



Tekniska och ekonomiska förutsättningar för koncentrerings av flytgödsel på gårdsnivå

Erik Sindhøj & Andras Baky, JTI

Bakgrund

På grund av flytgödselns höga vattenhalt och låga koncentrationer av växtnäring är hanteringskostnaden hög jämfört med mineralgödsel. Teknik för separering och koncentrerings av växtnäringsämnen i flytgödsel finns tillgänglig på marknaden men tillämpas inte i Sverige på gårdsnivå. Att öka koncentrationen av näringsämnen i flytgödsel samtidigt som mängden reduceras kan ge en minskad hanteringskostnad vid lagring och spridning och öka en lönsamhet för gården. Dessutom kan det leda till ett bättre kväveutnyttjande men medföra en investering i behandlingsteknik.

Ett övergripande syfte med projektet är att öka effektiviteten vid utnyttjande av flytgödsel. Effektiviteten avser att så stor del som möjligt av växtnäringen i gödsel ska kunna utnyttjas optimalt av växterna till vilket stallgödseln sprids. På en större skala syftar projektet till att öka lantbruksföretagets lönsamhet genom att minska mängden gödsel att hantera samtidigt som så stor andel som möjligt av växtnäringen finns kvar i gödseln. Målet med projektet är att under svenska förhållanden undersöka tekniska förutsättningarna för att koncentrera växtnäringen i stallgödsel på gårdsnivå, och utvärdera tillämpning av tekniken på gårdsnivå ur ett ekonomisk- och miljömässigt perspektiv.

Målen med projektet är:

- Presentera vilka tekniska och ekonomiska förutsättningar som behövs för att lönsamt införa existerande tekniker för koncentrerings av växtnäring i flytgödsel på gårdsnivå under svenska förhållanden.
- Identifiera 2-4 teknikkedjor på gårdsnivå
- Utvärdera tillämpning av identifierade teknikkedjor på gårdsscenarioer ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv.
- Hur produkter från koncentrerings kan utnyttjas på bästa sätt avseende användning som organiskt gödselmedel på gård
- Identifiera möjliga omvärldsfaktorer som påverkar införande av koncentrerings teknik på gårdsnivå
- Identifiera hinder och möjligheter för att införa teknik för att koncentrera flytgödsel på gårdsnivå

Material och metod

Litteraturgenomgång

Mekanisk separering

Vanligen förekommande tekniker för separering är skruvpress och centrifug. Skruvpressen reducerar volymen på gödsel i samband med separering och avskiljer större partiklar, men är sämre på att avskilja växtnäringssämnen som kväve, fosfor och kalium (Pieters m fl., 1999, Möller m fl., 2000 & Möller m fl., 2002). När skruvpress används för att separera gödsel fördelar sig den inkommande mängden med 6 - 15 % till den fasta fasen och 85 - 94 % till den flytande fasen med torrsubstanshalt varierande mellan 5 - 26 % för svinggödsel och 10 - 22 % för nötgödsel (Möller m fl., 2000, Möller m fl., 2002, Fanguiero m fl., 2008 & Miljöstyrelsen 2010). Då ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) är löst i vätskan som finns i gödseln är skruvpressen dålig på att separera bort ammonium (NH_4) (Pieters m fl., 1999, Fanguiero m fl., 2008)

