



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap

Biogödsel som kvävekälla i hydroponisk tomatproduktion

Digestate as nitrogen source in hydroponic production of tomatoes

Elliot Strandmark



Självständigt arbete • 15 hp
Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram
Alnarp 2017

Biogödsel som kvävekälla i hydroponisk tomatproduktion

Digestate as nitrogen source in hydroponic production of tomatoes

Elliot Strandmark

Handledare: Helena Karlén, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Examinator: Håkan Asp, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Kandidatarbete i trädgårdsvetenskap

Kurskod: EX0495

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2017

Omslagsbild: Camilla Alvé, 2011

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: *tomat, hydroponisk, produktion, växthus, mineralgödsel, biogödsel, kväve, nitrat, ammonium*

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

Förord

Detta kandidatarbete omfattar 15 hp och skrivs inom ämnet trädgårdsvetenskap vid Institutionen för biosystem och teknologi på SLU Alnarp.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Helena Karlén som väglett och inspirerat mig under processen att skriva mitt kandidatarbete. Jag vill även tacka Mats Olofsson på Vikentomater AB och personal på SBI Jordberga AB för att de ställt upp på intervjuer och/eller bidragit med information som använts i kandidatarbetet. Jag vill också tacka Torbjörn Hansson på Grön Kompetens AB som träffat mig och diskuterat näringstillförsel i hydroponisk produktion.

Elliot Strandmark

Elliot Strandmark

Mars 2017

Sammanfattning

I hydroponisk produktion av tomat används nästan uteslutande lösliga mineralgödselmedel som näringskälla. Industriell fixering av kväve till mineralgödselmedel genom Haber-Bosch processen är en process som påverkar miljön negativt. För att den hydroponiska produktionen av tomater ska få mindre miljöpåverkan är det önskvärt att hitta organiska kvävekällor som fungerar i sådan produktion. Biogödsel från biogasverk är ett intressant alternativ. I biogödsel är det organiskt bundna kvävet mineraliserat och direkt tillgängligt för växterna i form av ammonium (NH_4^+). Tomatkulturen är känslig mot ammonium. Genom att låta biogödseln genomgå nitrifikation kan ammoniumkvävet omvandlas till nitratkväve (NO_3^-). Arbetets syfte är att undersöka hur stor del av det totala kvävebehovet i hydroponisk tomatproduktion som kan tillgodoses med biogödsel som genomgått nitrifikation.

Resultatet visar att biogödsel inte kan ersätta mineralgödsel, men det kan utgöra ett komplement. Cirka en tredjedel av kvävebehovet kan tillsättas med biogödsel under kulturtiden. Hur stor del av kvävebehovet som kan tillsättas med biogödsel beror på växnäringskoncentrationen i biogödseln, hur mycket av ammoniumkvävet i biogödseln som oxiderat till nitrat och hur receptet för näringslösningen ser ut.

Abstract

In hydroponic production of tomatoes easily soluble mineral fertilizers are used as a source of nitrogen. The Haber-Bosch process is used for industrial fixation of nitrogen to mineral fertilizers; the process has negative effects on the environment. In order to reduce the environmental impact of hydroponic tomato production it is desirable to find organic nitrogen sources for such production. Digestate from biogas plants is an interesting alternative. Nitrogen from organic compounds is already mineralized into ammonium (NH_4^+), an inorganic compound which can be utilized by the tomato plants. The tomato plant culture is sensitive to ammonium. The ammonium in the digestate can be oxidized into nitrate (NO_3^-) through a process known as nitrification. This essay has the purpose to investigate how much of the total nitrogen demand of a hydroponic tomato culture that can be applied with digestate which has gone through nitrification.

The results show that digestate cannot fully replace mineral fertilizers, but can replace some of it. A third of the total nitrogen demand can be applied with digestate. How much of the nitrogen demand that can be applied depends on the nutrient concentration of the digestate, how much ammonium that has been oxidized into nitrate and the nutrient solution recipe.

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	4
1.1. Bakgrund	4
1.2. Syfte	5
1.3. Frågeställning	5
1.4. Avgränsningar	6
2. Metod och material.....	6
3. Resultat.....	7
3.1. Näringstillförsel i hydroponisk tomatproduktion	7
3.1.1. Val av kväveförening	9
3.1.2. Recirkulerande hydroponiskt system.....	10
3.2. Kväve	11
3.2.1. Kvävecykeln.....	12
3.2.2. Kvävetts funktion i växter	13
3.3. Biogödsel.....	14
3.3.1. Växtnäringsinnehåll i biogödsel	14
3.3.2. Nitrifikation av biogödsel.....	15
3.4. Växtnäringsberäkningar	16
4. Diskussion	17
4.1. Slutsatser	18
Referenslista	19
Icke publicerat material	21

1. Introduktion

1.1. Bakgrund

År 2015 odlade svenska tomatproducenter tomat på en total växthusyta av närmre 38 hektar och plockade ut en total skörd på 14 800 ton. Skördenivån för tomat år 2015 motsvarar en skörd på cirka 39 kilo per odlad kvadratmeter. I Sverige är tomat den näst mest odlade grönsakskulturen i växthus (Jordbruksverket, 2016).

I hydroponisk produktion sker odling av tomatkulturen i odlingssubstrat med näringslösning (Raviv och Lieth, 2008). I Europa och Nordamerika odlas 95 procent av alla tomater i inerta odlingssubstrat, stenull är vanligast (Huevelink, 2005). Ett inert odlingssubstrat tillför inte näringsämne till kulturen och adsorberar inte joner (Raviv och Lieth, 2008). För att tillföra kväve (N) i näringslösningar använder odlare sig nästan uteslutande av oorganiska vattenlösliga mineralgödselmedel. Kvävet i mineralgödselmedel finns i form av ammonium (NH_4^+) eller nitrat (NO_3^-) och är direkt tillgängligt för tomatplantorna. Det gör det lätt att styra tillförseln av kväve och koncentrationen och förhållandet till andra gödselmedel kan lätt ändras vid behov.

