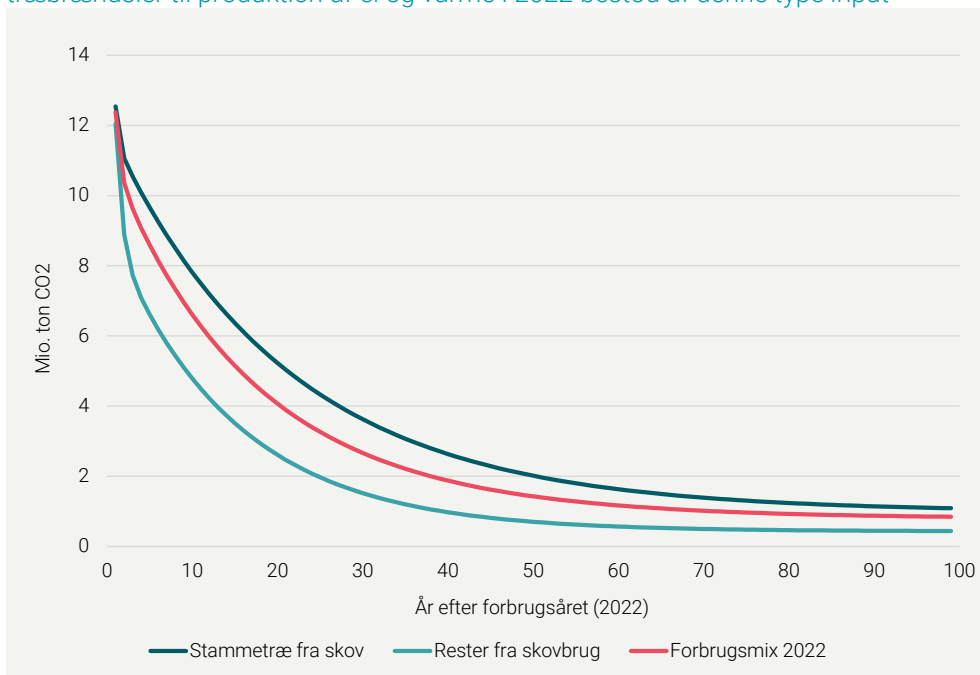
¹⁰ I denne figur er det ikke medregnet, at der for 10 pct. af stammetræet fra skov i beregningsmodellen er pålagt en udledning fra indirekte effekter af biomasseforbruget (iLUC/iWUC), hvilket skubber kurven opad.



de to biomassetyper, hvis hele forbruget i 2022 bestod af denne type. Nettoudledningen fra rester fra skovbrug reduceres hurtigere end for stammetræ fra skov, fordi den alternative udledning fra forrådnelse er sker hurtigere fra små træstykker (grene og toppe), som nedbrydes hurtigere, end fra stykker af tykkere stammer. Nettoudledningen fra rester fra skovbrug ti år efter forbrugsåret udgør ca. 60 pct. af den tilsvarende udledning fra stammetræ fra skov. Brug af rester fra skovbrug i form af grene, trætoppe og tyndingstræer kan således reducere nettoudledningen på kort sigt med ca. 40 pct. i forhold til brug af stammetræ.

Som det fremgår af Figur 7, ligger kurven over 2022-forbrugsmixet mellem de to andre kurver. Forbrugsmixet består af en blanding af stammetræ fra skov, rester fra skovbrug og de øvrige biomassetyper, jf. Figur 6. Tilsvarende kurver for de øvrige biomassetyper ville ligge mellem de to typer, som denne figur for tydelighedens skyld er begrænset til. På lang sigt ligger nettoudledningen fra forbrugsmixet dog over de andre kurver, fordi den kurve også indeholder fossile og permanente biogene udledninger knyttet til de enkelte brændsler.

Figur 7: Samlet nettoudledning (CO₂-effekt) set over tid for det samlede forbrugsmix i 2022, samt for hhv. stammer fra skov (halveringstid 15 år) og rester fra skovbrug (halveringstid 5 år) uden indirekte effekter, hvis hele forbruget af 102 PJ træbrændsler til produktion af el og varme i 2022 bestod af denne type input



Kilde: IGN, 2023Nielsen, 2024. **Anm.:** Kurven for forbrugsmixet illustrerer nettoudledningerne fra træbrændsler, der konkret blev anvendt til el- og varmeproduktion i 2022.



3 Metode og antagelser

Metode til kvantificering af biomassens klimaeffekt

Nettoudledningen fra anvendelse af biomasse til energiformål består af den udledning, som sker ved forbruget af biomasse set i forhold til, hvordan udledningen ville have været uden den pågældende høst eller fjernelse af biomasse til energiformål. Nærværende notats opgørelse af udledninger fra forbrug af biomasse er dermed rent metodemæssigt en marginal analyse, som ser på konsekvensen af det pågældende biomasseforbrug, men ikke på alternativerne til dette biomassemasseforbrug. Det analyseres altså ikke, hvilke konsekvenser i energisystemet et eventuelt fravær af biomasseforbrug ville have, og hvilke udledninger der fx ville være koblet til energiproduktion baseret på andre energikilder.

Opgørelsen af udledninger relateret til biomasse til energiformål er forbundet med væsentlig kompleksitet. Det skyldes, at det ikke er tilstrækkeligt at se på selve energiproduktionen, men at der også må indregnes påvirkningen fra det dynamiske kulstofkredsløb, som træbiomassen indgår i, dvs. udledninger og optag over tid i skove og jorde jf. Figur 10.

Dette notat belyser gennem en kvantitativ analyse, hvordan atmosfærens indhold af CO₂ påvirkes af det danske forbrug af træbrændsler til produktion af el og varme i den kollektive forsyning såvel som i husholdninger i 2022. Resultaterne er tidsafhængige, eftersom kulstofpuljerne i skoven er dynamiske.

Beregningen af den samlede nettoudledning sker ved, at den alternative udledning trækkes fra den faktiske udledning, og det alternative optag trækkes fra det faktiske optag (som negative udledninger) jf. Figur 4.

Data om husholdningernes forbrug

Der er generelt mindre robust viden om forbruget af træbrændsler i husholdninger m.v. end om forbruget til produktion af el og fjernvarme¹¹.

Informationen om forbruget af træpiller i husholdninger m.v. i 2022 (seneste dataår) baseres primært på "Træpilleundersøgelsen" (Ea, 2023). Den henter sin viden fra en spørgeskemaundersøgelse blandt danske producenter, importører, grossister og forhandlere af træpiller samt telefoninterviews med brancheaktører. Analysen ligger også til grund for Energistatistikken. Den tilgængelige viden består altså i høj grad af producenter, importører og andre forhandlers egne data og vurderinger.

Informationen om forbruget af brænde i husholdninger m.v. i 2021 baseres primært på "Brændeundersøgelsen" (ENS, 2022a). Den henter sin viden fra en

¹¹ Forbruget i husholdninger m.v. er det, som forbruges uden for anlæg til produktion af el og fjernvarme. Dvs. både i enfamiliehuse, etageboliger, fremstillingsvirksomhed og offentlig service, jf. ENS (2023).



spørgeskemaundersøgelse blandt landets husholdninger, dvs. fra forbrugernes egne vurderinger. Tallene for brænde inkluderer her træbriketter.

Der findes ingen specifik viden om husholdningers forbrug af træflis, som udgør ca. 5 pct. af det samlede flisforbrug (ENS, 2023), og det omtales ikke nærmere her.

Danmarks globale klimapåvirkning – Global afrapportering (GA24) er et supplement til den årlige Klimastatus og –fremskrivning

Klima, Energi og Forsyningsministeriets Klimastatus og -fremskrivning redegør for Danmarks nationale udledninger, dvs. udledningerne inden for Danmarks grænser, jf. FN's opgørelsesmetoder. CO₂-udledning fra forbrænding af biomasse skal ifølge FN-reglerne ikke medregnes, der hvor biomassen forbruges. Det skyldes, at udtaget af biomasse i stedet skal opgøres i produktionslandenes klimaregnskab for landsektoren, LULUCF¹² (IPCC, 2006). På denne baggrund medregnes udledninger fra forbruget af importeret biomasse ikke i opgørelsen af Danmarks nationale udledninger. GA24 belyser i nærværende notat hvordan og i hvilket omfang det danske forbrug af træbrændsler påvirker atmosfærens indhold af CO₂.

