



Danmarks globale klimapåvirkning - Global afrapportering 2023 (GA23): Danmarks forbrug af faste biomassebrændsler – fokus på træpiller og træflis

Dato
27-04-2023

Baggrundsnotat nr. 10

Indholdsfortegnelse

1. Rammesætning.....	2
2. Hovedresultater.....	4
2.1 Forbruget af faste biomassebrændsler og deres geografiske oprindelse	4
2.2 Nettoudledning over tid fra forbruget af træ til produktion af el og fjernvarme	6
3. Metode og antagelser	18
3.1 Metodebeskrivelse	20
3.2 Værktøjer/modeller	20
3.3 Overordnede forudsætninger og afgrænsninger.....	21
3.4 Primære datakilder	23
4. Supplerende og uddybende resultater og analyse.....	24
4.1 Delresultater	24
4.2 Årsagssammenhænge - kulstofkredsløb.....	28
4.3 Husholdningers m.v. forbrug af træpiller, brænde og træbriketter	30
4.4 Sammenligning med GA22.....	34
5. Kvalificering.....	34
5.1 Usikkerhed	34
5.2 Følsomhedsberegninger	36
6. Perspektivering	38
6.1 Kulstofdynamikken i et fortsat forbrug.....	38
6.2 Mulige udviklingsveje.....	39
7. Kilder.....	41

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 biomassebrændsler (biomasse). Høst af træ og anden biomasse opgøres jf. FN'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, jf. IPCC's retningslinjer. 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 GA23 opgøres udledninger fra biomasse fra et andet perspektiv, hvor alle udledninger knyttet til brug af biomasse i den danske forsyningssektor beskrives samlet. Fokus i dette notat ligger på træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme.

Danmark har siden 1990 udskiftet en stor del af forbruget af fossile brændsler til produktion af el og varme med faste biomassebrændsler (biomasse) (ENS, 2020). Træbrændsler er dominerende. Halvdelen (52 pct.) af det totale forbrug af træbrændsler var i 2021 importeret (ENS, 2022).

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, 2022). 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. Den biogene



nettoudledning 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 biomassebrændsler til energi kan vurderes og kvantificeres ud fra konkrete data. Fokus i dette notat ligger på forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme, og hvilken effekt forbruget har på atmosfærens indhold af CO₂. Omfanget af husholdningernes forbrug af træpiller og brænde m.v. beskrives som noget nyt i forhold til GA22 i afsnit 4. Der er dog ikke regnet på disse brændslers klimaeffekt på atmosfæren.

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning ved Københavns Universitet udarbejdede i 2022 en analyse af disse forhold for Energistyrelsen (IGN, 2022). Denne analyses hovedresultater er blevet genberegnet til GA23 i Nielsen (2023). I både den oprindelige analyse og i genberegningen er der tale om modelberegninger baseret på konkrete data fra varme- og kraftvarmeværker. I genberegningen indgår data fra 7 værker, som dækker ca. 65 pct. af det samlede danske forbrug af træflis og træpiller til produktion af el og fjernvarme². Hertil kommer importtal fra Danmarks Statistik.

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 usikkerheder og følsomhedsanalyser i afsnit 5. I afsnit 6.2 redegøres der som en del af perspektivering for andre studier af CO₂-udledninger knyttet til forbrug af træbiomasse.

¹Der 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, 2022). Dette gør sig også gældende for forbruget i 2021 (Nielsen, 2023). Se også Boks 2.

²Vægtet gennemsnit af 75 pct. af træpilleforbruget på 47,4 PJ og 53 pct. af flisforbruget på 40,7 PJ (Nielsen, 2023).

2. Hovedresultater

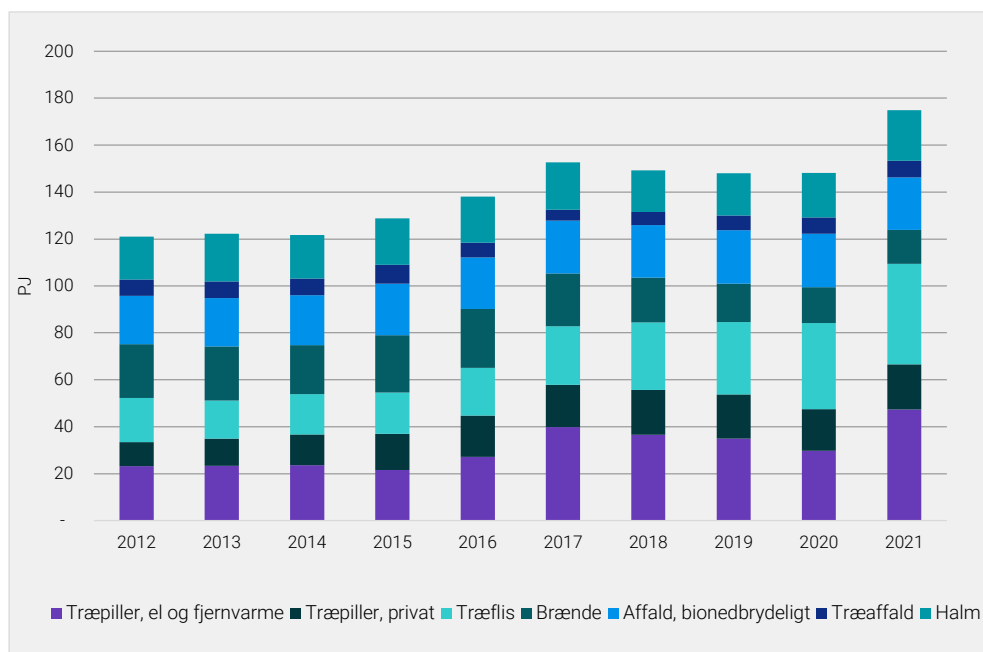
I dette afsnit gives først et overblik over Danmarks samlede forbrug af faste biomassebrændsler. Derefter belyses den geografiske oprindelse af det danske forbrug af træpiller og flis. Med udgangspunkt i den udarbejdede analyse fra IGN (IGN, 2022) til GA22 samt genberegningen til GA23 (Nielsen, 2023) belyses derefter nettoudledningen over tid fra forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme. Resultaterne er foldet yderligere ud i afsnit 4, hvor husholdningernes forbrug af træpiller, brænde m.v. også beskrives.

2.1 Forbruget af faste biomassebrændsler og deres geografiske oprindelse

Forbruget af faste biomassebrændsler er steget over de seneste ti år

Danmarks forbrug af faste biomassebrændsler til produktion af el og varme i 2012 var 121 PJ jf. Figur 1. Fra 2014 til 2017 var forbruget stigende til 153 PJ, hvorefter det er faldet svagt indtil 2020. Fra 2020 til 2021 steg forbruget væsentligt. I 2021 havde Danmark således et forbrug af energi fra faste biomassebrændsler på 175 PJ, svarende til 59 pct. af hele det danske forbrug af vedvarende energi (ENS, 2022).

Figur 1: Danmarks forbrug af faste biomassebrændsler 2012-2021



Kilde: ENS, 2022. **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.

De faste biomassebrændsler omfatter forbruget af træ, halm og bioaffald til produktion af el og varme i husholdninger, industri og den kollektive forsyning (el og fjernvarme). Forbruget i husholdninger m.v. udgjorde i 2021 41 PJ, dvs. 23 pct. af det



samlede forbrug af faste biomassebrændsler. 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. Stigningen i forbruget af faste biomassebrændsler fra 148 PJ i 2020 til 175 PJ i 2021 skyldtes sandsynligvis høje gaspriser i andet halvår, som gjorde det relativt mere attraktivt at forbrænde træ samt høje elpriser, som generelt gjorde det relativt mere attraktivt at producere el frem for varme på kraftvarmeanlæggene samt skrue op for den samlede produktion.

Forbruget af træpiller udgør største stigning af biomassebrændsler mellem 2020-2021

Forbruget af træbrændsler udgjorde 75 pct. af det samlede forbrug af faste biomassebrændsler i 2021, jf. Figur 1. Forbruget af træbaserede brændsler i form af træpiller, træflis³, brænde og træaffald var i 2021 131 PJ, hvilket er en stigning fra 2020 på 25 PJ. Træpiller til el og fjernvarme udgør den største enkeltstående del og er også steget mest mellem de to seneste år (en stigning på 59 pct.). Herefter kommer forbruget af flis, som også er steget betydeligt (en stigning på 16 pct.). Specifikt var der i 2021 et forbrug på 88 PJ træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme, som der er fokus på i nærværende notats beregninger af klimaeffekt.

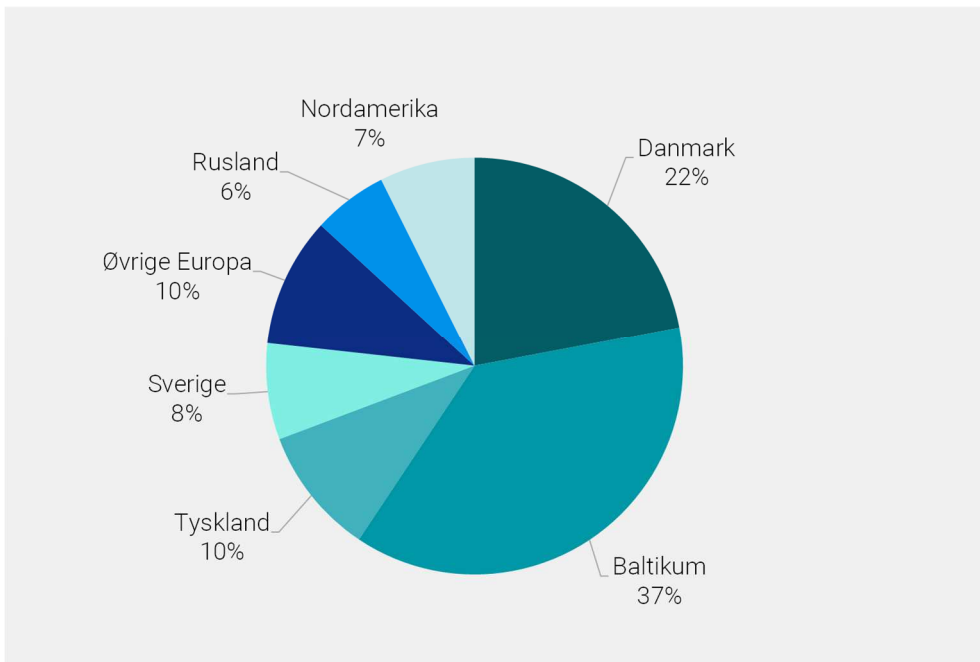
Danmark importerer mere end tre fjerdedele af forbruget af træpiller og træflis

Halvdelen af Danmarks samlede forbrug af træbrændsler, dvs. både brænde, træaffald, træflis og træpiller, er importeret. 48 pct. af den totale mængde træ, som blev anvendt til produktion af el, fjernvarme og individuel varme i Danmark i 2021, havde således dansk oprindelse, mens 52 pct. var importeret (ENS, 2022).

