

Halm som brændselskilde

Store mængder af kul, olie og naturgas kan forblive i jorden ved anvendelse af halm i kraftvarmeværker.

Af Frans W. Langkilde¹, Søren Brøgger Christensen², Gustav von Rosen³ og Sten Scheibye⁴

¹ Katrinedal I/S, 4780 Stege

² Institut for Lægemiddeldesign og Farmakologi, Københavns Universitet

³ Rudbjerggård, 4983 Dannemare

⁴ Bøged Skov, 4720 Præstø

I fortsættelse af artikler i Dansk Kemi om landbrugets [1] og skovbrugets [2] klimapåvirkning, og om hvordan halm og træflis substituerer fossile brændsler, vil vi i nærværende artikel kvantificere denne substitution.

Halmens substitution af fossile brændsler

CO₂ bindes via fotosyntesen i planter og omdannes til sukker, stivelse og cellulose. Ved konventionel dyrkning på god jord yder en hvedemark 10 tons kerne og godt 5 tons halm per hektar per år. I kernen opbygges stivelse og protein svarende til binding af cirka 3,8 tons kulstof (C) eller cirka 14 tons CO₂ ækvivalenter (CO₂e) per hektar per år. I halmen opbygges cellulose og lignin svarende til binding af cirka 2,2 tons C eller cirka 8 tons CO₂e per hektar per år. Hvis halmen bjærges og leveres til et varmeværk, vil de 8 tons CO₂e frigøres til atmosfæren, men igen optages af planter i naturens kulstofcyklus. Ved afbrænding af halm og andre planteprodukter som træflis genoptages CO₂ ved fornyet dyrkning. Ved afbrænding af fossile brændsler som naturgas, olie og kul forøges mængden af CO₂ i atmosfæren. Da halmen substituerer fossile brændsler, kan disse forblive i undergrunden. Derved undgås det, at CO₂ fra fossile kilder udledes til atmosfæren, antagelig den vigtigste årsag til menneskeskabt global opvarmning.

Nedenstående beregninger viser, hvor store mængder af fossile brændstoffer som substitueres, når et varmeværk producerer el og varme fra halm eller andre af landbrugets restprodukter. Tabel 1 er baseret på en tabel over brændværdier



Foto: Wikimedia

fra Energistyrelsen [3]. I en anden publikation fra Energistyrelsen [4] findes lignende tal.

Referencerne indeholder også værdier for CO₂-udledning i (kg CO₂)/enhed. I tabel 1 er der ikke værdier for CO₂-udledning for træpiller og træflis, da disse afhænger af vandprocenten (ligeledes for brændværdien i øvrigt). For halm er den frigjorte mængde af CO₂ på 1.600 (kg CO₂)/ton sat til den mængde af CO₂, der blev optaget, da halmen dannedes på marken. Værdien for stenkul på 3.664 (kg CO₂)/ton er beregnet ud fra (molmasse CO₂) og (molmasse C), altså for rent kulstof.

For kul varierer værdierne for brændværdi og CO₂-udledning mellem elværkskul, stenkul og koks [3,4]. Det afhænger antageligt af arten og mængden af gasser i materialet. Værdien 3.664 (kg CO₂)/ton for rent C ligger over værdierne for både stenkul og koks.

Ifølge tabel 1 har 5 tons halm (fra 1 hektar i 1 år) en brændværdi på 5 x 4.028 = 20.140 kWh. Det svarer til 20.140/11.300 = 1,78 tons fuelolie. Disse

udleder 1,78 x 3,173 = 5,655 tons CO₂. Når hvedehalm fra 1 hektar erstatter fuelolie, substitueres 5,655 tons CO₂e af fossil oprindelse med CO₂ frigjort fra plantemateriale.

Ved afbrænding af halm i stedet for naturgas, undgås det, at 20.140/11.000 x 2,245 = 4,11 tons CO₂e af fossil oprindelse udledes.