Avskiljning med centrifug av torrsubstans, kväve, fosfor och kalium har genomförts av Pieters m fl. (1999), Möller m fl. (2002), Frandsen m fl. (2009) och Fanguiero m fl. (2012). I samtliga fall testades separation av svinggödsel. Torrsubstanshalten vid separering av svinggödsel med centrifug är i medeltal 25 %, varierande mellan 18 % - 28 %. Motsvarande för nötgödsel är 30 % varierande mellan 25 % - 35 % (Miljöstyrelsen, 2010a). När gödsel separeras med centrifugering hamnar i storleksordningen 10-15 % av den totala massan eller volymen i den fasta fasen. Den procentuella andelen på massbasis av torrsubstans varierar mellan 50 - 95 % till den fasta fasen av den inkommande mängden gödsel. Avskiljningen av kväve är relativt god, ca 20 % av det inkommande totalkvävet hamnar i den fasta fasen (Möller m fl., 2002, Frandsen, 2009). Det är i första hand organiskt kväve som följer med till den fasta fasen. Andelen ammoniumkväve som separeras till den fasta fasen är något lägre, omkring 14 % av inkommande mängd (Frandsen, 2009). Fanguiero m fl. (2012) angav separeringen av ammoniumkväve till drygt 40 %. I det fallet angavs avskiljningen av totalkväve till drygt 80 % av inkommande mängd. Centrifugen är effektiv att avskilja fosfor. I storleksordningen 60 - 65 % av inkommande mängd fosfor återfinns i den fasta fasen (Frandsen, 2009 & Fanguiero, 2012). Kalium är till viss del lösligt i vatten och därför är förmodligen att separera till den fasta fasen lägre jämfört fosfor. Frandsen (2009) angav avskiljningen av kalium till ca 10 % av inkommande mängd. Ett sammanvägt medelvärde för fördelningen mellan fast och flytande fas från olika källor vid separering med skruvpress och centrifug visas i Tabell 1.

Tabell 1. Sammanvägd fördelning (%) på massbasis av valda parametrar vid separering med skruvpress och centrifug.

Parameter	Fast fas	Flytande fas	Fast fas	Flytande fas
	Skruvpress		Centrifug	
Våtvikt	6-15	85-94	3-23	77-97
Torrsubstans	18-26 (64)	74-82 (36)	37-77	23-63
Suspenderat material	65	35	-	-
TOC	67	33	-	-
N-tot	4-11	89-96	5-53	47-95
NH ₄ -N	2-12	88-98	15-41	59-85
P-tot	7-12	88-93	57-71	29-43
K-tot	4 %	96	9-31	69-91

Skruvpressen visar generellt på något lägre energiförbrukning jämfört centrifugering men variationerna i energianvändning är stora. Energianvändningen för en skruvpress varierar mellan 0,5 – 4,5 kWh/ ton gödsel (Möller m fl., 2000). Elförbrukningen för en centrifug varierar mellan 1,9 - 6,3 kWh/ ton (Möller m fl., 2002 och Frandsen, 2009)

Möller m fl. (2000) anger kostnaden för separering med skruvpress till 7 kr/ ton behandlad gödsel beräknat för ett system som omhändertar 4 000 ton flytgödsel per år. Kostnaderna kan reduceras avsevärt om mängden gödsel som behandlas per enhet ökar. En mobil anläggning med skruvpress kostar från 425 000 kr plus driftkostnader och är dimensionerad att klara behovet för 15-20 gårdar med i medeltal 100 kor per gård. Miljöstyrelsen (2010) anger kostnaden för en separeringsanläggning med skruvpress till en kostnad av 1,3 - 1,6 kr/ ton gödsel separerad. Beräkningen utgår från en anläggning som har kapacitet att behandla 8 - 20 ton svinggödsel per timme eller 5 - 15 ton nötgödsel per timme.

Möller m fl. (2000) rapporterade kostnad för dekantercentrifug motsvarande 31 kr/ ton per ton gödsel behandlad. Detta för ett system som hanterade 4 000 ton flytgödsel per år. Miljöstyrelsen (2009) i Danmark anger kostnaden för stationär anläggning för separering av gödsel med dekantercentrifug till 1 200-1 400 miljoner kr för själva centrifugen. Till det kommer en investering i kringutrustning i storleksordningen 150 000 kr. Driftkostnaderna är beroende av antalet djurenheter och mängden gödsel som ska behandlas. Investeringskostnaden i mobila anläggningar för separering av gödsel är i storleksordningen 2,6 - 3,1 miljoner kr (Birkemose, 2009), kostnaden per behandlad mängd blir därefter beroende av kapaciteten och utnyttjandegraden