Ses der udelukkende på forbruget af træpiller og træflis havde godt en femtedel (22 pct.) af den samlede mængde af træpiller og træflis, som blev brugt til produktion af el og fjernvarme i Danmark i 2021, dansk oprindelse, dvs. træet stammer fra danske skove m.v., jf. Figur 2. 78 pct. var importeret. Baltikum tegner sig for godt en tredjedel (37 pct.) af den samlede mængde, og resten stammer fra et bredt udsnit af lande bl.a. Tyskland, Sverige og Nordamerika. Der er væsentlig forskel på den geografiske oprindelse af henholdsvis træflis og træpiller. Således er 51 pct. af flisforbruget til produktion af el og fjernvarme i 2021 af dansk oprindelse, men det kun gælder for 4 pct. af træpilleforbruget (Nielsen, 2023).

³ Træflis betegnes "skovflis" i Energiproducenttællingen og Energistatistikken. Flisen kan dog i praksis komme fra flere forskellige biomassekategorier, ikke blot skov. Der kan fx også være tale om træflis fra haveparkaffald eller fra energitræ på landbrugsarealer.

Figur 2: Geografisk oprindelse af det samlede forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og varme (også i husholdninger m.v.) i Danmark i 2021



Kilde: Bearbejdning af Nielsen, 2023, som har brugt importdata for 2021 fra Danmarks Statistik. **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). Danmarks Statistik har ikke registreret en import fra Brasilien i 2021. Nielsen (2023) angiver, at der her er en uoverensstemmelse med data direkte fra værkerne, men at det maksimalt vil kunne betyde en fejl på 1 pct. i de overordnede resultater.

2.2 Nettoudledning over tid fra forbruget af træ til produktion af el og fjernvarme

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

Udledningerne fra Danmarks forbrug af biomasse kan opgøres på flere måder. I dette notat er der fokus på at opgøre nettoudledningerne forbundet med Danmarks forbrug af faste biomassebrændsler. Se Boks 1 for en definition af nettoudledninger og andre anvendte begreber. Nærmere bestemt ligger fokus på træbrændsler, som primært udgøres af træpiller og træflis, jf. Figur 1.

Resultaterne er baseret på en analyse af det faktiske forbrug af træpiller og træflis til el- og fjernvarmeproduktion i danske varmegærker og kraftvarmegærker i 2020 (IGN,

2022) samt en genberegning af hovedresultaterne ud fra 2021-forbruget (Nielsen, 2023). Afgrænsningerne til træpiller og træflis og til el- og fjernvarmeproduktion er lavet for at kunne anvende det bedst mulige datagrundlag. Forbruget af faste biomassebrændsler i husholdninger m.v., dvs. primært træpiller og brænde, er ikke medtaget eftersom datagrundlaget er svagere. Det samme gælder træaffald. 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 ændringer i arealanvendelsen, herunder fældning af træer, som ellers ikke ville være blevet fældet eller plantning af træer som ellers ikke ville være plantet, eller i brugen af 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, og på brugen af træ, indirect Wood-Use Change (jf. iLUC og iWUC).
- iLUC: 1) Ekstra hugst af hele træer til energi, dvs. fældning af træer udelukkende på grund af efterspørgslen efter energi, 2) udvidelse af det forvaltede skovareal ind i naturskov, hvilket sænker kulstoflageret der og 3) ændret forvaltningspraksis i skovene

som følge af biomasseefterspørgslen, herunder øget brug af hjælpetræer, som øger tilvæksten på arealet.

- iWUC: Markedsændringer, der sker, når mere træ forbruges til energiproduktion, og der dermed er mindre træ til rådighed til træmaterialer. Når det antages, at efterspørgslen på materialer er konstant, så medfører det minskede udbud af træ til materialer enten 1) en øget hugst et andet sted (medregnet i iLUC nr. 2) eller 2) et øget forbrug af andre billigere 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 m.m.
- Udledningsfaktor: Udledning per enhed energi i biomassen. Opgøres i kg CO₂ per GJ.
- Ægte 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 udgør seks pct. af de samlede udledninger på 10,6 mio. ton CO₂ (år 1)

Danmarks forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2021 resulterede i en samlet faktisk bruttoudledning (=nettoudledning i år 1) på 10,6 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. Hertil kom mindre mængder fossile og biogene udledninger fra bl.a. industrier, som fremstiller træpiller, transport og diverse indirekte effekter. Den biogene andel af de samlede, faktiske bruttoudledninger knyttet til forbruget udgjorde 10,1 mio. ton, svarende til 95 pct. af de faktiske bruttoudledninger, mens den fossile andel af de samlede, faktiske bruttoudledninger udgjorde 0,5 mio. ton CO₂, svarende til 5 pct. (Nielsen, 2023). De fossile udledninger var altovervejende knyttet til transport samt til øget brug af fx stål og beton som konsekvens af biomasseforbruget til energiproduktion. Tilsvarende er der fjernet 10,1 mio. ton CO₂ fra skovens kulstoflagre i forbindelse med forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2021.



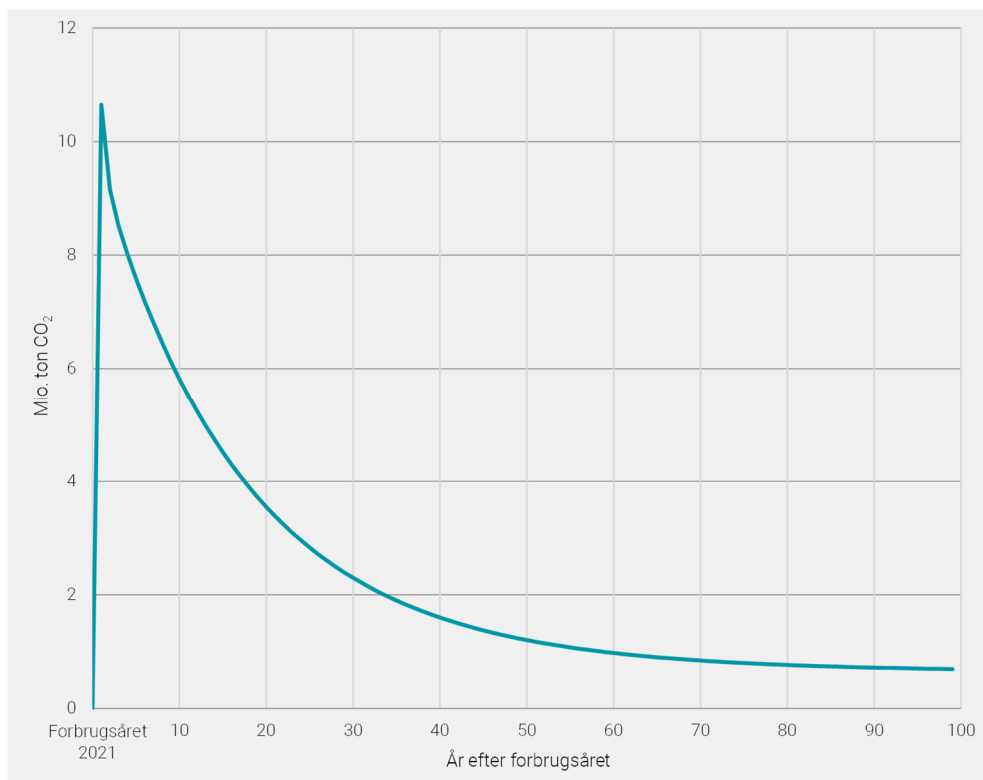
Klimaeffekten af Danmarks forbrug af træpiller og træflis afhænger af det anlagte tidsperspektiv

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 varmekærner, jf. Boks 2.

Når man ser på forbruget i et enkelt år (2021) isoleret set, fremgår det af

Figur 3 og Tabel 1, at den samlede *nettoudledning* fra det danske forbrug af træpiller og træflis til el og fjernvarme i 2021 i år 1 var på 10,6 mio. ton CO₂ (svarende til den faktiske bruttoudledning). 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.

Figur 3: Samlet nettoudledning fra forbruget af 88 PJ træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2021 set over tid



Kilde: Nielsen (2023). **Anm.:** Figuren illustrerer nettoudledningen fra det forbrugsmix og den mængde af træpiller og træflis, der konkret blev anvendt til produktion af el og fjernvarme i forbrugsåret 2021

Tabel 1 viser den samlede nettoudledning fra den mængde af træpiller og træflis, der konkret blev anvendt til produktion af el og fjernvarme i forbrugsåret 2021. 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 2021, faldet til 5,8 mio. ton (et fald på 45 pct.), efter 20 år til 3,5 mio. ton (et fald på 67 pct.) og efter 30 år er nettoudledningen faldet til 2,3 mio. ton (et fald på 78 pct.). Efter 70-80 år er det primært fossile udledninger forbundet med proces og transport, der udgør nettoudledningen samt en mindre andel varige biogene udledninger fra indirekte ændring i arealanvendelse.

Tabel 1: Samlet nettoudledning fra forbruget af 88 PJ træpiller og træflis i 2021 til produktion af el og fjernvarme set over tid

År efter forbrugsåret	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Nettoudledning (mio. ton CO ₂)	10,6	5,8	3,5	2,3	1,6	1,2	1	0,8	0,8	0,7	0,7

Kilde: Nielsen, 2023

Boks 2: Grundlæggende viden om det danske forbrug

Resultaterne er baseret på data om biomasseforbrug og antagelser om skovforvaltning, træmarkedet mv. (IGN, 2022).