Problemet med kvävet i mineralgödsel är att de framställs industriellt i en process som släpper ut stora mängder koldioxid (CO_2) till atmosfären. Processen heter Haber-Bosch processen och för varje ton ammoniak (NH_3) som produceras släpps 500 kg CO_2 ut (Chesworth, 2008). I Haber-Bosch processen får kvävgas (N_2) från atmosfären reagera med vätgas under hög temperatur och högt tryck med metallkatalysatorer, i slutet av processen har ammoniak bildats. Vätgasen som används i processen utvinns från fossila bränslen som naturgas, bensin och kol. De fossila bränslena används även för att ge energi till processen (Evert och Eichhorn, 2013).

Ett miljövänligare alternativ till mineralgödsel som kvävekälla i hydroponisk tomatproduktion är flytande organiska gödselmedel. Det är svårt att styra kvävetillförseln med organiska gödselmedel eftersom kvävet finns organiskt bundet och måste mineraliseras innan det blir tillgängligt för tomaterna. Ett ytterligare problem är att växtnäringsämnena i organiska gödselmedel frigörs i olika takt på grund av att de mineraliseras olika snabbt och att en del näringsämnen, som kalium (K), inte ingår i organiska föreningar (Båth, 2008). När det inte går att styra i vilka förhållanden de olika växtnäringsämnena blir tillgängliga är det svårt att kontrollera växtnäringskoncentration och förhållande mellan näringsämnena i näringslösningen.

Biogödsel är ett flytande organiskt gödsel vars potential att leverera kväve i hydroponisk tomatproduktion är intressant att undersöka. I biogasverk produceras biogas då organiskt material bryts ner under syrefria förhållanden, samtidigt bildas en rötrest som kallas för biogödsel (Avfall Sverige, 2017a). Biogas och följaktligen biogödsel kan produceras i stora samrötningsanläggningar där många typer av organiskt material omvandlas, eller i gårdsanläggningar där material från den egna gården omvandlas (Avfall Sverige, 2017b). Det organiska materialet som rötas kallas för substrat. I samrötningsanläggningarna kan många olika typer av substrat rötas tillsammans, det kan röra sig om matavfall, slakteriavfall, avfall från livsmedelindustrin, gödsel, energigrödor och annat organiskt material (Avfall Sverige, 2017c). Biogödsel är intressant att undersöka eftersom de näringsämnen som finns i substratet mineraliseras under nedbrytningen och därmed blir tillgängliga för växter. Även vid förbränning av biogas släpps koldioxid ut i atmosfären, men processen är koldioxidneutral. Det innebär att ingen ny koldioxid tillförs atmosfären. Koldioxiden som frigörs ingår i ett kretslopp där koldioxid plockas upp av växter, frigörs och plockas upp igen.

Biogödseln kan certifieras enligt SPCR120 från SP Sveriges tekniska forskningsinstitut. Certifieringen ställer krav på hygienisering av materialet, att inga avloppsfraktioner ingår och att metallinnehållet i biogödseln inte är för högt. Genom certifiering är målet att skapa större förtroende för produkten hos kunder och att avsetningen ökar (Avfall Sverige, 2017d). Det är även möjligt att KRAV-certifiera sin biogödsel utifrån KRAVs regelverk (KRAV, 2017).

Problemet med biogödsel är att det mineraliserade kvävet finns i form av ammonium. Tomatkulturen är känslig mot ammonium och ammoniumkvävet bör inte utgöra mer än tio procent av totalkvävet i näringslösningar (Huevelink, 2005). För att biogödseln ska kunna användas i hydroponisk produktion kan biogödseln genomgå nitrifikation, en process då ammoniumkvävet oxideras till nitratkväve (Evert och Eichhorn, 2013).

1.2. Syfte

Syftet med kandidatarbetet är att undersöka hur stor del av kvävebehovet i hydroponisk tomatproduktion som kan tillgodoses med biogödsel som genomgått nitrifikation.

1.3. Frågeställning

Hur stor del av det totala kvävebehovet i hydroponisk tomatproduktion kan tillgodoses med biogödsel som genomgått nitrifikation?

1.4. Avgränsningar

I arbetet diskuteras biogödsel i hydroponisk tomatproduktion utifrån hur biogödsel fungerar som kvävegödselmedel. Däremot berörs inte biogödsel utifrån andra aspekter.

2. Metod och material

Detta kandidatarbete är byggt på en litteraturstudie. Databaserna Primo och Google Scholar har använts för att söka efter vetenskapliga artiklar, böcker och e-böcker. Litteratur har också hittats genom att följa referenslistor i vetenskapliga verk. I begränsad utsträckning har hemsidor använts för informationsinhämtning.

Informationsinsamling har också skett genom kontakt med företag. SBI Jordberga AB har bidragit med analys av växtnäringsinnehåll i sin biogödsel. Mats Olofsson på Vikentomater AB har ställt upp på att träffas och intervjuas angående gödsling i hydroponisk tomatproduktion.

3. Resultat

3.1. Näringstillförsel i hydroponisk tomatproduktion

Konventionella tomatkulturer i svenska växthus odlas vanligen under en lång säsong om cirka 10 månader. Beroende på hur tidig skörd odlare önskar kan de plantera ut tomaterna i växthuset under olika perioder. För att få en tidig skörd planteras tomaterna i början av januari till början av februari, för en medeltidig skörd planteras tomaterna i början av februari till slutet av februari och för att få en sen skörd planteras tomaterna i slutet av februari till slutet av mars. Utplanteringsdatum styrs även av geografisk plats i landet, ju längre söderut desto tidigare går det att plantera tomaterna, ju längre norrut desto senare (Hansson och Ögren, 2007). De tomatplantor som sätts ut i växthuset kan vara uppdrivna från eget frö på företaget eller inköpta från företag som säljer plantor färdiga för plantering.