Filtrering med membran

Membranfiltrering delas in i mikrofiltrering (MF) och Ultrafiltrering (UF). Ännu finare filtrering fås genom nanofiltrering (NF) och omvänd osmos (RO)¹. MF och UF är effektiva att separera i fast och flytande fas och kan avskilja fosfor och större partiklar. MF klara av att avskilja partiklar i storleken 0,1-0,5 µm medan UF skiljer av partiklar ner till storleksordningen 0,001-0,05 µm (Masse m fl.,

¹ RO står för Reverse Osmosis

2007). Både MF och UF arbetar under låga osmotiska tryck och behöver därför endast låga arbetstryck. MF och UF skiljer i första hand av suspenderat material (SS)² kolloider och bakterier (Masse m fl., 2007).

Pieters m fl. (1999) testade mikrofiltrering av gödsel från suggor. Innan mikrofiltrering förbehandlades gödseln genom filtrering. Inkommande volym till mikrofiltret fördelade sig så att 70 % hamnade i permeatet och resterande 35 % i koncentratet av den obehandlade gödseln. Resultaten visade på att permeatet från mikrofiltreringen var fri från torrs substans och suspenderat material och innehöll låga halter av N, P och K. Energiförbrukningen var 30 kWh/ m³ inkommande material och investeringskostnaden för mikrofilter 120 000 €. Rörliga kostnader sattes till 1 % av investeringskostnaden. Kapaciteten beräknades till 5 550 m³ per år vilket ger en kostnad per kubikmeter gödsel på 7 €. Aarsrud m fl., (2010) anger kostnaden för en membranläggning bestående av UF och två RO. Energiförbrukningen angavs till 11,5 kWh/ kg N till koncentrat med en investeringskostnad på 215 kr/ m³ ingående mängd till anläggning samt driftskostnader på 10.4 kr/ m³.

Nanofilter (NF) skiljer av mycket små partiklar och salter. Till skillnad från RO arbetar NF under låga osmotiska tryck och låga arbetstryck. NF klarar att skilja av molekyler med en storlek över 200-400 Da³. NF är mer sällan använd för att filtrera gödsel p.g.a. att gödsel har relativt låga salthalter. Ett NF-membran med 150 Da och som arbetade under 2,1 MPa tryck rapporterades att skilja av mellan 52 % av TAN och 78 % av K. RO kräver omfattande förbehandling för att undvika att det sätter igen (fouling), maximera membranets livslängd och för att behålla ett jämt flöde över membranet (Masse m fl., 2007).

Ammonia stripping

Vid ammonia stripping till skillnad från biologisk nitrifikation och denitrifikation är målet att ha kvar kvävet som ett gödselmedel. Med hjälp av högt pH ca 11-11,5 och temperatur ca 60 °C ökas andelen löst ammoniak (NH₃) i vätskan. Genom att driva av löst ammoniak i vatten till ammoniak i luft och därefter fånga ammoniakerna med hjälp av svavelsyra bildas ammoniumsulfat. Kostnaden för stripper är enligt van Eekert m fl. (2012) 1,9 - 3,2 € per kg N avskild inkluderat både fasta och rörliga kostnader

Studiebesök

Pellon

Två studiebesök genomfördes, ett första till Finland där besöktes företaget Pellon OY och där förevisades deras system Bio-Sampo som är mekanisk separering följt av aerob behandling av den flytande fasen för att reducera lukt från svingödsel. Systemet är tänkt att utgöras av mekanisk separering med skruvpress och bandfilter. Polymer tillsätts för att öka flockningen och därmed öka effektiviteten vid mekanisk separering. Den fasta fasen samlas upp och lagras för att sedan spridas som fastgödsel. Den flytande fasen behandlas vidare i en aerob anläggning som utgörs av ett antal sektioner i serie där materialet luftas. Ca 50 % av kvävet avgår i

² SS står för Suspended Solids

³ Da, Dow liquid separation

denna process och utgående luft renas i en skrubber. Kvävet som främst avgår som ammoniak fångas och återförs till lagret för den flytande fraktionen som ammoniumsulfat. Systemet finns beskrivet i Alitalo m fl. (2013).