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 (min. 95 pct.)⁴. Træerne fældes, 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. Den del af træet, som er fældet og ikke kan sælges til andre produkter, kaldes ægte rester, jf. Boks 1.

⁴ Tallene min. 95 pct. og max. 5 pct. er en forenkling/afrunding af antagelserne i IGN (2022) om negative iLUC-effekter (her primært pga. hugst af træer, som ellers ikke ville være blevet fældet) af fem pct. af mængden stammer og fem pct. af mængden industrirester, men ikke på nogen del af mængden af hugstrester, i det samlede forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme. IGN (2022) påpeger, at der er behov for mere viden om omfanget af disse effekter.

Ligeledes er det antaget, at fældning af træer alene med energiproduktion som formål (såkaldt ekstra/additional fældning) omfatter max. 5 pct. af forbruget, samt at skoven (træbevoksningen) genetableres efter fældning, så der vokser nye træer op⁵.

Udledningen fra træets alternative skæbne modregnes i den faktiske udledning

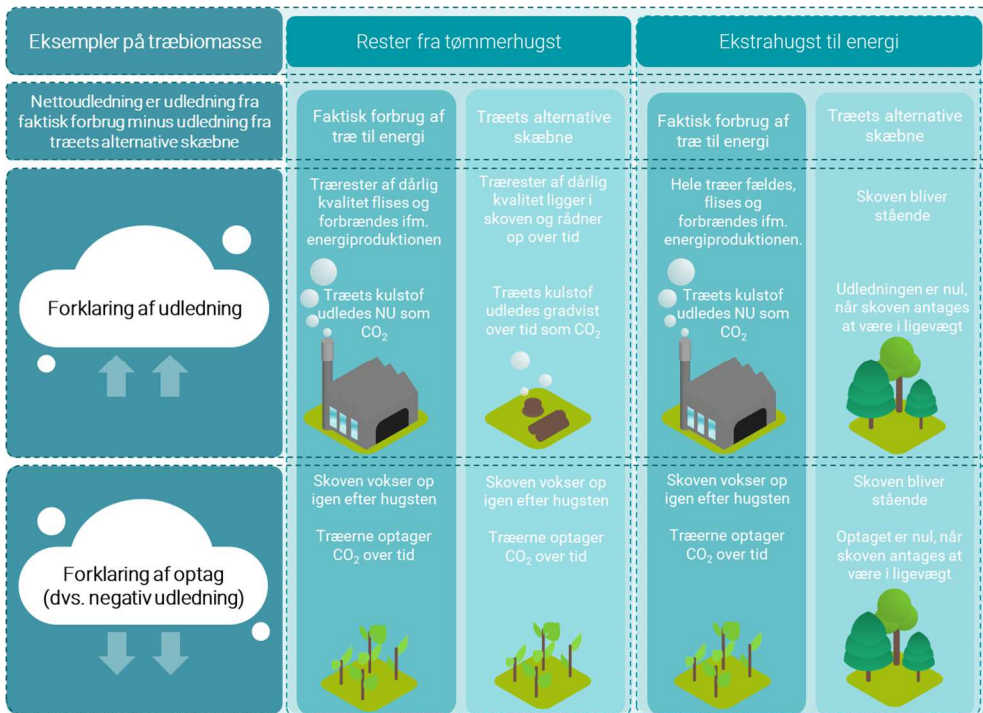
Aspektet omkring træets alternative skæbne, hvis det ikke blev anvendt til produktion af bioenergi, er vigtigt for at kunne beregne biomassens nettoudledning. Beregningen af nettoudledningen sker ved, at den undgåede alternative udledning trækkes fra den faktiske bruttoudledning⁶.

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.

⁵ 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 1419 fra 2022).

⁶ Der er ikke her indregnet udledninger fra alternative energikilder til produktion af den el og fjernvarme, som i 2021 blev produceret ved forbrænding af træ.

Figur 4: Princip for beregning af den biogene del af nettoudledning fra skovbiomasse 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 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 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 udgør ca. 63 pct. af det samlede forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2021⁷. Eksemplet med ekstra hugst til energi udgør skønsvis max. 5 pct. af forbruget (Nielsen, 2023).

⁷ Beregnet som 100 pct. af hugstresterne (som udgør 22 pct. af forbruget) plus 90 pct. af stammerne (som udgør 45 pct. af forbruget). Øvrigt forbrug er de 10 pct. af stammerne og 10 pct. af industriresterne, som har resulteret i indirekte effekter (dvs. som har en anden alternativ skæbne end den viste), samt de 90 pct. af industriresterne (som udgør 33 pct. af forbruget), som har en alternativ skæbne, der ligner eksemplet med rester fra tømmerhugst.



Udledningsfaktorer viser nettoudledning per enhed energi i biomassen

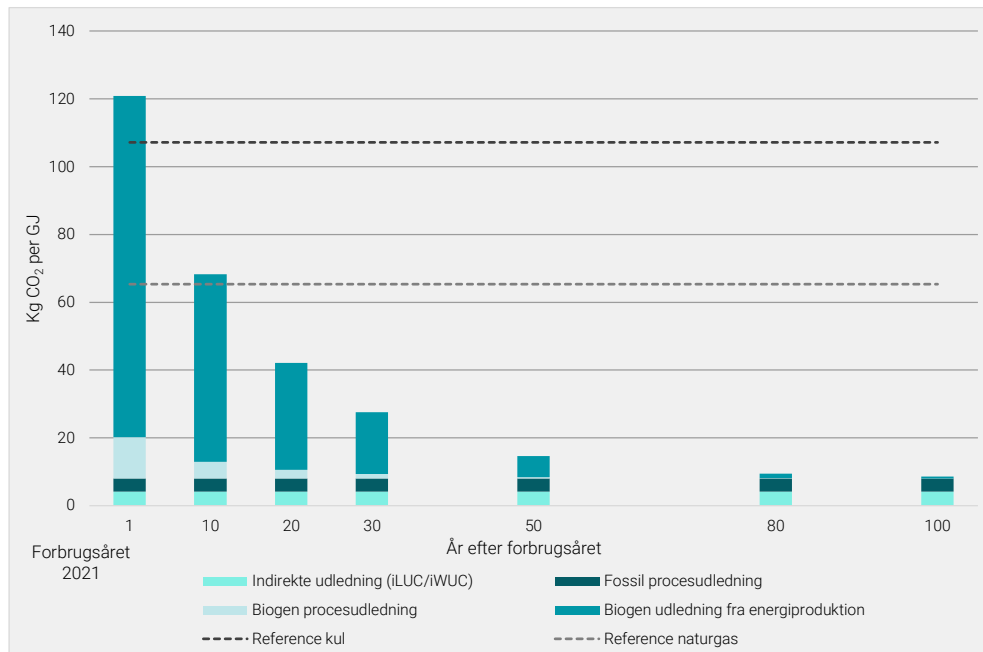
Når nettoudledningen, som viser det ekstra CO₂-indhold i atmosfæren, opgøres per energienhed, kan udledningen beskrives uafhængigt af, hvor stort forbruget af biomasse er. Desuden bliver det lettere at sammenligne udledninger fra biomasse med udledninger fra fx fossile brændsler som kul og gas.

Nettoudledningerne fra biomasseforbruget falder også over tid, når de opgøres per enhed energi i biomassen. Som det fremgår af Figur 5 og tabel 2, ligger den samlede nettoudledning i år 1 fra den anvendte biomasse i forbrugsåret 2021 på 121 kg CO₂ per GJ. Det er højere end udledningen fra forbrug af kul til produktion af samme mængde energi⁸. 10 år efter forbrugsåret 2021 ligger nettoudledningen fra dette års forbrug, målt per energienhed, på 68 kg CO₂/GJ. Det er på niveau med udledningen fra fossil naturgas til produktion af samme mængde energi. 30 år efter forbrugsåret 2020 ligger nettoudledningen, målt per energienhed, på 28 kg CO₂/GJ.

70-80 år efter forbrugsåret 2021 består den samlede nettoudledning fra forbruget blot af de fossile udledninger (fx relateret til proces og transport) samt en mindre andel varige biogene udledninger fra en indirekte ændring i arealanvendelse, som ikke reduceres over tid i kraft af det enkelte års forbrug af biomassebrændsler, der her regnes på.

⁸ 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, 2022).

Figur 5: Nettoudledning per enhed energi i biomassen (udledningsfaktor) fra forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2021 set over tid



Kilde: Nielsen, 2023. **Anm.:** Figuren illustrerer nettoudledningerne fra det forbrugsmix af træpiller og træflis, der konkret blev anvendt til produktion af el og fjernvarme i 2021

Tabel 2 viser resultaterne for nettoudledning 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 og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2021 set over tid

År efter forbrugsåret	1	10	20	30	50	80	100
Udledningsfaktor (kg CO ₂ /GJ)	120,8	68,3	42,1	27,5	14,7	9,5	8,6
Biogen udledning fra energiproduktion	100,6	55,4	31,5	18,2	6,3	1,4	0,5
Biogen procesudledning	12,2	4,9	2,5	1,3	0,3	0,1	0,0
Fossil procesudledning	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Indirekte udledning	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
Reference kul	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, 2023



Udledningen per energienhed, dvs. udledningsfaktoren, er i praksis uændret fra 2020-forbruget til 2021-forbruget til trods for ændringer i forbrugsmix, oprindelse m.v.⁹. Det kan ses af Nielsen (2023), at den højere andel træpiller, som udledningsmæssigt "vejer tungere" end træflis per energienhed, har trukket i retning af en højere udledningsfaktor, mens en kortere gennemsnitslig transport, specielt for træflisen, og et fald i andelen af stammer i forbrugsmixet, specielt i træpillerne, har trukket faktoren tilsvarende nedad.

Indhold i træpiller og træflis og træets alternative skæbne

Indholdet i træpillerne og træflisen kan deles op i henholdsvis stammer, industrirester og hugstrester jf. Figur 6. Træflis består primært af stammer og hugstrester, mens træpiller primært består af industrirester og stammer. Det vægtede gennemsnit består af 45 pct. stammer, 33 pct. industrirester og 22 pct. hugstrester, dvs. grene og toppe.