Hansson och Ögren (2007) identifierar fem faser som tomatkulturen går igenom efter planteringen, som tydligt är kopplade till antal blomklasar på plantan. Faserna är:

- Utplanteringsfasen (Blomklase 1-3)
- Tillväxtfas (Blomklase 3-6)
- Fruktbelastningsfas (Blomklase 7-9)
- Vidareutvecklingsfas (Blomklase 10-15)
- Avslutande skördefas (Blomklase 16 och vidare)

Under olika faser ändras behovet av växtnäring och relationen mellan olika ämnen. Voogt (1993) har gjort en studie av hur mycket makronäringsämnen en substratodlad tomatkultur tar upp från näringslösningen beroende på vilket fas i utvecklingen kulturen befinner sig. Studien är underlag till en rekommendation som beskriver hur koncentrationen av makronäringsämne och relationen mellan dem bör ändras i näringslösningen efter vilket fas i utvecklingen tomatkulturen befinner sig i. För att bestämma utvecklingsfas användes antal blommande blomklasar kulturen hunnit producera. I studien studerades fem kommersiellt odlade tomatkulturer i moderna uppvärmda växthus. Kulturerna odlades i stenum i high-wire system, varje planta fick 4,5 till 5 liter odlingssubstrat. Kulturtiden var mellan januari och oktober. Medelvärdet för skörden i de fem olika odlingarna blev 40 kilo tomater per kvadratmeter. Näringslösningens rekommendation visas i tabell 1. I rekommendationen används enheten mmol/l (Voogt, 1993). I tabell 1 är det specificerat hur mycket ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$), fosfor (P) och svavel (S) som bör tillsättas och enheten mmol/l är

omräknad till mg/l. Enheten mmol/l är omvandlad till mg/l eftersom det är enheten som används i Sverige.

Tabell 1: Rekommenderad koncentration (mg/l) av makronäringsämne och förhållande mellan dessa i utgående näringslösning i relation till vilket utvecklingsstadium tomatkulturen befinner sig i (Voogt, 1993). När en ruta lämnas blank innebär det att samma värde som för grundreceptet gäller, när det står + eller – innebär det att summan ska läggas till eller dras från summan i grundreceptet för att få rätt växtnäringskoncentration.

	N-tot	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	S
Grundrecept	160	14	146	39	253	110	24	47
Uppvattning	- 7	- 7			- 97	+ 40	+ 7	
Plantering – blomklase 1					- 47	+ 12	+ 7	
Blomklase 1 – 3								
Blomklase 3 – 5					+ 39	- 10	- 6	
Blomklase 5 – 10					+136	- 50	- 12	
Blomklase 10 – 12					+ 39	- 10	- 6	
Blomklase 12 – slut								

Studien som ledde fram till rekommendationen visade att upptaget av kväve, fosfor och svavel låg på ungefär samma nivå under kulturtiden och därför rekommenderas ingen större ändring av koncentrationen av dessa ämnen i näringslösningen (Voogt, 1993). Av allt kväve som tas upp under kulturtiden återfinns 60 procent i frukter, 25 procent i blad och resten i stam och rötter (Gutierrez och Tapia, 1997). Tabell 1 visar att totalkvävet i näringslösningen ändras en gång, under uppvattning av substratet sänks totalkvävet med 7 mg/l. Av totalkvävet tillsätts cirka 9 procent som ammoniumkväve och cirka 91 procent som nitratkväve.

Det är viktigt att börja tillföra kalium när blomklase 3-6 blommar eftersom det snart är stor fruktbelastning på plantan. När blomklase 7-9 blommar är fruktbelastningen som störst och mycket kalium tas upp till frukterna. På varje planta kan det nu hänga 65-70 frukter (Hansson och Ögren, 2007). Cirka 70 procent av det kalium som plantorna tar upp återfinns i frukterna (Huevelink, 2005). Tabell 1 visar att kaliumkoncentrationen i näringslösningen sänks i förhållande till grundreceptet i början av kulturtiden, höjs i takt med att perioden av stor fruktbelastning närmar sig och når sin topp under perioden av stor fruktbelastning.

Kvoten mellan kalium och kväve ändras under kulturtiden. När första blomklasen blommar bör förhållandet mellan kalium och kväve i näringslösningen vara 1,2:1, det vill säga att om det finns 100 mg/l totalkväve bör det finnas 120 mg/l kalium i näringslösningen. När nionde blomklasen blommar bör förhållandet mellan kalium och kväve vara 2,5:1 (Huevelink, 2005). Tabell 1 visar att förhållandet mellan kalium och kväve är cirka 1,5:1 när första blomklasen blommar och cirka 2,4:1 när nionde blomklasen blommar.

Anledningen till att förhållandet mellan kalium och kalcium (Ca) samt magnesium (Mg) ändras under kulturtiden är att plantorna behöver mer kalium under fruktutvecklingen än vad de behöver kalcium och magnesium. Under perioden då fruktutvecklingen är hög utvecklas inte nya rötter i lika stor utsträckning, vilket minskar upptaget av kalcium och magnesium (Voogt, 1993). Tabell 1 visar att koncentrationen kalcium och magnesium höjs i näringslösningen i början av kulturtiden i samband med att kaliumkoncentrationen sänks. Strax innan plantorna når perioden av tung fruktbelastning sänks koncentrationen av kalcium och magnesium samtidigt som koncentrationen kalium höjs.

I en näringslösning bör pH-värdet ligga på 5,8 till 6,2 (Hochmuth och Hochmuth, 2001). För att sänka pH-värdet i en lösning tillsätts syror, för att höja pH-värdet tillsätts baser (Sonneveld och Voogt, 2009). Baser är ämnen som kan plocka upp vätejoner i vattenlösningar och syror är ämnen som kan avge vätejoner i vattenlösningar (Pilström et al., 2007).

En hydroponisk tomatkultur i växthus som ger en avkastning på 60 kilo per kvadratmeter och år plockar under ett år upp: 1185 kg kväve per hektar, 284 kg fosfor per hektar, 2044 kilo kalium per hektar, 863 kilo kalcium per hektar, 208 kilo magnesium per hektar och 290 kilo svavel per hektar (Sonneveld och Voogt, 2009).