Italien

Utanför Milano besöktes en anläggning för att studera deras system för att behandla rötrest från rötad gödsel. Anläggningen finns på en biogasanläggning med effekten 1 GW som i första hand rötar gödsel från gårdar i omgivningen. Systemet utgörs av mekanisk separering följt av membranfiltrering och omvänd osmos. Permeatet från RO är så pass rent från kväve (N) att det kan släppas till recipient utan vidare behandling. Koncentratet från RO behandlas i luftstripper där kväve avskiljs som ammoniumsulfat. Ammoniumsulfatet tas i dagsläget hand av företaget som levererar svavelsyra till processen. Ammoniumsulfatet används som råvara vid tillverkning av mineralgödsel. Den fasta fraktionen från skruvpress och centrifug sprids av lantbrukare i trakten som fast organiskt gödselmedel. Systemet finns beskrivet mer utförligt i Ledda m fl. (2013).

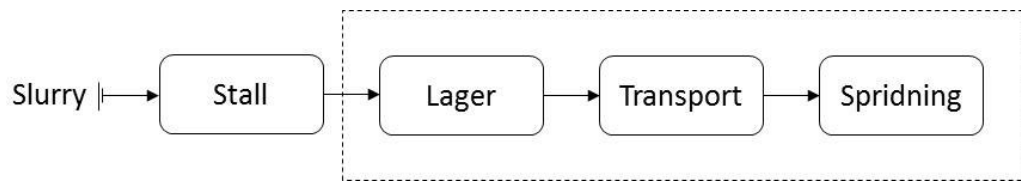
Systemstudie

En systemstudie där obehandlad, konventionell spridning av flytgödsel från svin och nöt, jämförs med gödsel behandlad med två olika tekniker för koncentrerings, mekanisk separering följt av filtrering med UF och RO och mekanisk separering följt av aerob behandling av gödsel. System följer gödsel och de produkter som uppstår i hanteringen från det att gödseln lämnar lagret tills det att samtliga produkter når sin slutliga destination på åkern eller annat.

Lager: I systemet utan processing lagras gödsel i en öppen behållare av betong med kapacitet att lagra 9 månaders gödselproduktion. I lagret bildas ett naturligt svämtäcke som täcker ytan. Det antas att lagret kan fyllas till 90 % av tillgänglig lagringsvolym. Flytande fraktion från processade gödsel lagras i gödselbehållare med tak då svämtäcke inte bildas. Fasta fraktioner lagras som fastgödsel på öppen betongplatta med uppsamling av lakvatten.

Transport och spridning: Vid tömning av lager med flytande gödsel eller gödsel-fraktioner och vid spridning används en traktordriven pump. Transport mellan lager och fält sker med gödselspridaren. Flytgödsel och flytande fraktioner transporteras med en gödseltunna som har volymen 18 m³ och dras av en traktor med effekten 130 kW. Spridning i fält sker med släpslangar monterade på en 24 m ramp. Det antas att det finns tillräckligt areal för att sprida all gödsel. Kostnaden för spridning av gödsel beräknas för olika medeltransportavstånd, 1, 2, 5, 10, 20 och 50 km. Den fasta fasen transporteras och sprids med fastgödselspridare, 12 ton.