Forskelle til beregning af det forbrugsbaserede klimaaftryk

I beregningen af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk (se baggrundsnotatet *Klimaaftrykket af forbrug*) indgår klimaeffekter relateret til ændringer i kulstofpuljerne for arealer dyrket til landbrugsformål¹³, men ikke for skove. Fossile procesudledninger indgår også i det forbrugsbaserede klimaaftryk, mens biogene procesudledninger¹⁴ og udledninger fra indirekte effekter ikke indgår. Baggrunden for denne tilgang er de metodemæssige udfordringer forbundet med udledninger fra skovbrug samt med ændringer i anvendelsen af arealer. Der er således kun et lille overlap mellem dette notats samlede udledninger fra biomasseforbruget og Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk.

Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk er baseret på en opgørelse af alle verdens udledninger (bortset fra skove og ændring i arealanvendelse) fordelt til produktkategorier og derefter koblet til Danmarks forbrug af disse produkter; en såkaldt "attributiv top-down-tilgang". Energistyrelsen er ikke bekendt med studier, der har forsøgt at opgøre dette separat og i sin helhed for træbiomassens vedkommende. Landenes klimaregnskaber for landsektorerne, herunder for skov, er i sig selv svære at opgøre, og dertil kommer udfordringen med at adskille effekterne koblet til den biomasse, som anvendes til energiproduktion, fra den biomasse, som bliver til træprodukter.

¹² Land Use, Land Use Change, and Forestry (overlapper med AFOLU: Agriculture, Forestry and Other Land Use)

¹³ LU-kategorierne "grassland" og "cropland"

¹⁴ Fx forbrænding af træ i forbindelse med tørring af træpiller, dvs. som en del af den samlede procesudledning til høst, forarbejdning og transport.



I et separat baggrundsnotat til GA22 (*Ændringer i arealanvendelse*) opgøres udledninger fra ændringer i arealanvendelse (LUC) knyttet til dansk forbrug. LUC-notatet benytter samme metode som ved beregningen af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk, men ser alene på afskovning som konsekvens af forbruget. Dermed er der ikke overlap til indeværende notat, fordi skoven, der leverer træbiomasse til dansk produktion af el og varme, uanset hvilket land denne skov befinder sig i, genetableres efter hugsten, jf. Boks 2 (IGN, 2023).

3.1 Metodebeskrivelse

Metoden bag resultaterne i nærværende notat om biomassens nettoudledning bygger på en videreudvikling af et arbejde præsenteret i IGN (2020) samt en række analyser bygget på et udvidet materiale (IGN, 2023). Dertil kommer, at hovedresultaterne i IGN (2022) er genberegnet til GA23 baseret på 2021-forbruget i Nielsen (2023) og til GA24, samt udvidet med brænde og træpiller til husholdninger, baseret på nyt datasæt om 2022-forbruget i Nielsen (2024).

Modelberegningerne omfatter både de direkte og indirekte CO₂-udledninger samt ændringerne i kulstofpuljerne, jf. afsnittet om Værktøjer/modeller nedenfor.

Klimapåvirkningen kan udtrykkes på mange måder. Udover alle de faktorer, som afgør nettoudledningen, så bestemmes resultatet af, hvorvidt der ses på effekten over tid af et enkelt års forbrug eller af et fortsat forbrug, samt om der er tale om den samlede nettoudledning eller en udledningsfaktor per enhed energi i biomassen. IGN's analyse (2022), som resultaterne i nærværende notat, både for 2020-forbruget og 2022-forbruget, bygger på, beskriver alle disse dimensioner af klimaeffekten.

Sidst, men ikke mindst, afhænger den specifikke klimaeffekt (formuleret som ét tal) i de fleste typer af analyser af biomasse af det valgte tidsperspektiv.

3.2 Værktøjer/modeller

IGN (2022) har opstillet en model, som fastsætter størrelsen af de samlede CO₂-udledninger fra forbruget af biomasse. Modellen beregner kulstoflagre og strømme af kulstof koblet til alle led i forsyningskæden fra skovforvaltningen til produktionen af el og fjernvarme. Modellen omfatter ikke CO₂-udledninger fra konstruktion af de forskellige varmekærker og kraftvarmekærker mv.

De direkte udledninger er de udledninger, som sker ved forbrænding i energiproduktionen og i forbindelse med høsten, transporten m.v. af biomassen. Indirekte udledninger stammer fra markedsbestemte konsekvenser af biomasseforbruget, herunder ændringer i arealanvendelse og træanvendelse samt ekstra hugst.

Der indgår ikke en alternativ, fossil energikilde i analysen. De alternative elementer omhandler alene træets alternative skæbne, dvs. hvad der ville være sket med



træbiomassen, hvis den ikke var blevet anvendt til energiproduktion. Fx efterladelse i skoven til naturlig nedbrydning eller brug i andre træprodukter.

3.3 Overordnede afgrænsninger og forudsætninger

Nogle overordnede afgrænsninger og forudsætninger for resultaterne om nettoudledning fra forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme samt brænde og træpiller til produktion af varme i husholdninger i 2022 blev præsenteret i afsnit 2. Disse udbygges og suppleres i dette afsnit.

Halm omfattes ikke af beregningerne

Forbruget af halm til energiproduktion er ikke omfattet af beregningerne af klimaeffekten.

Forbruget af halm til el og varme udgjorde i 2022 sammenlagt lidt over 19 PJ, heraf langt størstedelen i den kollektive forsyning (ENS, 2023).

Antagelser om kulstofpuljerne i skoven m.m.

Kulstofindholdet i alle skovens levende og døde træer medregnes, også rødderne. Puljen af kulstof i jorden antages dog at være uændret i løbet af modelperioden på 100 år og som følge af biomasseforbruget. Der ses alene på strømmene af CO₂, ikke af andre klimagasser (IGN, 2023). Det skyldes mangel på data og forskning, men vurderes ikke at spille en væsentlig rolle for resultaterne (Nielsen, 2024).

Der er andre klimapåvirkninger fra forbruget af biomasse end CO₂-udledning

Modellen til vurdering af nettoudledning fra biomasseforbrug giver ikke det fulde overblik over klimaeffekterne af høsten, fjernelsen og forbrændingen af træet. Eksempler på udeladte klimafaktorer er partikeludledning og albedoeffekt¹⁵ af ændret arealforvaltning. Det er således ikke en altomfattende klimamodel, men en afgrænset CO₂-model.

Forbruget af træ til energiproduktion påvirker også skovenes biodiversitet. Det er ikke belyst her, men se fx JRC (2021).

3.4 Primære datakilder

Hovedresultaterne for nettoudledning fra forbruget af træbrændsler stammer fra Nielsen (2024), som for første gang anvender Energistyrelsens datasæt fra virksomheders indberetning om deres forbrug af træbrændsler efter lovgivningen om bæredygtighedskrav¹⁶ samt importdata fra Danmarks Statistik og data fra Brændeundersøgelsen (ENS, 2022a). I øvrigt er genberegningen i Nielsen (2024) i vid udstrækning baseret på metode, grunddata og antagelser fra IGN (2022).

¹⁵ Albedo er et mål for refleksion af lys og bruges her om refleksion af energien i solstrålingen. Ændret arealforvaltning kan fx føre til mørkere arealer, som reflekterer mindre solenergi og derved absorberer mere energi, hvilket medvirker til global opvarmning.

¹⁶ Bekendtgørelse 1419nr. 649 fra 2022af 31/05/2023



Forbrugsdata og grunddata dækker tilsammen brændselsforbrug, brændselstype, oprindelse, skovtype, biomassetype, transportmiddel, værkets produktion af el og varme samt energiforbrug til træpilleproduktion.

Data er aggregeret til et vægtet gennemsnit for brændselstyperne. Data er derefter ekstrapoleret til at dække hele det danske forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme samt træpiller og brænde til produktion af varme i husholdninger. Øvrige udledningsresultater stammer fra IGN's beregninger til GA22 (IGN, 2023).



4 Supplerende og uddybende resultater og analyse

Dette afsnit supplerer og uddyber resultaterne i afsnit 2. Der gives der et overblik over faktorer, som påvirker klimaeffekten fra et specifikt forbrug af træbiomasse til energiformål. Forskellene mellem træflis og træpiller til produktion af el og fjernvarme foldes ud, og der sættes fokus på træets kulstofkredsløb fra skov til atmosfære. Dernæst gives en deskriptiv analyse af husholdningernes forbrug af træpiller, brænde og træbriketter. Til sidst sammenlignes med Global Afrapportering 2023.