En rekommendation ger en idé om hur recepten för näringslösningar bör utformas men i praktiken ser recepten annorlunda ut. Recepten ändras till exempel beroende på hur mycket vatten som tillförs och hur ofta. I system där bevattning sker ofta med stora volymer vatten behöver näringskoncentrationen inte vara lika stor som i system som bevattnas sällan med små mängder vatten (Hochmuth och Hochmuth, 2001). Recepten styrs även utifrån hur kulturen mår för tillfället, om kulturen uppvisar tecken på brister eller överskott av vissa ämnen justeras koncentrationen. På grund av det kan recept hos olika producenter skilja sig åt.

3.1.1. Val av kväveförening

Växter kan plocka upp kväve i form av ammonium och nitrat (Mengel och Kirkby, 1987). När endast nitrat tillsätts som källa för kväve tenderar pH-värdet i näringslösningen att höjas, när ammonium tillsätts sjunker pH-värdet (Sonneveld och Voogt, 2009). När ammonium plockas upp avges en vätejon till näringslösningen vilket sänker pH-värdet, när nitrat plockas upp kan till exempel en hydroxidjon avges vilket höjer pH-värdet i lösningen. Sonneveld och Voogt (2009) skriver att när mellan 5 och 10 procent av totalkvävet utgörs av ammoniumkväve ligger pH-värdet oftast relativt stabilt.

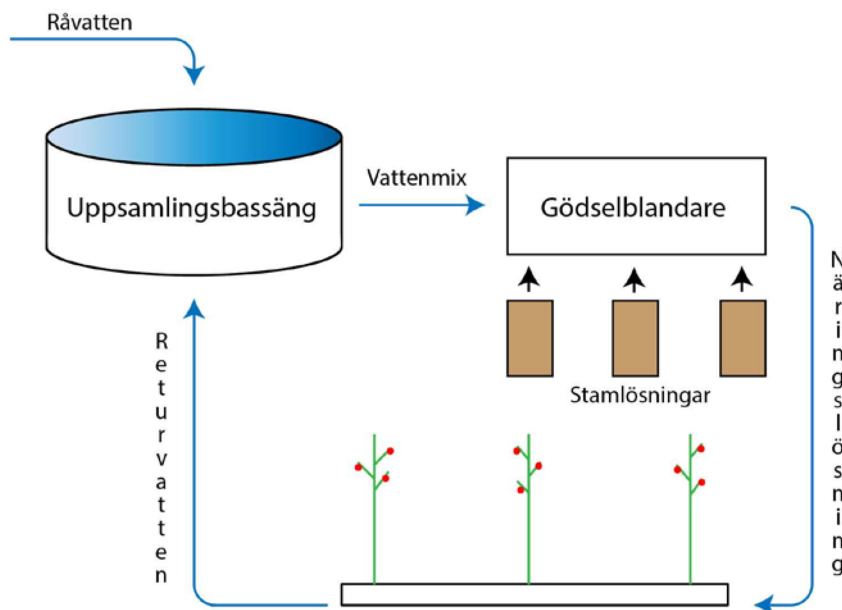
Positivt laddade joner tas upp olika snabbt av växter. Kalium och ammonium är exempel på positivt laddade joner som tas upp snabbt och kalcium är ett exempel på en positivt laddad jon som tas upp långsamt. Om till exempel ammonium finns i hög koncentration i näringslösningen hindrar den upptaget av andra positivt laddade joner, detta fenomen kallas för katjonantagonism (Mengel och Kirkby, 1987). Höga koncentrationer av ammonium i näringslösningen leder till att upptaget av både kalium och kalcium förhindras, vilket i förlängningen kan leda till brist på dessa ämnen. Upp till 10 procent av det totala kvävet kan tillsättas med ammoniumkväve utan risk för katjonantagonism (Huevelink, 2005).

Höga ammoniumkoncentrationer i näringslösningen är giftiga för växter. Koncentrationen då ammonium blir toxiskt skiljer sig mellan olika kulturer och odlingssystem men i regel sker det när ammoniumkvävet har en högre koncentration än 25 procent av totalkvävet (Sonneveld och Voogt, 2009). I tomatodling tillsätts i regel inte mer än 10 procent av totalkvävet med ammonium för att slippa katjonantagonism.

Eftersom det finns problem med ammoniumkväve används främst nitratkväve i hydroponisk produktion och ammoniumkväve i mindre utsträckning (Sonneveld och Voogt, 2009).

3.1.2. Recirkulerande hydroponiskt system

Principen för ett recirkulerande hydroponiskt system är att näringslösningen som dräneras från substratet leds tillbaka in i systemet (Christensen et al., 2010). I figur 1 illustreras hur ett recirkulerande hydroponiskt system är uppbyggt.



Figur 1: Illustration av ett recirkulerande system i hydroponisk produktion.

Den dränerade näringslösningen kallas för returvatten. Returvattnet pumpas till en uppsamlingsbassäng där det blandas med råvatten. Råvatten är nytt vatten i systemet. Det blandade vattnet i uppsamlingsbassängen kallas för vattenmix och är det vatten som utgör grunden för nästa omgång näringslösning. Vattenmixen pumpas från bassängen till gödselblandaren (Christensen et al., 2010).

Gödselblandaren använder förblandade stamlösningar för att blanda en näringslösning med rätt växtnäringskoncentrationer i. En stamlösning är en lösning där växtnäringsämnen är cirka hundra gånger mer koncentrerade än de ska vara i den färdiga näringslösningen. Minst två stamlösningar måste användas eftersom alla växtnäringsämnen inte är blandbara med varandra. Kalciumgödselmedel får exempelvis inte blandas med sulfatgödselmedel eftersom de tillsammans kan reagera och bilda kalciumsulfat vilket sätter igen systemet.

Kalciumgödselmedel bör inte heller blandas med fosfatgödselmedel eftersom de kan reagera och bilda det svårlösliga ämnet kalciumfosfat (Christensen et al., 2010). Vissa odlare använder sig ibland av upp till sex eller fler stamlösningar eftersom att det ger dem förutsättningen att styra kompositionen av näringslösningen bättre (Huevelink, 2005).

Det är lämpligt att koppla en stamlösning bestående av syror till gödselblandaren för att vid behov kunna sänka pH-värdet. Vattenmixen pendlar i pH-värde eftersom pH-värdet i returvattnet ser olika ut över tid. Det är lättare att justera pH-värdet om en separat tank för syror finns installerad (Christensen et al., 2010).

