

Model for klimaregnskab for sortering af madaffald til brug i biogasanlæg

Henrik Wenzel, professor SDU Life Cycle Engineering, www.sdu.dk/lifecycle

7. juli, 2021

Modellen er udarbejdet som en regnearksmodel, der viser de ændringer i håndteringen af madaffald, der opstår når en restaurant udsorterer madaffaldet separat i stedet for at lade det gå til affaldsforbrænding.

Det antages grundlæggende, at madaffaldet går til biogasanlæg, når det sorteres og indsamles separat. Dette sker altovervejende i dag og forventes at være den dominerende, muligvis eneste, anvendelse i fremtiden. Se fx Wenzel et al. (2020). En anden grundlæggende antagelse er, at danske affaldsforbrændingsanlæg fortsat i en række år frem importerer affald til forbrænding, hvis der opstår fri kapacitet på forbrændingsanlægget. Når en restaurant i Danmark begynder at sortere sit madaffald, så opstår der en tilsvarende fri forbrændingskapacitet der, hvor det tidligere blev forbrændt. Konsekvensen er generelt, at forbrændingsanlægget importerer en tilsvarende mængde i stedet. Det antages her, at forbrændingsanlægget er termisk begrænset, dvs. det er energiindholdet eller brændværdien i affaldet, der afgør hvor meget der importeres, når madaffaldet tages ud af forbrænding. For hver MJ madaffald, der unddrages forbrænding, importeres derfor affald svarende til 1 MJ i brændværdi.

Regnearksmodellen indeholder alle anvendte antagelse og data, og alle kan gå ind og se, hvad der er antaget, og hvordan klimaregnskabet er lavet, ligesom man kan lægge andre antagelser ind, hvis man ønsker at se konsekvensen af dette. I dette korte notat gennemgås de væsentligste antagelser og pointer kort med udgangspunkt i en illustration af regnemodellen.

Model for affaldets sammensætning

Beregningerne i modellen skal nødvendigvis forudsætte en konkret sammensætning af affaldet i form af brændværdi og biogas potentiale. Derfor har vi forudsat en bestemt sammensætning, som vist i tabellen herunder.

Tabel 1. Den forudsatte affaldssammensætning i modellens beregninger. TS = tørstof, VS = volatile solids (organisk tørstof), C = kulstof, N = kvælstof, P = fosfor, K = kalium, H₂O = vand, ash = aske (fx salte)

Madaffald fra restauranter	
Masse	1 kg
Brændværdi (LHV)	19 MJ/kg VS
Brændværdi (LHV)	9,0 MJ/kg wet waste
Tørstofindhold (total solids, TS)	0,49 kg TS/kg
Organisk stof (volatile solids, VS)	0,96 kg VS/kg TS
Organisk-N	0,017 kg N/kg TS
Aske	0,12 kg Ash/kg TS
Fosfor, P	0,0019 kg P/kg
H ₂ O	0,501 kg H ₂ O/kg
K	0 kg K/kg
kg C	0,51 kg C/kg TS
Carbon i affaldet	0,25 kg C/kg waste
Carbon i VS	0,51 kg C/kg VS
Nitrogen, N	0,0082 kg N/kg waste