4.1 Delresultater

Overblik over faktorer, som påvirker klimaeffekten

Biomassens samlede nettoudledning afgøres – foruden mængden – af træets oprindelse og type, som tilsammen har betydning for, hvor hurtigt eller langsomt de naturlige processer med tilvækst og nedbrydning sker, samt for antagelserne om, hvilken alternativ skæbne træet ville have haft, hvis det ikke blev brugt til energi.

Hertil skal lægges procesudledninger, som afgøres af, om det er flis, træpiller eller brænde samt hvordan træet tørres (til piller) og transporteres. Hertil skal også lægges udledninger forårsaget af indirekte effekter af biomasseforbruget, som afgøres af træets kvalitet og den lokale markedssituation m.v. I Tabel 3 gives en række eksempler på faktorer, som påvirker nettoudledningen fra træbiomasse.

Tabel 3: Eksempler på faktorer, som kan påvirke nettoudledningen fra forbruget af træbiomasse til energiproduktion

Overordnet faktor	Specifik faktor	Kommentar
Mængde		Mindre mængde giver lavere udledning og omvendt
Oprindelse	Nedbrydningshastighed	Klimazonen påvirker nedbrydningshastigheden. Høj nedbrydningshastighed giver hurtigere forrådnelse og dermed frigivelse af den bundne CO ₂ i træet (lav halveringstid)
	Tilvæksthastighed	Klimazonen påvirker tilvæksthastigheden. Høj væksthastighed medfører, at udledningerne fra ekstra hugst af hele træer til energi hurtigere kompenseres af et tilsvarende optag, samt at positive indirekte effekter af ændret skovforvaltning hurtigere øger kulstoflageret



Overordnet faktor	Specifik faktor	Kommentar
	Transportafstand og transportmiddel	Længere transport giver højere udledning. Lastbiltransport giver højere udledning end skibstransport per km
	Tørveindhold i drænet jord	Udledninger fra nedbrydning af organisk materiale i allerede drænedede tørvejorde. Hvis produktion opgives kan dræning ophøre, hvormed nedbrydningen ophører. Dog ikke specifikt knyttet til biomasse til energi, men til al produktion på arealet
Type	Dimension	Tyndere og mindre trædele nedbrydes hurtigere på grund af en større overflade i forhold til volumen, hvormed kulstoffet frigives hurtigere
	Kvalitet	Hvis træ bruges til energiformål i stedet for til træprodukter (iWUC), så udledes kulstoffet dels hurtigere, fordi træprodukter har en længere "levetid" (halveringstid) og dels kan forbruget af erstatningsmaterialer med en højere udledningsprofil øges. (Kvalitet er også koblet til forvaltning.)
	Restprodukt eller hovedprodukt	Et hovedprodukt bærer den største del af den samlede udledning fra arealanvendelsen. Biomasse er et hovedprodukt, hvis træet fældes dedikeret til energiformål. Som restprodukt bærer biomassen kun den del af udledningen, som direkte kan knyttes til fjernelsen af biomasse til energiformål



Overordnet faktor	Specifik faktor	Kommentar
	Primær biomasse eller sekundær/tertiær biomasse	Primær biomasse i form af fx rester fra skovbrug (grene og toppe) kan ofte efterlades i skoven og bevare eller opbygge en større kulstofpulje der. Sekundær og terciær biomasse i form af fx savsmuld og træaffald vil i nogle tilfælde blive brændt af uanset om energien udnyttes eller ej
Forvaltning	Kulstoflager og kontinuitet	Mange uforstyrrede skove indeholder mere kulstof end produktionsskove. Ved udtynding og plukhugst ("naturnær skovdrift") bibeholdes det enkelte areals lager mere konstant og udledning fra jordbunden minimeres set i forhold til skovdyrkning, hvor alle træer fældes samtidig (renafdrift). Modsætningsvist kan renafdrift give mulighed for at plante andre træer med et større tilvækstpotentiale og derved større mulighed for at optage CO ₂ .
	Genetablering af bevoksning	Hvis bevoksningen genetableres medvirker det til en tilbagebetaling af den biogene kulstofgæld, dvs. den biogene nettoudledning går mod nul, modsat hvis skoven blot ryddes og arealet overgår til anden anvendelse. Sidstnævnte er ikke tilladt i de danske lovkrav til bæredygtigheden af biomasse.

Træflis og træpiller har forskellige input med forskellige alternative skæbner

Dette afsnit med tilhørende figurer belyser generelle årsagssammenhænge. Disse resultater er ikke genberegnet og er derfor baseret på forbruget i 2020. Det skyldes, at det billede de viser er mere generel information, som ikke ændrer sig fra år til år. Det gælder også for følsomhedsberegningerne af transportafstand og indirekte effekter i afsnit 5.2 og for perspektivering om kulstoffdynamik i et fortsat forbrug i afsnit 6.1. Beregningerne viser generelle årsagssammenhænge for brug af træbrændsler i dansk energiproduktion.

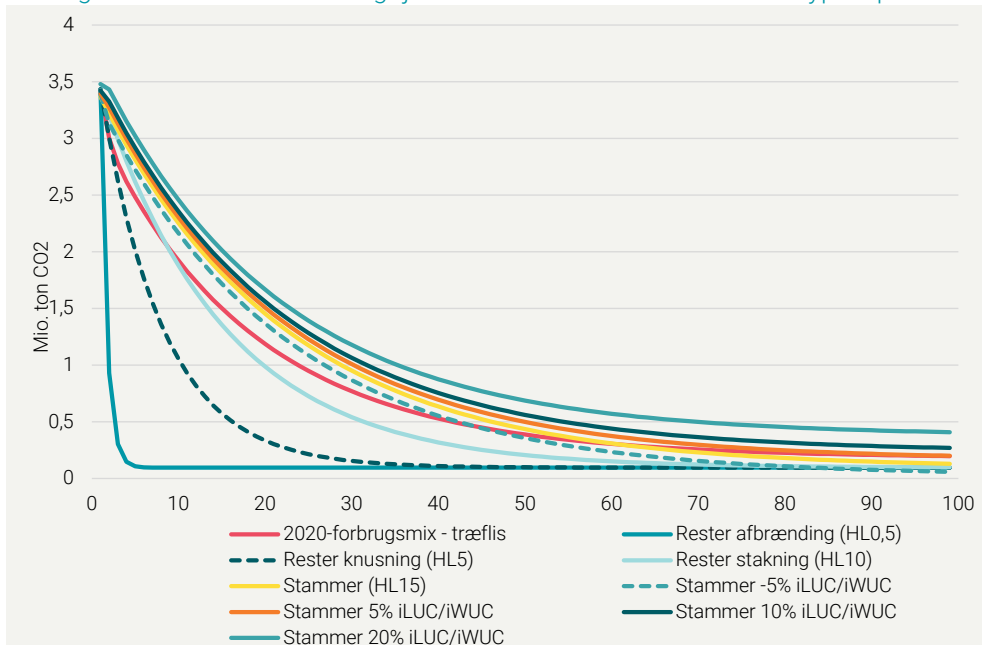


Det er delvis forskellige typer af biomasse, med forskellige alternative skæbner, som indgår i hhv. træflis og træpiller til produktion af el og fjernvarme. I dette afsnit ses der adskilt på hhv. træflis og træpiller til den kollektive forsyning. Ved at dele resultaterne for samlet nettoudledning op, er det desuden muligt at gå mere i dybden med forskellene i udledningsprofiler mellem de forskellige typer af input. Udledningsprofilerne (kurverne) afhænger bl.a. af halveringstid for biomassetypen og i hvilken grad typen anses at indeholde træ, der medfører indirekte effekter (iLUC/iWUC).

Figur 8 viser nettoudledningskurver for det samlede forbrug af træflis i 2020, hvis det bestod udelukkende af de enkelte typer af biomasseinput. Desuden vises kurven for 2020-forbrugsmixet af træflis til produktion af el og fjernvarme.