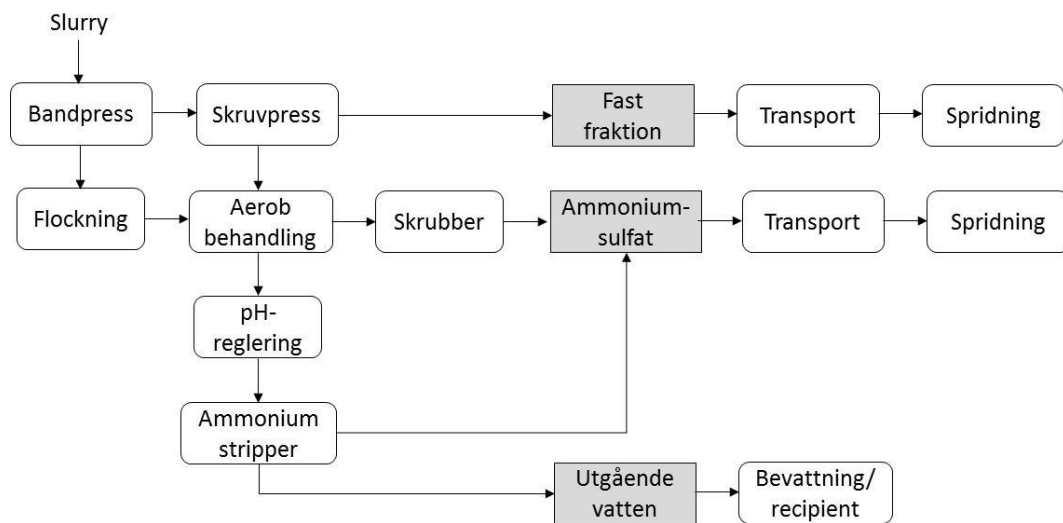
Spridning utan koncentrerings



Figur 1. System för att sprida stallgödsel utan koncentrerings.

Spridning av obehandlad flytgödsel från slaktsvin respektive mjölkkor. Systemet utgörs av lager samt transport och spridning på fält (Figur 1).

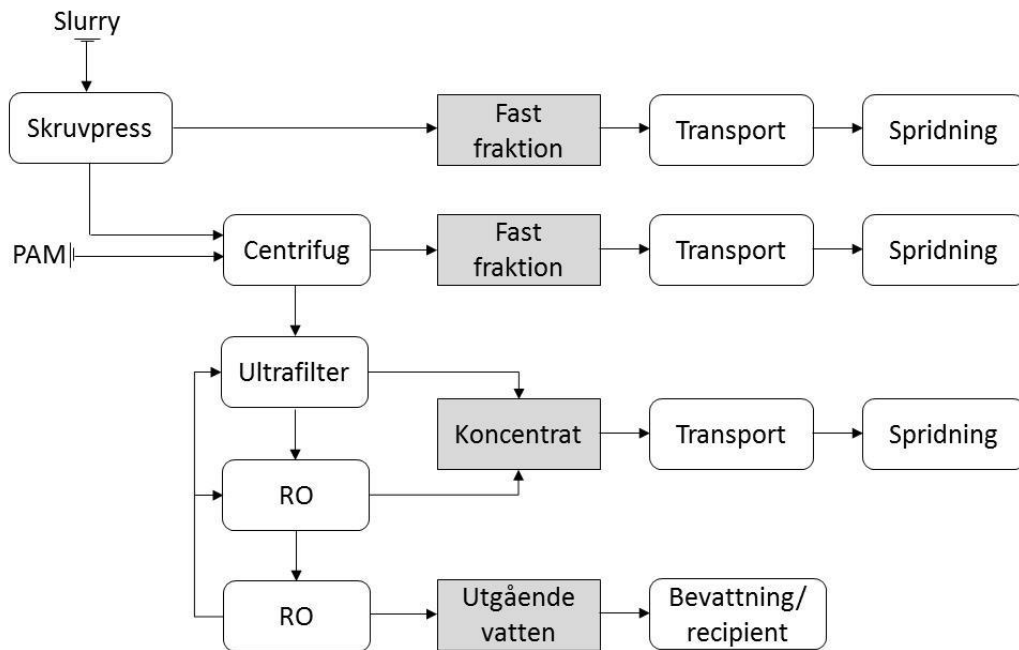
Aerob behandling av gödsel



Figur 2. System för att separera och koncentrera gödsel genom mekanisk separering och aerob behandling.