Att odla i recirkulerande system är inte helt problemfritt. I recirkulerande hydroponiska system återförs returvattnet till tomatkulturen kontinuerligt. Om returvattnet blir smittat av patogener kan sjukdomar sprida sig snabbt i tomatkulturen. För att förhindra och bekämpa utbrott av sjukdomar i näringslösningen finns det flertalet fysikaliska, kemiska och biologiska metoder att ta till (Ikeda, 2002).

Det är viktigt att ta hänsyn till att relationerna mellan växtnäringsämne i returvattnet förändras kraftigt över en odlingssäsong. För att veta hur stamlösningarna ska utformas är det viktigt att ta näringsanalyser av sitt returvatten (Christensen et al., 2010). På Vikentomater AB tas vattenanalyser med 14 dagar mellanrum eller tätare intervaller vid behov (Olofsson, 2017).

3.2. Kväve

Kväve är ett icke-metalliskt grundämne med det kemiska tecknet N (Pilström et al., 2007). Det finns gott om atmosfäriskt kväve på vår planet, 78 procent av vår atmosfär består av

kvävgas. Växter kan inte själva tillgodogöra sig av det atmosfäriska kvävet utan är beroende av kväveföreningar som ammonium och nitrat. Dessa föreningar finns inte i lika stor utsträckning som det atmosfäriska kvävet och utgör därför en begränsande faktor för odling av växter världen över (Evert och Eichhorn, 2013).

3.2.1. Kvävecykeln

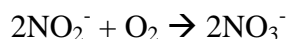
Kvävet har ett eget kretslopp som kallas för kvävecykeln. Enligt Evert och Eichhorn (2013) finns det tre grundläggande steg som gör att kväve cirkuleras i cykeln, de är ammonifikation, nitrifikation och assimilering. De tre olika stegen beskrivs nedan.

Ammonifikation – Ammonifikation kan också kallas för mineralisering. Under denna process bryter svampar och bakterier ner organiska föreningar som innehåller kväve. De organiska föreningarna kan komma från växtavfall, djuravföring eller döda djur. Mikroberna som bryter ner de organiska föreningarna bygger in kväve i aminosyror och proteiner, det kväve som blir över lämnar de till jorden i form av ammonium (Evert och Eichhorn, 2013). När mikrober binder kväve immobiliseras kvävet. När mer kväve frigörs än vad som byggs in i mikrobiell massa sker nettomineralisering. När mer kväve binds till mikrobiell massa än vad som frigörs under mineraliseringen sker nettoimmobilisering (Eriksson et al, 2011).

Nitrifikation - I marken oxiderar bakterier ammonium till nitrat genom en tvåstegsprocess som kallas för nitrifikation. I båda stegen av nitrifikation frigörs energi som används av de bakterier som är en del av processen. I den första delen av processen oxideras ammonium till nitrit, i detta steg är bakteriesläktet *Nitrosomonas* drivande (Evert och Eichhorn, 2013):



Nitrit är giftigt för växter men det är ovanligt att nitrit ackumulerar i jorden. Bakteriesläktet *Nitrobacter* oxiderar nitrit till nitrat i del två av processen (Evert och Eichhorn, 2013):



Mengel och Kirkby (1987) skriver att det finns ett samband mellan försurning av jord och nitrifikation av ammoniumkväve. När ammoniumkväve oxiderar till nitratkväve frigörs H^+ , vilket sänker pH-värdet i jorden. Bakterierna som är involverade i nitrifikationsprocessen trivs bäst på neutrala till lätt sura jordar. När pH-värdet sjunker för mycket stannar processen av. För att uppnå optimal nitrifikation menar Mengel och Kirkby (1987) att temperatur bör ligga på 26°C och att syre måste finnas tillgängligt eftersom nitrifikation är en aerob process.

Assimilering – Assimilering är den process då oorganiska kväveföreningar tas upp av växter och används som byggsten i organiska föreningar. Eftersom nästan allt kväve i jorden genomgår nitrifikation plockar växter främst upp kväve i form av nitrat. När de organiska kväveföreningarna förs tillbaka till jorden som växtdelar, avföring efter att växten blivit konsumerad eller som död djurvävnad börjar processen om igen (Evert och Eichhorn, 2013).

Det finns andra delar av kvävecykeln som också spelar in i kvävetets kretslopp. Nitratet kan förloras då det utlakas till vattendrag, sjöar och hav eller förloras till atmosfären då det genomgår denitrifikation (Evert och Eichhorn, 2013). Denitrifikation är en process som sker under syrefria förhållanden och innebär att nitrat reduceras till flyktiga kväveföreningar som kvävgas och lustgas vilka avgår till atmosfären. Även genom skörd förs kväve bort från den odlade jorden (Evert och Eichhorn, 2013).

Tidigare nämnt kan de flesta levande ting inte tillgodogöra sig atmosfäriskt kväve i form av kvävgas. Två av de största processerna som fixerar kväve till jorden är biologisk fixering av kväve och industriell tillverkning av oorganiskt kväve (Evert och Eichhorn, 2013). Biologisk fixering av kväve utförs av vissa bakteriearter som kan vara fritt levande i marken eller leva i symbios med vissa vaskulära växter. Den biologiska fixeringen står för den största andelen nytt ammonium som tillförs marken via kvävefixering varje år. Den industriella tillverkningen av ammonium tillverkar cirka hälften av vad den biologiska fixeringen gör per år. Industriell tillverkning av ammonium är en mycket energikrävande process (Evert och Eichhorn, 2013).

3.2.2. Kvävetets funktion i växter

Växter kan inte klara sig utan kväve eftersom kväve är en byggsten i många viktiga organiska föreningar i växter. Kväve är en byggsten i aminosyror, proteiner, nukleinsyror (Mengel och Kirkby, 1987) och klorofyllmolekylen (Eriksson et al, 2011). Växter plockar upp kväve i form av nitrat och ammonium (Mengel och Kirkby, 1987).