Kurven over nettoudledningen fra stammer, hvoraf 20 pct. af stammerne har resulteret i indirekte effekter (iLUC/iWUC), ligger øverst med den højeste nettoudledning gennem hele tidsperioden på 100 år fra forbrugsåret. Det skyldes både udledningerne fra de indirekte effekter, men også at stammer har en relativt lang halveringstid i modellen på 15 år på grund af langsom alternativ naturlig nedbrydning i skoven. Kurven over nettoudledningen fra rester (fra hugst), som har den alternative skæbne at blive brændt af lokalt i skoven med en antaget halveringstid på et halvt år uden at resultere i indirekte effekter, falder meget hurtigt til et meget lavt niveau under de andre kurver. Kurven over nettoudledningen fra det aktuelle 2020-forbrugsmix af træflis ligger i midten, men der er de første 50-60 år efter forbrugsåret stor spredning på kurverne for de forskellige typer/alternative skæbner.

Figur 8: Nettoudledning fra træflis set over tid fra forskellige typer af input, hvis hele forbruget af 30 PJ træflis til el og fjernvarme i 2020 bestod af denne type input



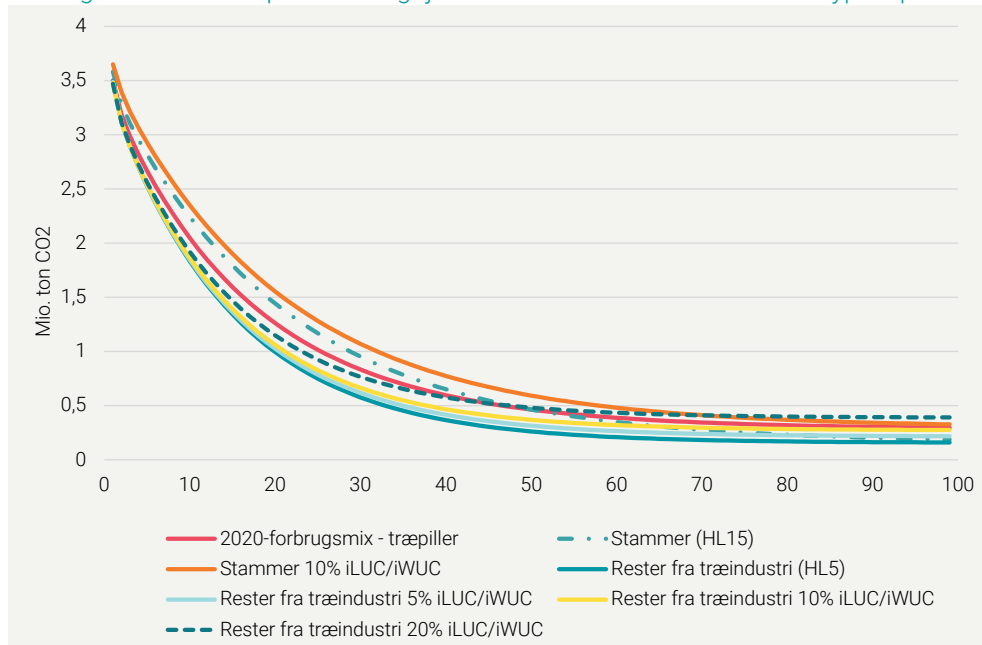
Kilde: IGN, 2023

Figur 9 viser nettoudledningskurver for det samlede forbrug af træpiller i 2020, hvis det bestod udelukkende af de enkelte typer af biomasseinput. Desuden vises kurven for 2020-forbrugsmixet af træpiller til produktion af el og fjernvarme.

Kurven over nettoudledningen fra stammer, hvoraf 10 pct. af stammerne har resulteret i indirekte effekter (iLUC/iWUC), ligger her øverst med den højeste nettoudledning gennem hele tidsperioden på 100 år fra forbrugsåret¹⁷, efterfulgt af stammer uden indirekte effekter. Det skyldes både udledningerne fra de indirekte effekter, men også at stammer har en relativt lang halveringstid i modellen på i gennemsnit 15 år på grund af langsom alternativ naturlig nedbrydning i skoven. De forskellige kurver over nettoudledningen fra rester fra træindustri, som har den alternative skæbne at blive nedbrudt i stakke ved træindustrien med en antaget halveringstid på 5 år, ligger nederst i diagrammet. Allernederst ligger rester fra træindustri, som ikke resulterer i indirekte effekter. Kurven over nettoudledning fra det aktuelle 2020-forbrugsmix af træpiller ligger i midten, men der er generelt en lille spredning på kurverne for de forskellige typer/alternative skæbner.

¹⁷ Der indgår ikke i IGN (2022) en analyse af et input af stammer til træpiller med 20 pct. iLUC/iWUC, som der gør for træflis.

Figur 9: Nettoudledning fra træpiller set over tid fra forskellige typer af input, hvis hele forbruget af 34 PJ træpiller til el og fjernvarme i 2020 bestod af denne type input

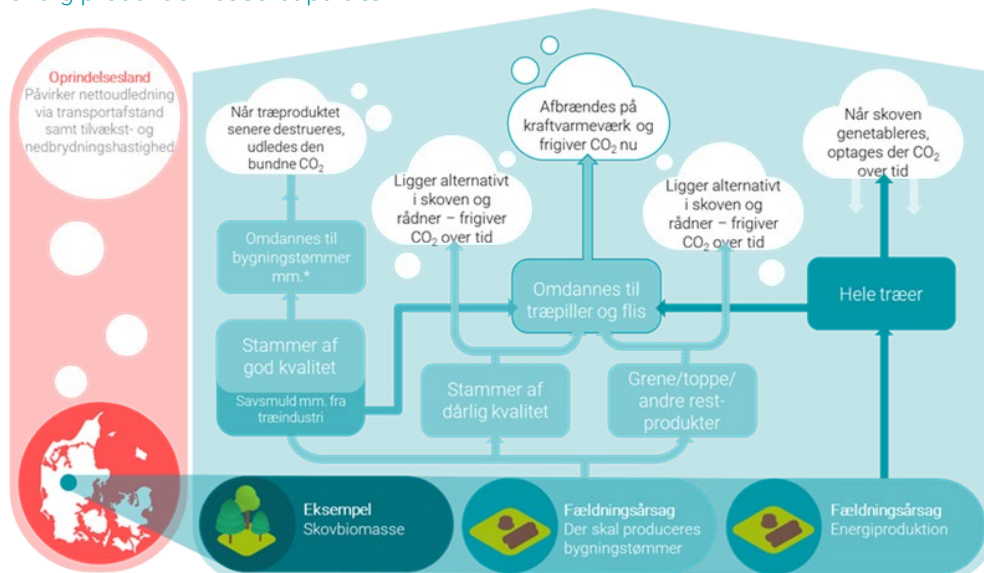


Kilde: IGN, 2023

4.2 Årsagssammenhænge – kulstofkredsløb

En oversigt over skovens og træbiomassens kulstofkredsløb, herunder udledninger og optag, er vist i Figur 10. Her illustreres det, at nettoudledningen fra forbruget af træ til produktion af el og varme ikke blot afhænger af den CO₂, som udledes fra kraftvarmeværket (skyen øverst i midten på figuren), men også af den geografiske oprindelse (til venstre), fældningsårsagen (forneden) og træets faktiske og alternative vej gennem forsyningskæden. Midt i figuren omdannes træ til fx træpiller og flis, som kan bestå af grene og toppe, stammer af dårlig kvalitet, savsmuld, stammer af god kvalitet, der ellers kunne være brugt til tømmer (hvilket leder til iWUC) eller hele træer til energiformål.

Figur 10: Træ- og kulstofkredsløbet fra skoven til atmosfæren i forbindelse med energiproduktion baseret på træ



*Træprodukter kan spare CO₂, hvis de erstatter udledningstunge materialer som fx beton

Kilde: Energistyrelsen. **Anm.:** De blå pile illustrerer strømmen af træ, og dermed strømmen af det kulstof, som er bundet i træet. De hvide skyer illustrerer frigivelse og optagelse af kulstof i form af CO₂.