Systemet med aerob behandling använder sig av det finska systemet Bio-Sampo som marknadsförs av Pellon OY. Direkt efter stallet behandlas gödseln genom mekanisk separering med skruvpress och bandfilter. Fasta fasen lagras på en öppen platta och sprids som fastgödsel. Den flytande fasen behandlas aerobt för att reducera lukt. Ammoniak, upp till 50 % av kvävet i flytande fas kan avgå, fångas i en skrubber (90 % fångas) och återförs till den flytande fasen som ammoniumsulfat. Den flytande fasen lagras i flytgödselbehållare med tak innan den sprids som ett kvävegödselmedel med flytgödselspridare.

Membranfiltrering



Figur 3 System för att koncentrera gödsel med mekanisk separering och membranfiltrering.

Gödsel från stallet separeras mekaniskt med skruvpress. Den fasta fasen lagras på en öppen gödselplatta innan den skickas vidare och sprids som fastgödsel. Den våta fasen från skruvpressen renas vidare i en centrifug. En tillsats sker av polymer för att öka avskiljningen, fasta fasen från centrifug hanteras på samma vis som fast fas från skruvpress. Våta fasen från centrifugen behandlas vidare i en membranläggning som består av ett ultrafilter och omvänd osmos i två steg. Koncentrat från ultrafilter och första steget omvänd osmos lagras som flytgödsel i lager med tak innan den sprids som flytgödsel. Koncentratet från andra osmossteget används för att rena membranen. Permeatet från andra stegets omvända osmos anses vara så pass rent att det kan släppas till recipient utan vidare rening

Resultat och diskussion

Utöver den rena investeringskostnaden och driften av koncentreringsanläggningen tillkommer ytterligare extra kostnader i samband med att gödsel koncentreras. Fler fraktioner, både fasta och flytande ska lagras och hanteras. På gårdar med flytgödselhantering måste systemet kompletteras med lagring av fast fas samt utrustning för transport och spridning. Den största enskilda kostnaden är själva koncentreringsanläggningen. Hur stor kostnaden per ton gödsel blir beror på hur bra kapaciteten utnyttjas. Det finns en minsta storlek på utrustningen som ingår investeringskostnaden upp till en viss kapacitet blir lika oavsett gårdens storlek.

Tanken med koncentrerings av gödsel är att behålla växtnäringen men minska volymen och eller vikten. Det är avgörande för resultatet om det är möjligt att rena den flytande fasen att den är möjlig att släppa ut till recipient utan vidare behandling. Det är i bara system med membranfiltrering, omvänd osmos som har identi-

fierats ha kapaciteten att minska koncentrationerna av främst kväve och fosfor att det är möjligt att släppa ut vatten direkt till recipienten.

Teknik för att processa gödsel finns tillgänglig på marknaden. I många fall rör det sig om tekniker som separerar gödseln i två eller flera fraktioner som skruvpress, centrifug etc. I andra fall finns tekniker för att exempelvis driva av kväve genom luftning. Koncentrering avser att behålla så stor andel av växtnäringen som möjligt samtidigt som volymen gödsel som ska omhändertas minskas minskar andelen tekniker att välja mellan. De lösningar som är intressanta och leder till koncentring av gödsel är filtrering av gödsel med utnyttjande ultrafiltrering och omvänd osmos. En annan lösning som finns tillgänglig är mekanisk separering följt av aerob behandling för att reducera i första hand lukt. Den aeroba behandlingen kan i sin tur leda till att större andel av kvävet finns som ammoniumkväve och därför mer växttillgängligt och ger ett bättre gödselmedel.