I växter utgör kväve 1-5 procent av torrsubstanshalten. Vid koncentrationer under 1,5 procent av torrsubstanshalten uppstår kvävebrist hos grönsaker. Kvävebrist visar sig snabbt då det leder till att syntesen av klorofyll slutar, vilket leder till att växten blir blek och gulnar. De första symptomen syns på de nedersta bladen och bristen leder i förlängningen till att växten vissnar (Båth, 2003). Kvävebrist kan leda till för tidig plantmognad. Skörden blir mindre än vanligt och kvalitén blir dålig (Jones, 1999).

Vid överdriven tillförsel av kväve får kulturen en mörkare grön färg än vanligt. Plantornas mottaglighet för sjukdomar och skadedjurangrepp ökar samtidigt som de negativa reaktionerna på vattenstress blir allvarligare. Fruktsättningen minskar och skördens kvalitet blir dålig (Jones, 1999).

3.3. Biogödsel

Det substrat som har rötats i röt-kammaren finns efter rötningen kvar som rötrest i botten av röt-kammaren. Rötresten innehåller ungefär lika mycket växtnäring som substratet gjorde innan röttningsprocessen började. När ett substrat med höga växtnäringnivåer rötas blir biogödseln rik på växtnäring (Carlsson och Uldal, 2009).

Mikroorganismerna som bryter ner det organiska materialet behöver tillgång till kol, kväve, fosfor, mikronäringsämnen, vitaminer och spårämnen under processen (Carlsson och Uldal, 2009). När organiskt material bryts ner av mikroorganismer byggs en del av de oorganiska föreningarna som frigörs in i den mikrobiella massan, det sker en immobilisering. Kvävet immobiliseras för att det sker en mikrobiell tillväxt (Eriksson et al, 2011). Kol/kväve kvoten (C/N-kvoten) är en viktig aspekt att ta hänsyn till vid val av substrat. C/N-kvoten är ett mått på förhållandet mellan kol och kväve i ett organiskt material. Ju högre kvoten är, ju mer kol finns det i förhållande till kväve i det organiska materialet. En låg kvot leder till nettomineralisering av kväve medan en hög kvot leder till nettoimmobilisering. Vid en kvot högre än 25 är det risk att det sker en nettoimmobilisering av kväve då mikroorganismerna tar upp oorganiska kväveföreningar från substratlösningen för fortsatt tillväxt (Eriksson et al, 2011). Mikroorganismerna som bryter ner substratet i biogasverket trivs bäst när C/N-kvoten ligger på mellan 15 och 30. Om C/N-kvoten i ett substrat är hög är det möjligt att blanda i material med låg C/N-kvot för att sänka C/N kvoten i substratblandningen (Carlsson och Uldal, 2009).

3.3.1. Växtnäringssinnehåll i biogödsel

I tabell 2 presenteras medelvärde för växtnäringssinnehåll, pH-värde och torrsbstanshalt i biogödsel från Jordberga biogasanläggning. Biogödsel från anläggningen Jordberga är certifierad enligt SPCR 120 och tillåten att användas i KRAV-certifierad och ekologisk produktion. Substratet som anläggningen producerar biogas och biogödsel av är enligt årsmedelvärdet: 0.4 procent restprodukter från livsmedelindustrin, 91 procent odlade grödor och sekunda spannmål, 8 procent restprodukter från foderindustrin och processhjälpmedel i form av järnklorid (SBI Jordberga AB, 2016).

Tabell 2: Medelvärde för växtnäringsinnehåll, pH-värde och torrsubstanshalt i biogödsel från Jordberga biogasanläggning (SBI Jordberga AB, 2016).

	Medelvärde, 1 år Dec 2015 – Nov 2016	Enhet
Totalkväve	5.0	kg/ton
NH4-N	2.2	kg/ton
Organiskt bundet kväve	2.8	kg/ton
Totalfosfor	0.7	kg/ton
Kalium	3.6	kg/ton
Ca	1.1	kg/ton
Mg	0.4	kg/ton
S	0.5	kg/ton
pH-värde	8.0	
Torrsubstanshalt	7.2	%

Av tabell 2 framgår att det mineraliserade kvävet i biogödsel från biogasanläggningen Jordberga finns i form av ammonium. Ammonium omvandlas lätt till ammoniak och vice versa enligt följande:



Omvandlingen av ammonium till ammoniak styrs av pH-värdet i lösningen, ju högre pH-värdet är i en lösning ju högre andel av ammoniumkvävet finns i form av ammoniak (Eriksson et al, 2011). Enligt Bakke et al. (2010) har biogödsel oftast ett pH-värde runt 7,5 till 8,5 och i tabell 2 visas att medelvärdet för pH-värde i biogödsel från biogasanläggningen Jordberga ligger på 8,0 under perioden december 2015 – november 2016. Vid höga pH-värden är andelen gasformig ammoniak i lösningen stor. Ammoniak kan avgå från biogödsel till atmosfären, stora förluster sker när biogödsel koncentreras genom avdunstning (Bakke et al, 2010). Det är önskvärt att sänka vattenhalten i biogödsel eftersom det innebär billigare transporter, när vattennivån är hög blir det större volym att transportera.

3.3.2. Nitrifikation av biogödsel

I försök har biogödsel nitrifierats genom att använda ASM3 modellen, en modell för nitrifikation som används inom rening av avloppsvatten. Efter nitrifikationssteget hade 75 procent av NH₄-N omvandlats och pH-värdet sänktes till under 5.0, vid det pH-värdet var >99

procent av det ammoniumkväve som fanns kvar i form av ammonium. Efter detta steg kan biogödseln koncentreras genom avdunstning utan att större kvantiteter kväve avdunstar i form av ammoniak. Försöket visade att stora delar av giftiga tungmetaller i biogödseln fixerades i bottenlammet efter nitrifikationen (Bakke et al, 2010).