For stenkul giver beregningen, at 20.140/7.360 x 3,664 = 10,03 tons CO₂e af fossil oprindelse undgås. For koks er tallet 7,83 tons CO₂e; denne værdi er nok mere pålidelig end den for stenkul.

Når hvedehalm fra 1 hektar i 1 år erstatter fossile brændsler i et varmeværk, undgås udledning til atmosfæren af 4-8 tons CO₂e af fossil oprindelse i rækkefølgen naturgas, fuelolie, kul/koks. Det undgås at afbrænde 1,54 tons naturgas (20.140/11.000 x 0,840 ton), 1,78 tons fuelolie eller 2,47 tons koks. Hermed konverteres binding af CO₂ i en etårig afgrøde til binding i undergrunden i tusinder af år. Disse betragtninger indgår ikke i beregninger af landbrugets CO₂-regnskab,

måske fordi FN's klimaorgan IPCC har valgt at se bort fra CO₂-bindingen i etårige afgrøder [5,6]. Tilsvarende beregninger kan udføres for brænde, træflis eller træpiller. Træ har en højere vandprocent end halm; det mindsker både brændværdi og CO₂-udledning per ton.

Tabel 1 viser også kWh/(kg CO₂). Værdierne i søjle 6 er beregnet ved division af værdierne i søjle 4 med værdierne i søjle 5 og ligger højest for naturgas og lavere for halm. Dette forhold får nogle debattører til fejlagtigt at hævde, at naturgas og olie er mere klimavenlige brændsler end halm. De overser, at CO₂ fra naturgas og olie er af fossil oprindelse, mens halmens CO₂ er hentet ned fra atmosfæren samme år.

Implikationer for anvendelsen af halm og andre biobrændsler

Produktion og anvendelse af kornhalm i Danmark er vist i tabel 2 [7]. Det dækker altså alle jordtyper og dyrkningsmetoder. Kun en mindre del af halmen anvendes direkte til energiformål. En del af den halm, som anvendes til hakkelse eller dybstrøelse, går via biogas til energiformål. En stor del af halmen bjærges ikke. Det er altså muligt at forøge brugen af halm til bæredygtig energi, eventuelt via biogas for den del, som er af dårligst kvalitet. Halmmængden kan også øges ved valg af sorter og afgrøder, for eksempel vintersæd (raps, hvede, byg) i stedet for efterafgrøder. Nedmuldning af halm kan have positive effekter på jordstrukturen, men klima-



Foto: Wikimedia

effekten ved sekvestrering (opbygning af C i jorden) er lille [8].

De principper, som er fremført for halm som energikilde, gælder ligeledes for brænde og træflis. I 2022 var det samlede danske elforbrug 35,2 TWh. Det samlede forbrug af naturgas, ekskl. bionaturgas, dvs. af fossil naturgas, var 13,44 TWh. Den samlede halmmængde i tabel 2, inkl. rapshalm, er 6,03 millioner tons. 6,03 millioner tons x 4.028 kWh/ton halm giver 24,3 TWh. Hvis brænde og træflis inkluderes, er det tæt på, at Danmarks forbrug af el kan erstattes med klimaneutrale brændsler. Med halm alene dækkes forbruget af fossil naturgas næsten to gange med klimaneutrale brændsler. Tankevækkende.

Klimagevinsten ved anvendelse af halm i et varmeværk overses stort set i den offentlige debat, også i den aktuelle diskussion om pyrolyse/biochar. På baggrund af ovenstående betragtninger konkluderer vi, at IPCC's beslutning om ikke at inkludere etårige afgrøder i deres

beregninger har konsekvenser, som direkte kan skade klimaet. I vores optik er IPCC's regneregler netop regneregler, som bør vurderes kritisk ved udvikling af et lands strategi på klimaområdet.