Bioenergi produceres i modsætning til fossil energi af fornybare ressourcer. Planter kan under de rette forudsætninger vokse op igen og på ny binde kulstof gennem lagring af CO₂ fra luften. Skov indeholder desuden et stort kulstoflager i bl.a. levende træ. Lageret i et større skovareal påvirkes kun langsomt af tilvækst og hugst/nedbrydning. Rester fra landbrug og skovbrug ville ofte rådne væk naturligt over en årrække. For træ sker det forholdsvis langsomt. Der sker derfor en tidsforskydning, som giver et ekstra CO₂-indhold i atmosfæren over år, årtier eller århundreder, selv om den direkte biogene udledning fra biomasseforbruget som sådan er reversibel. Tidsaspektet er betydningsfuldt for biomassens påvirkning på det globale klima, fordi opvarmningen sker løbende i kraft af det nuværende indhold af CO₂ i atmosfæren.

4.3 Husholdningers m.v. forbrug af træpiller, brænde og træbriketter

Husholdningers forbrug af træbrændsler udgør en stor del af det samlede danske forbrug, jf. afsnit 2.1. De står for hele Danmarks forbrug af brænde og træbriketter og en fjerdedel af træpilleforbruget (ENS, 2023).

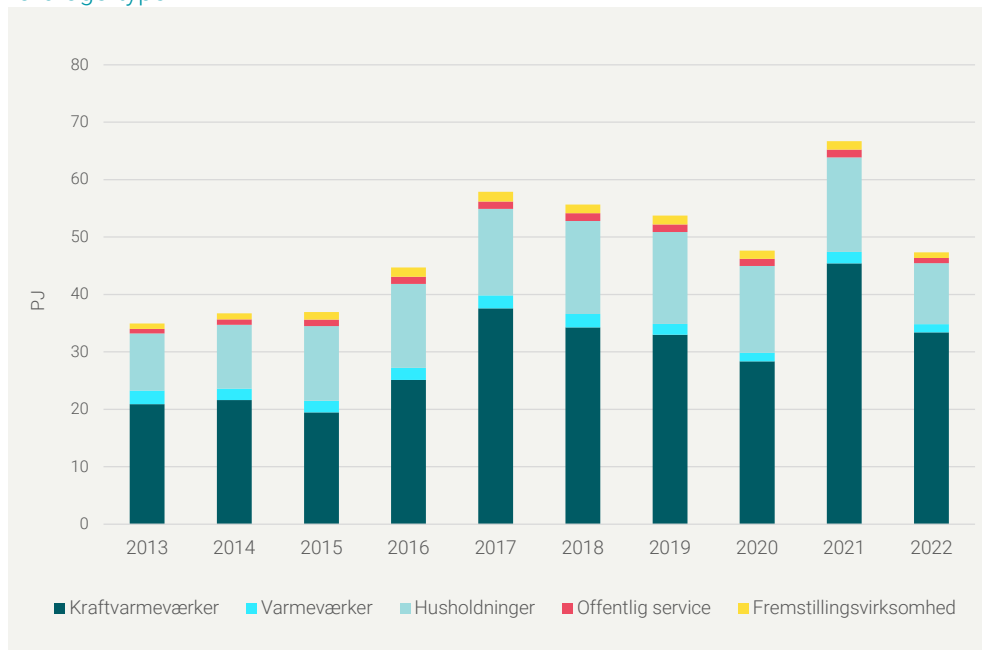
Vi bruger her begrebet "husholdninger m.v.". Det dækker over Energistatistikens betegnelser enfamiliehuse, etageboliger, fremstillingsvirksomhed og offentlig service, hvor første kategori – enfamiliehuse - dog er dominerende i dette "private" forbrug med 85 pct. (ENS, 2023). Etageboliger har ikke noget registreret forbrug af træbrændsler. Fremstillingsvirksomheder og offentlig service er medtaget for at

favne hele dette forbrug (også kaldet det individuelle eller private forbrug), som ikke sker i varmeværker og kraftvarmeværker (også kaldet det kollektive forbrug).

Forbruget af træpiller i husholdninger m.v.

Forbruget af træpiller i husholdninger m.v. var i 2022 12,5 PJ, hvilket svarer til 26 pct. af det samlede danske forbrug af træpiller (ENS, 2023), jf. Figur 11.

Figur 11: Udviklingen i Danmarks forbrug af træpiller 2013-2022 fordelt på forbrugertyper



Kilde: ENS, 2023

Træpiller er lavet af findelte og opvarmede træspåner og savsmuld, som presses til piller på 6-8 mm i diameter. Råvarerne til træpilleproduktion er typisk rester fra træindustri (savsmuld m.v.), men også hele stammer benyttes i produktionen.

Der foreligger ikke en præcis opgørelse over antallet af træpillefyr til individuel opvarmning i Danmark. På baggrund af data fra BBR¹⁸, oplysninger fra relevante brancheaktører og tidligere rapporter anslår Energistyrelsen (ENS, 2022b), at det er i størrelsesordenen 100.000 husstande i Danmark, der opvarmes med træpillefyr. De fleste husstande med træpillefyr ligger ifølge BBR i landzoner - ca. 85 pct. - mod ca. 13 pct. i byzoner.

¹⁸ Baseret på tal fra BBR om opvarmningsform "fast brændsel". Tallene er usikre, bl.a. fordi BBR ikke automatisk opdateres, og da "fast brændsel" er en kategori, der også inkluderer andre opvarmningsformer.



Den danske produktion udgjorde i 2022 5 pct. af det samlede danske forbrug af træpiller (dvs. både forbruget i husholdninger, offentlig service, fremstillingsvirksomhed og til produktion af el og fjernvarme) (Ea, 2023).

I 2022 stod de 9 største danske importører for 90 pct. af den samlede import. Den private grænsehandel med træpiller til Danmark anslogs til at være ca. 150.000 ton om året. Eksporten fra Danmark var næsten 120.000 ton (Ea, 2023).

De træpiller til husholdninger m.v., som var omfattet af indberetning for 2022 om bæredygtighed kom hovedsageligt fra Sverige, Rusland samt USA og Baltikum (ENS, 2024). 82 pct. af træpillerne til husholdninger m.v. var certificerede efter en godkendt certificeringsordning for bæredygtighed (ENS, 2024).

Forbruget af brænde og træbriketter i husholdninger m.v.

Både Energistatistikken (ENS, 2023) og Brændeundersøgelsen (ENS, 2022a) opgør brænde og træbriketter som et samlet forbrug. Det er også tilfældet i nærværende notat i øvrigt.

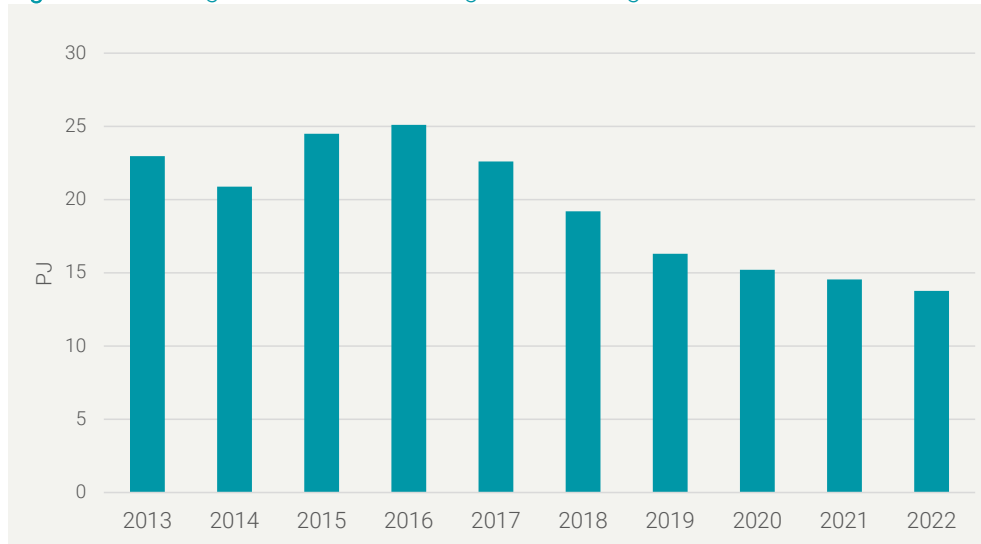
Egentligt brænde er stykker af massivt træ. En træbriket består derimod af hårdt sammenpressede træspåner, savsmuld m.v. Træbriketterne bruges stort set på samme måde som brænde. Briketten kan være rund eller firkantet, og er ofte af samme størrelsesorden som mursten.

Forbruget af brænde og træbriketter i enfamiliehuse var i 2022 13,7 PJ, hvilket svarer til ca. 9 pct. af det samlede danske forbrug af træbrændsler (ENS, 2023). 92 pct. af brænde- og træbriketforbruget stammer fra Danmark og 8pct. er importeret (ENS, 2023).