Att inte behandla gödsel är ekonomiskt den lösning som är mest fördelaktig. Hantering av flytgödsel utan behandling är det enklaste systemet med minst antal processteg. De övriga systemen där gödseln processas på något vis ger ökad hantering förutom processanläggningen tillkommer extra kostnader för både lagring, transport och spridning i de fall där fler fraktioner ska hanteras.

För koncentring med hjälp av filtrering är det anläggningskostnaderna som är de stora jämfört oprocessad gödsel. Här sker en koncentring under förutsättning att vätskefasen från filtreringen är tillräckligt ren för att släppas ut till recipient. Annars tillkommer kostnader för vidare hantering av vätskefasen antingen genom att den renas i en anlagd våtmark eller sprids alternativt används till bevattning.

Koncentring av gödsel kan ge både för och nackdelar avseende miljöpåverkan. Utsläpp av övergödande ämnen minskar något vid behandling av svinggödsel. Effekten blir större när nötgödsel hanteras. Utsläpp av klimatgaser är till stor del beroende av hur mycket lustgas som bildas då lustgas är en potent växthusgas som ger ett mycket stort bidrag till växthuseffekten per kg som avgår till luft (Tabell 2)

Tabell 2. Kostnad (kr/ ton gödsel) och miljöpåverkan; eutrofiering (kg NO₃e/ ton gödsel) och klimat (kg CO₂e/ ton gödsel) för obehandlad gödsel och två olika behandlingar för att koncentrera gödsel.

	Kostnad	Eutrofiering	Klimat
Svinggödsel			
Obehandlad	190	6,2	91
Aerob behandling	317	4,1	127
Filtrering	375	4,6	32
Nötgödsel			
Obehandlad	220	10,4	78
Aerob behandling	312	3,0	65
Filtrering	415	5,6	37

Koncentring av gödsel ger upphov till en eller flera produkter som ska omhändertas. Beroende på mängd, volym och koncentration av växtnäring kan de användas på olika vis. Som ett första steg i en koncentreringsprocess sker någon

form av mekanisk separering som resulterar i en fast och en flytande fas. Den fasta fasen som innehåller det mesta av fosfor samt det mesta av det organiska kvävet kan hanteras som fastgödsel och spridas på åkermark.

Lantbruket i både Sverige och utomlands är ekonomiskt pressat med dålig lönsamhet för den enskilde lantbrukaren. Det gör att det i nuläget är svårt för gårdar att investera i ny teknik för att separera och koncentrera gödsel. Ett tekniskt problem är att hur hantera de fraktioner som uppstår. Om marknaden för att avsätta koncentrerade produkter som exempelvis ammoniumsulfat från luftstripper eller struvit från struvitfällning är liten och osäker minskar incitamenten för att investera i teknik för att koncentrera gödsel. Om flera fraktioner blir resultatet så ökar även behovet av teknik och utrustning för att lagra och sprida olika organiska gödselmedel. I de fall då fraktionerna är fasta finns det en teknisk begränsning i dagen spridarutrustning avseende att sprida små givor. Ska små givor dessutom spridas med precision är hindren fler.

Miljömässigt framförallt avseende emissioner av kväve till luft och vatten kan minska vid införande av koncentrerings teknik. Jordbruket går mot allt större produktionsenheter samt att dessa koncentreras till ett antal platser. Till dessa produktionsenheter förs stora mängder näringsämnen in utifrån genom import av foder. Det mesta av dessa näringsämnen hamnar sedan i gödseln. Då produktionen av foder sker på annan plats än själva djurhållningen kommer det finnas ett ökat behov att återcirkulera växtnäringen till varifrån den kom. Framförallt fosfor är en ändlig resurs och behöver hushållas med för att vår förmåga till långsiktig jordbruksproduktion ska kunna behållas. Genom koncentrerings och separering av gödsel kan växtnäringskoncentrationen öka samtidigt som den totala volymen minskar. Det gör det ekonomiskt möjligt att transportera gödselprodukter längre sträckor än tidigare.