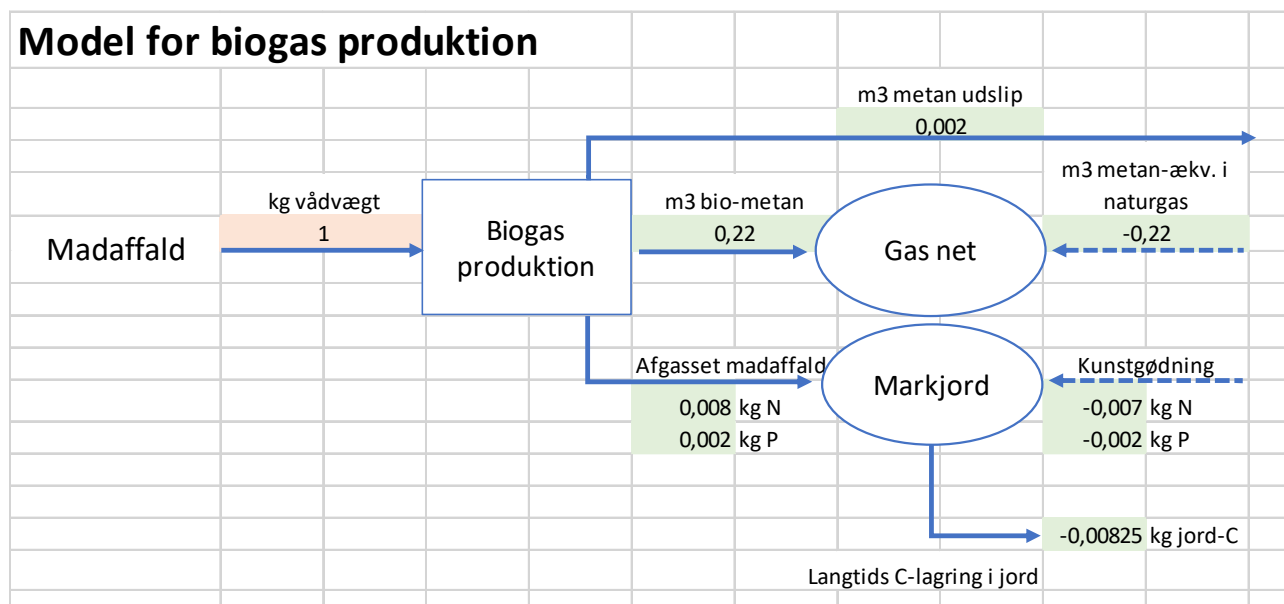
Denne affaldssammensætning stammer fra en videnskabelig artikel, hvor restaurationsaffald er analyseret i detaljer (Salimi et al., 2021). Som det fremgår, er brændværdien her fundet at være 9 MJ/kg affald vådvægt, dvs. det er brændværdien af affaldet, som det er, når det forlader restauranten. Der er fundet at være godt 50 % vandindhold i affaldet som gennemsnit.

Affaldets brændværdi vil variere med vandindholdet, men det er enkelt at justere for dette, for regnearksmodellen er lavet sådan, at man blot kan ændre brændværdien pr. kg vådvægt (wet waste i tabellen), og så vil beregningen afspejle den aktuelle brændværdi. Højere vandindhold vil naturligvis sænke brændværdien. Det vurderes, at tabellen data er repræsentative for gennemsnitligt restaurantaffald.

Affald med mange ben vil have en mindre brændværdi, mens meget fedt- og olie-holdigt affald vil have en større brændværdi og ligeledes større biogas potentiale. Hvis en restaurant af den ene eller anden grund ikke repræsenterer gennemsnitlige måltider, men har et meget specielt affald, kan det være en ide at få vurderet affaldets sammensætning og biogas potentiale specifikt, men de fleste almindelige restauranter, kantinekøkkener mm., vurderes fint at kunne tage udgangspunkt i den aktuelle sammensætning. Det er nemt i modellen at lægge andre forudsætninger ind, hvis det skulle være nødvendigt.

Model for biogasproduktion

Modellen for biogasproduktion ud fra madaffaldet ser ud som vist i Figur 1, hvor data gælder 1 kg madaffald regnet som vådvægt. Affaldets sammensætning fremgår af regnearksmodellen.



Figur 1. Processer og flows, der påvirkes, når madaffaldet sorteres ved kilden og sendes til biogas. En firkant er en proces, pile er flows og en oval er et net/et marked/en efterspørgsel, hvor leverancer fortrænger hinanden. Markjorden repræsenterer her landmandens efterspørgsel efter gødning. Fuldt optrukne pile er nye flows, der forårsages af kildesorteringen, mens stiplede pile er flows, der fortrænges/undgås- ved kildesorteringen. C betyder kulstof, mens N og P betyder kvælstof hhv. fosfor

De væsentligste antagelser i modellen gennemgås kort her.