De baltiske lande var de primære importlande for brænde i 2022 (Nielsen, 2024).

Det registrerede forbrug af brænde og træbriketter er faldet over de seneste ti år, jf. Figur 12. Det steg svagt i den første del af perioden, men er derefter faldet.

Figur 12: Udviklingen i Danmarks forbrug af brænde og træbriketter 2013-2022



Kilde: ENS, 2023. **Anm.:** Tallene omfatter forbruget af brænde og træbriketter samlet set. Forbruget af træbriketter er ikke opgjort separat. I Energistatistikken og i nærværende notat bruges "brænde" som en fælles term for de to typer af brændsler.

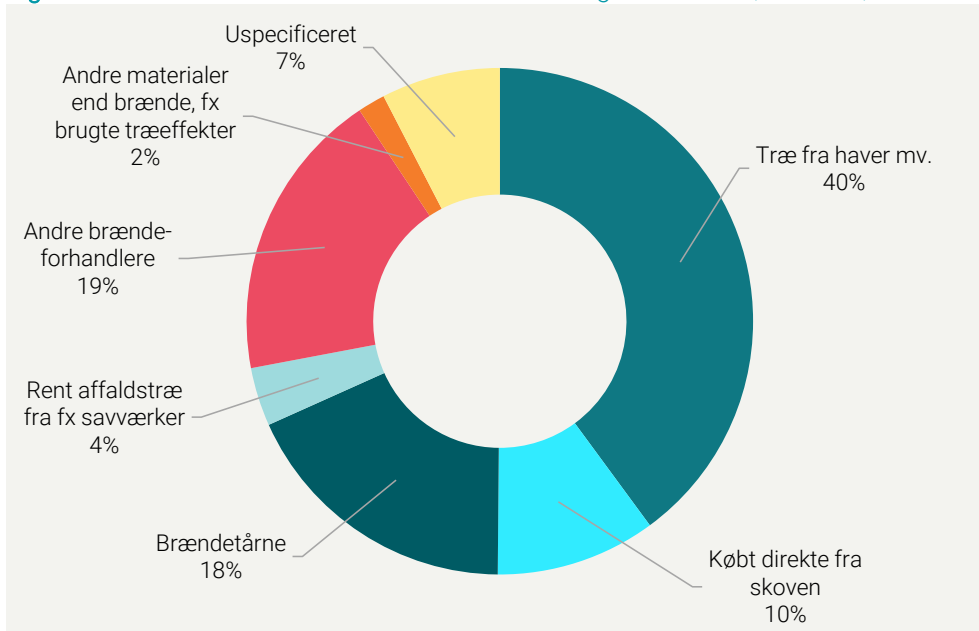
Brænde og træbriketter benyttes som brændsel i brændeinstallationer som brændeovne og pejseindsatser, masseovne, åbne pejse og i brændekedler. Der findes brændeinstallationer i 23 pct. af alle helårsboliger (enfamiliehuse, lejligheder og beboede fritidshuse) og i 69 pct. af alle fritidshuse uden fast beboelse. Antallet af brændeinstallationer er faldet fra 888.000 installationer i 2015 til 775.000 installationer i 2021, hvilket forbruget i Figur 12 også afspejler (ENS, 2022a).

Knap 56.000 helårsboliger har en brændeinstallation som den primære opvarmningsform, mens tallet for fritidshuse er knap 35.000. Der er en sammenhæng mellem opvarmningsform, og hvorvidt der er en brændeinstallation i boligen. Næsten lige mange af de helårsboliger, der har oliefyr eller varmepumpe som primær opvarmningsform, har også en brændeinstallation (hhv. 39 pct. og 37 pct.). Hvis den primære opvarmningsform i helårsboligen derimod er fjernvarme, så har kun 13 pct. af boligerne derudover en brændeinstallation. (ENS, 2022a)

I både helårsboliger og fritidshuse udgør brændeovne og pejseindsatser over 90 pct. af brændeinstallationerne.

Træ fra haver mv. er den hyppigste kilde til brænde (og træbriketter) for både helårsboliger og fritidshuse, jf. Figur 13. De næststørste kilder er brænde, der leveres som brændetårne og brænde fra såkaldte andre brændeforhandlere (fx byggemarkeder, benzinstationer, landmænd eller brændepladser uden for skovene). 10 pct. af brændet (og træbriketterne) køber forbrugerne direkte fra skovejerne (ENS, 2022a).

Figur 13: Primære kilder til anskaffelse af brænde og træbriketter, totalt 14,5 PJ



Kilde: ENS, 2022a

Hugsten af massivt brænde i de danske skove er faldet 47 pct. gennem de seneste 10 år fra 5,2 PJ til 2,8 PJ¹⁹ (Danmarks Statistik, 2023).

4.4 Sammenligning med GA23

I indeværende baggrundsnotat består de primære ændringer siden GA23 af følgende:

- GA24 er for de faste biobrændsler vedkommende en genberegning og udvidelse af hovedresultaterne fra GA23 til også at omfatte husholdningers forbrug af træpiller og brænde i 2022.
- Således indgår der nu fire typer af træbrændsler i beregningen: Træflis til el- og fjernvarmeproduktion, træpiller til el- og fjernvarmeproduktion, træpiller til direkte opvarmning i husholdninger samt brænde.
- I denne genberegning baseres modelberegningerne som noget nyt på data om forbruget indberettet til Energistyrelsen jf. lovgivningen om bæredygtighedskrav²⁰. Det er et mere omfattende, dækkende og detaljeret datamateriale.
- Antallet af biomassetyper er udvidet fordi datasættet giver mulighed for det, så træbiomassen i de fire inkluderede brændsler nu fordeler sig på typerne rester fra skovbrug (grene, toppe og tyndingstræer), stammetræ fra skov (rundtræ typisk af lav kvalitet), energitræ fra skov (fældninger

¹⁹ Hugsten af andet træ end brænde til energi (primært træflis) er dog steget i samme periode og udgør langt større mængder (Danmarks Statistik, 2023). Brændemængderne er i kilden opgivet i m³. Det er omregnet til energimængder med brændeværdien for løvtræ fra Energistatistikken (ENS, 2023), dvs. 10,4 GJ/m³.

²⁰ <https://ens.dk/ansvarsomraader/bioenergi/baeredygtighedskrav-til-faste-biomassebraendsler>



hvor alt træ går til energi), rester fra træindustri (savsmuld, fraskær, bark, spåner) samt rester fra ikkeskov (levende hegn og småbevoksninger samt i denne beregning også den del af brændet, som kommer fra haver).

- Udledningen er steget. I forbrugsåret er nettoudledningen for 2022-forbruget 12,4 mio. ton CO₂ sammenlignet med 10,6 mio. ton CO₂ for 2021-forbruget. Det skyldes at husholdningers forbrug af træbrændsler nu er inkluderet. Forbruget af træflis og træpiller til el og fjernvarme er faktisk faldet 10 PJ fra 2021 til 2022, hvilket mængdemæssigt dog mere end modvirkes af at husholdningernes forbrug nu er inkluderet i beregningen. Forbruget i 2022 til el- og fjernvarme alene, dvs. uden husholdningernes forbrug, udledte i forbrugsåret 9,5 mio. ton CO₂.
- Udledningen per energienhed, dvs. udledningsfaktoren, er i praksis uændret fra 2021-forbruget til 2022-forbruget både i forbrugsåret og 100 år senere. Dette til trods for at brænde og træpiller til forbrug i husholdninger er medtaget og at der er sket ændringer i fordelingen mellem biomassetyper, oprindelse m.v.
- Det fremgår af Nielsen (2024), at udledningsfaktoren dog falder lidt hurtigere i den nye beregning ("kurven ligger lavere i mellemårene mellem forbrugsåret og år 1"). Det skyldes primært, at der samlet set er forbrugt en mindre andel stammer, som har en lang halveringstid og dermed en forholdsvis langvarig alternativ udledning.
- Til GA24 har Nielsen (2024) genbesøgt vigtige antagelser bag beregningerne, primært om træbiomassens alternative skæbner. Det har ikke været muligt at lave mere kvalificerede skøn end til GA23 om halveringstider for nedbrydning af efterladt dødt træ i skoven og om kvantificering af indirekte effekter af biomasseforbruget på arealanvendelse og brug af træ. Antagelserne i rapporten om disse forhold er baseret på eksisterende forskning samt kvalificerede skøn. En del begreber er dog præciseret og forklaret mere grundigt, fx angående ekstra hugst som resulterer i en anden alternativ skæbne end rester til naturlig nedbrydning, og angående forskellen mellem tidsafhængige biogene CO₂-effekter og permanente biogene CO₂-effekter.