3.4. Växtnäringsberäkningar

I ett slutet system är det viktigt att ta hänsyn till råvattnets innehåll av näringsämnen när näringslösningen ska blandas (Christensen et al, 2010). I följande exempel beräknas hur mycket nitrifierat biogödsel som kan tillföras en utgående näringslösning utan att överskrida 9 procent ammoniumkväve i näringslösningen och hur mycket av totalkvävet som kan tillgodoses med biogödseln. I exemplet används kommunalt vatten som inte innehåller makronäringsämnen. I exemplet har biogödseln genomgått nitrifikation och 75 procent av ammoniumkvävet har omvandlats till nitratkväve (Bakke et al, 2010).

Tabell 3 visar önskad koncentration av växtnäring i en utgående näringslösning till tomat (Voogt, 1993) i jämförelse med innehåll av växtnäring i nitrifierad biogödsel. Den önskade koncentrationen av växtnäring i näringslösningen bygger på ett grundrecept för hydroponisk tomatodling och kan behöva ändras under kulturtiden.

Tabell 3: Denna tabell visar den önskade koncentrationen av växtnäring i näringslösningen (g/1000 liter) och näringskoncentrationen i nitrifierad biogödsel (g/1000 kilo). I tabellen presenteras inte det kväve som är organiskt bundet då det inte är tillgängligt för tomatkulturen.

	N-tot	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	S	Källa:
Önskad koncentration (g/1000 liter)	160	14	146	39	253	110	24	47	(Voogt, 1993)
Näringsinnehåll i biogödsel efter nitrifikation (g/1000kg)	2200	550	1650	700	3600	1100	400	500	

Eftersom ammonium utgör en begränsande faktor i tillförseln av biogödsel väljs att först räkna ut hur mycket nitrifierad biogödsel som kan tillföras utan att överstiga maxgränsen på 9 procent ammoniumkväve av totalkvävet (14g/550g per ton = 2,5% av 1 ton biogödsel). När 25 kg av näringslösningen utgörs av biogödsel har cirka 14 g kväve tillsats som ammonium till näringslösningen. Densiteten i biogödseln är inte alltid 1 kg per liter, 25 kg biogödsel motsvarar således inte 25 liter vätska. Om 25 kg biogödsel tillsätts innebär det också att andra makronäringsämnen medföljer. Tabell 4 visar hur mycket av samtliga makronäringsämnen som tillförs med 25 kg biogödsel.

Tabell 4: Denna tabell visar hur växtnäringskoncentrationen i näringslösningen blir om 25 kg biogödsel tillsätts per tusen liter näringslösning (g/1000 liter) och hur stor del av den önskade koncentrationen som tillförs med 25 kg biogödsel per 1000 liter näringslösning. I tabellen presenteras inte det kväve som är organiskt bundet då det inte är tillgängligt för tomatkulturen.

	N-tot	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	S
Näringskoncentration, 25 kilo biogödsel (g/1000 l)	55	13,8	41,2	17,5	90	27,5	10	12,5
Procent av önskad koncentration som tillförs	34 %	98 %	28 %	45 %	36 %	25 %	42 %	27 %

Enligt rekommendationen för växtnäringskoncentration i näringslösning (Voogt, 1993) ska totalt 160 gram kväve tillsättas per 1000 liter näringslösning och av denna mängd står den nitrifierade biogödseln för 55 gram kväve. 55 gram kväve per 1000 liter näringslösning utgör 34 procent av totalkvävet i näringslösningen.

4. Diskussion

Resultatet visar att nitrifierad biogödsel kan ge 34 procent av det totala kvävebehovet i näringslösning till hydroponiskt producerade tomater under förutsättningen att biogödseln innehöll 2,2g N/kg och att 75 procent av ammoniumkvävet var nitrifierat. Om 34 procent av totalkvävet i näringslösningen kommer från nitrifierad biogödsel kontinuerligt under hela kulturtiden betyder det att biogödsel kan tillfredsställa cirka en tredjedel av kvävebehovet under hela kulturtiden.

Nitrifierad biogödsel kan inte tillsätta mer än 34 procent av totalkvävet i en näringslösning till tomater eftersom ammoniumkvävet i näringslösningen annars blir för högt. I den rekommendation som har använts under arbetet utgör ammoniumkvävet 9 procent av totalkvävet i näringslösningen. När den halten nåddes hade 34 procent av totalkvävet tillsatts näringslösningen.

Resultatet visar att nitrifierad biogödsel inte har möjlighet att ersätta mineralgödsel som kvävekälla i hydroponisk tomatproduktion. Biogödsel kan utgöra ett komplement till mineralgödseln så att andelen mineralgödsel som används varje år kan minska.

Resultatet visar även att när biogödsel tillsätts som kvävekälla följer andra makronäringsämnen med. När 25 kilo biogödsel tillsätts per 1000 liter näringslösning uppfylls 45 procent av fosforbehovet, 36 procent av kaliumbehovet, 25 procent av kalciumbehovet, 42 procent av magnesiumbehovet och 27 procent av svavelbehovet i näringslösningen.

I resultatet presenterades försök då biogödsel fått genomgå nitrifikation (Bakke et al, 2010), i detta försök hade 75 procent av ammoniumkvävet oxiderat till nitratkväve. När pH-värdet i biogödseln sänks stannar nitrifikationen av. Det skulle vara intressant att undersöka om det går att starta nitrifikationen på nytt efter att pH-värdet i biogödseln höjts. Om det är möjligt skulle det kunna gå att oxidera ännu större andel av ammoniumkvävet till nitratkväve. Det öppnar i sin tur upp för att större andel av totalkvävet i näringslösningen kan tillsättas med biogödsel utan att det rekommenderade värdet av 9 procent ammoniumkväve övertrasseras.

Det är viktigt att tänka på att när pH-värdet sjunker för mycket i den nitrifierade biogödseln måste pH-värdet i den utgående näringslösningen justeras med baser för att få ett pH-värde på 5,8–6,2. Det är vid detta pH-värde som tomatkulturens näringsupptag fungerar optimalt.

Det är möjligt att liknande uträkningar kan få andra resultat beroende på vilka förutsättningar som råder. Hur stor del av ammoniumkvävet som är oxiderat till nitratkväve i biogödseln, hur förhållandet mellan olika växtnäringsämnen i biogödseln ser ut och hur näringslösningen är utformad är tre parametrar som kan ändra förutsättningarna för biogödsel i hydroponisk tomatproduktion. Om biogödsel ska användas i hydroponisk tomatproduktion är det viktigt att göra beräkningar efter rådande förutsättningar för att få reda på hur stor del av kvävet som kan tillsättas med biogödsel.