Konklusion

Udnyttelse af halm til energiformål kan forhindre anvendelse af fossilt kul, olie og naturgas. I beregningen af landbrugets CO₂-belastning burde udnyttelse af halm og biogas (og brænde og træflis) til energiformål indregnes i landbrugets CO₂-regnskab. Det ville gøre en reel forskel for det globale klima og motivere samfundet til at optimere anvendelsen af landbrugets restprodukter til fremstilling af grøn energi, samt udfase fossile brændsler. Det burde kunne få politikkere, meningsdannere, beslutningstagere og mange forskere til at forstå denne betydelige del af Danmarks virkelige klimaregnskab.

E-mail:

Frans W. Langkilde:

franswlangkilde@outlook.dk

Søren Christensen:

soren.christensen@sund.ku.dk

Referencer

- Langkilde, F.W.; Christensen, S.B., Et nyt syn på landbrugets CO₂-bidrag. *Dansk Kemi* **2023**, 104, (1), 26-29.
- Langkilde, F.W.; Christensen, S.B.; von Rosen, G.; Scheiby, S., Om skovbrugets klimapåvirkning. *Dansk Kemi* **2023**, 104, (6), 16-19.
- Energistyrelsen, Håndbog for Energikonsulenter (HB2023). Ebergistyrelsen, Ed. Energistyrelsen: <https://hbemo.dk/vejledning/tabeller-og-vaerktoejer-hb2023/brændvaerdier-og-co2-emissionsfaktorer>, 2023.
- Energistyrelsen, 2022 Data, tabeller, statistikker og kort. Energistatistik 2022. Energistyrelsen, Ed. 2022.
- Lasco, R.D.; Ogle, S.; Raison, J.; Verchot, L.; Wassmann, R.; Yagi, K.; Bhattacharya, S.; Brenner, J.S.; Daka, J.P.; González, S.P.; Krug, T.; Li, Y.; Martino, D.L.; McConkey, B.G.; Smith, P.; Tyler, S.C., *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories, Agriculture, Forestry and other Land Use*. IPCC: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>, 2006; Vol. 4 Kap. 5.1.
- Working Group III, Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. ipcc, Ed. ipcc: 2022. https://report.ipcc.ch/ar6/wg3/IPCC_AR6_WGIII_Full_Report.pdf.
- Elsgaard, L.; Adamsen, A.P.S.; Møller, H.B.; Winding, A.; Jørgensen, U.; Mortensen, E.Ø.; Arthur, E.; Abalos, D.; Andersen, M.N.; Thers, H.; Sørensen, P.; Dinessa, A.A.; Eofson, K. *Knowledge synthesis on biochar in Danish Agriculture. DCA report No. 208*; Aarhus University: 2022.
- Kaetterer, T.; Bolinder, M.A.; Berglund, K.; Kirchmann, H., Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in northern Europe. *Acta Agric. Scand., Sect. A* **2012**, 62, (4), 181-198.

Brændsel/ energiform	Enhed	Vægt i kg	kWh/enhed (ton ^a) [3]	(kg CO ₂)/enhed (ton ^a) [3]	kWh/(kg CO ₂)
Halm	1 ton	1.000	4.028 ^b	1.600 ^{c,d}	2,52
Træpiller	1 ton	1.000	4.861		
Træflis	1 ton	1.000	2.600		
Fuelolie	1 ton	1.000	11.300	3.173	3,56
Naturgas	1.000 m ³	840	11.000	2.245	4,90
Stenkul	1 ton	1.000	7.360	3.664 ^d	2,01
Koks	1 ton	1.000	8.140	3.165	2,57

^a For naturgas 840 kg. ^b 15% vand. ^c 12% vand. ^d For halm og stenkul er CO₂-værdien beregnet.

Tabel 1. Brændværdi (kWh) og CO₂-udledning (kg CO₂) for forskellige brændsler [3].

Total Mio. ton per år	Anvendelse til energi	Føde til dyr (hakkelse)	Dybstrøelse	Ikke bjærgtet	Rapshalm, total (ikke medregnet)
5,46	1,56	0,83	0,86	2,20	0,57

Tabel 2. Produktion og anvendelse af kornhalm i Danmark. Gennemsnit for årene 2016, 2017, 2019, 2020 [7]. Året 2018 er udeladt i [7].