Stammer er defineret som træstammer fra bevoksninger (skovområder), hvor træerne er klar til salg som tømmer, men som 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 efterlades i skoven og nedbrydes naturligt med en halveringstid på 15 år, jf. Tabel 2¹⁰.

Industrirester 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 at være, at savsmuldet m.v. brændes af lokalt uden energiudnyttelse eller efterlades i stakke til naturlig nedbrydning med en samlet gennemsnitslig halveringstid på 5 år, jf. Tabel 2.

Hugstrester fra skovbrug er grene og toppe fra hugst af træer til tømmer mv. eller fra udtydning, dvs. pleje af skovbevoksninger. Den alternative skæbne for hugstrester antages at være, at grenene og toppene enten brændes af lokalt uden energiudnyttelse (halveringstid 0,5 år) eller knuses eller stakkes og efterlades til naturlig nedbrydning (halveringstid hhv. 5 og 10 år)¹¹, jf. Tabel 2.

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), jf. Boks 1. Denne antagelse hviler på den nuværende prisstruktur, som medfører at betydeligt bedre betalt konstrukstræ m.m. har lav sandsynlighed for at blive anvendt til energi. Kun 10

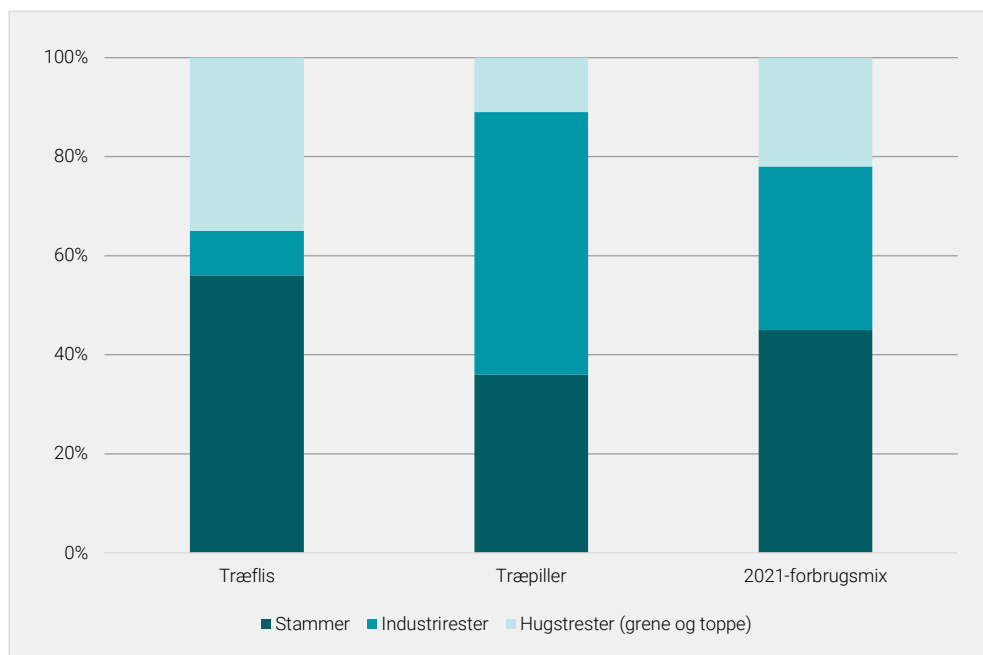
⁹ Den samlede, gennemsnitslige udledningskoefficient for både træpiller og træflis er nu 120,8 kg CO₂/GJ, hvor den i GA22 var 120,7 kg CO₂/GJ, dvs. forskellen er indenfor usikkerhedsmarginalen.

¹⁰ Halveringstiderne er her et gennemsnit for alle træarter og størrelser inden for biomassetypen baseret på tilgængelig viden (IGN, 2022). Forskerne gør opmærksom på, at der er behov for mere viden om nedbrydningshastigheder.

¹¹ Det antages endvidere, at den alternative skæbne for 30 pct. af hugstresterne er lokal afbrænding, mens den for 70 pct. af hugstresterne er stakning og naturlig nedbrydning (IGN, 2022).

pct. af både stammer og industrirester pålægges dermed ekstra udledninger fra indirekte effekter i beregningerne af nettoudledningen fra biomasseforbruget. Hugstrester antages i den nuværende markedssituation at bestå 100 pct. af såkaldte "ægte rester", som ikke giver anledning til indirekte effekter (IGN, 2022).

Figur 6: Fordelingen mellem indholdet af stammer, industrirester og hugstrester i henholdsvis træflis og træpiller i 2021 samt et vægtet gennemsnit for forbrugsmixet i 2021



Kilde: Nielsen, 2023

Typen af råvarer i biomassebrændslerne og disse råvarers alternative skæbner er nogle af de faktorer, som har stor betydning for den samlede nettoudledning fra forbruget af træpiller og træflis til el- og fjernvarmeproduktion. Nettoudledningen afhænger også på flere måder af biomassens oprindelse, se afsnit 4. CO₂-udledninger fra forbruget af biomassebrændsler til energi påvirkes således af mange forskellige faktorer, jf. Tabel 3.

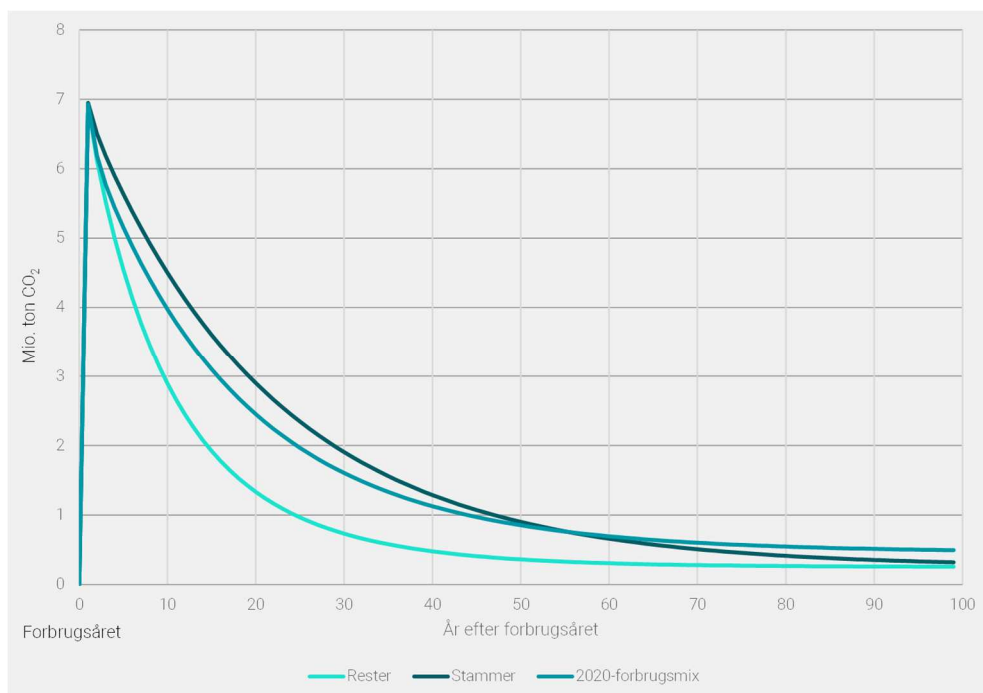
Stammer nedbrydes langsommere end trærester

Det ses af Figur 7, at stammer og rester har forskellige udledningsprofiler over tid. Disse resultater er ikke genberegnet med 2021-forbrugstal og er derfor baseret på forbruget i 2020. Figuren belyser dog en generel årsagssammenhæng bag hovedresultaterne. I denne figur vises nettoudledningen fra de stammer og rester, som ikke har resulteret i indirekte effekter. Stammernes alternative skæbne er dermed, ligesom for resterne, at blive efterladt til naturlig nedbrydning. Nettoudledningen fra rester reduceres hurtigere end for stammer, fordi den alternative udledning, som trækkes fra den faktiske udledning (jf. Figur 4) er højere

fra små træstykker i form af grene mv., som nedbrydes hurtigere end tykkere stammer (dvs. har kortere halveringstid).

Som det fremgår af Figur 7, ligger kurven over 2020-forbrugsmixet mellem de to andre kurver, eftersom forbruget består af en blanding af stammer og rester. På lang sigt ligger nettoudledningen fra forbruget i 2020 dog over de andre kurver, fordi det indeholder en andel fossile udledninger fra fx transport, tørring og indirekte ændring i træanvendelsen samt biogene udledninger fra indirekte arealændringseffekter, som ikke reduceres over tid. Se en mere detaljeret opdeling af biomassetyper og deres alternative skæbner og halveringstider i afsnit 4.

Figur 7: Samlet nettoudledning set over tid for det samlede forbrugsmix i 2020, samt fra hhv. stammer (HL15) og rester (HL5) uden indirekte effekter, hvis hele forbruget af 64 PJ træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2020 bestod af denne type input



Kilde: IGN, 2022. **Anm.:** Kurven for forbrugsmixet illustrerer nettoudledningerne fra træpiller og træflis, der konkret blev anvendt til el- og fjernvarmeproduktion i 2020.

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 biomasseforbrug. 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 på kraftværkerne og varmekærkerne, 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. 10.

Dette notat belyser gennem en kvantitativ analyse, hvordan atmosfærens indhold af CO₂ påvirkes af det danske forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2021. 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 fjernvarme¹².

Informationen om forbruget af træpiller i husholdninger m.v. i 2020 (seneste dataår) baseres primært på "Træpilleundersøgelsen" (Ea, 2021). 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 forhandleres egne data og vurderinger.

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

¹² 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 (2022).



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, 2022), og det omtales ikke nærmere her.

Danmarks globale klimapåvirkning – Global afrapportering (GA23) er et supplement til den årlige Klimastatus og –fremskrivning

Energistyrelsens 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, LULUCF¹³ (IPPC, 2006). På denne baggrund medregnes udledninger fra forbruget af importeret biomasse ikke i opgørelsen af Danmarks nationale udledninger. GA23 belyser i nærværende notat hvordan og i hvilket omfang det danske forbrug af fast biomasse til energi 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 landbrugsformål¹⁴, men ikke for skove. Fossile procesudledninger indgår også i det forbrugsbaserede klimaaftryk, mens biogene procesudledninger¹⁵ 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 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.