4.1. Slutsatser

- Nitrifierad biogödsel har potential att tillgodose kulturen med cirka en tredjedel av det totala kvävebehovet under kulturtiden. Nitrifierad biogödsel kan således inte ersätta mineralgödsel som kvävekälla, men utgöra ett komplement.
- Hur stor del av det totala kvävebehovet som kan tillsättas med biogödsel kan variera beroende på hur mycket av ammoniumkvävet i biogödseln som oxiderat till nitrat, hur förhållandet mellan olika näringsämnen i biogödseln ser ut och hur växtnäringskoncentrationen av olika näringsämnen i näringslösningen ser ut.

Referenslista

- Avfall Sverige. (2017a). *Vad är biogödsel?*. Tillgänglig: <http://www.biogodsel.se/vad-ar-biogodsel/> [2017-03-01].
- Avfall Sverige. (2017b). *Basfakta om biogödsel*. Tillgänglig: <http://www.biogodsel.se/vad-ar-biogodsel/basfakta-om-biogodsel/> [2017-03-01]
- Avfall Sverige. (2017c). *Råvaror till biogödselproduktion*. Tillgänglig: <http://www.biogodsel.se/vad-ar-biogodsel/ravaror/> [2017-03-07]
- Avfall Sverige. (2017d). *Certifierad återvinning*. Tillgänglig: <http://www.avfall sverige.se/avfallshantering/biologisk-atervinning/certifiering/> [2017-03-07]
- Bakke, R., Botheju, D. & Svalheim, Ø. (2010). *Digestate nitrification for nutrient recovery*. Okänt: The open waste management journal. (The open waste management journal volym 3, 2010).
- Båth, B. (2003). *Makronäringsämnen, mikronäringsämnen och pH i ekologisk grönsaksodling*. Jönköping: Jordbruksverket. Ekologisk produktion av grönsaker. [Broschyr]. Tillgänglig: http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/p7_18.pdf [2017-03-01].
- Båth, B. (2008). *Växtnäringsstyrning i ekologisk odling i växthus*. Jönköping: Jordbruksverket. [Broschyr]. Tillgänglig: http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/P9_6.pdf [2017-03-07]
- Carlsson, M. & Uldal, M. (2009). *Substrathandbok för biogasproduktion*. Okänt: Svenskt Gastekniskt Center AB. (Rapport SGC 200).
- Chesworth, W. (2008). *Encyclopedia of soil science*. Dordrecht: Springer.
- Christensen, I., Hansson, T. & Svensson, S-E. (2010). *Gödsling i slutet odlingsystem i växthus – underlag till utbildningsmodul*. Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet. (Rapportserie Landskap, trädgård, jordbruk, 2010:15).
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2011). *Marklära*. Lund: Studentlitteratur AB.

Evert, F. R. & Eichhorn, S. E. (2013). *Raven – Biology of plants*. 8. Uppl. New York: W. H. Freeman and Company.

Gutierrez, V. & Tapia, M. L. (1997). *Distribution pattern of dry weight, nitrogen, phosphorus, and potassium through tomato ontogenesis*. *Journal of Plant Nutrition*, 20:6, 783-791, DOI: 10.1080/01904169709365294

Hansson & Ögren. (2007). *Ekologisk odling av tomat*. Jönköping: Jordbruksverket. [Broschyr]. Tillgänglig: http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo07_20.pdf [2017-03-07]

Hochmuth, G. J. & Hochmuth, R. C. (2001). *Nutrient solution formulation for hydroponic (perlite, rockwool, NFT) tomatoes in Florida*. Florida: University of Florida. Tillgänglig: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/CV/CV21600.pdf> [2017-03-07]

Huevelink, E. (2005). *Tomatoes*. Oxfordshire: CABI Publishing. Tillgänglig: ProQuest Ebook Central. [2017-03-01].

Ikeda, H., Koohakan, P. & Jaenaksorn, T. (2002). *Problems and countermeasures in the re-use of the nutrient solution in soilless production*. *Acta Hortic.* 578, 213-219. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.578.26 Tillgänglig: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.578.26>

Jones, J. B. (1999). *Tomato plant culture: in the field, greenhouse and home garden*. Boca Raton: CRC Press LLC.

Jordbruksverket. (2016). *Skörd av trädgårdsväxter 2015*. Jönköping: Jordbruksverket. (JO 37 SM 1601).

KRAV. (2017). *Regler för KRAV-certifierad produktion utgåva 2017*. Uppsala: KRAV. Tillgänglig: http://www.krav.se/sites/default/files/kravs_regler_2017.pdf [2017-03-07]

Mengel, K. & Kirkby, E. A. (1987). *Principles of plant nutrition*. 4. Uppl. Bern: International Potash Institute.

Pilström, H., Wahlström, E., Lüning, B., Viklund, G., Aastrup, L. & Peterson, A. (2007). *Modell och verklighet*. 2. Uppl. Stockholm: Natur och kultur.

Raviv, M. & Lieth, J. H. (2008). *Soilless culture: theory and practice*. Okänt: Elsevier.

SBI Jordberga AB. (2017). *Produktblad ekologisk biogödsel*. Linköping: SBI Jordberga AB. [Broschyr]. Tillgänglig:

http://www.swedishbiogas.com/images/artiklar/Produktblad_Jordberga_2016_sept-nov.pdf

[2017-03-01].

Sonneveld, C. & Voogt, W. (2009). *Plant nutrition of greenhouse crops*. Okänt: Springer Netherlands. Tillgänglig: ProQuest Ebook Central. [2017-03-01]

Voogt, W. (1993). *Nutrient uptake of year round tomato crops*. Acta Hort. 339, 99-112. DOI: 10.17660/ActaHortic.1993.339.9. Tillgänglig:

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.339.9>

Icke publicerat material

Mats Olofsson, Vikentomater AB, 2017-01-23.