

Delrapport 5

Rötningsprocesser

Maximilian Bonde

Innehållsförteckning

Inledning	1
Översikt av rötningsmetoder	2
Våtrötning	2
Torrötning	2
Rötprocessering	2
Passiv bädd	2
Perkolationsbädd	2
Dränkt bädd	2
Biokemiska processer	3
Hydrolys	3
Acidogenes	3
Acetogenes	3
Methanogenes	4
Påverkansparametrar	5
Organic loading Rate	5
Uppehållstid	5
Kol-kväve förhållandet	5
pH-värde	5
Spårämnens påverkan på nedbrytningen	6
Mesofil och termofil nedbrytning	6
Referenser	6

Inledning

Rötningsprocesser är centrala i produktionen av biogas – ett förnybart bränsle som bildas vid nedbrytning av organiskt material under syrefria förhållanden. Två huvudmetoder används

för detta ändamål: våtrötning och torrötning. Medan våtrötning länge varit den vanligaste tekniken, har intresset för torrötning ökat tack vare dess lägre vattenkrav och förmåga att hantera fastare substrat. Denna delrapport avser att undersöka dessa metoder med fokus på torrötning och hur det påverkar metanproduktion.

Översikt av rötningsmetoder

Våtrötning

Våtrötning är den idag vanligaste metoden för tillverkning av biogas/nedbrytning av substrat. Våtrötning kräver finfördelat substrat, något som uppfylls genom sönderdelning om substratet där energi används och vatten tillsätts för att uppnå rätt våthetshalt, där våsubstrat inneär ett substrat där vatten utgör 85% av volymen av substratet. För att göra substratet pumpbart, något som är nödvändigt för våtrötningssystemen (Nordberg, Nordberg, 2007 p. 8)

Torrötning

Till skillnad från våtrötning kräver torrötning ingen eller minimal förbehandling. Den kan hantera fastare substrat, vilket gör den lämplig för exempelvis trädgårdsavfall, gödsel och matavfall (Rehman, et al.).

Rötprocessering

Vid torrötning används ofta satsvis där substratet behandlas i omgångar snarare än kontinuerligt. Tre vanliga arkitekturer förekommer:

Passiv bädd

Arkitekturen utgörs av ett system där substratet förs in i en gastät behållare där substratet sedan låts ligga utan någon omrörning där gasproduktionen låts ske tills gasproduktionen avtar. Detta är ett enkelt system att använda och implementera men har dålig verkningsgrad med avseende på gasutbyte och lång uppehållstid av substratet.

Perkolationsbädd

Arkitekturen utgörs av ett system där substratet som rötas kommer att avge vätska som via ett cirkulationssystem återförs till substratet genom dysorer, Detta håller substratet fuktigt och liksom vid dränkt bädd arkitektur kan ympningsvätska snabbt tillföras till färskt substrat. Ympningsvätskan har rollen att tillföra vatten, de nödvändiga bakterierna och lösta näringsämnen till substratet som då snabbare kan brytas ned än vid ett passivt system.

Dränkt bädd

Dränkt bädd arkitektur utgörs av ett system där det tillförda substratet täcks med ympningsvätska, detta gör att hela substratet inympas likformigt och håller en jämn temperatur, samt att vätskans ympningskapacitet sparas mellan rötningssatser.

Beroende på vilket substrat som rötas och vilken process som används produceras en gas med metanhalt som varierar mellan 45 – 85 procent och koldioxid som varierar mellan 15 – 45 procent.

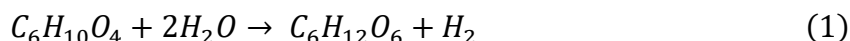
Biokemiska processer

För att ett tillsatt substrat ska brytas ned och att metan ska tillverkas genomgår ett antal processer i sekvens för att de ingående näringsämnen ska bilda metan, processerna som genomgår är följande.

Hydrolys

Substratet som rötas består till en början av komplexa organiska molekyler i form av polymerer av fetter, stärkelse och proteiner. Hydrolytiska bakterier inleder nedbrytningsprocessen av dessa genom hydrolytiska enzymer som bryter ner de komplexa polymererna till beståndsdelarna av makronutrienterna socker, aminosyror och fettsyror (Menzel et al., 2020, p. 3).