5 Kvalificering

5.1 Usikkerhed

De detaljerede oplysninger om hvilke typer af brændsler, der forbruges af virksomhederne samt hvilke biomassetyper og oprindelser biomassen har stammer direkte fra energiproducenterne via indberetninger til Energistyrelsen i medfør af lovgivningen om bæredygtighedskriterier²¹. Disse oplysninger er verificeret af en godkendt uafhængig tredjepart inden de indberettes til Energistyrelsen og der vurderes ikke at være nogen væsentlig usikkerhed i disse data.

Data fra disse indberetninger dækker samlet set ca. 90 pct. af det samlede danske forbrug af træbrændsler til produktion af el og varme. For at få tal på de samlede CO₂-effekter ekstrapoleres der op fra indberetningsdata til det samlede danske forbrug jf. Energistatistikken (Energistyrelsen, 2023).

Størrelsen af det samlede danske forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme stammer fra Energiproducenttællingen i regi af Energistyrelsen. Det regnes som valide data, men er dog baseret på virksomhedernes selvrapportering. Størrelsen af det samlede private forbrug af træpiller beregnes som residualen mellem produktion af brændsler samt netto-import og forbruget til el og fjernvarme. Dermed opstår ifølge Træpilleundersøgelsen en vis usikkerhed (Ea, 2023). Størrelsen af det samlede brændeforbrug er hentet fra Brændeundersøgelsen, dvs. på spørgeskemaundersøgelse blandt forbrugerne, hvilket indebærer forskellige mulige fejlkilder, som er beskrevet i Brændeundersøgelsen (ENS 2022a).

Konsulenten og forskerne påpeger, at der er behov for yderligere forskning i træbiomassens alternative skæbner. Herunder dels forskning i halveringstider for nedbrydning af efterladt dødt træ i skoven og for træ, der ender i træprodukter, og dels forskning i kvantificering af indirekte effekter af biomasseforbruget på arealanvendelse og brug af træ (IGN, 2023) (Nielsen 2024). Antagelserne i rapporten om disse forhold er baseret på eksisterende forskning samt kvalificerede skøn.

Opgørelsen af nettoudledning i Nielsen (2024) anvender information om geografisk oprindelse af brænde fra Danmarks Statistiks importdata, hvilket anses indebære en vis usikkerhed.

5.2 Følsomhedsberegninger

IGN (2022) viser i en følsomhedsberegning, at udledninger fra transport udgør mellem 1 og 7 pct. af de samlede faktiske bruttoudledninger fra forbruget af træpiller og træflis til el- og varmeproduktion. Det gælder også for træpiller og træflis hver for sig. Konkret udgør transportudledninger for træflis fra Danmark 1 pct. af den faktiske

²¹ Jf. Bekendtgørelse om Håndbog om opfyldelse af bæredygtighedskrav og krav til besparelse af drivhusgasemissioner for biomassebrændsler til energiformål (Bekendtgørelse nr. 649 af 31/05/2023)



bruttoudledning fra forbruget af træflis, træflis fra Baltikum 2 pct. og træflis fra USA 7 pct. I det vægtede gennemsnit af det samlede analyserede biomasseforbrug i 2020 udgør transport ca. 2,2 pct. af den faktiske bruttoudledning.

Følsomhedsanalysen viser samlet set, at udledninger fra transport kun udgør en relativt lille del af den samlede, faktiske bruttoudledning knyttet til forbruget af træpiller og træflis til el og fjernvarme²².

IGN (2022) viser gennem følsomhedsberegninger, at størrelsen af de indirekte effekter på arealanvendelse og brug af træ er væsentlig for den samlede udledning fra biomasseforbruget, både den faktiske bruttoudledning og nettoudledningen.

Hovedscenariet i rapporten er en antagelse om, at 10 pct. af stammerne og 10 pct. af resterne fra træindustri har resulteret i indirekte effekter (iLUC og/eller iWUC). Der er lavet beregninger for stammer og industrirester med hhv. 5, 10 og 20 samt minus 5 pct. iLUC/iWUC. Det ses af Figur 8 og Figur 2, at det ville påvirke udledningerne, hvis en større del af biomassen, fx 20 pct. af stammerne i stedet for 10 pct., resulterede i indirekte effekter. Det er dog ikke en forskel, som ændrer markant på niveauet af nettoudledning de første årtier efter forbrugsåret. På lang sigt, 100 år, er forskellen i nettoudledning mellem fx stammer med 10 pct. og 20 pct. indirekte effekter markant eftersom de faktiske bruttoudledninger fra indirekte effekter ikke reduceres over tid, fordi de består af fossile udledninger eller udledninger fra varige ændringer i arealanvendelsen.

IGN (2022) har også beregnet to ekstreme scenarier. Et ekstremscenarie hvor 100 pct. af stammerne har resulteret i udledninger fra indirekte effekter, hvilket fører til en forøgelse af nettoudledningen fra hovedscenariet med groft regnet 50 pct. både set i år 1 og år 100. Samt et ekstremscenarie hvor forbruget af biomasse og den deraf genererede efterspørgsel giver alle skovejere incitament til at plante hjælpetræer fremadrettet, såkaldte ammetræer, og derved øge produktionen på arealerne. Det fører i scenariet til et 20 pct. højere kulstoflager i skoven på sigt og resulterer i, at biomasseforbruget i 2020 totalt set leder til negative nettoudledninger efter ca. 50 år, altså et nettooptag af CO₂.

²² Eftersom transportudledningerne i 2020 var fossile, så reduceres de ikke over tid. Transportudledningerne vil dermed over tid udgøre en større og større del af nettoudledningen knyttet til biomasseforbruget (det ekstra indhold af CO₂ i atmosfæren).



6 Perspektivering

6.1 Kulstofdynamikken i et fortsat forbrug

Total biogen nettoudledning fra et hypotetisk fortsat årligt forbrug som i 2020

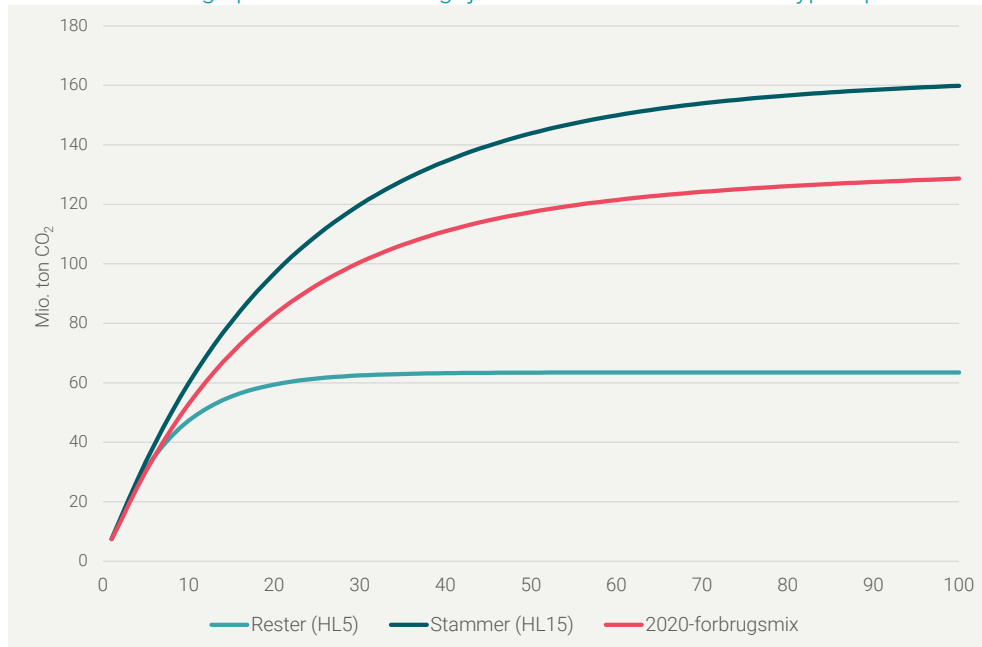
IGN (2022) har lavet en supplerende analyse af den totale biogene nettoudledning over tid fra et fortsat forbrug af biomasse. Formålet er at anskueliggøre effekten på skovens kulstofkredsløb over tid ved et hypotetisk fortsat årligt forbrug svarende til forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020. De fossile udledninger fra bl.a. transport er ikke inddraget, fordi de ikke er knyttet til skovens kulstofkredsløb.