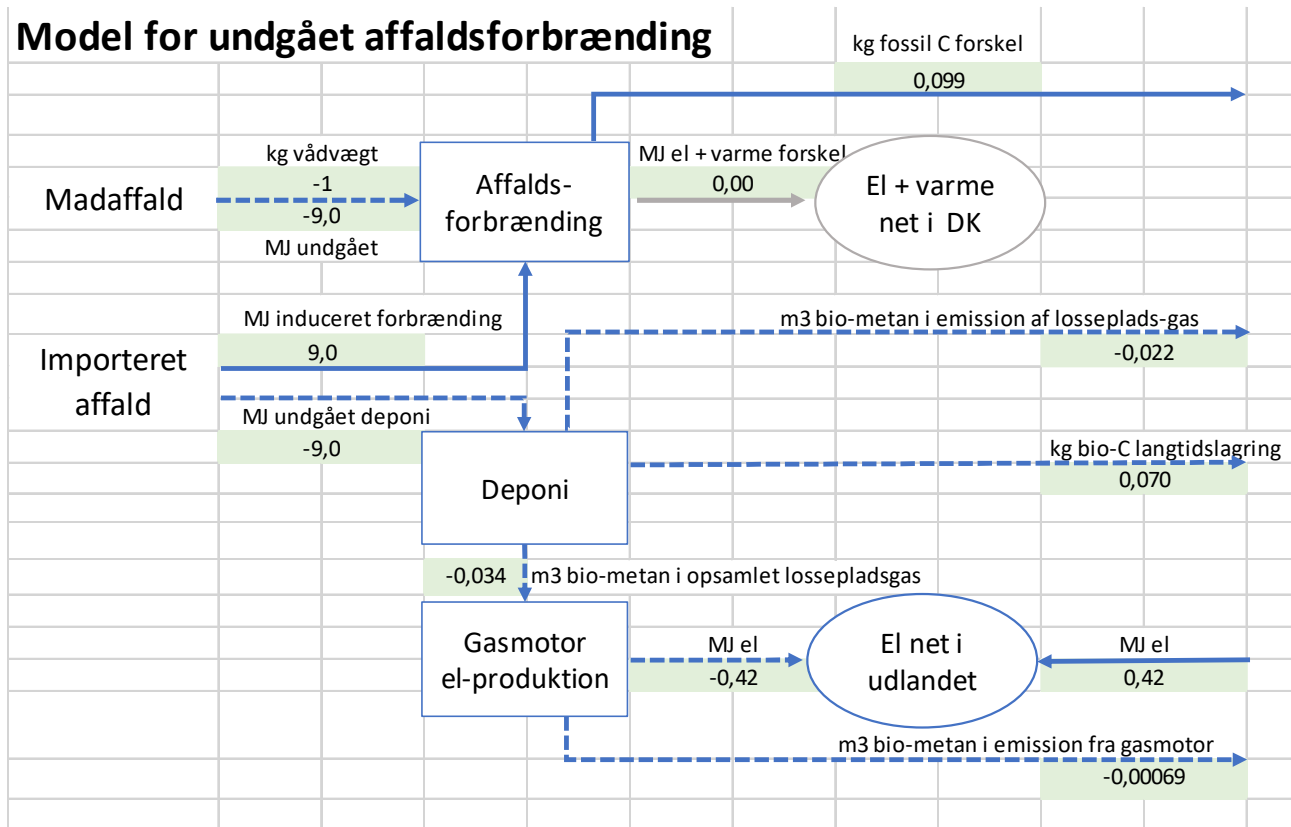
Biogasudbytte: Der antages et udbytte på 86,5 % (Salimi et al. 2021), dvs. at denne andel af brændværdien (såkaldt nedre brændværdi, LHV – lower heating value) i madaffaldet konverteres til energi i biogassen. Energien ligger i biogassens metan-indhold, derfor opgives udbyttet som bio-metan.

Metan slip: En lille andel af den bio-metan, der produceres af madaffaldet, når at sive ud, inden det efter lagring på gasnettet bliver anvendt og fortrænger naturgas. Vi antager, at det samlede slip udgør 1 % af den producerede gas, inklusive udslip fra selve biogasreaktoren, distribution i rør mm. på anlægget plus såkaldt opgradering af biogassen, hvor biogassen indhold af CO₂ fjernes før metan-delen lægges ud på gasnettet. Historisk har der været målt højere udslip, helt op til 4 %, men både energistyrelsen og biogasbranchen i Danmark har stor fokus på det, og det vurderes realistisk, at udslippet fremover samlet set ikke overstiger 1 % som gennemsnit for danske biogasanlæg.