Den kemiska reaktionen för hydrolyseringen kan generaliseras vid rötning av ett organiskt substrat som antas ha den kemiska formeln $C_6H_{10}O_4$ beskrivs av ekvation (1).



(Kothari et al., 2014, sec. 2)

Acidogenes

Efter nedbrytningen av polymererna tar nedbrytningen vid av acidogeniska; syrabildande bakterier, dessa bryter ned substratet vidare till volatila fettsyror (ättiksyra, propionsyra, smörsyra, valerinsyra) tillsammans med andra biprodukter som alkohol, koldioxid och vätgas (Laiq Ur Rehman et al., 2019, p. 1255). Mängden vätejoner som frigörs påverkar mängden acetat som senare kan bildas där högre nivåer av vätejoner leder till lägre takt av acetatbildning.

Anrikningen av fettsyror beskrivs av ekvation (2), (3).



(Rezapoor and Rahimpour, 2024)

Acetogenes

Under detta steg metaboliseras de varierande fettsyror till mer acetic acid och vätgasorgansyror. Hydrogenotrofiska metanogeniska bakterier är viktiga för att hålla nivåerna av vätgas låga som kan begränsa andra steg i metanbildningen.

Acetogeniska reaktionen kan beskrivas av ekvation (4).

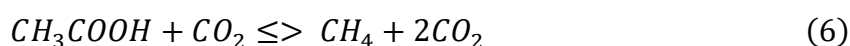


(“Acetogenesis - an overview | ScienceDirect Topics,” n.d., fig. 1)

Metanogenes

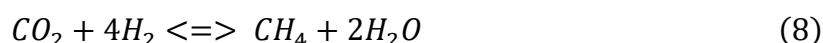
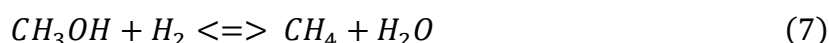
Det sista steget där metan bildas sker genom att metanproducerande arkéer bryter acetic acid, vätgas och koldioxid från föregående processer. 70 procent av metanet produceras via acetatnedbrytningen, detta kallas även acetoklastisk metanogenes. cirka 30 procent av metanet bildas genom så kallad hydrogenotrofisk metanogenes alternativt bryter ned koldioxid och vätgas från föregående processer till metan (Madigan and Martinko, n.d.).

Acetoklastisk metanogenes beskrivs av ekvation (5) och (6):

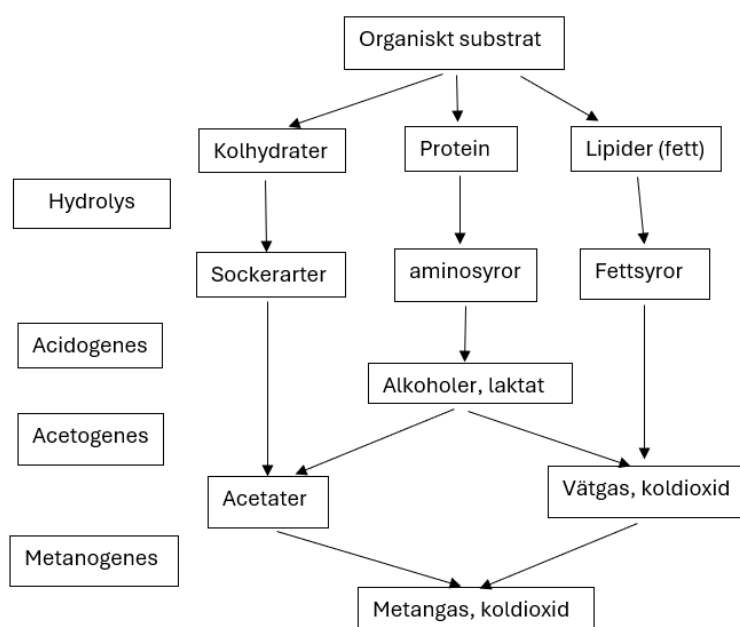


(Kothari et al., 2014, eqs. 5, 6)

Hydrogenotrofisk metanogenes beskrivs av ekvation (7) och (8):



(Kothari et al., 2014, eqs. 7, 8)



Figur 1: Illustrerar förloppet från substrat till metan.

