

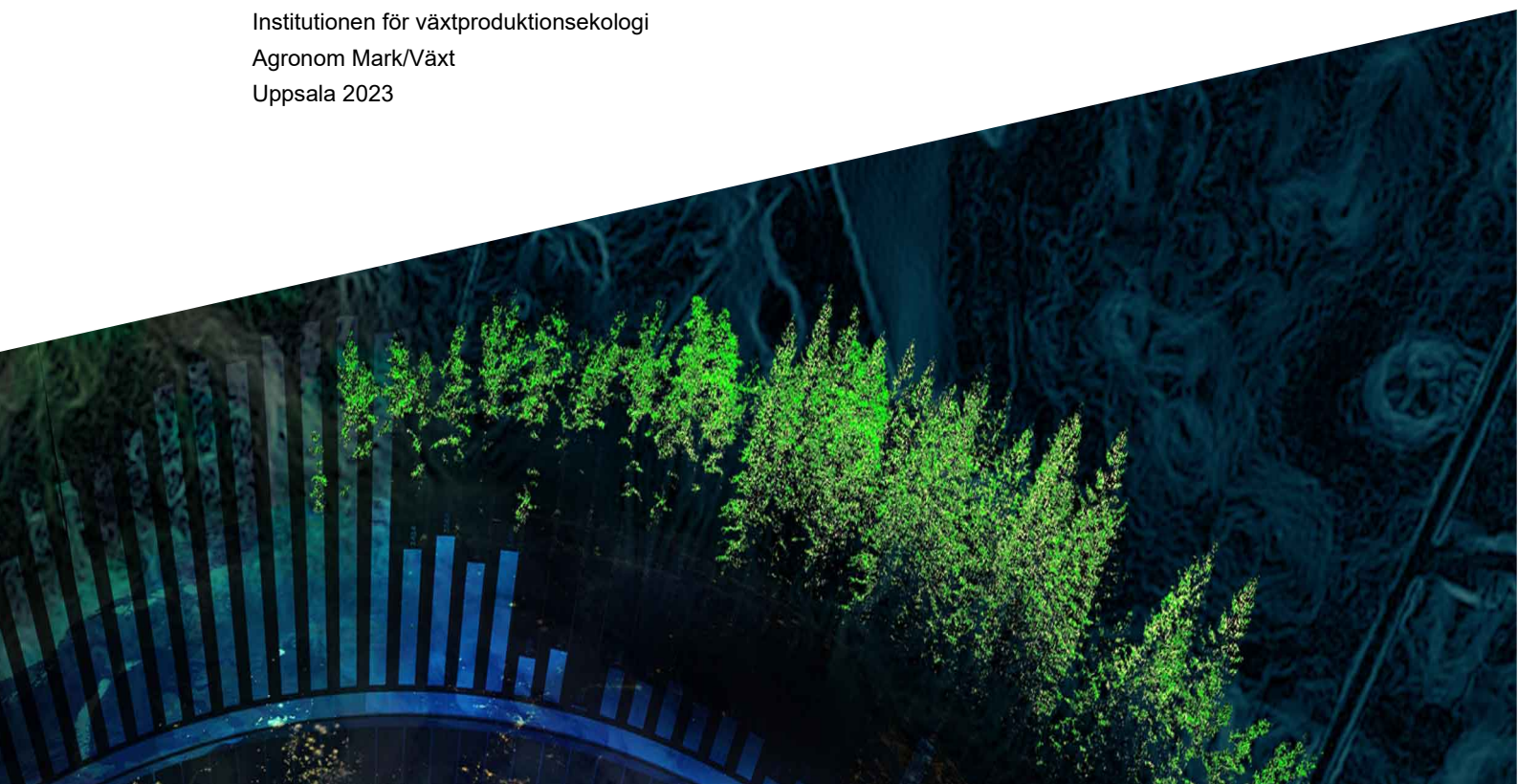


Ogräsfrönas överlevnad i biogasanläggningar

En litteraturgenomgång samt ansats till metaanalys

Elin Strömberg

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för växtproduktionsekologi
Agronom Mark/Växt
Uppsala 2023



Ogräsfrönas överlevnad i biogasanläggningar – En litteraturgenomgång och ansats till metaanalys

Survival of weed seeds in biogas reactors – a literature review and a metadata analysis approach

Elin Strömberg

Handledare: Theo Verwijst, SLU, Växtproduktionsekologi
Bitr. handledare: Anneli Lundkvist, SLU, Växtproduktionsekologi
Bitr. handledare: Anna Schnürer, SLU, Molekylära vetenskaper
Examinator: Robert Glinwood, SLU, Växtproduktionsekologi

Omfattning: 15hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Biologi
Kurskod: EX0894
Program/utbildning: Agronom – Mark/Växt
Kursansvarig inst.: Institutionen för vatten och miljö

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2023

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Sammanfattning

Sveriges energibehov 2020 var 508 TWh och av det är kärnkraft, biobränsle, olja och vattenkraft de viktigaste energislagen. På grund av att biogasproduktion har ett netto noll utsläpp har regeringen valt att investera 40% av klimatklivets budget till dessa projekt. Detta bidrar till att påskynda energiomställningen samt att minska behovet av import av fossila bränslen från Ryssland. Biogas produceras av organiskt material, ofta matavfall eller avloppsslam. En idé är att mata biogasreaktorn med vilt växande växter längs vägkanterna. På så sätt får vi ett näringsfattigt dike med ökad biologisk mångfald, energi i form av metangas samt rötresten som sedan kan användas som gödsel på vår åkermark. Men med rötresten kan det också spridas okända frön vilket kan leda till en ogräsproblematik på åkermark. Genom en litteraturgenomgång samt en ansats till metanalys av resultat från ett tjugotal studier, som har undersökt frön och deras överlevnad i en biogasreaktor, i mesofila och termofila temperaturer samt olika retentionstider gick det att se samband mellan ökad dödlighet med högre temperatur och längre retentionstid. Inga fröer överlevde temperaturer över 45°C och de flesta arter av ogräs dog inom 720 timmar. Det var dock stora skillnader i överlevnad mellan och inom arter och egenskaper såsom hårt skal, mognadsgrad och gröningsvila påverkade överlevnaden. Även vilken typ av biogasreaktor som användes kunde vara en faktor som påverkade överlevnaden. Metaanalysen tyder på att ogräsfrön i en continuous stirred tank reactor (CSTR) har en högre dödlighet än i en batch reaktor initialt medan CSTR har lägre avdödningshastighet i senare stadier, men mer forskning måste göras.

Nyckelord: anaerobisk nerbrytning, biogas, biogasreaktor, biogödsel, dödlighet, frö, ogräs, retentionstid, rötning, rötrest, rötslam, substrat, temperatur, överlevnad

Abstract

With global warming, eutrophication, expensive fertilizers and an ongoing energy crisis, biogas can act as a source of energy as well as a source of nutrients, at the same time as it has net zero emissions. In 2020 the energy use in Sweden was 508 TWh and the biggest sources of energy come from nuclear power, biofuel, oil and hydropower. The Swedish government has invested in biogas expansion and with this follows new interests and ideas. One of those ideas is to use wild vegetation cut from ditches along roads as biogas feedstock. This would contribute to energy in the biogas reactor as well as a nutrient-poor ditch which can lead to richer biodiversity. But as a consequence, the residue will contain a mix of seeds from the wild vegetation and they will later be spread on the fields as a fertilizer. If the seeds survive the biogas process they could impose a threat as weeds. Through a literature review and a metadata analysis approach results from a number of studies were put together to look at any trends. This study showed that the survival of seeds correlates to time and temperature but the differences in species were rather large. It also showed that a continuous stirred tank reactor had a higher seed mortality initially while the batch reactor had a faster killing rate. Further studies that consider hard seed, dormancy, the maturation of the seed and the type of biogas reactor must be done.