Det finns för och nackdelar med koncentrerings teknik, här är några identifierade:

- (+) Bättre möjlighet att fördela N & P dit det behövs
- (+) Jämnare fördelning av växtnäring
- (+) Minskade utsläpp av övergående ämnen
- (+) Möjlighet till bättre hushållning med resurser som kväve och fosfor
- (-) Kostnaden
- (-) Avsättning av gödsel fraktioner/ -produkter
- (-) Svårt att rena vatten till den grad att det kan släppas ut till recipient
- (-) Teknik för att effektivt omhänderta fraktioner på gårdsnivå
- (-) Skalan, de flesta tekniker är anpassade för större skala än den enskilda gården

Referenser

- Aarsrud, P., Bisaillon, M., Hellström, H., Henriksson, G., Jakobsson, E., Jarlsvik, T., Martinsson, U., Jensen, C., Johansson, L.-G., Kanerot, M., Ling, D., 2010, Fördling av rötrest från storskaliga anläggningar, WR-20, Waste Refinery, Borås
- Alitalo, A., Alakuku, L., Aura, E., 2013, Process design and dynamics of a series of continuously fed aerated tank reactors treating dairy manure, *Bioresource Technology* 144 (2013) 350-359
- Birkmose, T. S., 2009, Beregn økonomi og harmoni ved gylleseparering, Artikel publicerad på www.lr.dk/planteavl den 16.01.2009, Artikel nr. 145. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Planteproduktion.
- Fangueiro, D., Lopes, C., Surgu, S., Vasconcelos, E., 2012, Effect on the pig slurry separation techniques on the characteristics and potential availability of N to plants in the resulting liquid and solid fractions, *Biosystems engineering* 113 (2012) 187-194
- Fangueiro, D., Senbayran, M., Trindade, H., Chadwick, D., 2008, Cattle slurry treatment by screw press separation and chemically enhanced settling: Effect on greenhouse gas emissions after land spreading and grass yield, *Bioresource Technology* 99 (2008) 7132-7142
- Frandsen T., 2009, Separering af svinegylle med GEA Westfalia UCD 305. Orienterende undersøgelser af anlægget, FarmTest Bygninger nr. 41, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret
- Miljöstyrelsen, 2010, Separering av gylle med skruepresse, Teknologiblad, Miljöstyrelsen Danmark
- Miljöstyrelsen, 2010a, Separering av gylle med dekantercentrifuge, Teknologiblad, Miljöstyrelsen Danmark
- Möller, H. B., Lund, I., Sommer S. G., 2000, Solid-Liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost, *Bioresource Technology* 74 (2000) 223-229
- Möller, H. B., Sommer S. G., Ahring, B. K., 2002, Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions, *Bioresource Technology* 85 (2002) 189-196
- Pieters, J. G., Neukermans, G. J., Colanbean, M. B. A., 1999, Farm-scale membrane filtration of sow slurry, *J. Agric. Eng Res.* (1999) 73, 403-409
- Van Eekert, M., Weijma, J., Verdoes, N., de Buissonjé, F., Reitsma, B., van den Bulk, J., van gastel, J., , 2012, Explorative research on innovative nitrogen recovery, Rapport 51, STOWA, Netherlands
- Ledda, C., Schievano, A., Salati, S., Adani, F., 2013, Nitrogen and water recovery from animal slurries by new integrated ultrafiltration, reverse osmosis and cold stripping processes: A case study, *Water Research* 47 (2013) 6157-6166
- Masse, L., Massé, D.I., Pellerin, Y., 2007, The use of membranes for the treatment of manure: a critical literature review, *Biosystems engineering* 98 (2007) 371-380