Hvis man rent hypotetisk antager, at 2020 var startåret for et forbrug af biomasse, og at det forbrug fortsætter uforandret i en årrække, så vil der akkumuleres mere og mere CO₂ i atmosfæren som konsekvens af biomasseforbruget jf. Figur 11.

Figuren viser nettoudledningen fra et fortsat hypotetisk forbrug af biomasse til produktion af el og varme i form af samme forbrugsmix som i 2020 samt et fortsat forbrug bestående udelukkende af hhv. rester eller stammer.

Den løbende ophobning skyldes, at den naturlige løbende compensation i skovens kulstofpuljer til at starte med ikke kan matche den faktiske bruttoudledning fra skorstenene. Jo større areal, som der er høstet biomasse på, jo større areal er i spil til compensation. Efter et vist tidsrum flader kurven således ud og nettoudledningen fra det fortsatte forbrug er da konstant, jf. Figur 14.

Figur 14: Biogen nettoudledning set over tid fra et hypotetisk fortsat årligt forbrug som i 2020, samt fra stammer og rester, hvis hele forbruget af 64 PJ træpiller og træflis til den årlige produktion af el og fjernvarme bestod af denne type input



Kilde: IGN (2022). **Anm.:** Kurven for 2020-forbrugsmixet illustrerer de biogene nettoudledninger fra det mix af træbiomasse, der konkret blev anvendt i 2020, hvis det hypotetisk fortsættes på samme niveau og med samme sammensætning

Tidspunktet, hvor kurven flader ud, og det nye stabile niveau af ekstra CO₂ i atmosfæren, afhænger begge af størrelsen på forbruget og typen af biomasse. Når kurven flader ud, har kulstoflageret i skoven stabiliseret sig på et lavere niveau, fordi en mængde kulstof har flyttet sig fra at være bundet i skovens økosystem til at findes som et forhøjet indhold af CO₂ i atmosfæren. Med andre ord er indholdet af CO₂ i atmosfæren tilsvarende højere end før biomasseforbruget startede²³.

Hvis forbruget bliver mindre eller ophører, eller hvis det konkrete mix af biomasse ændrer sig til en lavere udledning per energienhed, så vil kurven begynde at falde (eller stige langsomt). Således er nettoudledningen og dermed klimaeffekten af ét års forbrug af biomasse den samme uanset om "den akkumulerede nettoudledning" har stabiliseret sig eller ej.

Total biogen nettoudledning fra et hypotetisk uendeligt fortsat forbrug

For et fortsat årligt forbrug som 2020-forbrugsmixet, og med den samme årlige energiproduktion baseret på 64 PJ træbiomasse, ville nettoudledningen stabilisere sig på totalt 128 mio. ton CO₂ efter ca. 100 år. Dette niveau kaldes de totale biogene

²³ Til sammenligning ville de tilsvarende udledninger fra en årlig hypotetisk energiproduktion af samme størrelse baseret på kul over 100 år have øget indholdet af CO₂ i atmosfæren med 640 mio. ton.



nettoudledninger fra et uendeligt fortsat forbrug. Et forbrug baseret udelukkende på rester (med en halveringstid på 5 år) ville stabilisere sig på en total nettoudledning på 62 mio. ton CO₂ efter ca. 30 år, mens det for et forbrug baseret udelukkende på stammer (med en halveringstid på 15 år) ville stabilisere sig på en total nettoudledning på 160 mio. ton CO₂ efter mere end 100 år. Til sammenligning ville den totale nettoudledning fra en fossil energikilde være uendelig stor.

Total biogen nettoudledning per enhed energi i det årlige forbrug af biomasse

Hvis den totale biogene nettoudledning fra et fortsat forbrug, efter ovenstående betragtning, deles med det årlige biomasseforbrug, så får man en tidsafhængig total biogen udledningsfaktor for et uendeligt forbrug. Denne faktor er beregnet til ca. 2 ton CO₂ per GJ på baggrund af den totale biogene nettoudledning (stabiliseringsniveauet) på 128 mio. ton CO₂ for 2020-forbrugsmixet og årsforbruget i 2020 på 64 PJ træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme (IGN, 2023).

6.2 Mulige udviklingsveje

Resultaterne, som er præsenteret i afsnit 1 og 4, kan nuanceres og justeres i evt. fremtidige analyser i takt med, at der fremkommer ny viden om emnet, fx om halveringstider for forrådnelse af træ og om indirekte markedseffekter m.fl. af biomasseforbruget.

Det er muligt at operationalisere den tidsafhængige klimaeffekt (nettoudledningen) ved hjælp af fx diskontering og beregning af Global Warming Potential (GWP). Disse metoder kan anvendes på de her præsenterede udledningskurver for at sætte ét tal på CO₂-effekten af forbruget af træbrændsler. Det kan bidrage til et yderligere overblik og fx illustrere forskellen mellem forskellige typer af brændsler eller typer af biomasser.

Det kan til en kommende analyse overvejes at inddrage en større del af grene m.v. i form af haveparkaffald i beregningen. Halm vil kunne omfattes af en selvstændig beregning i en kommende analyse. Halm er en rest fra en etårig landbrugsafgrøde og har derfor en væsentlig anden profil for nettoudledning end træ. Biogent affald er også et fast biobrændsel, som en kommende analyse kan beskrive nærmere, herunder overvejelser om alternative skæbner. Basisdata om fordelingen mellem brænde og træbriketter samt om træbriketternes og brændets oprindelse kan nuanceres. Det vil kræve mere data, som bl.a. tilvejebringes fra bæredygtighedsindberetningerne i løbet af 2024 og i endnu højere grad i 2025.

I kommende analyser kan vurderingen af klimaeffekten evt. udvides fra kun at dække CO₂ til også at dække andre klimagasser samt klimafaktorer, som fx partikeludledning.

Det kan også være relevant at analysere hvordan tidsforskydningen fra at udlede CO₂ senere ved forrådnelse af træ i skoven til at udlede det nu i forbindelse med energiproduktionen påvirker klimaet, herunder på grund af øget risiko for at passere



klimateæssige tærskler (tipping points), som kan udløse selvforstærkende mekanismer med øgede udledninger fra økosystemerne til følge.



7 Kilder

Danmarks Statistik (2023): Statistikbanken.dk/SKOV6. Download 2023-01-18

Dansk Energi (2016): Brancheaftale om sikring af bæredygtigt biomasse (træpiller og træflis). Download 2022-02-16.

https://www.danskeenergi.dk/sites/danskeenergi.dk/files/media/dokumenter/2017-09/Brancheaftale_Biomasse-20160623.pdf

Ea (2023): Det danske træpillemarked 2022. Ea Energianalyse for Energistyrelsen – November 2023

ENS (2020): Biomasseanalyse maj 2020. Energistyrelsen

ENS (2022a): Brændeforbrug i Danmark 2021. Energistyrelsen.

ENS (2022b): Bilag 1. Baggrundsinformation om anvendelsen af træpiller i Danmark og vurdering af forsyningssituationen. 10. september 2022

ENS (2023): Energistatistik 2022. Energistyrelsen

ENS (2024): Afrapportering vedrørende indberetninger om bæredygtighed for forbruget af forbruget af faste biobrændsler i 2024. Energistyrelsen

IGN (2023): CO₂ emissions from biomass use in district heating and combined heat and power plants in Denmark (2nd edition). Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

JRC (2021): The use of woody biomass for energy production in the EU. Joint Research Centre. EU-Commission.

Nielsen (2023): Recalculation of CO₂ emissions from biomass use in district heating and combined heat and power plants in Denmark with 2021 input data. Anders Tærø Nielsen. 2023.

Nielsen (2024): Recalculation of CO₂ emissions from biomass use in district heating and combined heat and power plants, direct private wood pellet and firewood consumption in Denmark with 2022 input data. Anders Tærø Nielsen. 2024.