Gødningsværdi og kulstoflagring fra afgasset madaffald: Efter afgangningen resterer således 13,5 % af brændværdien i madaffaldet, og dette indhold bringes ud på markjord i form af såkaldt digestat, inklusive dets indhold af både kulstof (C) og gødningsstofferne kvælstof (N) og fosfor (P). Det meste af digestatets indhold af kulstof vil på sigt nedbrydes og udledes som til CO₂ fra markjorden, mens det antages, at 25 % af restindholdet af kulstof i digestatet forbliver i jorden på længere sigt (>100 år). Derfor er der en lille del af madaffaldets kulstofindhold, som ikke udledes som CO₂, men i stedet lagres i markjorden. Madaffaldets indhold af kvælstof findes for en stor del som såkaldt organisk bundet kvælstof (fx kvælstof i proteiner), men under udrådningen i biogasanlægget omdannes størstedelen af den organiske kvælstof til ammoniak/ammonium. Dermed bliver kvælstoffet mere tilgængeligt for optag i planter på marken. Dog er en mindre del fortsat bundet som organisk kvælstof, så optaget er ikke helt så højt som for kunstgødning. Det antages her, at 1 kg N i digestatet kan fortrænge 0,8 kg N i kunstgødning. For P antages fortrængningen 1:1.

Model for undgået forbrænding

Modellen for, hvad der sker, når madaffaldet tages ud af forbrændingsanlægget, ser ud som vist i Figur 2, hvor data gælder 1 kg madaffald regnet som vådvægt. Da 1 kg madaffald her er antaget at have en nedre brændværdi på ca. 9 MJ, antages i modellen dermed, at der importeres ca. 9 MJ affald til forbrænding for hvert kg madaffald, der sorteres ud til biogas. Det importerede affald ville alternativt være deponeret i udlandet, og denne deponi udgås derfor som konsekvens af kildesorteringen af madaffaldet. Brændværdien af det importerede affald er antaget at være 12 MJ/kg, altså lidt højere end madaffaldets brændværdi.



Figur 2. Processer og flows, der påvirkes, når madaffaldet tages ud af affaldsforbrænding. En firkant er en proces, pile er flows og en oval er et net/et marked/en efterspørgsel, hvor leverancer fortrænger hinanden. Fuldt optrukne pile er nye flows, der forårsages af kildesorteringen, mens stiplede pile er flows, der fortrænges/undgås ved kildesorteringen. C betyder kulstof

Det antages således, at der importeres 0,75 kg affald for hvert kg madaffald, der tages ud af forbrændingen (brændværdi ratioen 9/12). Der kan være stor forskel på, hvor og hvordan dette affald alternativt ville være deponeret. Danmark har historisk importeret meget affald fra England, men også fra andre lande i Europa.

På alle lossepladser vil der med tiden dannes lossepladsgas med indhold af metan, der siver ud til omgivelserne, på grund af udrådningen af den biologiske/organiske del af affaldet. Det teknologiske stade for etablering og drift af lossepladser rundt om i Europa er meget forskelligt. For lavteknologiske lossepladser er der ingen foranstaltninger til at undgå eller opsamle og anvende den dannede lossepladsgas, den får blot lov at sive ud. For mere højteknologiske lossepladser er der dæklag og opsamling af lossepladsgassen i en slags drænrør, inden den emitteres til omgivelserne. Den opsamlede gas kan herefter enten brændes i en fakkellampe for at undgå udledning af metanen, som er en stærk drivhusgas, eller i den mest højteknologiske ende, bliver gassen brugt til energiproduktion, typisk i en gasmotor, hvor der produceres og anvendes el og/eller varme.

Det er her søgt antaget en realistisk/repræsentativ losseplads, hvor der er en vis opsamling af lossepladsgassen, og hvor gassen bruges i en gasmotor til fremstilling af el, men hvor varme-delen ikke nyttiggøres. Det vurderes at repræsentere en rimeligt realistisk bud på en fremtidig gennemsnitlig situation for importeret affald.