¹³ Land Use, Land Use Change, and Forestry (overlapper med AFOLU: Agriculture, Forestry and Other Land Use)

¹⁴ LU-kategorierne "grassland" og "cropland"

¹⁵ 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 indgår i træbiomasse til dansk produktion af el og fjernvarme, genetableres efter hugsten, jf. Boks 2 (IGN, 2022).

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, 2022). Dertil kommer, at hovedresultaterne i IGN (2022) er genberegnet til GA23 baseret på 2021-forbruget i Nielsen (2023).

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 2021-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 varmegærker og kraftvarmegærker 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.

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 forudsætninger og afgrænsninger

Nogle overordnede afgrænsninger og forudsætninger for resultaterne om nettoudledning fra forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2021 blev præsenteret i afsnit 2, se Boks 2. Disse udbygges og suppleres i dette afsnit.

Brænde, halm og privat forbrug af træpiller omfattes ikke af beregningerne

Kvantificeringen af biomassens nettoudledning er afgrænset til forbrændingen af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme i 2021, hvilket sammenlagt udgjorde 50 pct. af forbruget af faste biomassebrændsler (ENS, 2022). Således er forbruget af brænde, træaffald, biogent affald og halm ikke omfattet af beregningerne af klimaeffekten.

Beregningerne er desuden begrænset til at dække forbruget på fjernvarmeværker og kraftvarmeværker. Udledninger fra forbruget i de private husholdninger eller til eget brug i industrien er altså ikke omfattet af beregningen. Husholdningernes forbrug af træbiomasse udgjorde i 2021 31 PJ, næsten ligeligt fordelt mellem træpiller og brænde. Det private forbrug af brænde og træpiller beskrives i kap. 4, men klimaeffekten er ikke beregnet.

Forbruget af træpiller i fremstillingsindustri og offentlig service udgjorde 1,5 PJ i 2021.

Forbruget af halm på fjernvarmeværk og kraftvarmeværk udgjorde i 2021 lidt over 16 PJ. Hertil kom et forbrug af halm i husholdninger på 3 PJ. Halm bruges også til opvarmning i halmfyr på landbrug og gartnerier, hvor der i 2021 blev forbrugt 2 PJ (ENS, 2022).

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. Det antages, at 90 pct. af hugstresterne udnyttes. Dvs. at 10 pct. efterlades i skoven, selv i det faktiske forløb, hvor biomassen udnyttes til energiproduktion. Der ses for enkelhedens skyld alene på strømmene af CO₂, ikke af andre klimagasser (IGN, 2022 – Table 3).

Træbiomassen er primært "ægte rester" som ikke medfører fx øget hugst

Hugstresten fra skovbrug i form af grene og toppe er 100 pct. "ægte rester", fordi det antages at biomassen ville være blevet fremstillet, selv hvis der ikke havde været en efterspørgsel til energiproduktion. Træerne fældes, fordi man gerne vil sælge tømmeret, og hugstresten opstår som resultat af fældningen. Konkret antages det altså, at træerne alligevel ville være blevet fældet, fordi stammerne generelt repræsenterer en markant højere økonomisk værdi end resterne. Det antages dog, at

10 pct. af stammerne ikke er "ægte rester", men derimod foranlediger indirekte effekter, som resulterer i ekstra udledninger (IGN, 2022) jf. Boks 1.

På samme måde producerer træindustrien savsmuld og fraskåret affaldstræ uanset forbruget af disse rester til bioenergi, fordi planker m.v. repræsenterer en væsentlig højere værdi end resterne og dermed driver træindustrien (IGN, 2022). Det antages dog, at 10 pct. af industriresterne ikke er "ægte rester", fordi de kunne være blevet anvendt til andre træprodukter. Dermed resulterer denne del i indirekte effekter og deraf følgende ekstra udledninger (IGN, 2022) jf. Boks 1.

Træets alternative skæbne bestemmer halveringstid og klimapåvirkning

Den alternative skæbne af de forskellige typer af input til træpiller og træflis, hvis biomassen ikke var blevet brugt til produktion af bioenergi fremgår af Tabel 2. Halveringstider m.m. er også angivet i tabellen. Se Boks 1 for en forklaring af halveringstid og indirekte effekter i form af iLUC og iWUC.

På grund af forskellige alternative skæbner for biomassen og disse skæbners forskellige halveringstider, dvs. nedbrydningshastigheder, er nettoudledningen forskellig fra en type input til en anden type input. Figur 8 viser kurver over nettoudledning for forskellige typer af input til træflis, hvis hele energiproduktionen bestod af denne type input. På samme figur vises også kurven for det samlede 2020-forbrugsmix af træflis. Figur 9 viser kurverne over nettoudledning fra forskellige typer af input til træpiller samt kurven for forbrugsmixet.

Tabel 2: Den alternative skæbne af de forskellige typer af input til træpiller og træflis, hvis biomassen ikke var blevet brugt til produktion af bioenergi. Halveringstider m.m. er også angivet i tabellen

Input til træpiller og træflis	Mulige <u>alternative</u> skæbner for træbiomassen	Halveringstid (år) knyttet til den alternative skæbne
<i>Rester fra skovbrug, fx grene og toppe</i>	Afbrænding i skoven	0,5
<i>Rester fra skovbrug, fx grene og toppe</i>	Knusning og efterladelse i skoven til naturlig nedbrydning	5
<i>Rester fra skovbrug, fx grene og toppe</i>	Stakning og efterladelse i skoven til naturlig nedbrydning	10
<i>Stammer</i>	Nedbrydning i skoven	15
<i>Stammer, hvoraf en andel resulterer i indirekte effekter (iLUC/iWUC)</i>	Nedbrydning i skoven samt en andel til træprodukter fx byggematerialer	15 (plus ekstra faktisk udledning fra iLUC/iWUC)
<i>Rester fra træindustri, fx savsmuld og bark</i>	Nedbrydning i stakke ved savværket	5

<i>Rester fra træindustri, , hvoraf en andel resulterer i indirekte effekter (iLUC/iWUC)</i>	Nedbrydning i stakke ved savværket samt en andel til træprodukter fx byggematerialer	5 (plus ekstra faktisk udledning fra iLUC/iWUC)
<i>Hele træer fra ekstra hugst til energiformål, hvorefter skoven genetableres*</i>	Træerne ville ellers være blevet stående ¹⁶	Nettoudledningen reduceres over tid, afhængig af tilvæksthastighed

Kilde: IGN, 2022. **Anm.:** Kun for denne type input antages det ikke, at træerne ville være blevet fældet alligevel.

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

Modellen til vurdering af nettoudledning fra biomasseforbrug giver ikke det fulde overblik over klimateffekterne af høsten, fjernelsen og forbrændingen af træet. Eksempler på udeladte klimafaktorer er partikeludledning og albedoeffekt¹⁷ 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 træpiller og træflis stammer fra Nielsen (2023), som har indhentet nye forbrugsdata fra en bred stikprøve af danske kraftvarme og varmegærdere jf. afsnit 5.1 samt importdata fra Danmarks Statistik. I øvrigt er genberegningen i Nielsen (2023) baseret på metode, grunddata og antagelser fra IGN (2022). 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 træpiller og træflis. Data er derefter ekstrapoleret til at dække hele det danske forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme.

Øvrige udledningsresultater stammer fra IGN's beregninger til GA22 (IGN, 2022). Beskrivelsen af husholdningernes forbrug af træpiller og brænde baseres på hhv. "Træpilleundersøgelsen" (Ea, 2021) og "Brændeundersøgelsen" (ENS, 2022c).

¹⁶ Det er i IGN (2022) antaget som en forenkling af beregningen, at træerne/skoven var i balance og at kulstoflageret derfor ville forblive stabilt i det alternative scenarie uden fældning til energiformål.

¹⁷ 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.

4. Supplerende og uddybende resultater og analyse

Dette afsnit supplerer og uddyber resultaterne i afsnit 2. Dertil indledes afsnittet med en deskriptiv analyse af husholdningernes forbrug af træpiller, brænde og træbriketter. Derefter gives der et overblik over faktorer, som påvirker klimaeffekten fra et specifikt forbrug af træbiomasse til energiformål. Forskellene mellem træflis og træpiller foldes ud, og der sættes fokus på træets kulstofkredsløb fra skov til atmosfære. Til sidst sammenlignes med Global Afrapportering 2022.

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 eller træpiller 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
<i>Mængde</i>		Mindre mængde giver lavere udledning og omvendt
<i>Oprindelse</i>	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
	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
	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 er 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 bag hovedresultaterne. Disse resultater er ikke genberegnet med 2021-forbrugstal og er derfor baseret på forbruget i 2020. Det gælder også for følsomhedsberegningerne af transportafstand og indirekte effekter i afsnit 5.2 og for perspektiveringen om kulstofdynamik i et fortsat forbrug i afsnit 6.1. Beregningerne viser generelle årsagssammenhænge for brug af træbrændsler i dansk energiproduktion.