Keywords: anaerobic digestion, biogas, biogas reactor, biogas residue, digestate, exposure time, hard seeded, retention time, seed dormancy, seed survival, seed viability, seeds, temperature, weeds, wildflower feedstock

Innehållsförteckning

Ordlista	7
1. Inledning	9
1.1. Bakgrund.....	9
1.1.1. Energiläget.....	10
1.2. Biogasprocessen	10
1.2.1. Gödselmedel.....	12
1.3. Ogräs	12
1.4. Syfte	13
1.5. Frågeställningar	13
1.6. Avgränsningar	14
2. Metod	15
3. Resultat	16
3.1. Ansats till metaanalys	16
3.2. Dödlighet av frön efter rötning.....	18
3.2.1. Artskillnader	18
3.2.2. Fröets morfologi.....	19
3.2.3. Typ av metod	20
4. Diskussion	24
Referenser	28
Tack	31
Bilaga	33

Ordlista

Anaerob	Syrefria förhållanden
Batch	Reaktor som matas en gång och sedan töms efter en viss retentionstid
Biodiversitet	Synonym med biologisk mångfald dvs. artdiversitet inom växter och djur
Biogödsel	Resterna av det substrat som rötas och som används som gödsel, dock ej avloppsslam
CSTR	Continuous flow stirred tank reactor. Reaktortyp som matas och töms med ett jämt flöde
DRT	Decimal reduction time, tiden det tar att minska överlevnaden med 90%
Gårdsanläggning	Biogasproduktion på gårdsnivå med minst 50% gödsel. Färre än tre gårdar bidrar till substrat
HRT	Hydraulic retention time (retentionstid)
Klimatklivet	Klimatklivet är ett investeringsstöd från staten som gör det möjligt att satsa på fossilfri framtidsteknik och grön omställning
Mesofil	Temperatur mellan 30-44 °C
Retentionstid	Tiden ett substrat är i biogasreaktorn
Revaq	Certifieringssystem för avloppsreningsverk som drivs av Svenskt Vatten
Rötning	Process där organiskt material bryts ner

Rötrester	Resterna från rötningsprocessen såsom vatten, icke nedbrutet material, näringsämnen och mikroorganismer
Rötslam	Rötrester som bildas efter rötning av avloppsslam från avloppsreningsverk
Samrötningsanläggning	Biogasanläggning som kan röta olika typer av organiskt material men inte avloppsslam
SPCR120	Certifierad återvinning med regler för bla. godkända substrat och hygienisering samt gränsvärden för innehåll av oönskade ämnen
Substrat	Det organiska materialet som agerar näring i biogasreaktorn
Svenskt Vatten	Branschorganisation för landets livsmedelsproducenter och miljövårdsföretag - VA-organisationerna
Termofil	Temperatur mellan 45-60 °C
Metanogena arkéer	Mikroorganismer som tillhör gruppen arkéer som omvandlar vätgas och koldioxid eller acetat till metangas

1. Inledning

1.1. Bakgrund

På hemsidan ”Sverigesmiljömål.se” kan vi läsa om Sveriges 16 miljö kvalitetsmål. Dessa beskriver det tillstånd i den svenska miljön som miljöarbetet ska leda till. Ett av målen heter “Begränsad klimatpåverkan”. Energisystem som har ett nettonollutsläpp och som samtidigt spänner över flera energisektorer såsom el, värme/kyla och transport är enligt Naturvårdsverket (2022) mycket viktiga för att stoppa den globala uppvärmningen. Alla dessa egenskaper återfinns hos system för biogasproduktion. Detta system har också egenskaper som bidrar till att nå flera andra miljömål såsom:

2. Frisk luft
3. Bara naturlig försurning
4. Giftfri miljö
7. Ingen övergödning
8. Levande sjöar och vattendrag
13. Ett rikt odlingslandskap
15. God bebyggd miljö

Att röta avfall och slam i en biogasanläggning minskar utsläppen av metangas, kväveoxider och svaveloxider. Det beror på att kolatomerna i biogasen ingår i ett naturligt kretslopp, där den mängd CO₂ som frigörs vid förbränning tidigare har tagits upp från atmosfären av de organiska materialen som används för att producera biogasen (Energigas 2018). Rötresterna, kan användas som biogödsel vilket sluter kretsloppet och biogasen kan ersätta förbrukning av fossila bränslen (Energigas 2018). Intresset för alternativ till handelsgödsel har de senaste åren ökat till följd av ökade kostnader av mineralgödsel (Biogödsel u.å.; Rekordhöga priser på konstgödsel u.å.). För att öka biogasproduktionen behövs mer råvara i form av organiskt material. En intressant råvara är det växtmaterial som varje år slås av efter vägkanterna för att förbättra sikten för vägtrafikanterna. Denna biomassa är näringsrik och skulle kunna användas som substrat i biogasanläggningarna. Genom att föra bort biomassan från dikeskanterna bidrar man till att dikena blir

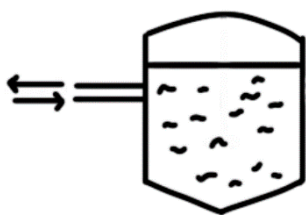
näringsfattiga med en högre biodiversitet som följd. Men enligt Westerman et al. (2012b) kan det finnas arter med rötningståliga frön såsom lindmalva (*Abutilon theophrasti*). Om frön från svårbekämpade ogräs överlever en röttningsprocess och sedan sprids ut på åkern via rötresten skulle detta potentiellt kunna innebära en ny spridningsväg för besvärliga ogräs till våra svenska åkrar.

1.1.1. Energiläget

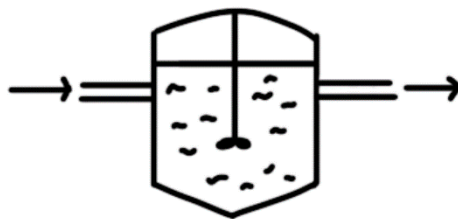
Den senaste tiden har vi i Sverige upplevt en energikris där priserna aldrig har varit så höga som nu (år 2022). Detta beror till största del på vårt indirekta men också direkta behov av rysk gas som har strypts i samband med Rysslands invasion av Ukraina (Europeiska unionens råd & Europeiska rådet 2023). Sveriges energibehov 2020 var 508 TWh (Energimyndigheten 2022) och av dem är kärnkraft, biobränsle, olja och vattenkraft de viktigaste energislagen (Armelius 2023). Med ett ökat intresse för förnybar energi och cirkulära processer så har biogasanvändningen ökat med 145% sedan 2015 medan den svenska produktionen endast har ökat med 17% under samma period. Av de 4,8 TWh biogas vi förbrukar så är ca hälften (2,5TWh) importerad gas. År 2021 fanns det totalt 281 biogasanläggningar i Sverige varav 132 avloppsreningsverk, 37 samröttningsanläggningar, 54 gårdsanläggningar, 8 industrianläggningar och 50 deponier. Flest röttkammare hittar vi i Västra Götaland med 46 anläggningar, tätt följt av Skåne med 45 anläggningar. Skåne har störst biogasproduktion följt av Stockholm med sina 17 anläggningar. Resterande biogasanläggningar är relativt jämnt fördelade i Sverige (Energigas Sverige 2021). För att nå Sveriges miljö och klimatmål så ska Sveriges biogasproduktion öka från dagens 2.3 TWh/år (2021) till 15 TWh/år till år 2030 (Energigas Sverige 2021). Regeringen har valt att investera 40% av klimatklivets budget till biogasproduktion på grund av dess klimatpositiva egenskaper (Naturvårdsverket 2023a).

1.2. Biogasprocessen

I en anaerob röttningsprocess matas en cylindertank med substrat som består av organiskt material. Beroende på system så kan den matas satsvis (batch) (Figur 1) eller kontinuerligt (continuous stirred tank reactor, CSTR) (Figur 2). Som namnen avslöjar går den förstnämnda ut på att röttningskammaren matas en gång under hela retentionstiden dvs. tiden som substratet stannar i röttningsprocessen, också kallat hydraulic retention time (HRT). Normalt sett rötas en batch i 15-30 (Energigas Sverige 2021). CSTR processen går ut på att röttningskammaren kontinuerligt matas med substrat i ena änden och samma mängd rötrest matas ut ur andra änden.



Figur 1 Illustration på en batch reaktor med satsvist in- och utflöde ur samma rör.



Figur 2 Illustration på continuous stirred tank reactor med inflöde till vänster och utflöde till höger.

HRT för CSTR är 15-40 dagar (Schnürer & Jarvis 2017) Väl inne i rötchammaren kan mesofila eller termofila förhållande upprätthållas. Mesofil rötning sker vid 30-44 °C medan termofil rötning sker mellan 45-60 °C (Kumar 2012). I Sverige är den vanligaste metoden en mesofil rötning på 37 °C (Energigas Sverige 2021). Mätning av andelen torrsbstans eller total solids, förkortas TS och mäts i %. En låg halt torrsbstans innebär att substratet är blött. Våtrötning har en TS halt på 5–15 % och är den vanligaste metoden i Sverige. Denna process kräver konstant omrörning och pumpning av substratet (Energigas Sverige 2017; Energimyndigheten 2017). Substratet kan vara produkter såsom matavfall, gödsel, slaktrester, växtrester, avloppsvatten mm. I substratet kan sjukdomsframkallande mikroorganismer såsom bakterier, parasiter och virus ansamlas. Oftast hettas substratet upp till 70 °C under en timme innan det når rötchammaren för att avdöda dessa organismer (Energimyndigheten 2017). Detta är inte nödvändigt i det fall då substratet endast består utav vegetabilier (Avfall Sverige 2018). Rötningprocessen kan delas upp i tre steg: Hydrolys, fermentation och metanbildning. I det första steget sönderdelas större organiska föreningar till mindre såsom socker och aminosyror. I det andra steget fermenteras produkterna från hydrolysen vilket bildar olika syror såsom ättiksyra, smörsyra och mjölksyra samt alkoholer, ammoniak, koldioxid och vätgas. Detta är en försurande process. pH ökar sedan upp till ca pH 8 när syrorna konsumeras och det bildas koldioxid, acetat och vätgas (Energigas Sverige 2017; Schnürer & Jarvis 2017). Det sista steget är metangasbildande och sker genom att metanogena arkéer använder acetat eller vätgas som energikälla och koldioxid som kolkälla vilket bildar metangas som slutprodukt ((Nationalencyklopedin, metanbildande arkéer 2023). Eftersom en batch reaktor inte matas kontinuerligt så är skillnaden i pH och andra parametrar mer dramatiska än i en CSTR som är mer stabil (Westerman & Gerowitt 2013).