Påverkansparametrar

Organic loading Rate

En viktig parameter att betänka inom anaerobisk rötning "organic loading rate" (OLR), en term som avser takten substrat processeras i rötningsprocessen. Det kan ses som uppenbart att en högre OLR innebär större produktion av biogas, men en längre uppehållstid krävs för att helt omsätta och nedbryta substratet. En risk med att ha en hög OLR är att en högre omsättning av substrat leder till en högre ansamling av fettsyror och andra påverkansämnen som kan störa metanbildningen. Därmed är det viktigt att ha en avvägning mellan uppehållstid och substratomsättning (OLR) (Liu et al., 2017).

Uppehållstid

Uppehållstiden avser hur länge substratet stannar i reaktorn, detta påverkar hur lång tid nedbrytningen hinner fortgå. Eftersom metanogena bakterier växer långsamt krävs en tillräckligt lång uppehållstid för att substratet ska omvandlas till metan. En kort uppehållstid kan leda till att värdefulla metanogener försvinner ut ur reaktorn medan en lång uppehållstid leder till att metanbildningen avtar och reaktorn utnyttjas inte effektivt.

Kol-kväve förhållandet

En effektiv nedbrytning kräver en god substratsammansättning där fördelningen av kolhydrater, fett och protein bestäms så att mängden kol och kväve i substratet uppfyller det förhållande som krävs. Som visat i reaktionerna som reglerar mängden metan som bildas är kol ett viktigt grundämne för de aerobiska bakteriernas energiutvinning. Kväve är inte ett behov för metanbildningen men är en viktig del av bakteriernas näringsintag då detta är en byggsten i dess cellbildning. Kol konsumeras i runt 20 – 30 gånger högre takt än kvävet, därför är det viktigt för nedbrytningens effektivitet att förse ett substrat som uppfyller detta förhållande mellan kol och kväve (C/N-kvoten). Om substratet är för kvävefattigt kommer det överflödiga kolet inte kunna konsumeras och takten av metanbildningen kommer avta. Om substratet är för rikt på kväve kommer det överflödiga kvävet att bilda ammoniumjoner, vilka har en pH-reglerande effekt. När ammoniumkväve ackumuleras kommer att höja pH-värdet, vilket på sikt förgiftar rötkammaren och kan leda till att de närvarande bakterierna dör och metanbildningsprocessen avstannar helt ((Braz et al., 2018), (Nordberg, Nordberg, 2007)).

Utöver kol-kväve förhållandet kan en skev fördelning av makronutrienterna leda till problem som ansamling av fettsyror. Därmed finns många anledningar till att ha en god fördelning av makronutrient i substratet. En forskningsrapport av Xue, et al. från 2020 undersökte vilken sammansättning av substrat som skulle ge det största biogasutbytet och fann att ett substrat med fördelningen mellan fett, kolhydrater och proteiner (63.25:22.62:14.13) och en C/N-kvot av 25 gav 595 ml metan per gram av nedbrytbart material (VS) (Xue et al., 2020).

pH-värde

pH-värdet i reaktorn är nära kopplat till både OLR och substratsammansättning, eftersom ackumulering av syror snabbt kan sänka pH och därmed hämma de känsliga metanogenerna.

Det optimala pH-intervallet för metanbildning är cirka 6,8–7,2, då utanför detta intervall har forskning visat att metanbildning helt upphör (Laiq Ur Rehman et al., 2019, p. 1257).

Spårämnens påverkan på nedbrytningen

Utöver makronutrienterna har grundämnen som finns i substratet i små koncentrationer en stor betydelse för hur väl rötningen sker. Exempel på dessa är kobolt, molybden, nickel där brist på dessa hämmar mikrobernas tillväxt och speciellt påverkar metanogenessteget i metanproduktionen (Chandolias, K., Wainaina, S., Niklasson, C., and Taherzadeh, M., 2018).