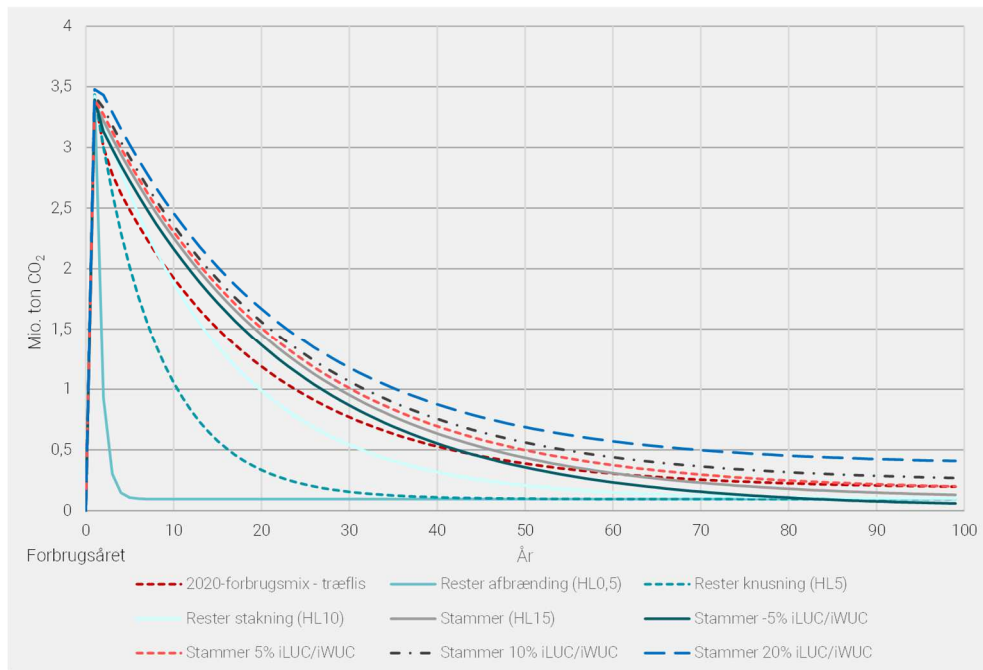
Det er delvis forskellige typer af biomasse, med forskellige alternative skæbner, som indgår i hhv. træflis og træpiller. I dette afsnit ses der adskilt på hhv. træflis og træpiller. Ved at dele resultaterne for samlet nettoudledning op, er det desuden muligt at gå mere i dybden med forskellene i udledningsprofiler mellem de forskellige typer af input. Udledningsprofilerne (kurverne) afhænger bl.a. af halveringstid for biomassetyper 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 år¹⁸ 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.

¹⁸ Det gælder stammer fra den tempererede zone, hvilket er langt de fleste relevante oprindelseslande. Stammer fra tropene antages have en halveringstid på 10 år på grund af hurtigere naturlig nedbrydning i varmere og vådere klima, mens stammer fra den boreale zone har en halveringstid på 20 år.

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, 2022

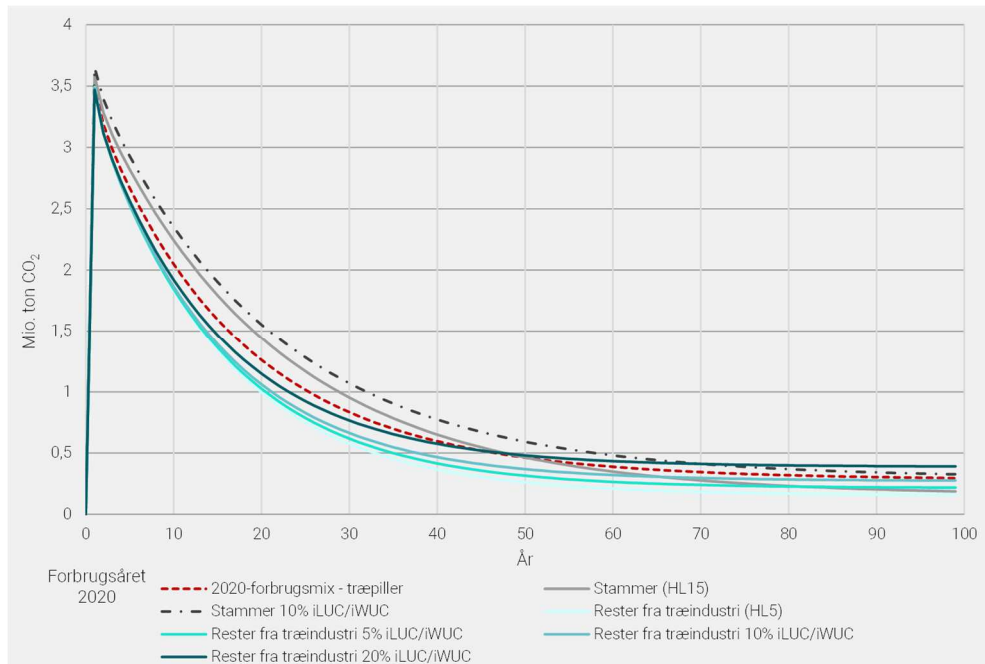
Figur 9 viser nettoudledningskurver for det samlede forbrug af træpiller i 2020, hvis det bestod udelukkende af de enkelte typer af biomasseinput. Desuden vises kurven for 2020-forbrugsmixet af træpiller til produktion af el og fjernvarme.

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 forbrugsåret¹⁹, 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 år²⁰ 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.

¹⁹ 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.

²⁰ Det gælder stammer fra den tempererede klimazone, hvilket omfatter langt de fleste relevante oprindelseslande. Stammer fra tropene antages have en halveringstid på 10 år på grund af hurtigere naturlig nedbrydning i varmere og vådere klima, mens stammer fra den nordlige, boreale klimazone har en halveringstid på 20 år.

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



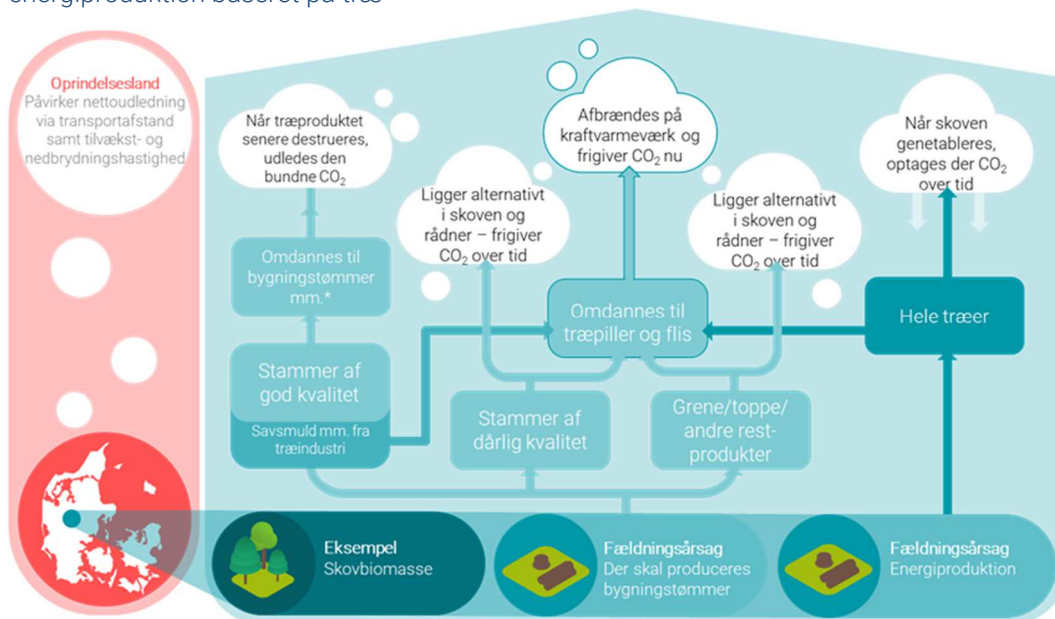
Kilde: IGN, 2022

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 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 ekstra fældning af hele træer til energiformål (hvilket leder til iLUC).

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



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

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 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

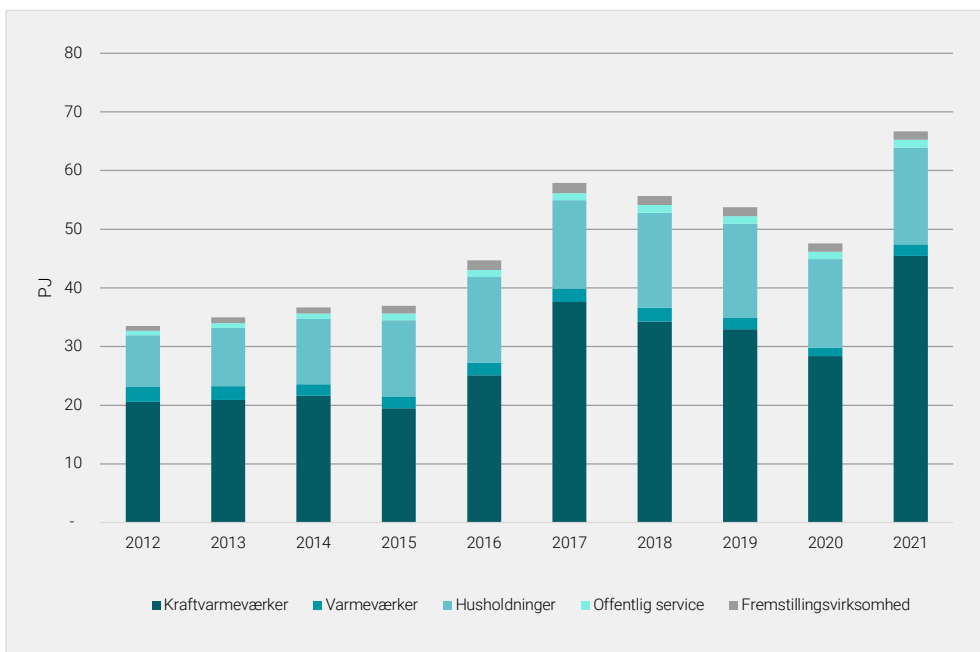
Husholdningers m.v. forbrug af træbrændsler udgør en stor del af det samlede forbrug, jf. afsnit 2.1. Det står for hele Danmarks forbrug af brænde og træbriketter og en tredjedel af træpilleforbruget. Forbruget er belyst i andre analyser bestilt af Energistyrelsen, men er ikke tidligere blevet beskrevet i den Globale Afrapportering. Dette afsnit analyserer forbruget deskriptivt, men beregner ikke en klimaeffekt.

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 92 pct. (ENS, 2022). 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 2021 16,5 PJ, hvilket svarer til 33 pct. af det samlede danske forbrug af træpiller (ENS, 2022), jf. Figur 11.

Figur 11: Udviklingen i Danmarks forbrug af træpiller 2012-2021 fordelt på forbrugertyper



Kilde: ENS, 2022

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. De



træpiller til husholdninger m.v., som var omfattet af indberetning om bæredygtighed for forbruget af faste biomassebrændsler i 2021, var udelukkende produceret af rester fra træindustri (ENS, 2022b)²¹.