1.2.1. Gödselmedel

Resterna vi får ut av rötningsprocessen kan användas som biogödsel. Gödseln har inte högre mängd kväve än det substrat som biogasanläggningen matades med, men den organiska halten har minskat när mikroorganismer omvandlar kolkällorna till gaser så som metangas och koldioxid vilket gör att C/N-kvoten minskar och att kvävet är i en mer växttillgänglig form. Det innebär att mineraliseringen kommer i gång snabbare i marken med biogödseln än med stallgödseln och kvävet blir snabbare tillgänglig för växterna i form av nitrat. Men det lättillgängliga kvävet och det höga pH som gödseln har kan också öka risken för ammoniakavgång (Salomon & Wivstad 2013).

Beroende på ursprung så kallas rötresten för rötslam (substrat från reningsverk) eller biogödsel (substrat från gård- och samrötningsanläggningar). Biogödsel har en låg TS-halt (3–7%) och innehåller därmed en stor mängd vatten. Rötslam däremot avvattnas så att den får en TS-halt på 18–30% (Energigas Sverige 2021).

Rötresterna kan certifieras enligt SPCR 120 (biogödsel) eller Revaq (rötslam) (Energigas Sverige 2021). Detta gör man för att kontrollera så att halterna av spårelement och oönskade ämnen inte ökar mer än 0,2 %/år. Varken gröda eller markorganismer ska påverkas negativt och kadmiummängden per kilo fosfor får inte överstiga den i mineralgödsel (Svenskvatten 2023).

1.3. Ogräs

Definitionen av ett ogräs enligt SAOB (Svenska Akademien 1949) är *”generell benämning på (individer av) icke odlade växtslag (i sht örtslag) som till större l. mindre skada för odlingens resultat innästlat sig (l. bruka innästla sig) på jord avsedd för odlade växter l. som uppträda på mark (vägar, gator o. d.) där de icke äro önskvärda.”* Det innebär att de frön som överlever och sedan gror på åkermark efter en rötningsprocess kan klassas som ogräs. För att ett frö ska gro så måste de genomgått en groningsvila. Groningsvila är ett tillstånd som frön befinner sig i då de inväntar ett tillfälle när omgivningen är optimal för överlevnad. Groningsvilan är genetisk och groning triggas sedan av flera olika faktorer såsom ljus, vatten, värme och fröets ålder (Fogelfors 2015). Groning kan först påbörjas när fröet kommer i kontakt med vatten. Vattnet suggs upp av fröet på grund av dess låga vattenpotential vilket medför att fröet sväller och att skalet sedan spricker av det höga tryck som bildas. När embryot får tillgång på vatten börjar embryoaxeln (skott och rot) att elongeras och den reservnäring av stärkelse, protein och fett som fanns i fröet konsumeras (Fogelfors 2015). Groning syns först med blotta ögat när roten tränger igenom skalet på fröet (Bewley 1997). Tröskeln av stimulus som ett frö behöver för att gro är olika hos olika arter (Bewley 1997). Enligt Hahn et al. (2022)

kan arter som har frön med hårt skal utgöra ett större hot genom att överleva biogasprocessen än andra mer svaga arter som i kontakt med vätskan tar in vatten och sedan dör. Arter inom familjen *Fabacea* och *Malvacea* är exempel på växter som ofta har ett hårt fröskal och som har visat sig vara särskilt hårdiga i en simulerad rötning (Westerman et al. 2012a; b). Ett exempel på detta är blomsterlupin, *Lupinus polyphyllus*, som klassas som en invasiv art (Naturvårdsverket 2023b). *L. polyphyllus* är dock inte särskilt vanlig på våra odlade marker, men *A. theophrasti*, tillhörande familjen *Malvaceae* har blivit observerad senast i sockerbetsfält i Skåne 2022 och i USA och Tyskland är den ett stort bekymmer (Jordbruksverket 2022c). Enligt Mitich (1991) sägs de vara särskilt hårdiga med ett hårt skal som gör att de överlever matsmältningen i ett djur. Samtidigt är de självbefruktande och kan sprida 17 000 frön per planta. Fröna överlever sedan i marken i upp till 50 år. Den har introducerats till många länder för att odlas som fiberväxt, men dess ståtliga höjd, allopatiska egenskap och stora konkurrensförmåga har gjort den invasiv. Den syns särskilt ofta i grödor med breda radavstånd såsom sockerbeter eller majs. På utsidan av skalet har den svamp- och bakteriedödande ämnen (Mitich 1991). Andra mer vanliga arter av ogräs som vi finner på våra åkermarker är kvickrot (*Elymus repens*), baldersbrå (*Tripleurospermum inodorum*), krusskräppa (*Rumex crispus*), svinmålla (*Chenopodium album*) (Andersson 2020) och andra nyetablerade och oroväckande arter såsom hönshirs (*Echinochloa crus-galli*) (Lilliehöök 2020; Jordbruksverket 2022a), ekorrsvingel (*Vulpia bromoides*) och renkavle (*Alopecurus myosuroides*) (Jordbruksverket 2022b). Precis som *A. theophrasti*, härstammar *E. crus-galli* från Asien och föredrar tempererade klimat med en medeltemperatur över 16 °C och under sommarhalvåret växer de fort (Warwick & Black 1988; Mitich 1991; Lilliehöök 2020). *E. crus-galli* kan gro vid mycket låga mängder rött ljus, men vid temperaturer över 46 °C behövs inte detta. Frön som blivit utsatta för höga temperaturer kan sedan gro djupare än vad ljuset når (Lilliehöök 2020).

1.4. Syfte

Syftet med denna studie är att genom en litteratursammanfattning samt metadataanalys undersöka vilka faktorer som har betydelse för ogräsfröns överlevnad vid rötning för att kunna sprida biogödsel från röttningsprocessen utan att samtidigt sprida skadliga ogräsfrön på åkermark.

1.5. Frågeställningar

- Hur väl överlever frön en mesofil eller termofil röttningsprocess med olika retentionstider?

- Spelar ogräsart och fröskalets tjocklek/hårdhet någon roll för överlevnaden?

1.6. Avgränsningar

Hur pH, substratets sammansättning och vilka nedbrytande komponenter som påverkar fröna i biogasreaktorn kommer inte att inkluderas i denna studie på grund av att få studier har studerat detta. I stället har fokus lagts på studier som har inkluderat tid, temperatur och dödlighet för att bygga upp en metadatabas.

I metadataanalysen undersöktes trender, men det gjordes inga signifikansanalyser på grund av arbetets omfattning.

2. Metod

I denna litteraturstudie har databaserna Google Scholar, Google search, Web of Science och SLU:s söktjänst Primo används. Sökord som används och kombinerats på Google search är substrat, biogasanläggning, upphettning, grüngödsel, konstgödsel prisutveckling, biogas retentionstid, temperatur, groningsvila, ethylene seed germination, energigrödor, energikrisen, biogas, Sveriges riksdag, agenda 2030, medan sökord som kombinerats och använts på Google Scholar, Primo och Web of Science är weed, seed, biogas, biofertilizer, "seed germination", biogas, dormancy, germination, groningsvila, CSTR, batch, PFR, viability och survival. Jag använde mig av kedjesökning genom att gå igenom referenslistorna i funna artiklar vilket gav en del relevanta artiklar. Ibland har avgränsningar på språk (svenska och engelska) och år (fr.1990) gjorts. Totalt har ca. 60 källor av olika slag lästs och ca 40 har använts. I vissa fall har den sekundära källan använts istället för den primära då originalkällan inte har gått att hitta. Källorna har sammanfattats i ett exceldokument och sedan analyserats genom statistikprogrammet StatSoft som även användes för att konstruera figurer.

I de källor som presenterade överlevnad av ogräsfrön i biogasreaktor så har värdena använts för att göra en ansats till metanalys. I ett par referenser fanns det några värden som stack ut. Särskilt många outliers hittades i källorna Hahn et al. (2022) och Dahlquist et al. (2007) där dödligheten i decimal reduction time (DRT) var över 365 dagar för en del arter vid 42°C. Totalt sett har 5 av 342 mätvärden exkluderats när en gräns på 1200 timmar sattes för att kunna skapa läsbara grafer.