El- og varmeproduktion fra forbrændingen: Som nævnt antages en erstatning af madaffaldet med importeret affald i ratioen 1:1 på brændværdi. Det indebærer også, at det antages at der ikke er nogen forskel på el- og varmeproduktionen, når madaffaldet erstattes af importeret affald.

Ændring af røggassen fra affaldsforbrændingen: Men selv om el- og varmeproduktionen ikke ændres, så opstår der en væsentlig ændring i udledningen med røggassen. Hvor madaffaldet er af ren biologisk oprindelse, hvorfor CO₂-dannelsen ikke regnes med i klimaregnskabet, indeholder det importerede affald en del fossilt kulstof fx i affaldets plastikindhold. Dette plastik ville være deponeret, hvor det kunne have ligget i mange år uden at danne CO₂ eller metan, men nu brændes det af og udleder CO₂. Derfor medregnes den CO₂ udledning, der kommer fra afbrænding af affaldets indhold af fossilt kulstof. Affaldets sammensætning samt antagelserne om dets skæbne på lossepladsen er taget fra Pizarro-Alonso et al. (2018).

Emission af lossepladsgas: En del af det importerede affald er imidlertid også af biologisk oprindelse, fx papir, pap, madaffald og andet organisk materiale. En del af kulstoffet i denne del af affaldet ville i lossepladsen med tiden være nedbrudt og udledt som metan. Det antages, at der totalt set produceres 66 g metan/kg affald for det importerede affald, og det antages endvidere, at halvdelen af dette opsamles (Pizarro-Alonso et al., 2018). Af de resterende 33 g metan/kg affald, der ikke opsamles, vil en del blive spist af såkaldt metanotrofe (metanspisende) bakterier på lossepladsgassens vej op gennem jordlagene. Her er det antaget, at 36 % af den ikke opsamlede gas bliver 'spist' og dermed omdannet til CO₂. De resterende 64 % af de 33 g metan/kg affald antages således udledt til atmosfæren fra lossepladsen – og denne udledning undgås dermed, når madaffald kildesorteres i Danmark, og det importerede affald dermed unddrages deponi.

Langtidslagring af biologisk kulstof i lossepladsen: En del af det biologisk kulstof vil imidlertid også modstå nedbrydning og dermed lagres på længere sigt. Det er her antaget, at denne del udgør ca. 93 g C lagret på langt sigt i overensstemmelse med Pizarro-Alonso et al. (2018).

Opsamlet lossepladsgas og den videre anvendelse: Som nævnt antages, at halvdelen af at den dannede metan på lossepladsen opsamles i rør, og at den anvendes i en gasmotor. Men små gasmotorer på lossepladser er ikke højeste teknologi, og der er et slip af uforbrændt metan gennem motoren, der dermed udledes til atmosfæren. Det antages at dette slip er 2 % af inputtet til motoren i overensstemmelse med Pizarro-Alonso et al. (2018). El-nytttevirkningen i motoren er antaget at være 35 %, dvs. at den producerede elektricitet udgør 35 % af brændværdien i metan-inputtet til motoren. Når madaffald tages ud af forbrænding i Danmark, vil denne el-produktion fra lossepladsgas i udlandet dermed ikke finde sted, hvorfor den samme mængde el produceres på anden vis. I klimaregnestykket er her regnet med engelsk el.

Netto effekt af kildesorteringen af madaffald

Den samlede effekt af at kildesortere madaffaldet er således summen af de forårsagede effekter ved biogasproduktionen og de undgåede (samt forårsagede) effekter fra det importerede affald. I den udviklede regnearksmodel kan de forskellige forårsagede og undgåede flows og effekter følges i detaljer.

Referencer

Wenzel H, JM Triolo, LV Toft, N Østergaard (2020): Energiforbrødeanalysen. SDU og SEGES, ISBN: 978-87-93413-18-4

E Salimi, ME Taheri, K Passadis, J Novacovic, EM Barampouti, S Mai, K Moustakas, D Malamis and M Loizidou (2021): Valorisation of restaurant food waste under the concept of a biorefinery. Biomass Conversion and Biorefinery (2021) 11:661–671

A Pizarro-Alonso, C Cimpan and M Münster (2018): The climate footprint of imports of combustible waste in systems with high shares of district heating and variable renewable energy. Waste Management 79 (2018) 800–814.