Der foreligger ikke en præcis opgørelse over antallet af træpillefyr til individuel opvarmning i Danmark. På baggrund af data fra BBR²², oplysninger fra relevante brancheaktører og tidligere rapporter anslår Energistyrelsen (ENS, 2022d), 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.

Den danske produktion udgjorde i 2020 under 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, 2021).

I 2020 stod de 11 største danske importører for 90 pct. af den samlede import. Den private grænsehandel med træpiller til Danmark anslogs til at være ca. 1,8 PJ om året. Eksporten fra Danmark var omkring 0,9 PJ. Til sammenligning blev der brugt godt 15 PJ hos private boliger inkl. landbrug i 2020 (Ea, 2021).

De træpiller til husholdninger m.v., som var omfattet af indberetning for 2021 om bæredygtighed kom hovedsageligt fra Sverige, Danmark, Rusland samt Baltikum (ENS, 2022b). 88 pct. af træpillerne til husholdninger m.v. var certificerede efter en godkendt certificeringsordning for bæredygtighed, ca. 2 pct. blev dokumenteret med alternativ dokumentation, mens ca. 10 pct. ikke overholdt kravene til dokumentation for bæredygtigheden²³ (ENS, 2022b).

Forbruget af brænde og træbriketter i husholdninger m.v.

Både Energistatistikken (ENS, 2022) og Brændeundersøgelsen (ENS, 2022c) opgør brænde og træbriketter som et samlet forbrug. Danmarks Statistik har først fra 2022 oprettet en separat opgørelse for træbriketter, men har endnu ikke (januar 2023) offentliggjort disse data (Danmarks Statistik, 2023). Det er derfor ofte ikke muligt at adskille forbruget og importen af massivt brænde fra sammensatte træbriketter.

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.

²¹ Bemærk at datagrundlaget her er begrænset, eftersom kun en delmængde af forbruget i 2021 var omfattet af indberetningspligt.

²² 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.

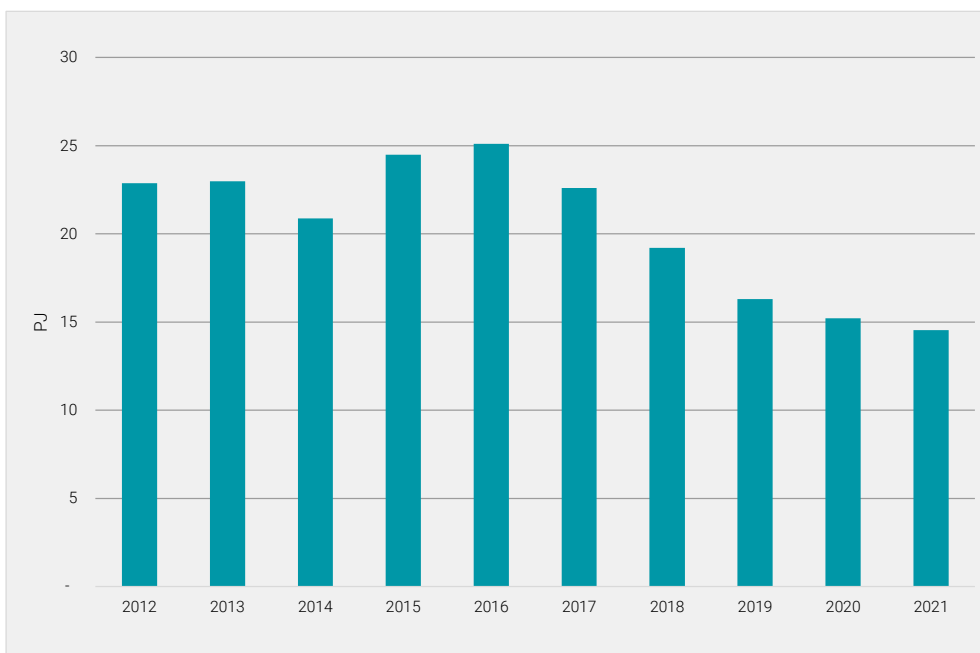
²³ De 10 pct. som ikke overholdt kravene er beregnet på den andel af årets forbrug (2021), som rent faktisk skulle dokumentere kravopfyldelse, dvs. ikke var omfattet af overgangsordningen, jf. ENS (2022b). Mængden udgjorde ca. 6. pct. af det samlede, indberettede forbrug i denne kategori.

Forbruget af brænde og træbriketter i enfamiliehuse var i 2021 14,5 PJ, hvilket svarer til ca. 10 pct. af det samlede danske forbrug af træbrændsler (ENS, 2022). 89 pct. af brænde- og træbriketforbruget stammer fra Danmark og 11 pct. er importeret (ENS, 2022). Det vides ikke, hvor stort det specifikke forbrug af træbriketter er, eller hvilke biomassetyper brænde og træbriketterne består af.

De baltiske lande og Sverige var de primære importlande for brænde og træbriketter i 2021, men også Ukraine og Belarus (Danmarks Statistik, 2023).

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 faldt derefter godt 40 pct. fra 2015 til 2021.

Figur 12: Udviklingen i Danmarks forbrug af brænde og træbriketter 2012-2021



Kilde: ENS, 2022. **Anm.:** Tallene omfatter forbruget af brænde og træbriketter samlet set. Forbruget af træbriketter er ikke opgjort separat. I Energistatistikken bruges "brænde" som en fælles term for de to typer af brændsler.

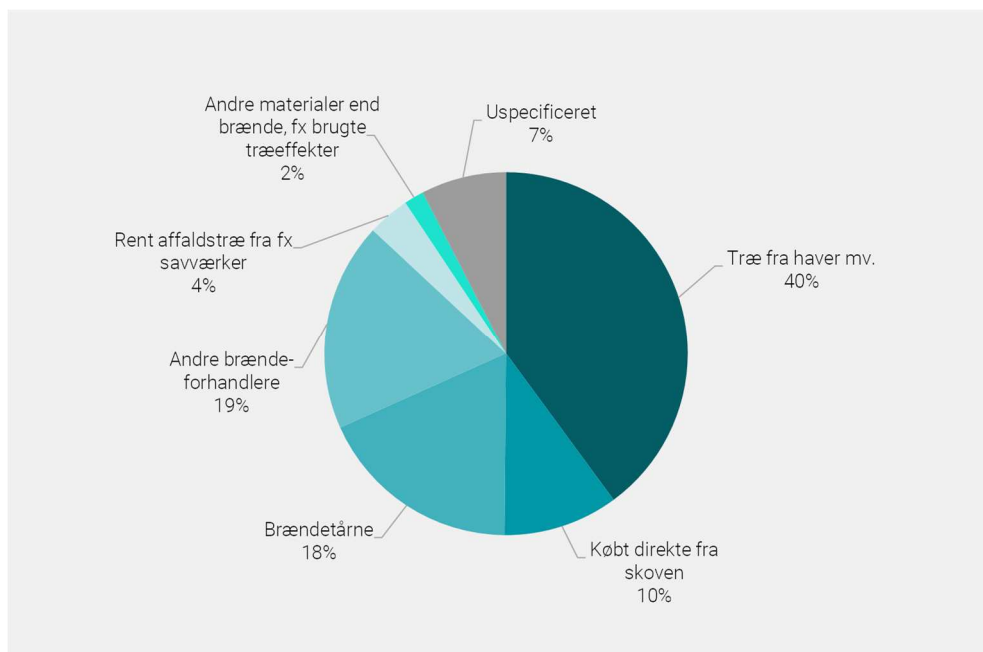
Brænde og træbriketter benyttes som brændsel i brændeinstallationer som brændeovne og pejseindsatser, masseovne, åbne pejse og i brændekedler. Der findes brændeinstallationer i 23 pct. af alle helårsboliger (enfamiliehuse, lejligheder og beboede fritidshuse) og i 69 pct. af alle fritidshuse uden fast 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, 2022c).

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, 2022c)

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, 2022c).

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



Kilde: ENS, 2022c



Hugsten af massivt brænde i de danske skove er faldet 47 pct. gennem de seneste 10 år fra 5,2 PJ til 2,8 PJ²⁴ (Danmarks Statistik, 2023b).

4.4 Sammenligning med GA22

I indeværende baggrundsnotat består de primære ændringer siden GA22 af følgende:

- Hovedresultaterne om nettoudledning fra forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme er genberegnet på baggrund af 2021-forbrugsdata i stedet for de 2020-data, som lå til grund for GA22.
- Udledningen er steget. I år 1 er nettoudledningen (svarende til den faktiske bruttoudledning) for 2021-forbruget 10,6 mio. ton CO₂ sammenlignet med 7,6 mio. ton CO₂ for 2020-forbruget²⁵. Det skyldes altovervejende en stigning i forbruget af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme. Desuden bidrager en større andel af træpiller, som har lidt højere udledning per energienhed, lidt til den højere samlede udledning.
- Kilden til data om den geografiske oprindelse af træpiller og træflis er ændret siden GA22. Nu anvendes importdata fra Danmarks Statistik i stedet for oplysninger direkte fra værkerne.
Som noget nyt i GA23 beskrives husholdningernes forbrug af træpiller og brænde/træbriketter. Forbruget beskrives ud fra eksisterende data og uden beregning af klimaeffekt.

5. Kvalificering

5.1 Usikkerhed

Der er lille usikkerhed omkring størrelsen af det samlede danske forbrug af træpiller og træflis til produktion af el og fjernvarme. Disse data stammer fra Energiproducenttællingen. De detaljerede forbrugsdata stammer direkte fra energiproducenterne via spørgeskemaundersøgelser (IGN, 2022 og Nielsen, 2023).

Data fra spørgeskemaundersøgelsen i Nielsen (2023) dækker ca. 65 pct. af det samlede forbrug af træflis og træpiller på fjernvarme og kraftvarmeværker. Det er en stor stikprøve, men der er en overvægt af store anlæg blandt respondenterne. De store værker importerer en større del af deres biomasseforbrug end de små værker. Opgørelsen af nettoudledning i Nielsen (2023) anvender information om geografisk oprindelse fra Danmarks Statistiks importdata, som dækker både store og små anlæg samt forbruget i husholdninger m.v. Forskellen i hvilket forbrug der omfattes af data for geografisk oprindelse formodes dog ikke at ændre væsentligt ved

²⁴ Hugsten af andet træ end brænde til energi (primært træflis) er dog steget i samme periode og udgør langt større mængder (Danmarks Statistik, 2023b). Brændemængderne er i kilden opgivet i m³. Det er omregnet til energimængder med brændværdien for løvtræ fra Energistatistikken (ENS, 2022), dvs. 10,4 GJ/m³.