3. Resultat

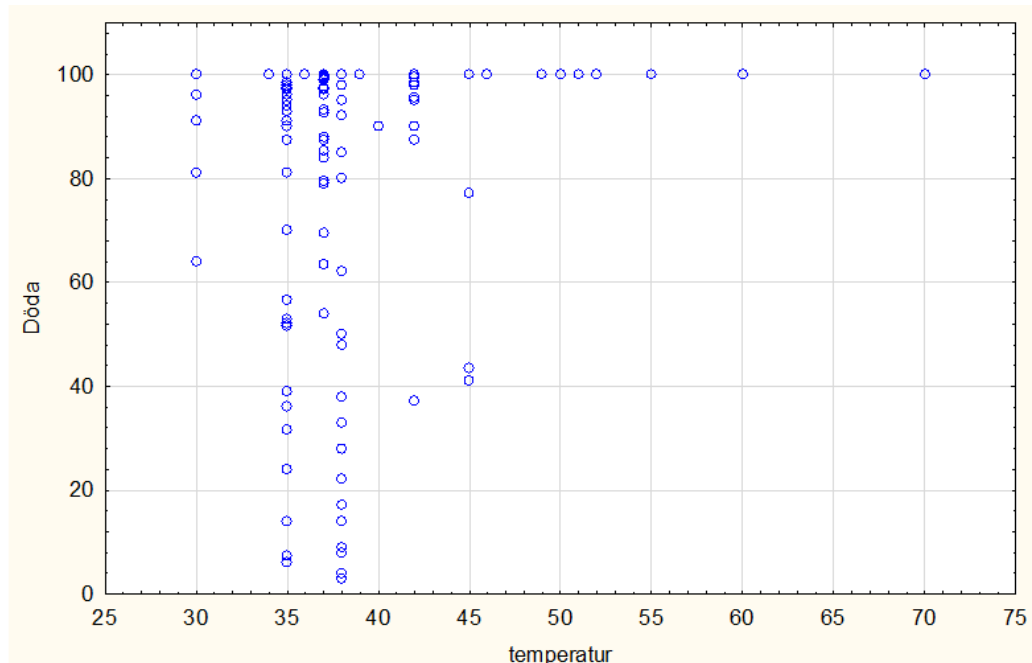
3.1. Ansats till metaanalys

I denna del av litteratursammanfattningen har data från totalt 19 källor använts för att sammanställa resultatet av 342 mätningar av frön från 66 arter utsatta för anaeroba förhållande i mesofila och termofila temperaturer mellan 30-70°C (tabell 1). Fyra olika typer av metoder kunde urskiljas varav tre utspelar sig i en biogasreaktor medan en beskriver överlevnaden i ett tempererat vattenbad, utan de hydrolytiska förhållandena som finns i en rötningsprocess. ”Okänd” innebär att val av metod inte är identifierad i källan. De två vanligaste metoderna var batch och CSTR. Färre källor med waterbath och plug flow reactor (PFR) återfanns. I litteraturen fanns det mellan 0-100% överlevande arter och tider mellan 0,17 timmar (10 minuter) till över 8760 timmar (365 dagar). Se källorna i bilagan.

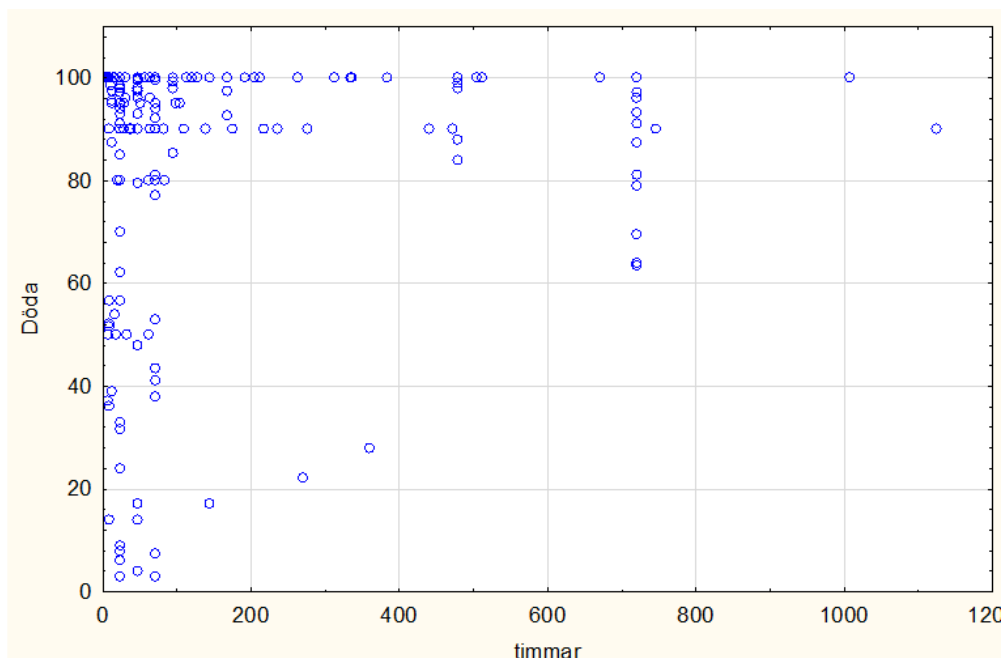
Tabell 1 Sammanfattning av det datamaterial som använts i ansatsen till metanalyser om överlevnad av ogräsfröer från 66 olika arter i olika typer av biogasreaktorer: Continious stirred tank reactor (CSTR) satsvis (batch), (waterbath), plug flow reactor (PFR) och i vattenbad. En källa med okänd metod (okänd).

Typ av metod	CSTR	Batch	PFR	Waterbath	Okänd	Totalt
Antal litteraturkällor	8	9	3	2	1	19
Antal arter	30	46	7	7	4	66
Min temp	34	30	37	35	37	30
Max temp	44	51	52	70	52	70
Lägst överlevnad (%)	0	0	0	0	0	0
Högst överlevnad (%)	63	97	16	100	0	100
Min timmar	2	0,96	24	0,17	4	0,17
Max timmar	>8760	720	480	>8760	336	>8760
Antal mätningar	125	134	8	65	10	342

Figur 3 sammanfattar alla ogräs och deras dödlighet beroende på temperatur oberoende av tid och reaktortyp. Det finns inga överlevande frön över 45 °C. Figur 4 visar i stället på dödligheten över tid, oberoende av temperatur eller reaktortyp. 42% av ogräsfröna dör (DC90) inom 100 timmar och 75% dör (DC90) inom 720 timmar.

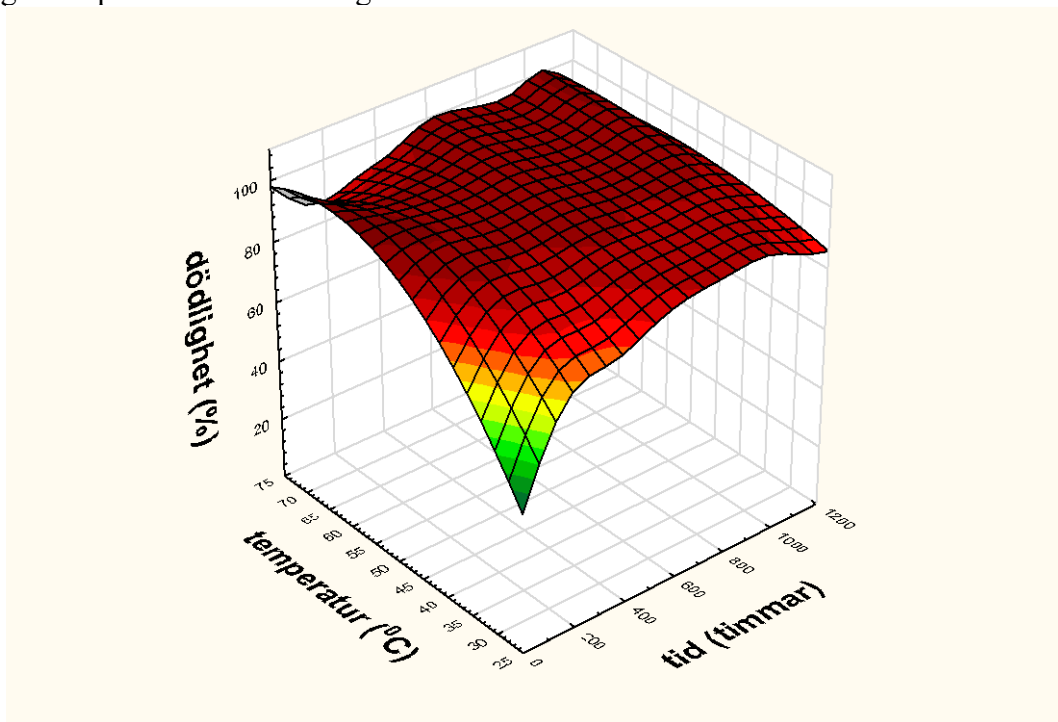


Figur 3 Plot som sammanfattar dödligheten (%) för alla ogräsfrön som funktion av temperatur (°C).