Mesofil och termofil nedbrytning

Nedbrytningen av substratet kan ske vid olika temperaturer där olika intervall av temperaturer ger upphov till olika effekter på nedbrytningen

Psykrofil nedbrytning sker vid temperaturer lägre än 20 °C, denna nedbrytning är inte särskilt effektiv utan ger ett lågt utbyte av metan under lång uppehållstid.

Mesofil nedbrytning sker vid temperaturintervallet mellan 20 – 45 °C. Vid metanproducerande anläggningar idag är denna process den vanligaste att använda då fördelar med mesofil nedbrytning är den är mer förutsägbar, stabil, och resilient mot stressfaktorer som t.ex höga nivåer av ammoniak, (Labatut et al., 2014)

Termofil nedbrytning sker från 49 °C upp till 70 °C.

Termofil nedbrytning ger en större utbyte av metan på kortare tid till priset av ett större behov av energi till uppvärmning. Uppvärmningen har utöver det högre metanutbytet en fördel i att substratet blir hygieniserat, det innebär att icke-termofila mikrober som kan vara skadliga dödas vilket gör att rötresterna från processen går att direkt använda som gödningsmedel. För att göra detta med andra röttningsprocesser krävs en separat behandling för att göra rötresterna lämpliga för att göda jordbruksmarker med ((Buhr and Andrews, 1977), Lars Forslund, 2025)).

Referenser

- Acetogenesis - an overview | ScienceDirect Topics [WWW Document], n.d. URL <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/acetogenesis> (accessed 5.9.25).
- Braz, G.H.R., Fernandez-Gonzalez, N., Lema, J.M., Carballa, M., 2018. The time response of anaerobic digestion microbiome during an organic loading rate shock. *Appl Microbiol Biotechnol* 102, 10285–10297. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9383-9>
- Buhr, H.O., Andrews, J.F., 1977. The thermophilic anaerobic digestion process. *Water Research* 11, 129–143. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(77\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0043-1354(77)90118-X)
- Effects of heavy metals and pH on the conversion of biomass to hydrogen via syngas fermentation :: BioResources [WWW Document], n.d. URL <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/> (accessed 5.16.25).
- Kothari, R., Pandey, A.K., Kumar, S., Tyagi, V.V., Tyagi, S.K., 2014. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39, 174–195. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.011>

- Labatut, R.A., Angenent, L.T., Scott, N.R., 2014. Conventional mesophilic vs. thermophilic anaerobic digestion: A trade-off between performance and stability? *Water Research* 53, 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.035>
- Laiq Ur Rehman, M., Iqbal, A., Chang, C.-C., Li, W., Ju, M., 2019. Anaerobic digestion. *Water Environment Research* 91, 1253–1271. <https://doi.org/10.1002/wer.1219>
- Liu, C., Wang, W., Anwar, N., Ma, Z., Liu, G., Zhang, R., 2017. Effect of Organic Loading Rate on Anaerobic Digestion of Food Waste under Mesophilic and Thermophilic Conditions. *Energy Fuels* 31, 2976–2984. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b00018>
- Madigan, M., Martinko, J., n.d. *Brock Biology of Microorganisms*.
- Menzel, T., Neubauer, P., Junne, S., 2020. Role of Microbial Hydrolysis in Anaerobic Digestion. *Energies* 13, 5555. <https://doi.org/10.3390/en13215555>
- Rezapoor, P., Rahimpour, M.R., 2024. Animal Waste to Energy, Technologies, Economics, and Challenges, in: Rahimpour, M.R. (Ed.), *Encyclopedia of Renewable Energy, Sustainability and the Environment* (First Edition). Elsevier, Oxford, pp. 61–70. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-93940-9.00148-1>
- Nordberg, U., Nordberg, Å. 2007 *Torrötning - kunskapssammansättning och bedömning av utvecklingsbehov*, JTI - Institutet för miljö- och jordbruksteknik
- Xue, S., Wang, Y., Lyu, X., Zhao, N., Song, J., Wang, X., Yang, G., 2020. Interactive effects of carbohydrate, lipid, protein composition and carbon/nitrogen ratio on biogas production of different food wastes. *Bioresource Technology* 312, 123566. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123566>