²⁵ I december 2022 opdagede IGN en fejl i deres rapport, som lå til grund for GA22 (IGN, 2022). Kurven for nettoudledningen for et enkelt års forbrug havde forrykket sig et år og år 1 manglede. Første datapunkt skulle have været 7,6 mio. ton CO₂ i stedet for 6,9 mio. ton CO₂. Se en ny version af rapporten (IGN, 2023).

nettoudledningen, bl.a. fordi udledninger fra transport kun udgør en lille del af de samlede udledninger, se næste afsnit.

De store værker i spørgeskemaundersøgelsen har erfaring i at redegøre for fordelingen af hhv. stammer, rester fra skovbrug og rester fra træindustri fra reglerne i den frivillige brancheaftale om bæredygtig biomasse (Dansk Energi, 2016). Der er derfor større usikkerheder om denne fordeling mellem biomassetyper knyttet til de mindre værker. De mindre værkers samlede forbrug udgør til gengæld en relativt lille del af de samlede modeldata sammenlignet med de store værkers samlede forbrug.

Forskerne påpeger, at der er behov for yderligere forskning i blandt andet halveringstider for nedbrydning af efterladt dødt træ i skoven, for træ, der ender i træprodukter, samt for kvantificeringen af indirekte effekter af biomasseforbruget på arealanvendelse og brug af træ, og de heraf afledte udledninger (IGN, 2022). Antagelserne i rapporten om disse forhold er baseret på eksisterende forskning samt kvalificerede skøn. benytter de samme antagelser og pointerer også

Det ses af Figur 8 og Figur 9, at det har stor betydning for de samlede nettoudledninger, om fx rester fra skovbrug ellers (alternativt) ville blive brændt af lokalt, knust eller stakket, eftersom det giver forskellige halveringstider.

Hovedscenariet i IGN (2022), dvs. 2020-forbrugsmixet, samt genberegningen til GA23 på baggrund af 2021-forbruget i Nielsen (2023) indeholder en antagelse om at - som alternativ til udnyttelsen til bioenergi - brændes 30 pct. af hugstresterne fra skovbrug af lokalt med en halveringstid på 0,5 år og 70 pct. af hugstresterne fra skovbrug stakkes og efterlades med en halveringstid på 10 år. Antagelserne i rapporten om disse forhold er baseret på eksisterende forskning samt kvalificerede skøn.

Transportafstand (oprindelsesland) samt kvantificering af indirekte effekter er belyst gennem følsomhedsberegninger jf. afsnit 5.2.

Informationerne om husholdningernes forbrug af brænde og træpiller er også behæftet med datausikkerheder. Brændeundersøgelsen (ENS, 2022c) anfører nogle mulige fejlkilder, herunder boligejernes hukommelse og evne til at vurdere/omregne brændemængder samt forstå relativt svære tekniske begreber om opvarmningsformer m.m. korrekt. Der anføres desuden en mulig statistisk skævhed i typen af respondenter, som vælger at besvare spørgeskemaet. Det må desuden antages, at der kan være usikkerhed omkring, hvilken oprindelse af brænde fra "haver m.v." egentlig dækker over. Der findes ingen tilgængelig information om fordelingen mellem brænde og træbriketter.

Træpilleforbruget i husholdninger m.v. udgør forskellen mellem produktion og nettoimport sammenlignet med forbruget hos varmeværker og kraftværker. Det er



ca. en tredjedel af det samlede forbrug, men relativt små usikkerheder på forsynings siden forstærkes, når forbruget beregnes som forskel mellem forsyning og en anden sektors forbrug (Ea, 2021). Forbruget uden for kraftvarme- og varmegærdere er i denne undersøgelse fordelt på henholdsvis "private", "industri" og "offentlige bygninger" ud fra en procentvis standardopdeling af markedet, der er registreret eller skønnet hos samtlige adspurgte forhandlere (Ea, 2021). Kontaktbasen i træpilleundersøgelsen (Ea, 2021) er så totaldækkende som muligt og består af i alt 353 producenter, forhandlere og importører inkl. aktørerne ved den dansk/tyske grænse.

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 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 fjernvarme²⁶.

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 9, 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

²⁶ 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).

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.



6. Perspektivering

6.1 Kulstofdynamikken i et fortsat forbrug

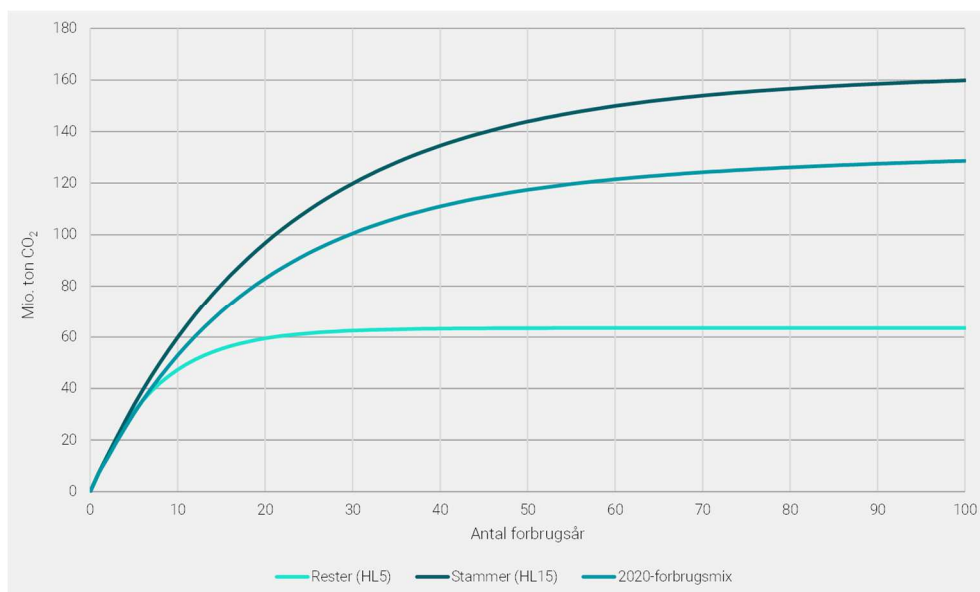
Total biogen nettoudledning fra et hypotetisk fortsat årligt forbrug som i 2020

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. 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 kompensation 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 kompensation. 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 startede²⁷.

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 langsommere). 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 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, 2022).

6.2 Mulige udviklingsveje

Resultaterne, som er præsenteret i afsnit 1 og 4, kan eventuelt 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 indirekte markedseffekter m.fl. af biomasseforbruget.

²⁷ 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.

Lovgivningen om bæredygtighedskriterier for biomasse vil fra 2023 resultere i nye indberetningsdata om forbruget, herunder biomassetyper og oprindelse, som sandsynligvis vil kunne bidrage til at nuancere og kvalificere resultaterne ved en ny genberegning.

Flere metoder har været foreslået til en operationalisering af den tidsafhængige klimaeffekt (nettoudledningen), herunder diskontering og Global Warming Potential (GWP). Disse ville kunne afprøves og diskuteres.

Udledninger fra forbruget af træpiller til opvarmning i husholdninger m.v. samt forbruget af brænde vil også kunne analyseres. Det vil dog eventuelt kræve yderligere dataindsamling. Basisdata om fordelingen mellem brænde og træbriketter samt om træbriketternes oprindelse kan også nuanceres. Det vil kræve mere data, som bl.a. kan tilvejebringes fra bæredygtighedsindberetningerne i løbet af 2024.

Halm vil evt. kunne omfattes af en selvstændig beregning i en evt. fremtidig analyse. Halm er en rest fra en etårig landbrugsafgrøde og har derfor en anden profil for nettoudledning end træ.

Biogent affald er også et fast biomassebrændsel, som en kommende analyse kan beskrive nærmere, herunder overvejelser om alternative skæbner og udledningsprofiler.

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

Det kan også være relevant, om muligt, at analysere hvordan tidsforskydningen i form af den biogene kulstofgæld - dvs. at udlede CO₂ nu i stedet for senere - påvirker klimaet, herunder på grund af øget risiko for at passere klimamæssige tærskler (tipping points), som kan udløse selvforstærkende mekanismer med øgede udledninger fra økosystemerne til følge.



7. Kilder

Danmarks Statistik (2022): *Tabel KN8Y: Im- og eksport KN (EU Kombineret nomenklatur) efter im- og eksport, varer, land og enhed*. CN nr. 44012100 og 44012200 for træflis og 44013100 for træpiller. Download 2022-02-10. www.statistikbanken.dk

Danmarks Statistik (2023): *Tabel KN8Y: Im- og eksport KN (EU Kombineret nomenklatur) efter im- og eksport, varer, land og enhed*. CN nr. 44011100 og 44011200. Download 2023-01-12. www.statistikbanken.dk

Danmarks Statistik (2023b): 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 (2021): *Det danske træpillemarked 2020*. Ea Energianalyse for Energistyrelsen – 8. november 2021

ENS (2020): *Biomasseanalyse maj 2020*. Energistyrelsen

ENS (2022): *Energistatistik 2021*. Energistyrelsen

ENS (2022b): *Afrapportering vedrørende indberetninger om bæredygtighed for forbruget af forbruget af faste biomassebrændsler i 2021*. Energistyrelsen

ENS (2022c): *Brændeforbrug i Danmark 2021*. Energistyrelsen.

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

IGN (2022): *CO₂ emissions from biomass use in district heating and combined heat and power plants in Denmark*. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet²⁸

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.

²⁸ Videnskabelig citering: Nielsen, Anders Tærø, Bentsen, Niclas Scott, Nord-Larsen, Thomas 2022. CO₂ emissions from biomass use in district heating and combined heat and power plants in Denmark. IGN report, Frederiksberg. 44 pp.