Figur 4 Plot som sammanfattar dödligheten (%) för alla ogräsfrön som funktion av tid (h)

Figur 5 sammanfattar dödligheten hos ogräsfrön som funktion av temperatur och tid. Figuren är framtagen från ovan nämnda mätvärden. Dödligheten ökade med högre temperatur och/eller längre retentionstid.



Figur 5. 3D plot som visar dödligheten hos frön i relation till temperatur (25-70°C) och retentionstid (0-1400 timmar) från flera olika växtarter.

3.2. Dödlighet av frön efter rötning

3.2.1. Artskillnader

I Westerman et al. (2012a) nämns förutom skillnader i överlevnad mellan biogastyp (batch och CSTR) också stor skillnad i överlevnad mellan arter. I en studie de utfört kan samma art vara den minst tåliga och i en annan var den mest tåliga. Fortsättningsvis nämner de två exempel på detta. Enligt Westerman et al. (2012a) kan skillnaden bero på frökvalitet, groningsvila, skillnader inom arter mellan platser och fysisk ålder på fröna. Det är därför enligt Westerman et al. (2012a) otroligt viktigt att tolka resultaten från sådana här försök med stor försiktighet.

Johansen et al. (2013) beskriver också hur olika arter överlever samma temperatur olika länge. *C. album* hade en grobarhet på 7% efter 7 dagar i en rötningsskammare på 37°C. Men groddarna såg allmänt ohälsosamma ut och var fulla med svamp och bakterier och nekros. Alla andra ogräsarter som studerades dog efter bara 2 till 4 dagar. I Zhou et al. (2020) kunde de till och med se en ökad grobarhet efter några timmar hos Blodhirs (*Digitaria sanguinalis*) och *C. album* vid

52 resp. 37 °C rötning innan grobarheten minskade igen. Det trodde de berodde på att fröet gick ur groningsvila. Även Hahn et al. (2022) såg detta mönster.

I Zhou et al. (2020) jämfördes dessutom samma art, fast från Kina och Tyskland. Det var inom arten stora skillnader i överlevnad. Oftast klarade arterna från Kina högre temperaturer än de från Tyskland.

Dahlquist et al. (2007) beskriver hur proteiner i fröet kan hjälpa till att skydda den mot höga temperaturer och att sommarannuella växter som utsätts för värme klarar sig bättre än vinterannueller. Detta kan eventuellt tyda på att växter som vanligtvis utsätts för höga temperaturer under groningen oftast är mer toleranta.

3.2.2. Fröets morfologi

I Gardarin et al. (2010) visade de på att dödligheten av frön minskade hyperboliskt med ökad tjocklek på fröskalen efter två år nedgrävda i jord. Vissa frön överlever endast ett år under jord, medan andra kan överleva flera decennier (Bewley et al. 2013). Man kunde även se en korrelation mellan överlevnad av frön i jord med överlevnad i rötning (Westerman & Gerowitt 2013). Huruvida detta berodde på skalets tjocklek är inte klarlagt.

Även hårdheten, alltså lättheten för vatten eller andra ämnen att tränga sig igenom skalet kan vara en faktor för överlevnaden i en biogasreaktor. Detta tar Westerman et al. (2012a; b) upp i två studier där de påvisar hur sambandet mellan hårt skal och överlevnaden i en biogas reaktor korrelerar. I Westerman & Gerowitt (2013) beskriver de hur fröer med hårt fröskal samt de som har utvecklats för att överleva passage genom ett djurs mag- och tarmsystem är extra hårdiga och att dessa två grupper morfologiskt kan överlappa. Vidare påvisar de att när ett fröskal väl hade börjat ta in vatten försvann dess värmetåligen förmåga. Även Hahn *et al.* (Hahn et al. 2022) kunde påvisa att överlevnaden var större för frön med hårt skal.

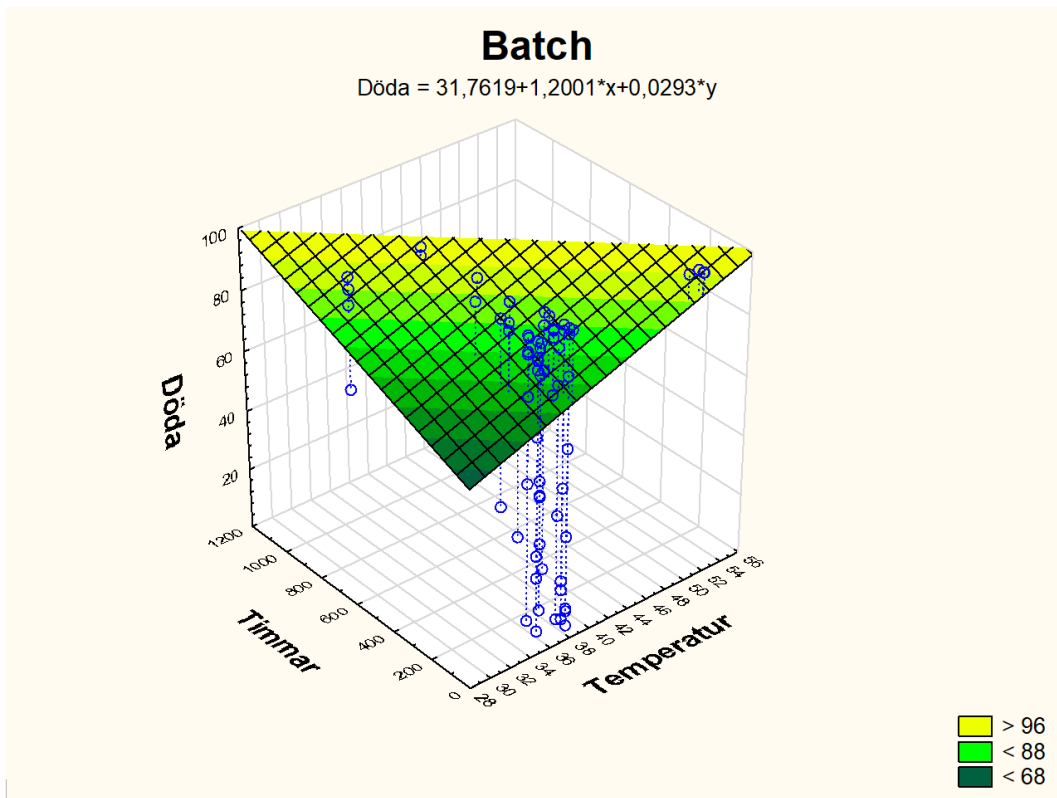
Men hårt skal behöver inte nödvändigtvis betyda att fröna överlever i en biogasreaktor. I Westerman et al. (2012b) påträffades frön från spikklubba (*Datura stramonium*) intakta efter röttningsprocessen, det vill säga att inget vatten hade trängt in i fröna men trots detta var fröna ändå döda. Det kan enligt Westerman *et al.* (2012b) betyda att andra mekanismer än den vattengenomträngande förmågan kan spela roll för överlevnaden. Fortsatt beskriver de hur färskheten på fröna kan vara avgörande. Ett färskt frö har inte ännu mognat och utvecklat den hårdhet som krävs för att stoppa vatten från att tränga igenom skalet. Även andra processer som ett frö kan ha genomgått innan röttningsprocessen kan vara av betydelse, såsom ensilering eller passage genom ett djur.

3.2.3. Typ av metod

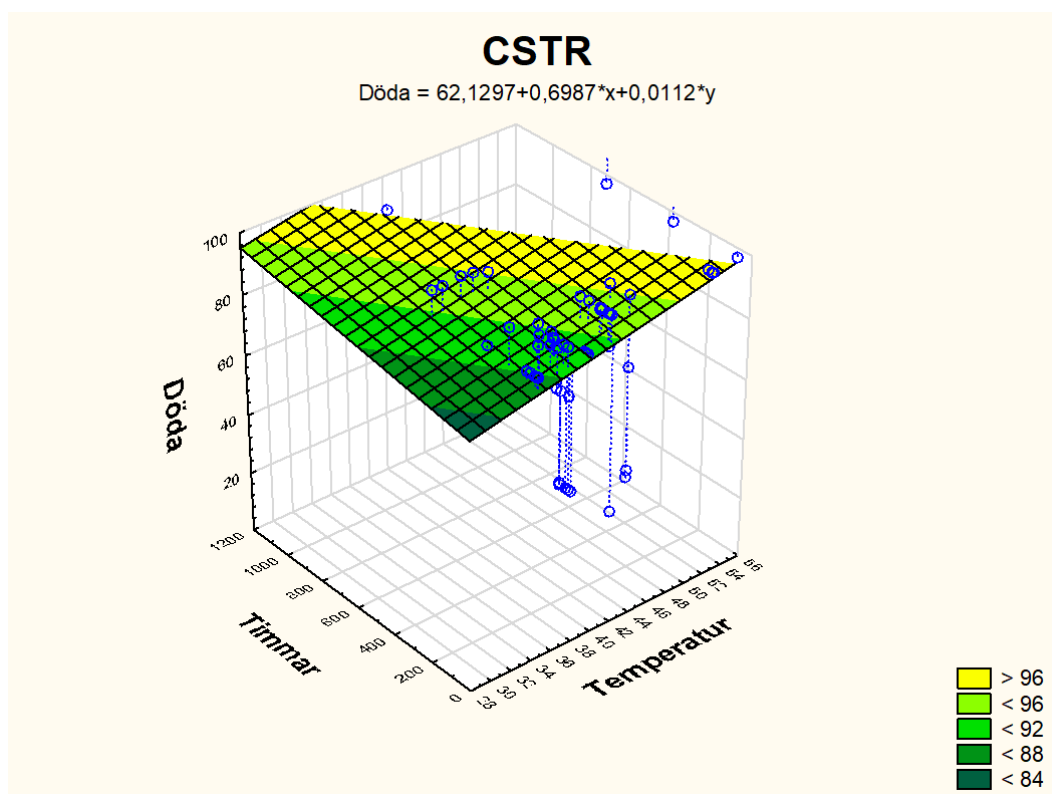
Batch vs CSTR

I studien av Westerman et al. (2012a) observerades skillnader i hur väl arter överlevde de två rötningstyperna batch och CSTR. Till exempel så överlevde *A. theophrasti* endast 48 och 36 timmar med en 90 % dödlighet i en CSTR, medan samma art har 64% dödlighet efter 720 timmar i en batch reaktor. Detta gällde även för skär kattost (*Malva neglecta*) som hade en 90 % dödlighet i CSTR efter 128 timmar medan de likt *A. theophrasti* hade en 70 % dödlighet efter 720 timmar i en batch reaktor. Det kan delvis förklaras genom att det är en temperaturskillnad på 3 °C, men skillnaden i retentionstid är stor. Varför det är denna skillnad finns det inget direkt svar på. Som nämnt i kap 3.2.1 kan andra faktorer spela en viss roll.

I Figurerna Figur 6 och Figur 7 visas mätvärden tagna i en batch och en CSTR över tid. Mängden mätningar mellan de båda systemen skiljer med ett tiotal och totala antalet mätningar är över 100 st per figur. Vid 28 grader °C och vid tiden 0 skär grafen i z-axeln (döda) vid 65% i Figur 6 och vid 82% i Figur 7. Metaanalysen tyder på att continuous stirred tank reactor (CSTR) har en högre dödlighet än en batch reaktor initialt medan CSTR har lägre avdödningshastighet i senare stadier.



Figur 6 Linjär graf som visar dödlighet som funktion av temperatur och tid för alla ogräsarter testade i en Batch reaktor. Temperatur 28-58 °C och tid, 0-1200 timmar. Linjefunktionen beskriver linjerna vid tiden 0 och temperaturen 0 °C.



Figur 7 Linjär graf som visar dödlighet som funktion av temperatur och tid för alla ogräsarter testade i en Batch reaktor. Temperatur 28-58 °C och tid, 0-1200 timmar. Linjefunktionen beskriver linjerna vid tiden 0 och temperaturen 0 °C.

Vattenbad

Johansen et al. (2013) studerade överlevnad av frön från 7 ogräsarter i en anaerob miljö som representerades av en biogaskammare. I studien kunde de se en korrelation mellan temperatur och dödlighet vilket även stöddes av resultat från Baier (1997) (se Johansen et al. 2013). De beskriver vidare hur frön från tomat (*Lycopersicon lycopersicum*) och *D. sanguinalis* inaktiverades fortare av högre temperatur oberoende om fröna låg i vattenbad eller slam Baier (1997) (se Johansen et al. 2013). De drog därför slutsatsen att temperaturen spelade större roll för avdödning än de andra förhållandena som råder i en biogasreaktor. Men den långa exponeringstiden, som krävdes i mesofila temperaturer för avdödning i vattenbad i studien av Dahlquist et al. (2007), kan enligt Westerman & Gerowitt (2013) ge en indikator på att det inte endast är temperaturen som påverkar avdödandet av fröna. Vattenbad skulle därför, enligt Westerman & Gerowitt (2013), kunna användas som en indikator för att förstå ett frös maximala överlevnadstid i en biogasreaktor. Detta resonemang stöds även av Tanke et al. (2019).

Engeli et al. (1993) blev inte förvånade när *Rumex* spp. och *L. lycopersicum* dog av de hydrolytiska förhållandena som fanns i en rötningskammare med relativt lågt pH på 5,6–7,6 vid 35 °C efter 20 dagar. Vidare nämner de att de hydrolytiska

förhållandena som finns i en biogasreaktor är huvudanledningen till att fröna dör. Även Zhou et al. (2020) nämner de hydrolytiska förhållandena som en viktig faktor genom att jämföra överlevnaden av frön i vattenbad jämfört med i en anaerobisk rötning. Där överlevde *D. sanguinalis* vid temperaturerna 37,42 och 52 °C under 64,32 och 8 timmar i en anaerobisk rötning respektive 256, 256 och 16 timmar i ett vattenbad.

4. Diskussion

I de artiklar som granskades var det tydligt att temperatur och tid var två faktorer som avgjorde en arts överlevnad i en biogasreaktor. Johansen et al. (2013) testademan endast överlevnaden i ett vattenbad men kom fram till samma slutsats även där. Även figur 1 som sammanfattar all data visar på detta.

I många studier var även skillnaden i överlevnad mellan arter stor. Fröer som har selekterats fram för att överleva passage genom djur visade sig extra hårdiga i en anaerob rötning och vissa fall ökade till och med grobarheten. Egenskaper såsom mognadsgraden av fröet, men också tjockleken eller hårdheten på skalet är troligtvis bidragande faktorer till detta. Särskilt hårdiga arter enligt Dahlquist et al. (2007) och Hahn et al. (2022) är svinamarant (*Amaranthus graecizans*), portlak (*Common purslane*), *E. crus-galli*, vallsenap (*Sisymbrium irio*), *S. nigrum*, rosenmalva (*Malva alcea*), rödmalva (*Malva sylvestris*), vit sötväppling (*Melilotus albus*) och gul sötväppling (*Melilotus officinalis*). De överlevde temperaturer på mellan 39-42°C i över 365 dagar (Dahlquist et al. 2007; Hahn et al. 2022). Zhou et al. (2020) påvisade dock att *E. crus-galli* maximalt överlevde 32-72 timmar vid samma temperaturer och i två andra källor så överlevde *E. crus-galli* som mest 720 timmar i 30 och 37°C (Westerman et al. 2012b; Westerman & Gerowitt 2013). En förklaring till detta skulle kunna vara att Hahn et al. (2022) och Dahlquist et.al (2007) räknade ut tiden de i teorin skulle överleva, medan de andra tre källorna istället testat överlevnaden efter den faktiska tiden. En annan förklaring skulle kunna vara skillnader inom arten. Faktorer som skulle kunna påverka detta är eventuellt frömognad, groningsvila, genetiska skillnader (mellan populationer i olika länder) och vilken typ av biogasreaktor som användes (batch eller CSTR). I Dahlquist et al (2007) användes bara ett vattenbad vilket gjorde att den mikrobiella nedbrytningsfaktorn inte var med i undersökningen.

Något som är viktigt är att man i studierna inte tagit hänsyn till den pastörisering på 70°C i en timme som oftast görs innan substratet når röt-kammaren. Detta påverkar troligtvis ogräsfrönas grobarhet markant. I studien av Dahlquist et al. (2007) utsattes de 6 studerade arterna för 70°C, bl.a. *E. crus-galli*, som då endast överlevde 10 min. Hygienisering är dock inget krav på gårdsanläggningar och så länge de sprider rötresten från den egna gården så är det endast gårdens ogräs i omlopp. Men om gårdsanläggningar skulle börja ta emot biomassa som slagits av

från vägkanterna kan nya arter introduceras. Detta skulle kunna bli ett problem speciellt för ekologiska odlare som har tillgång till färre direkta bekämpningsmetoder för ogräs.

Den procentuella skillnaden i avdödning kan eventuellt också skilja sig mellan system (batch och CSTR). Metaanalysen tyder på att CSTR har en högre dödlighet än en batch reaktor initialt medan CSTR har lägre avdödningshastighet i senare stadier. Men resultatet kan vara starkt beroende på vilka arter som testats, hur frekvent överlevnaden av fröna kontrollerades samt frönas kvalité. Intressant är att Westerman et al. (2012a) observerade en högre överlevnad i batch reaktor inom samma art och inom liknande temperaturer vilket stämmer överens med resultatet i denna metaanalys. Mer information kring pH, halter av ammonium och fettsyror med mera hade varit intressant för att upptäcka eventuella skillnader inom systemen.

Vid användning av CSTR-system så anser jag att det också är viktigt att ha i åtanke att reaktorn har ett kontinuerligt in- och utflöde. Detta innebär att allt material som matas ut inte har utsatts för lika lång nedbrytningstid. Det innebär att många arter skulle kunna överleva den korta tid det kan innebära. Flera ogräsarter överlever 24 timmar i en mesofil nedbrytning. Några av dessa arter är kända ogräs på den svenska åkermarken såsom svinmålla, renkavle, flyghavre (*Avena fatua*), hönshirs, kvickrot, åkerbinda (*Fallopia convolvulus*), pilört (*Persicaria lapathifolia*), skräppa, åkersenap (*Sinapis arvensis*) och penningört (*Thlaspi arvense*).

Högst oroväckande är den höga överlevnadsgraden hos ogräsen *A. theophrasti* och *E. crus-galli*, även vid långa retentionstider och höga temperaturer. *A. theophrasti* är inte vanlig i Sverige, men är ett stort problem internationellt. Med ett förändrat klimat är det inte omöjligt att en värmeälskare såsom *A. theophrasti* gör sig sedda framöver. I Dahlquist et al. (2007) diskuterar de hur sommarannuella växter har skyddande proteiner som gör att de vid höga temperaturer når en andra gröningsvila vilket skulle förlänga sådana fröers livslängd. Detta skulle vara en av många anledningar till att vissa arter klarar sig så mycket bättre i så extrema förhållanden. Vidare kan det vara bra att ta hänsyn till de förhållanden fröna genomgår både innan och efter biogasreaktorn. I vissa fall har fröna genomgått passage genom ett djur, blivit skadade av en slätterhack eller på annat sätt utstått mekanisk skada vilket skulle öka dödligheten. Även efter biogasanläggningen kan rötresten ligga i en slambrunn innan det tas i bruk. Under denna tid fortsätter nerbrytningen av substratet även om det nödvändigtvis inte sker lika fort eller vid samma temperaturer vilket också skulle öka dödligheten.

Den långa exponeringstiden i mesofila temperaturer i studien utförd av Dahlquist et al. (2007) kan ge en indikator på att det inte endast är temperaturen som påverkar avdödandet av fröna.

Att jämföra olika studier genom att sammanfatta dem på ett väldigt enkelt sätt som i denna litteraturstudie ska beaktas med försiktighet eftersom icke jämförbara

metoder till viss del har använts mellan studierna. Till exempel så har man i vissa fall inte kontrollerat fröna efter ganska lång tid i reaktorn vilket gör att det kan vara svårt att avgöra hur långt tid det egentligen tog för att avdöda alla frön. De har använt olika arter, olika typer av reaktorer, olika temperaturer och olika retentionstider. Det kan eventuellt vara skillnader inom arter, men också hur, när och var man plockat fröna, hur gamla de var med mera. Figur 1 ger en bra generell bild över sambandet mellan tid och temperatur vilket stämmer överens resultaten i artiklarna, men att dra några andra definitiva slutsatser från materialet bör göras med försiktighet.

Sammanfattningsvis kan vi dra följande slutsatser från de granskade artiklarna:

Vissa värmetåliga arter, såsom *A. theophrasti*, *E. crus-galli*, och *C. album*, kan överleva relativt länge vid mesofila temperaturer. Dock visar de flesta arterna en avdödning inom 720 timmar (30 dagar), vilket är inom normala retentionstider i en biogasreaktor. Genom att kombinera pastörisering och lagring av biogödsel minskar risken för spridning av livsdugliga ogräsfrön. Eventuella överlevande frön är förmodligen i dålig kondition och kan ha svårt att etablera sig. Det finns dock brist på information om potentiellt invasiva arter och deras överlevnad i anaerob rötning för svenska fältförhållanden. Mer forskning behövs för att förstå hur överlevnaden påverkas av olika egenskaper såsom hårt eller tjockt skal, sommar- eller vinterannuella, arter som normalt sett överlever passage genom djur samt om olika typer av reaktorer ger olika resultat när det gäller ogräsfrön.

Slutsatsen är att med en kombination av pastörisering, långa retentionstider (30 dagar) eller högre temperaturer (42°C) samt lagring av biogödsel kan risken för spridning av livsdugliga ogräsfrön i biogödsel minimeras. Det är viktigt att fortsätta undersöka och förstå överlevnaden av potentiellt invasiva arter för att effektivt kunna bekämpa ogräs och skydda svensk odling.

Förslag på framtida forskningsarbete:

- Spelar skalets hårdhet och tjocklek roll för överlevnad i en biogasreaktor?
- Finns det en korrelation mellan ett frös överlevnad i en biogasreaktor och passage genom ett djur?
- Är det någon skillnad mellan överlevnad i olika typer av biogasreaktorer?
- Är fröets vattenhalt en viktig faktor för överlevnad i en biogasreaktor?
- Beror överlevnaden av fröna i en biogasreaktor på mognadsgraden?
- Vad är vattenpotentialen i en biogasreaktor och hur påverkar denna frönas överlevnad?

- Påverkar fröets kemiska sammansättning på utsidan av skalet dess nedbrytningshastighet i en biogasreaktor?
- Finns det en skillnad i överlevnad mellan sommar- och vinteranueller i en biogasreaktor?

För att genomföra ovan nämnda studier krävs tillgång till biogasreaktorer, antingen i laborationsskala eller kommersiella. Att starta och driva en rötningsprocess kräver god kunskap och noggrannhet. För att genomföra undersökningar av intresse krävs också en noggrann planering för att införskaffa frön som täcker de önskade egenskaperna. Det kan vara frön med hårt eller tjockt skal, sommar- eller vinterannuella växter, välkända arter som normalt konsumeras av herbivorer, eller andra egenskaper som vanliga eller hotande ogräsarter.

För att få tillförlitliga resultat och genomföra en kvantitativ studie skulle hundratals eller tusentals frön av varje sort behöva testas. Det skulle vara fördelaktigt att inkludera arter från olika geografiska platser och med olika mognadsgrader. Genomförandet av en sådan studie skulle kräva ett stort engagemang från flera personer under lång tid, eftersom man både före och efter rötningsperioden måste testa fröernas livsduglighet. Detta kan göras genom groningstester på agarplattor och/eller genom Tetrazoliumtest, där frön i vilande tillstånd avger enzymer som indikerar livskraft utan att de faktiskt gror. Trots att Tetrazoliumtestet marknadsförs som snabbt och pålitligt ((Elias & Garay u.å.) är det faktiskt mycket tidskrävande. Dessutom kan användning av mikroskop och god morfologisk kunskap vara nödvändigt för att hantera fröna på rätt sätt. Det skulle vara fördelaktigt att utveckla snabbare och mer kostnadseffektiva metoder för att bedöma grobarhet, vilket skulle spara både tid och pengar.

Referenser

- Andersson, L. (2020). *Ogräs på odlad mark*. Jönköping: Jordbruksverket.
- Armeliuss, H. (2023). *Energitillförsel. Ekonomifakta*.
<https://www.ekonomifakta.se/fakta/energi/energibalans-i-sverige/energitillforsel/?graph=/1338/all/all/> [2023-04-20]
- Avfall Sverige (2018). Certifierad biogödsel SPCR 120. *Avfall sverige*, 2018.
https://www.biogodsels.se/media/23hhwcx3/cert_folder2018_webb.pdf
- Baute, K.A., Robinson, D.E., Van Eerd, L.L., Edson, M., Sikkema, P.H. & Gilroyed, B.H. (2016). Survival of seeds from perennial biomass species during commercial-scale anaerobic digestion. *Weed Research*, 56 (3), 258–266.
<https://doi.org/10.1111/wre.12202>
- Bewley, J.D. (1997). Seed Germination and Dormancy. *The Plant Cell*, 9 (7), 1055–1066
- Bewley, J.D., Bradford, K.J., Hilhorst, H.W.M. & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy, 3rd Edition*. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Biogödsel (u.å.). *Biogödsel. Höga priser och låg tillgång på mineralgödsel kan ge ett uppsving för biogödsel*. <https://www.biogodsels.se/bli-biogoedselanvaendare/hoega-priser-och-laag-tillgaang-paa-mineralgoedsel-kan-ge-ett-uppsving-foer-biogoedsel/> [2023-02-26]
- Dahlquist, R.M., Prather, T.S. & Stapleton, J.J. (2007). Time and Temperature Requirements for Weed Seed Thermal Death. *Weed Science*, 55 (6), 619–625.
<https://doi.org/10.1614/WS-04-178.1>
- Elias, S. & Garay, A. (u.å.). TETRAZOLIUM TEST (TZ) A FAST, RELIABLE TEST TO DETERMINE SEED VIABILITY.
- Energigas (2018). *Förslag till nationell biogasstrategi 2.0*.
<https://www.energigas.se/library/2151/nationell-biogasstrategi-20.pdf>
- Energigas (2022). *Biogas och miljön. Energigas Sverige*. <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/biogas-och-miljon/> [2023-04-22]
- Energigas Sverige (2017). *Produktion och distribution. Energigas Sverige*.
<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/produktion-och-distribution/> [2023-02-26]
- Energigas Sverige (2021). *Produktion av biogas och rötresten och dess användning år 2021. Energigas Sverige*. <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/statistik-om-biogas/> [2023-02-12]
- Energimyndigheten (2017). *Fler substrat kan bli biogas med nya rötningstekniker*.
<https://www.energimyndigheten.se/arkiv-for-resultat/Resultat/fler-substrat-kan-bli-biogas-med-nya-rotningstekniker/> [2023-04-23]
- Energimyndigheten (2022). *Energiläget 2022 – En översikt*.
- Engeli, H., Edelmann, W., Fuchs, J. & Rottermann, K. (1993). Survival of Plant Pathogens and Weed Seeds during Anaerobic Digestion. *Water Science and Technology*, 27 (2), 69–76. <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0079>
- Europeiska unionens råd & Europeiska rådet (2023). *Energikrisen: samordnade EU-åtgärder för lägre energiräkningar*.

- <https://www.consilium.europa.eu/sv/infographics/eu-measures-to-cut-down-energy-bills/> [2023-04-20]
- Fogelfors, H. (2015). *Vår mat: odling av åker- och trädgårdsgrödor: biologi, förutsättningar och historia*. Lund: Studentlitteratur.
- Hahn, J., Westerman, P.R., de Mol, F., Heiermann, M. & Gerowitt, B. (2022). Viability of Wildflower Seeds After Mesophilic Anaerobic Digestion in Lab-Scale Biogas Reactors. *Frontiers in Plant Science*, 13, 942346. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.942346>
- Johansen, A., Nielsen, H.B., Hansen, C.M., Andreasen, C., Carlsbart, J., Hauggard-Nielsen, H. & Roepstorff, A. (2013). Survival of weed seeds and animal parasites as affected by anaerobic digestion at meso- and thermophilic conditions. *Waste Management*, 33 (4), 807–812. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.11.001>
- Jordbruksverket (2022a). *Jordbruksverket. Hönschirs - ogräs med stor fröproduktion*. <https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtskydd/vaxtskyddsatgarder/honschirs> [2023-04-03]
- Jordbruksverket (2022b). *Jordbruksverket. Renkavle - ogräs som är mycket konkurrenskraftigt*. <https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtskydd/vaxtskyddsatgarder/renkavle> [2023-04-03]
- Jordbruksverket (2022c). Lindmalva i sockerbetor. *Ogräsbrev*, 2022 (13). <https://www.anpdm.com/public/Editor4PreviewPublic.asp/Show/414450477447455E4278404A59?ns=44425A437749455F4675464B5E4371454B5B41> [2023-04-15]
- Katovich, E.J. & Becker, R.L. (2004). *Weed Seed Survival in Anaerobic Digesters*. Minnesota.
- Kumar, S. (red.) (2012). *Biogas*. InTech. <https://doi.org/10.5772/1793>
- Lilliehöök, A. (2020). *Hönschirs – ett gräsogräs på frammarsch*. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Mitich, L.W. (1991). Velvetleaf. *Weed Technology*, 5 (1), 253–255
- Nationalencyklopedin, metanbildande arkéer* (2023). <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/metanbildande-arkeer> [2023-02-26]
- Naturvårdsverket (2022). *Begränsad klimatpåverkan: fördjupad utvärdering av miljömålen 2023*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket (2023a). *Klimatinvesteringar ökar försörjningstryggheten*. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/aktuellt/nyheter-och-pressmeddelanden/2023/januari/klimatinvesteringar-okar-forsorjningstryggheten/> [2023-04-22]
- Naturvårdsverket (2023b). *Naturvårdsverket. Naturvårdsverket*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/invasiva-frammande-arter/Arter/arter-som-er-omfattas-av-regler/blomsterlupin/> [2023-04-03]
- RISE (u.å.). *Rekordhöga priser på konstgödsel*. *RISE*. <https://www.ri.se/sv/svenskanaringsplattformen/nyheter/rekordhoga-priser-pa-konstgodselt> [2023-02-26]
- Salomon, E. & Wivstad, M. (2013). *Rötrestart från biogasanläggningar [Elektronisk resurs] : återföring av växtnäring i ekologisk produktion*. Uppsala: Centrum för ekologisk produktion och konsumtion (EPOK), Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). <http://www.slu.se/Documents/externwebben/centrumbildningar-projekt/epok/Publikationer/Rotrestsyntes-hemsida.pdf> [2023-04-15]
- Schnürer, A. & Jarvis, Å. (2017). *Biogasprocessens mikrobiologi*. Avfall Sverige.
- Schrade, S., Oechsner, H., Pekrun, C. & Claupein, W. (2003). Einfluss des Biogasprozesses auf die Keimfähigkeit von Samen. *LANDTECHNIK*, 58 (2), 90–91. <https://doi.org/10.1515/lt.2003.1404>
- StatSoft. (2023) Tibco Statistica (data analysis software system), version 14. Available at: <https://statsoft.se>

- Strauß, G., Kaplan, T. & Jacobi, T. (2012). Keimfähigkeit von Samen verschiedener (gentechnisch veränderter) Nutzpflanzen in Abhängigkeit von Prozessparametern und Verweildauer in einer Biogasanlage. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 7 (1), 19–25. <https://doi.org/10.1007/s00003-011-0756-6>
- Svenska Akademien (1949). Ogräs. *Ordbok över svenska språket*. Lund. https://svenska.se/saob/?id=O_0283-0143.yWP8&pz=7 [2023-04-15]
- Svensktvatten (2023). Regler för certifieringssystemet. *REVAQ*, 2023-01–01 (8.1). <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstomsarbete/revaq-certifiering/>
- Tanke, Müller, & de Mol (2019). Seed Viability of *Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae) Is Quickly Reduced at Temperatures Prevailing in Biogas Plants. *Agronomy*, 9 (6), 332. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060332>
- Warwick, S.I. & Black, L.D. (1988). THE BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS.: 90. *Abutilon theophrasti*. *Canadian Journal of Plant Science*, 68 (4), 1069–1085. <https://doi.org/10.4141/cjps88-127>
- Westerman, P.R. & Gerowitt, B. (2013). Weed Seed Survival during Anaerobic Digestion in Biogas Plants. *The Botanical Review*, 79 (3), 281–316. <https://doi.org/10.1007/s12229-013-9118-7>
- Westerman, P.R., Heiermann, M., Pottberg, U., Rodemann, B. & Gerowitt, B. (2012a). Weed seed survival during mesophilic anaerobic digestion in biogas plants: Seed survival in commercial biogas reactors. *Weed Research*, 52 (4), 307–316. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2012.00927.x>
- Westerman, P.R., Hildebrandt, F. & Gerowitt, B. (2012b). Weed seed survival following ensiling and mesophilic anaerobic digestion in batch reactors: Seed survival in biogas reactors. *Weed Research*, 52 (3), 286–295. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2012.00918.x>
- Zhou, L., Hülsemann, B., Merkle, W., Guo, J., Dong, R., Piepho, H.-P., Gerhards, R., Müller, J. & Oechsner, H. (2020). Influence of Anaerobic Digestion Processes on the Germination of Weed Seeds. *Gesunde Pflanzen*, 72 (2), 181–194. <https://doi.org/10.1007/s10343-020-00500-y>

Tack

Extra stort tack till Theo Verwijst som med öppna armar hjälpt mig i detta arbete genom att analysera resultat, hjälpa till i tankegångarna och genom motivation och omtanke hjälpa mig ta mig igenom mitt första självständiga arbete. Ett varmt tack till Anneli Lundkvist som hjälpte mig finna ett arbetsområde som jag älskar när allt kändes hopplöst. Tack till Anna Schnürer för din oändliga kompetens och snabba svar.

Bilaga

Källa	Typ av metod
(Johansen et al. 2013)	Batch
(Engeli et al. 1993)	Batch
Sarapatka et. al (1993) se Westerman & Gerowitt (2013)	Batch
(Strauß et al. 2012)	Batch
Westerik & Kleizen (2006) se Westerman & Gerowitt (2013)	Batch
(Westerman et al. 2012b)	Batch
(Baute et al. 2016)	CSTR
(Zhou et al. 2020)	CSTR
(Hahn et al. 2022)	CSTR
Lorenz et.al (2001) se Westerman & Gerowitt (2013)	CSTR
(Westerman et al. 2012a)	CSTR
Leonhardt (2010) se Zhou et al. (2020)	CSTR och batch
(Schrade et al. 2003)	CSTR och batch
Marcinisyn et.al (2004) se Westerman & Gerowitt (2013)	CSTR och PFR
Knödler (2015) se Zhou et al. (2020)	Okänd
(Katovich & Becker 2004)	PFR
Ryckeboer et.al (2004) se Westerman & Gerowitt (2013)	PFR
(Dahlquist et al. 2007)	Water bath
(Tanke et al. 2019)	Water bath

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.